

UNIVERSITE DE NANTES

FACULTE DE MEDECINE

Année : 2019

N° 2019-34

THESE

pour le

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

DES : Radiodiagnostic et Imagerie Médicale

par

Lili Détraz

Née le 2 juin 1988 à Mont-Saint-Aignan (76)

Présentée et soutenue publiquement le vendredi 12 avril 2019

**Fistules dures de la fosse postérieure : étude d'une série multicentrique
traitée par voie endovasculaire**

Président : Monsieur le Professeur Hubert Desal

Directeur de thèse : Dr Aymeric Rouchaud

Membres du jury

Président du jury : Monsieur le Professeur Hubert Desal

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Aymeric Rouchaud

Monsieur le Professeur Charbel Mounayer

Monsieur le Professeur Pascal Derkinderen

Monsieur le Docteur Romain Bourcier

Remerciements

Au Professeur Hubert Desal, pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury. Vos qualités humaines et votre humilité n'ont d'égales que votre dextérité endovasculaire.

Au Docteur Aymeric Rouchaud, pour avoir encadré et corrigé dans ce travail, avec rigueur, efficacité et surtout gentillesse. Merci pour l'ensemble de tes précieux conseils.

Au Professeur Charbel Mounayer, pour avoir accepté de juger ce travail. Merci d'y avoir apporté votre expérience clinique et endovasculaire. Merci pour ces beaux cas. Merci aussi pour la qualité de l'enseignement lors de mon stage dans votre service.

Au Professeur Pascal Derkinderen, pour avoir accepté de juger ce travail. Merci aussi pour votre encadrement lors de mon stage dans votre service.

Au Docteur Romain Bourcier, pour avoir accepté de juger ce travail. Je ne te remercierai jamais assez pour la découverte de la neuroradiologie interventionnelle.

Au Docteur Elisabeth Auffray-Calvier, pour avoir tenté de me transmettre votre rigueur intellectuelle et votre bienveillance. Je regretterai de ne plus être à votre droite le lundi soir.

Au Docteur Benjamin Daumas-Duport, pour tes explications physio-pathologiques.

Au Docteur Alina Gauthier-Lintia, pour ta gentillesse, la finesse de ton enseignement radiologique et vasculaire et ton soutien sans faille.

Au Docteur Jesus Aguilar-Garcia, pour ta disponibilité, ta bonhomie, et tes avis radiologiques quotidiens avisés.

Au Docteur Pierre-Louis Alexandre, pour ton calme, ta douceur et ton indulgence.

Au Docteur Cédric Lenoble, pour ta patience et ton enseignement anatomique.

Aux Docteurs Vincent L'Allinec et Arnaud Pellerin, pour vos conseils radiologiques et votre présence enjouée au DIU.

Au Docteur Susanna Saleme, pour ta présence essentielle lors de mon stage à Limoges. Merci pour ton encadrement, ta disponibilité et ta douceur.

Aux Docteurs Luiz-Gustavo de Abreu Mattos, Vladimir Borodetski, Yvonne Chowaniec et à Clément Bogey pour m'avoir aidée dans la collecte (VB), l'analyse anatomique (LGAM) des données, écoutée en parler quotidiennement et avoir demandé à être remerciés (YC ; CB).

Aux manipulateurs de neuroradiologie vasculaire et diagnostique de Nantes, pour vos conseils éclairés au quotidien et votre aide nécessaire primordiale dans nos projets de recherche.

A l'ensemble des radiologues du CHU de Nantes,

Aux anesthésistes et aux réanimateurs qui nous aident au quotidien,

Enfin, merci à chacun d'entre vous pour ce que vous m'apportez au quotidien sur le plan extra radiologique, travailler avec vous est un vent de liberté.

Abréviations

AO : artère occipitale

APA : artère pharyngienne ascendante

AV : artère vertébrale

BV : bridging veines

dAVF : fistules artérioveineuse durale

ECA : artère carotide externe

HBr : branche hypoglosse de l'artère pharyngienne ascendante

ICA : artère carotide interne

ILT : tronc inféro-latéral

IRM : imagerie par résonnance magnétique

JBr : branche jugulaire de l'artère pharyngienne ascendante

MHT : tronc méningo-hypophysaire

MMA : artère méningée moyenne

PMA : artère méningée postérieure

TDM : tomodensitométrie

SCA : artère cérébelleuse supérieure

Table des matières

MEMBRES DU JURY	2
REMERCIEMENTS	3
ABREVIATIONS	5
INTRODUCTION	8
DEFINITION	8
EPIDEMIOLOGIE	10
ETIOLOGIE	11
CLASSIFICATION	13
SYMPTOMES CLINIQUES	16
PARTICULARITES DES AVF DE LA FOSSE POSTERIEURE	21
IMAGERIE	22
ARTERIOGRAPHIE	22
IRM ET SCANNER	24
TRAITEMENT	29
OPTIONS THERAPEUTIQUES EXISTANTES ET PRINCIPES DE TRAITEMENT	29
SPECIFICITE DU TRAITEMENT POUR LES FISTULES DE LA FOSSE POSTERIEURE	34
ANATOMIE DE LA FOSSE POSTERIEURE	38
ARTERES	38
VEINES	55
CONCLUSION	65
ARTICLE	66
BIBLIOGRAPHIE	92

Introduction

Définition

Les fistules artério-veineuses durales (dAVF) sont des communications directes, anormales, au sein de la dure mère, entre des artères méningées se drainant directement dans des sinus veineux et/ou des veines sous arachnoïdiennes ¹. La fistule qui est anatomiquement contenue dans la dure-mère, membrane très résistante et extra parenchymateuse, devient ainsi par l'intermédiaire de son drainage veineux leptoméningé une lésion vasculaire intradurale ².

On distingue trois compartiments anatomiques dans une dAVF : les afférences artérielles, le point de shunt, le drainage veineux.

L'alimentation artérielle provient des branches durales de l'artère carotide interne (ICA), de l'artère carotide externe (ECA) ou de l'artère vertébrale (AV). Le point de shunt artério-veineux est par définition localisé au sein des feuillets de la dure mère. Le drainage veineux s'effectue via les sinus veineux, dédoublement de feuillet de la dure mère, et/ou dans des veines corticales ou périmédullaires.

Les dAVF peuvent se développer à n'importe quel endroit au sein de la dure mère.

Les localisations les plus communes sont (figure 1) ³ :

- le sinus transverse et sigmoïde (environ 38%), avec une prédominance pour le côté gauche ⁴
- le sinus caverneux (environ 35%)
- la tente du cervelet et le sinus pétreux supérieur (environ 5%)
- le sinus longitudinal supérieur (environ 5%)
- la fosse cérébrale antérieure (environ 5%)
- le canal hypoglosse (environ 3-4%)

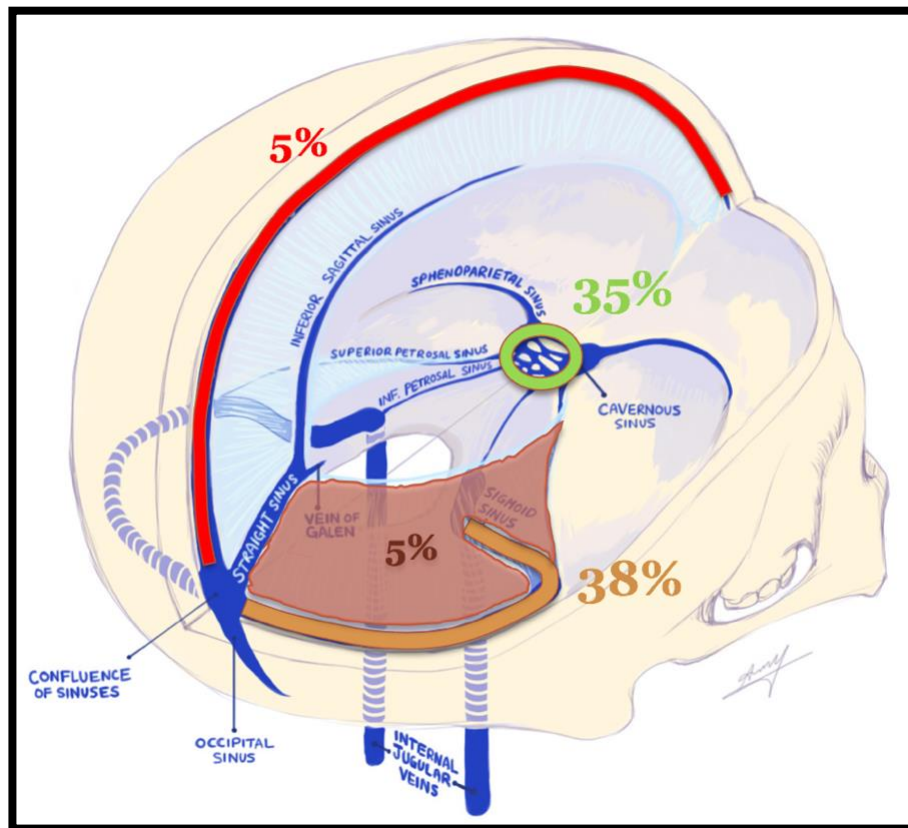


FIGURE 1 : LOCALISATIONS DES dAVF INTRACRANIENNES, D'APRES HARRIGAN ET DEVEIKI 3

Les dAVF sont des pathologies dynamiques. Dans une étude analysant les données de 112 patients porteurs de fistules non traitées, 12,5 % présentaient une occlusion spontanée de la fistule (principalement localisées au niveau du sinus transverse et caverneux) et 4 % une conversion d'une fistule bénigne vers une fistule à risque hémorragique ⁵.

Par ailleurs, tous types de fistule confondus, le risque annuel d'hémorragie chez les patients porteurs d'une fistule est de 1,8 %, avec un taux de mortalité estimé à 20 % en cas d'hémorragie. Toutefois, l'histoire naturelle d'une fistule dépend de son schéma de drainage veineux ⁶.

Epidémiologie

Bien qu'elles puissent être présentes à tout âge, l'âge moyen de découverte est compris entre 50 et 60 ans ¹. Le sex ratio femme/homme varie selon les localisations et les symptômes. Les femmes présentent plus souvent des fistules durales bénignes alors que les hommes présentent plus souvent des dAVF avec un drainage veineux cortical ³. 85 % des dAVF caverneuses et 58 % des dAVF du sinus transverse touchent des femmes, contre seulement 38 % concernant les autres localisations ⁷. De même, dans la série de 205 patients décrite par Cognard et al., la présence de symptômes neurologiques agressifs était notée chez 29 % de la population féminine de l'étude contre 56,5 % chez les hommes.

Les dAVF sont considérées comme relativement rares et c'est pour cette raison que leur prévalence est estimée par leur fréquence par rapport aux malformations artério-veineuses intracrâniennes (MAV). Ainsi, on estime qu'entre 10 à 15% des malformations vasculaires intracrâniennes sont des dAVF, variant de 6 % en région supra-tentorielle à 35 % en région infra-tentorielle ⁸.

Dans une étude réalisée parmi la population écossaise, l'incidence des dAVF chez les adultes était 0,16 pour 100 000 par an. Dans la même population, l'incidence des malformations artério-veineuses, était de 1,12 pour 100 000 par an, soit une incidence relative d'environ 12,5 % ¹. Chez 6,7 % des patients présentant une dAVF, une autre localisation fistuleuse était retrouvée ⁹. Une large proportion des dAVF demeurent toutefois silencieuses et certaines involuent spontanément, pouvant donc minorer la prévalence de la pathologie (Luciani et al., 2001).

Nous n'étudierons pas les dAVF de l'enfant dans ce travail.

Etiologie

L'étiologie des dAVF n'est pas univoque. En dehors des fistules acquises après un traumatisme, l'hypothèse d'une pathologie acquise est la plus communément admise, basée sur un déroulement en trois temps ³ (Figure 2):

- 1- La survenue d'une thrombophlébite d'un sinus dural, possiblement combinée à d'autres facteurs gênant le flux veineux (sténose d'un sinus, granulations...)¹⁰
- 2- Puis, de minuscules shunts artério-veineux existant à l'état normal au sein de la dure-mère se majorent. Ces derniers relient le vasa vasorum à de mini effluents veineux. Ce processus peut être lié à l'augmentation de la pression dans le système veineux, à la réponse inflammatoire liée à la thrombose et / ou à l'expression de facteurs angiogéniques. Par ailleurs, la dure-mère est aussi le siège d'un important réseau anastomotique entre les artères méningées, ce qui explique pourquoi une dAVF apparemment uniquement alimentée par l'ACE peut aussi être alimentée par des branches issues de l'ACI.
- 3- Enfin, la repermeabilisation du sinus a lieu et les fistules peuvent ou non se tarir. Néanmoins, s'il persiste une occlusion importante, le flux artériel est dérivé vers les veines sous arachnoïdiennes.

Il faut aussi noter que des facteurs angiogéniques comme le vascular endothelial growth facteur (VEGF) ou le fibroblast growth factor (FGF) sont exprimés dans les fistules ¹¹. Cela corrobore l'hypothèse d'un facteur déclenchant stimulant l'angiogénèse.

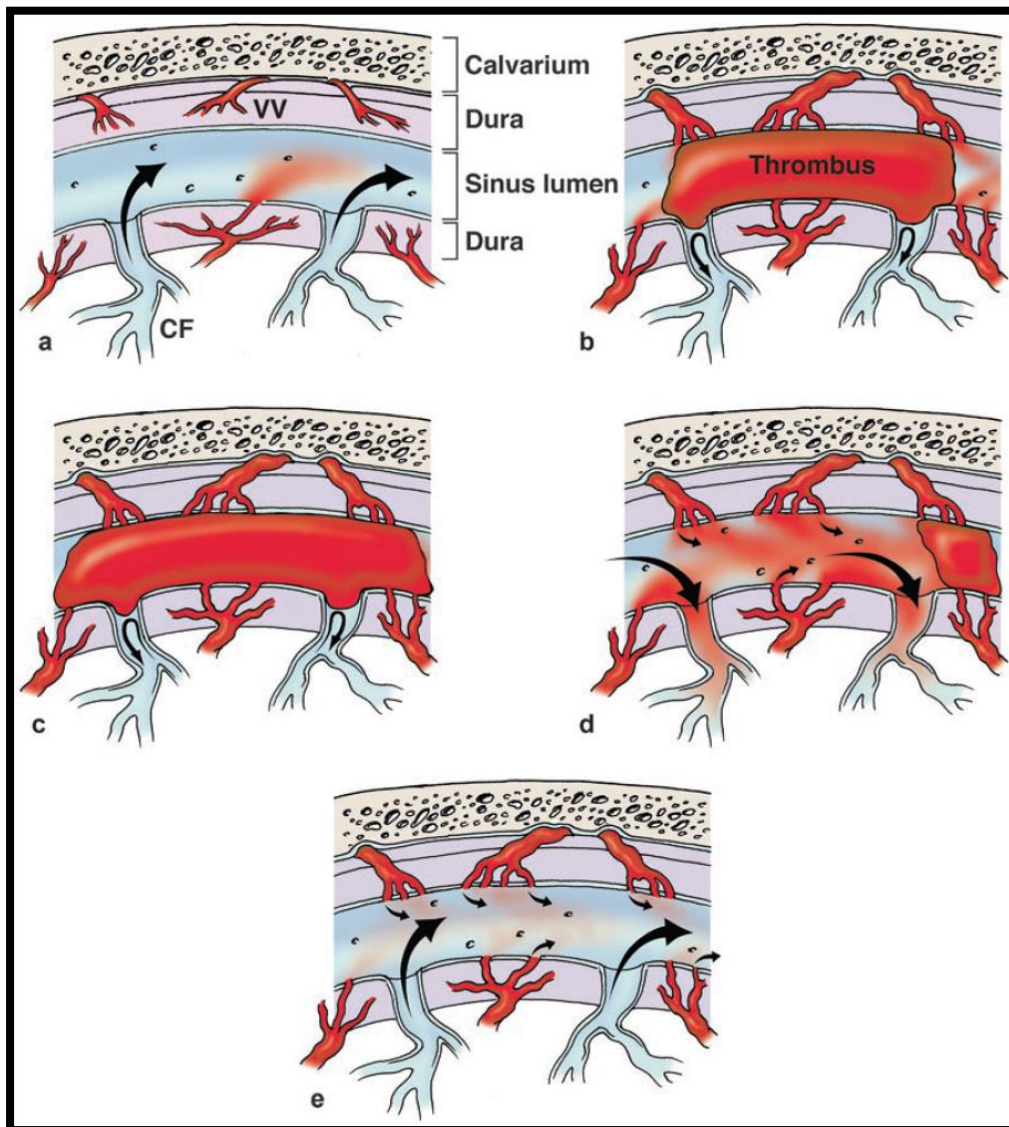


FIGURE 2 : ETAPES DE LA FORMATION D'UNE DAVF D'APRES D'HARRIGAN ET DEVEIKIS ³

(A) ANATOMIE NORMALE D'UN SINUS VEINEUX. (B) ETAPE 1. THROMBOSE D'UN SINUS VEINEUX CONDUISANT A UNE DIVERSION ANTI-PHYSIOLOGIQUE DU FLUX DANS LES VEINES SE DRAINANT DANS LE SINUS. (C) ETAPE 2. LA THROMBOSE DU SINUS FAVORISE LE DEVELOPPEMENT DES CONNECTIONS ENTRE LES VASA VASORUM ET LES FISTULES ENTRE LES VASA VASORUM ET LES ARTERES VOISINES DE LA PAROI DU SINUS. (D) ETAPE 3- LA RECANALISATION INCOMPLETE DU SINUS CONDUIT A LA DEVIATION DU FLUX ARTERIEL VERS LES VEINES SOUS ARACHNOÏDIENNES. (E) ETAPE 3- LA RECANALISATION COMPLETE DU SINUS A LIEU ET LE FLUX VEINEUX DU SINUS EST RETABLI. LES DAVF PEUVENT OU NON CONTINUER A ETRE PERMEABLES.

Classification

Deux systèmes de classifications des dAVF sont couramment utilisés, basés sur le type de drainage de la fistule. Chacune d'entre elles est validée pour prédire le risque d'hémorragie intracrânienne.

La classification de Lariboisière (Figure 3) ⁷

- 1- Type I : dAVF se drainant au sein d'un sinus veineux avec un flux antérograde normal
- 2- Type II : dAVF présentant un reflux :
 - Type II a : au sein d'un sinus veineux
 - Type II b : seulement au sein de veines corticales
 - Type II a+b : au sein d'un sinus veineux et de veines corticales
- 3- Type III : dAVF se drainant directement dans des veines sous arachnoïdiennes sans ectasie, avec un risque d'hémorragie intracrânienne de 10-20%
- 4- Type IV : dAVF se drainant directement dans des veines sous arachnoïdiennes présentant des ectasies de plus de 5 mm de diamètre et trois fois plus volumineuses que la veine de drainage, avec un risque d'hémorragie intracrânienne de 40 %
- 5- Type V : dAVF se drainant dans les plexus péri-médullaires, avec un risque de myélopathie dû à l'hyperpression des plexus veineux péri-médullaires

La classification de Borden (Figure 4) ¹²

- 1- Type I : dAVF se drainant directement dans un sinus veineux
- 2- Type II : dAVF se drainant dans un sinus avec un reflux dans les veines sous arachnoïdiennes
- 3- Type III : dAVF se drainant directement dans les veines sous arachnoïdiennes

Les variations a et b indiquent respectivement la présence d'un ou de plusieurs shunt.

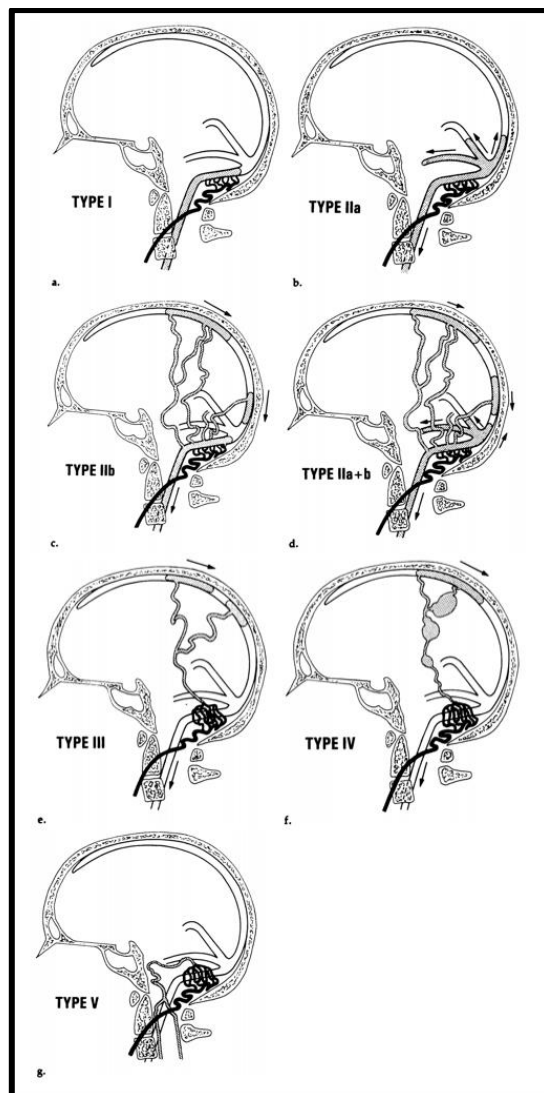


FIGURE 3 : CLASSIFICATION DE LARIBOISIERE ⁷

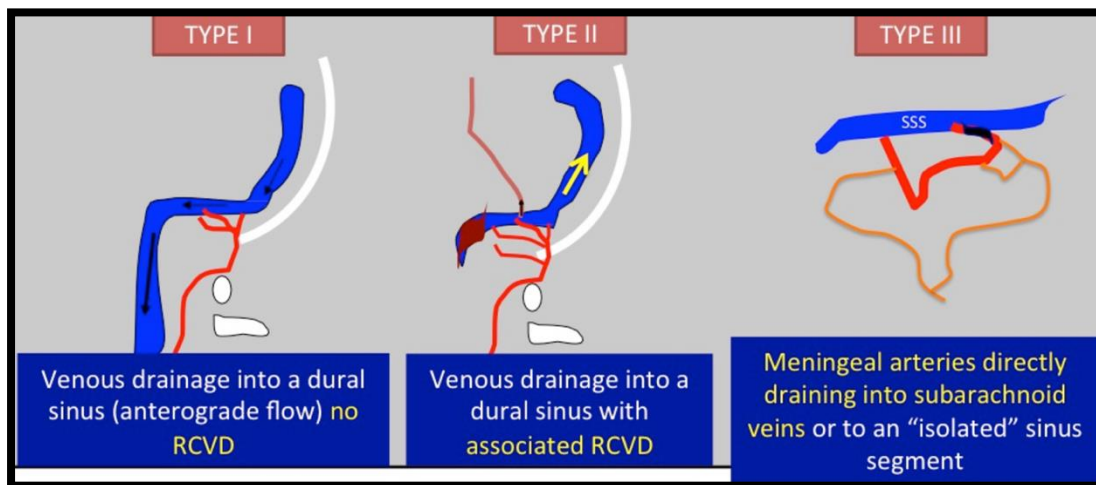


FIGURE 4 : CLASSIFICATION DE BORDEN ¹³

Les correspondances entre les deux systèmes de classification sont décrites dans le tableau 1.

Lariboisière	Borden
I	I
IIa	I
IIb	II
II a+b	II
III	III
IV	III

TABLEAU 1 : CORRESPONDANCE ENTRE LES CLASSIFICATIONS DE LARIBOISIÈRE ET DE BORDEN

Symptômes cliniques

A l'exception des symptômes en rapport avec une atteinte des nerfs crâniens, les symptômes présentés par les patients porteurs d'une dAVF sont majoritairement liés au territoire du drainage veineux et non au point de shunt ni aux afférences artérielles. On peut distinguer deux groupes de symptômes : les symptômes dits généralisés en rapport avec une mauvaise résorption du liquide céphalo-rachidien (hydrocéphalie, démence, syndrome parkinsonien, myélopathie) et les symptômes focaux liés au drainage veineux cortical (épilepsie, parésie, aphasie) ¹⁴.

Les symptômes cliniques en rapport avec les dAVF peuvent aussi être divisés en deux catégories : ceux directement en rapport avec la pathologie fistuleuse et le shunt artério-veineux et ceux en rapport avec une complication hémorragique. Nous aborderons ici les complications hémorragiques via la rupture veineuse.

Symptômes en rapport avec les efférences veineuses : l'hyperpression veineuse

Le système veineux intracrânien ne comporte pas de valve uni-directionnelle anti-reflux au contraire du système veineux périphérique. Ainsi, des pressions élevées peuvent être transmises au système veineux. La présentation clinique des symptômes dépend donc du drainage veineux ¹⁴.

Ainsi, ont pu être observés :

- des démences progressives ¹⁴, dues à l'engorgement du parenchyme cérébral
- des hydrocéphalies ¹⁴ par trouble de la résorption du LCR ou par compression extrinsèque du système ventriculaire
- des démences bi thalamiques en rapport avec une surcharge du drainage veineux au niveau de la veine de Galien ¹⁵ (figure 5)
- des syndromes parkinsoniens en rapport avec une surcharge du drainage veineux des ganglions de la base ¹⁶

- des myélopathies cervicales en rapport avec une surcharge du drainage veineux pérимédullaire ¹⁷

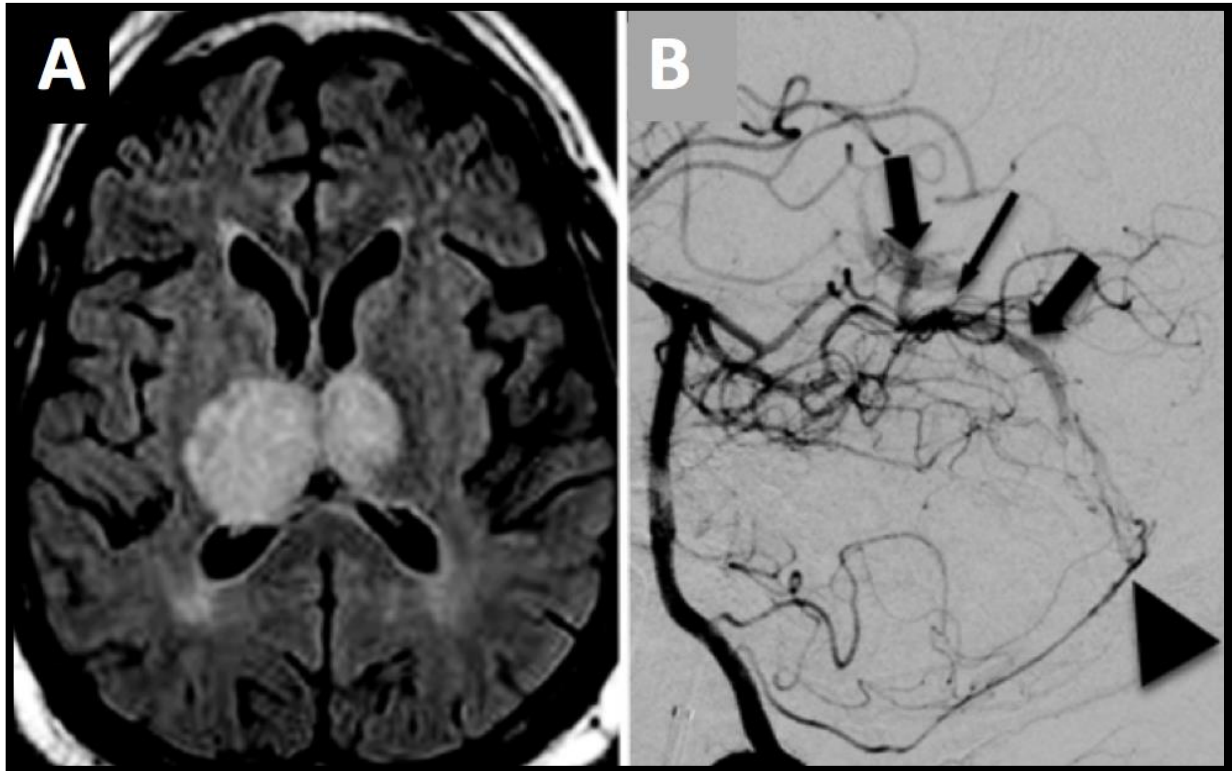


FIGURE 5 : DEMENCE BI THALAMIQUE EN RAPPORT AVEC UNE SURCHARGE DU DRAINAGE VEINEUX, D'APRES HOLEKAMP ET AL. ¹⁵

- A- SEQUENCE AXIALE PONDEREE EN FLAIR METTANT EN EVIDENCE UN ŒDEME BI-THALAMIQUE
- B- ANGIOGRAPHIE DE PROFIL INJECTEE PAR L'AV DROITE METTANT EN EVIDENCE UNE DAVF DE TYPE III (FLECHE ETROITE), ALIMENTEE PAR UNE BRANCHE MENINGEE POSTERIEURE ISSUE DE L'AV (TETE DE FLECHE) ET DRAINEE PAR UNE VEINE VERMIENNE DILATEE, REFLUANT VIA LA VEINE DE GALIEN DANS LES VEINES CEREBRALES INTERNES (FLECHES LARGES)

Les mécanismes de l'hyperpression veineuse sont multiples et présentés ci dessous.

Augmentation du flux veineux

Les acouphènes pulsatiles sont le symptôme le plus fréquent en rapport avec l'artérialisation du flux veineux, présents chez environ 60% des patients présentant principalement des dAVF du sinus transverse ou sigmoïde ⁶. Ce symptôme survient lorsque le drainage implique un sinus directement au contact de l'os pétreux.

L'augmentation chronique du flux veineux au niveau du sinus longitudinal supérieur peut être responsable d'une augmentation de la pression intracrânienne et entraîner une hydrocéphalie communicante. Deux hypothèses sont avancées pour expliquer ces symptômes : un défaut chronique de résorption du LCR d'une part, et la survenue répétée de minimes hémorragies sous arachnoïdiennes responsables d'une réaction méningée ¹⁸.

Enfin, l'augmentation du flux veineux peut entraîner une augmentation de la pression veineuse et ainsi une congestion veineuse responsable de symptômes neurologiques focaux (aphasie, épilepsie, parésie) ou généraux.

Thrombose veineuse

La survenue d'une thrombose veineuse participe aussi à l'augmentation de la pression veineuse en gênant le retour veineux. De plus, la survenue d'une thrombose veineuse peut aussi modifier les voies de drainage de la fistule, ce qui modifiera ses manifestations cliniques en fonction du nouveau schéma de drainage. Enfin, selon sa localisation, la thrombose veineuse peut aussi être responsable d'un effet de masse et d'une compression mécanique d'une structure adjacente.

Ischémie veineuse

Le reflux au sein de veines leptoméningées entraîne une augmentation de pression dans cette veine et diminue le gradient artérioveineux parenchymateux entraînant donc une « ischémie chronique » d'origine veineuse.

Effet de masse

L'augmentation du flux veineux peut entraîner la constitution de lac veineux pouvant entraîner un effet de masse focal et comprimer les structures adjacentes.

Rupture veineuse

Environ 6,4 % des hémorragies intracrâniennes en rapport avec une malformation vasculaire (MAV, cavernomes, dAVF) sont liées à la rupture d'une dAVF. L'analyse histologique de la paroi veineuse réalisée par Hamada et al., montre des lésions dégénératives avec amincissement et irrégularités médiales et intimes, modification des cellules musculaires lisses et disparition de la limitante élastique interne dans les zones anévrismales, expliquant leur rupture ¹⁹.

Le taux de mortalité en rapport avec ces hémorragies est d'environ 20 % ⁶. Obrador et al., rapportent que 20 % des dAVF sont associées à un saignement intracrânien, sans distinction selon le drainage ²⁰. Ce taux est estimé à 42 % en cas de dAVF se drainant uniquement dans les veines corticales ²¹. On ne retrouve pas d'hémorragie rapportée au niveau de l'espace épidural.

Les facteurs de risque hémorragiques identifiés sont ¹⁴ :

- le drainage leptoméningé
- les ectasies veineuses
- le drainage via le groupe galénique
- la sténose ou l'occlusion d'un sinus
- les localisations au niveau de la fosse antérieure et de la tente du cervelet
-

Symptômes en rapport avec les afférences : vol vasculaire

Les symptômes cliniques en rapport avec le phénomène de vol vasculaire lié à la redirection du flux artériel au niveau de la pathologie fistuleuse sont assez frustrés. En effet, les données angiographiques n'objectivent pas de phénomène de vol. D'une part, l'alimentation de la fistule issue des artères vertébrales et des artères carotides

internes est très limitée en comparaison avec le flux à destination parenchymateuse. D'autre part, les dAVF sont principalement alimentées par des branches dures et non piales. Les branches dures vascularisent les nerfs crâniens. Aussi, le phénomène de vol peut donc être responsable de symptômes en rapport avec une atteinte des nerfs crâniens. Néanmoins, concernant le cas spécifique des fistules carotido-caverneuses, l'atteinte des nerfs crâniens pourraient aussi être liée à la thrombose du sinus ¹⁴.

Particularités des AVF de la fosse postérieure et critères de sélection des AVF étudiées

Dans ce travail, nous étudierons uniquement les dAVF dont le point de shunt est localisé au niveau de la fosse postérieure, c'est à dire au niveau de la tente du cervelet et de la dure mère recouvrant la fosse postérieure ²². Le point de shunt pourra donc être localisé au niveau de la tente du cervelet – bord libre, reste de la tente -, des replis méningés au niveau pétreux, cérébelleux ou du foramen magnum.

Ces fistules sont rares puisque les dAVF de la tente et du foramen magnum ne représentent respectivement qu'environ 4 % et 2 à 4 % des dAVF intracrâniennes ^{23, 24}. De plus, ces fistules sont particulièrement dangereuses étant donnée l'éloquence de leur localisation ^{25, 26}.

Sur la base des symptômes cliniques en rapport avec leur drainage veineux, ces fistules peuvent être divisées en deux entités différentes ²⁶ :

- les dAVF à drainage veineux cortical sous-arachnoïdien, avec un taux de rupture plus important que les autres fistules intra crâniennes
- les dAVF à drainage veineux péri médullaires, responsable de myélopathie

Les fistules dont le point de shunt se trouve au niveau du sinus sigmoïde ou transverse ne seront donc pas abordées dans ce travail. En effet, il s'agit d'une entité différente sur les plans anatomique, clinique et thérapeutique. D'un point de vue anatomique, le shunt des fistules du sinus transverse et sigmoïde se situe au sein d'un dédoublement de feuillet de dure-mère, directement dans un sinus, contrairement aux autres fistules étudiées le shunt se situe directement au sein d'une veine corticale ²¹. De plus, en l'absence de drainage veineux cortical et de symptômes invalidants, ces fistules ne seront pas traitées puisqu'elles ne présentent pas de risque hémorragique.

Imagerie

Artériographie

L'artériographie est l'examen de référence pour le diagnostic d'une dAVF. Toutefois, il s'agit d'un examen invasif uniquement réalisé en cas de forte suspicion clinique ou de signe d'appel sur l'imagerie en coupe. Une étude des six axes (carotides internes et externes, artères vertébrales) doit être réalisée lors de l'artériographie puisque de nombreuses fistules présentent une alimentation multiple et bilatérale ².

L'opacification précoce au temps artériel d'une structure veineuse alimentée directement par des artères méningées permet de poser le diagnostic (figure 7)

Le drainage veineux rétrograde est l'élément le plus important à rechercher, étant directement lié au risque hémorragique, d'autant plus en présence d'un anévrysme veineux ⁷.

La visualisation de veines tortueuses, dilatées et / ou ectasiques est donc à rechercher. Certains auteurs décrivent un drainage veineux « pseudo phlébitique », lié à la congestion veineuse, et défini par la présence de veines tortueuses, serpigineuses ou dilatées sur les images au temps veineux (figure 6) ²⁷.

Il convient d'analyser l'ensemble du drainage veineux cérébral afin de rechercher une thrombose ou une sténose veineuse afin d'anticiper les difficultés prévisibles de la navigation veineuse et d'évaluer la possibilité d'occlusion thérapeutique d'un sinus.



FIGURE 6 : ANGIOGRAPHIE DE PROFIL VIA LA CAROTIDE INTERNE. LES FLECHES NOIRES POINTENT UN DRAINAGE VEINEUX « PSEUDO PHLEBITIQUE », D'APRES WILLINSKY ET AL. ²⁷

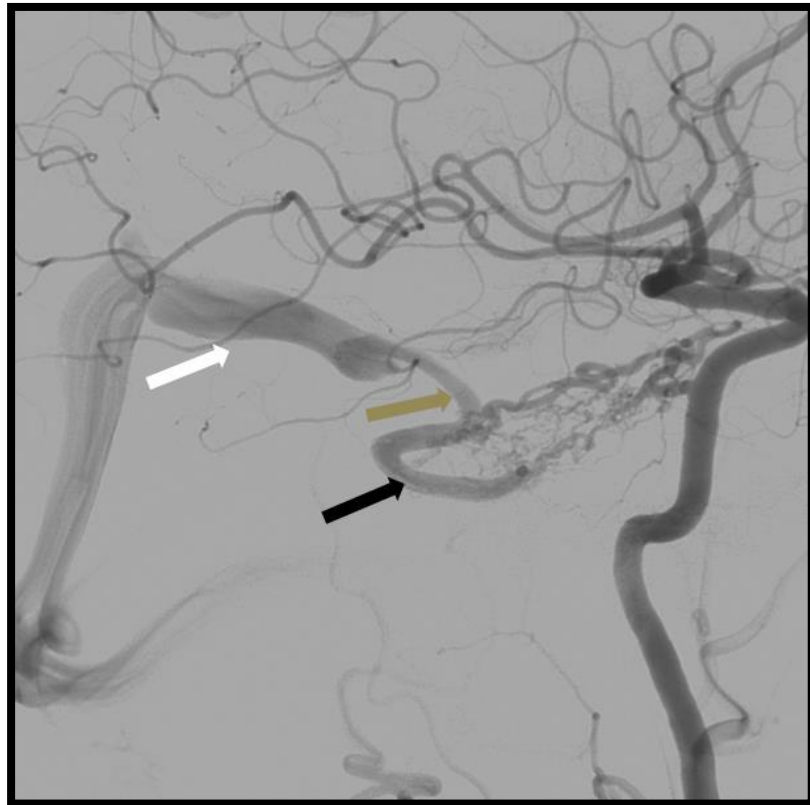


FIGURE 7 : ANGIOGRAPHIE DE FACE VIA LA CAROTIDE INTERNE, AU TEMPS ARTERIEL : SHUNT ARTERIOVEINEUX : OPACIFICATION DE STRUCTURES VEINEUSES AU TEMPS ARTERIEL (FLECHE NOIRE : VEINE LATERO-MESENCEPHALIQUE ; FLECHE BRUNE : VEINE BASALE ; FLECHE BLANCHE ; SINUS DROIT) (REMERCIEMENTS PR MOUNAYER, CHU DE LIMOGES)

IRM et scanner

Le diagnostic de fistule durale peut être difficile à affirmer en IRM et en TDM, d'une part en raison du grand polymorphisme des symptômes cliniques, d'autre part en raison de l'absence ou de la discrétion des anomalies vasculaires ou encore en raison d'anomalies atypiques peu spécifiques. En cas de normalité, l'imagerie par résonance magnétique ne permet donc pas d'exclure formellement la présence d'une fistule et ne permet donc pas de surseoir à la réalisation d'une artériographie cérébrale en cas de suspicion diagnostique ^{28 29}.

Les signes retrouvés sur l'imagerie en coupe peuvent être des signes directs, visualisant les vaisseaux pathologiques ou des signes indirects mettant en évidence les conséquences du shunt.

En IRM, les signes directs pouvant être retrouvés sont (figure 8, 9, 10) :

- TOF: visualisation de structures veineuses sur la séquence en temps de vol en rapport avec une artérialisation des vaisseaux veineux
- AngioMR dynamique: opacification au temps artériel d'une structure veineuse sur les séquences dynamiques
- AngioMR: - surnombre de vaisseaux suggérant la présence d'un drainage veineux cortical
 - structures vasculaires dilatées au niveau de l'espace sous arachnoïdien
- T1 contraste: réhaussements leptoméningés ou périmédullaires
- T2* GRE: augmentation du calibre des hyposignaux veineux traduisant l'existence de veines anormales et dilatées, hypersignal en rapport avec un drainage rétrograde leptoméningé
- T2: vides de signal en rapport avec une dilation des structures veineuses

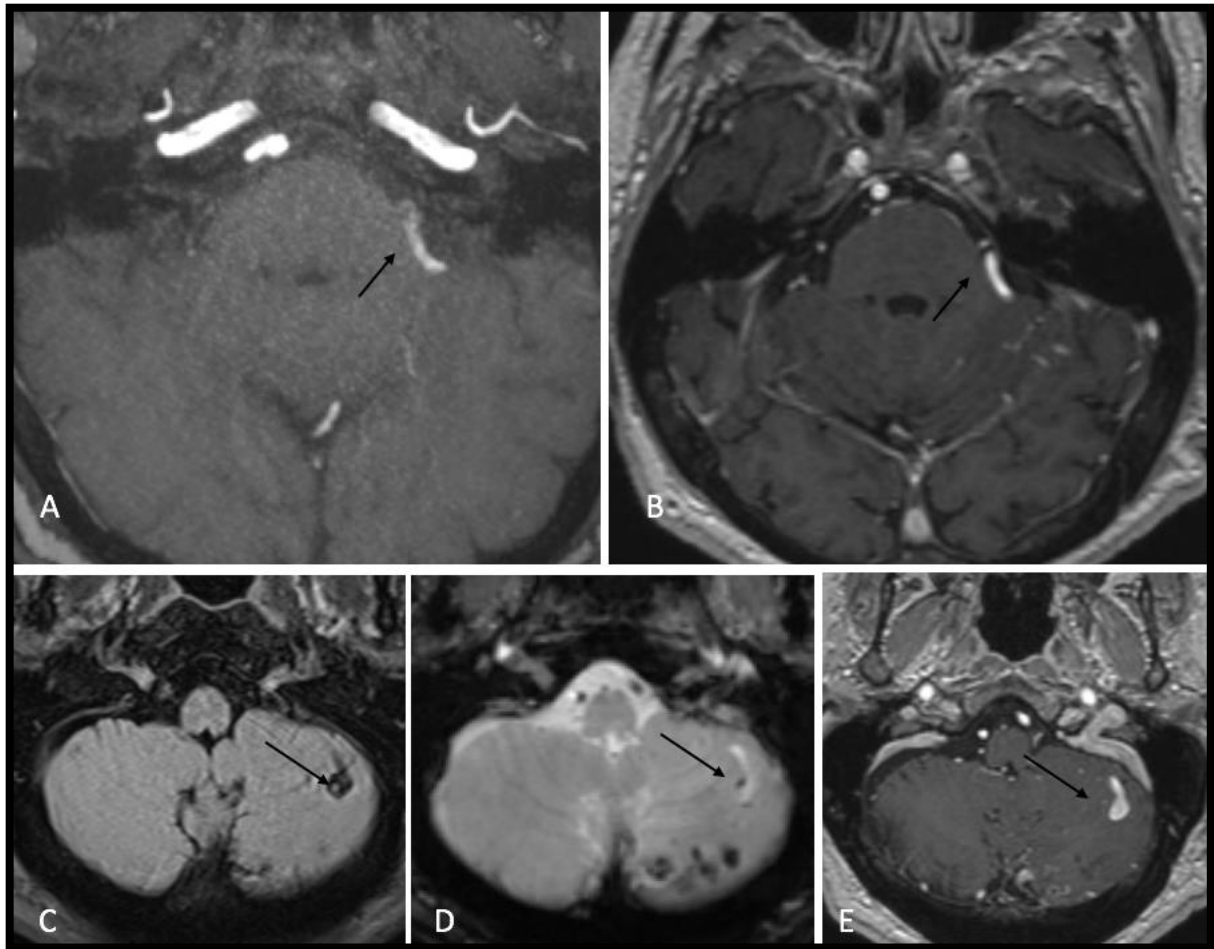


FIGURE 8 : IRM METTANT EN EVIDENCE DES SIGNES DIRECTS ET INDIRECTS DE dAVF. A- TOF ET B- T1 GADOLINIUM : VISUALISATION D'UNE STRUCTURE VEINEUSE LATERO-MESENCÉPHALIQUE (FLECHE) C- FLAIR ET D- T2*GRE ; E-T1 GADOLINIUM : VEINE ARTERIALISÉE DILATÉE ET ANÉVRISMAL (FLECHE) SOUS LA FORME D'UN VIDE DE SIGNAL (C), D'UN HYPOSIGNAL EN RAPPORT AVEC LA DILATATION VEINEUSE ET D'UN HYPERSIGNAL EN RAPPORT AVEC LE DRAINAGE VEINEUX LEPTOMÉNINGE RETROGRADE (D), D'UNE STRUCTURE SE REHAUSSANT (E).

Les signes indirects, en rapport avec la rupture de la fistule ou la congestion veineuse en aval du shunt (figure 8, 9, 10) :

- T2 * GRE – SWI : hyposignal en rapport avec un saignement intra axial ou extra axial
- FLAIR / T2: hypersignal en rapport avec un œdème en cas de congestion veineuse

- DWI : hypersignal avec augmentation de l'ADC en cas de congestion veineuse
- Hydrocéphalie: en cas de trouble de la résorption du LCR en rapport avec l'hyperdrainage veineux et/ou un effet de masse focal par une structure veineuse dilatée ou thrombosée
- Hypersignal T2 intramédullaire en cas de dAVF à drainage périmédullaire

Enfin, une thrombose d'un sinus, facteur favorisant la formation d'une fistule peut aussi être visualisée sur les différentes séquences d'IRM.

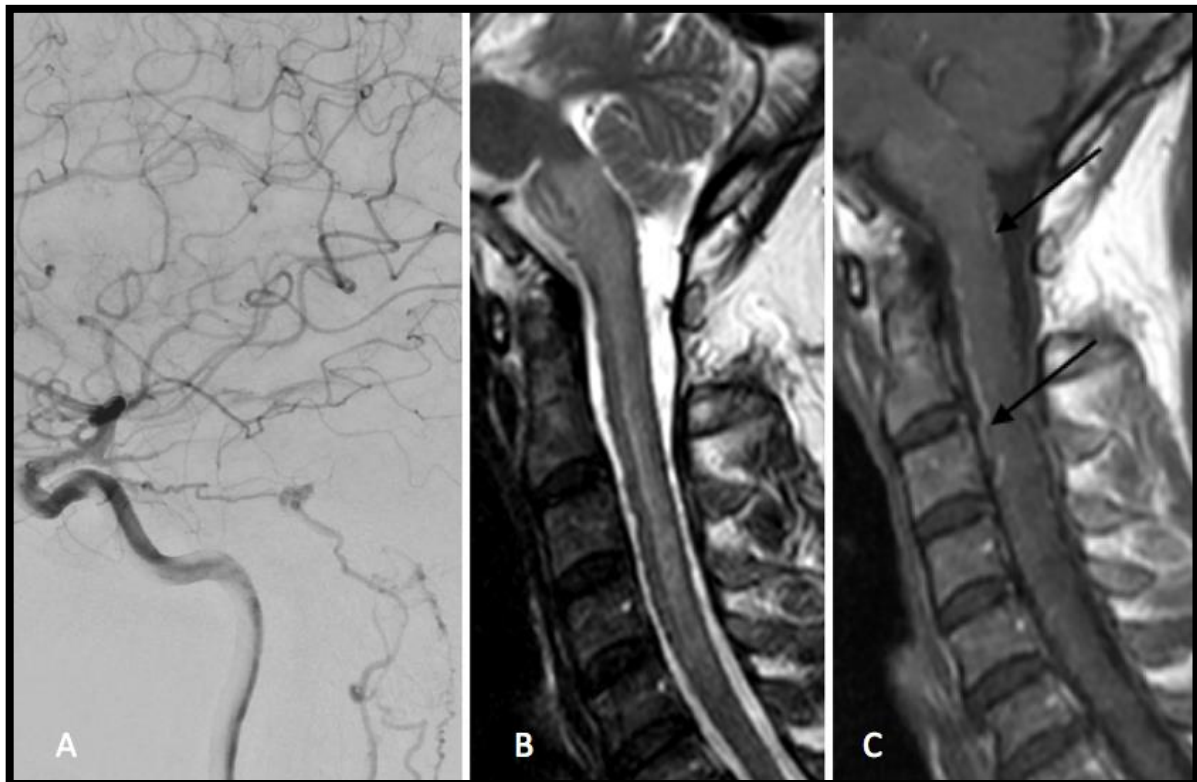


FIGURE 9 : COMPARAISON ANGIOGRAPHIE DE PROFIL – IRM METTANT EN EVIDENCE SIGNES DIRECTS ET INDIRECTS DE DAVF (REMERCIEMENTS AU Pr MOUNAYER) : A- ARTERIOGRAPHIE DE PROFIL : dAVF PETREUSE DROITE : ALIMENTATION VIA LA BRANCHE TENTORIELLE DU MHT ET LA BRANCHE TENTORIELLE DE LA MMA. DRAINAGE VEINEUX PERIMEDULLAIRE. B- T2 SAGITTAL : ŒDEME INTRAMEDULLAIRE (CONGESTION VEINEUSE) C- T1 SAGITTAL GADOLINIUM : REHAUSSEMENT SERPIGINEUX (PLEXUS VEINEUX PERIMEDULLAIRES)

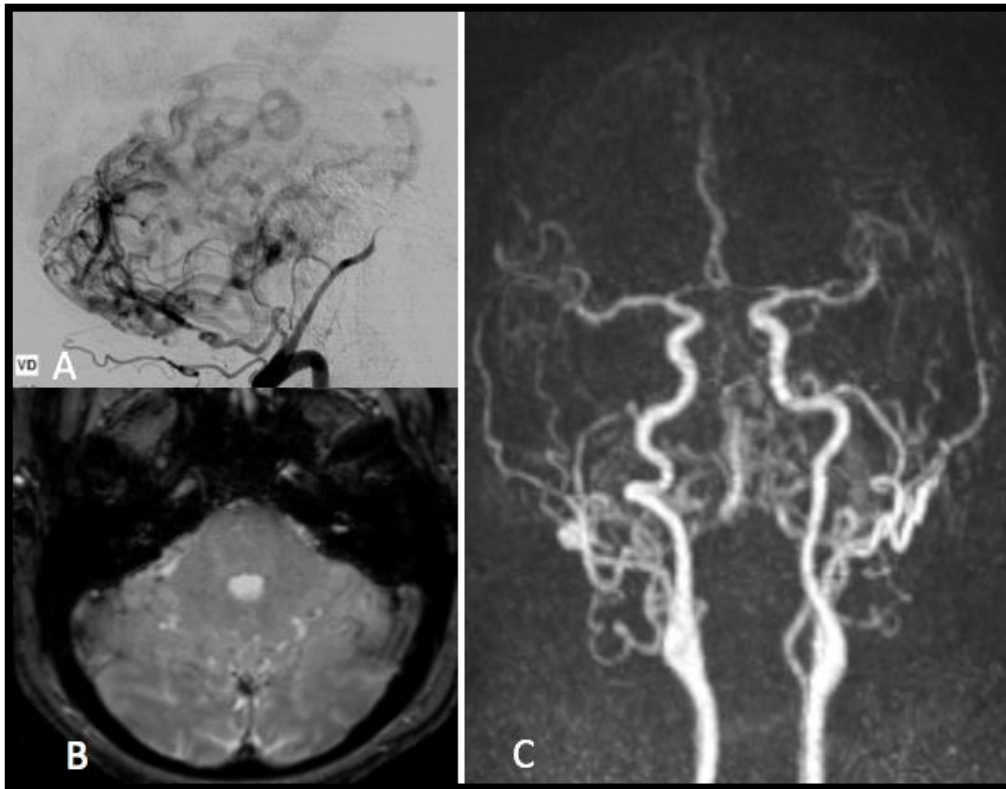


FIGURE 10 : ANGIOGRAPHIE ET IRM METTANT EN EVIDENCE SIGNES DIRECTS ET INDIRECTS DE D'UNE DAVF TENTORIALE DROITE TYPE IV, ALIMENTEE PAR LA BRANCHE MENINGEE DE L'AV, LES TRANSOSSEUSES DE L'AO, LA BRANCHE RECURRENTE DE L'ILT. (REMERCIEMENTS AU PR MOUNAYER) A- ARTERIOGRAPHIE DE PROFIL VIA L'AV DROITE : VISUALISATION PRECOCE DES VEINES CEREBELLEUSES DILATEES B- SEQUENCE SWI : HYPERSIGNAUX TRADUISANT LE DRAINAGE VEINEUX RETROGRADE C : ANGIOIRM DYNAMIQUE : VISUALISATION DE STRUCTURES VEINEUSES AU TEMPS ARTERIEL

En scannographie, l'imagerie sans injection sera le plus souvent normale en l'absence de signe indirect détaillés si dessus (hématome, hémorragie sous arachnoïdienne, œdème, ischémie, hydrocéphalie). Après injection, des artères méningées tortueuses et dilatées peuvent être visualisées, ainsi que des veines de drainages opacifiées au temps artériel fréquemment tortueuses, dilatées ou ectasiques (figure 11).

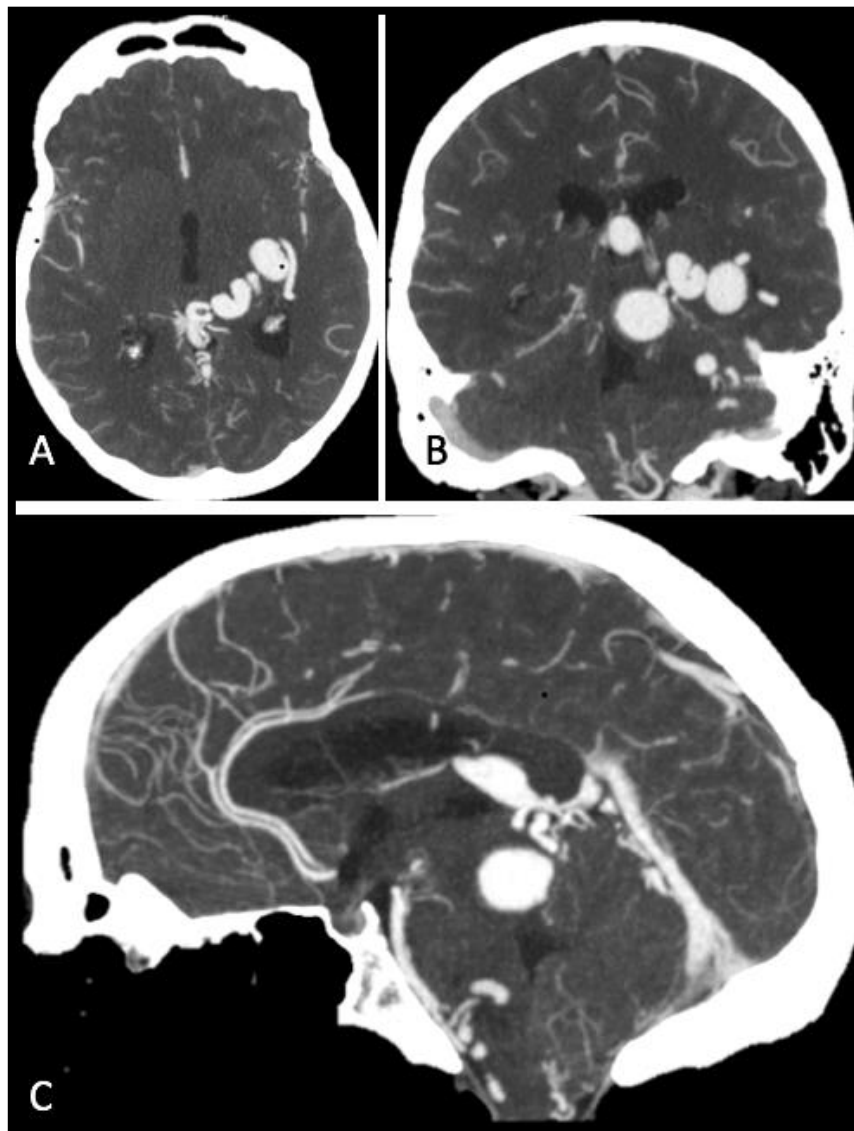


FIGURE 11 : TDM D'UNE DAVF PETREUSE, ACQUISITION AU TEMPS ARTERIEL METTANT EN EVIDENCE DES SIGNES DIRECTS ET INDIRECTS DE SHUNT ARTERIOVEINEUX. A- AXIAL ; B- CORONAL ; C- SAGITTAL. DAVF PETREUSE DE TYPE IV AVEC UN SHUNT AU NIVEAU DE LA VEINE PETREUSE SUPERIEURE ET SE DRAINANT DANS LA VEINE BASALE. COMPRESSION DU 3EME VENTRICULAIRE PAR UNE ECTASIE VEINEUSE RESPONSABLE D'UNE HYDROCEPHALIE

Traitement

Options thérapeutiques existantes et principes de traitement

Plusieurs options thérapeutiques sont possibles afin d'occlure la fistule :

- le traitement conservateur
- le traitement endovasculaire
- la chirurgie
- la radiochirurgie
- la combinaison des traitement endovasculaires, chirurgicaux et/ou radiochirurgicaux

Traitement conservateur

En effet, l'abstention thérapeutique, avec ou sans surveillance, par imagerie est envisageable uniquement pour les dAVF sans drainage veineux cortical et sans symptôme clinique invalidant. De plus, certaines fistules, principalement caverneuses ou du sinus sigmoïde ou transverse, peuvent se thromboser spontanément ⁵. Le traitement par compression manuelle intermittente de la principale artère afférente est rare mais a néanmoins montré son efficacité dans certains cas concernant ce type de dAVF ³⁰.

L'abstention thérapeutique n'est pas envisageable pour les dAVF de la fosse postérieure puisque ces dernières sont définies par la présence systématique d'un drainage veineux sous-arachnoïdien.

Traitement endovasculaire

La pierre angulaire du traitement endovasculaire est l'occlusion du pied de la veine de drainage. L'occlusion du pied de veine peut être réalisée par voie artérielle, veineuse

ou combinée. Le choix du type d'approche endovasculaire est réalisé en fonction de l'anatomie vasculaire de la fistule et de l'opérateur. Le taux d'occlusion d'une dAVF après traitement endovasculaire varie énormément en fonction de la localisation de la lésion (zone éloquente ou non), de la difficulté et du risque de la navigation artérielle et veineuse, de l'opérateur. De plus, certaines dAVF requièrent plusieurs sessions d'embolisation ou un complément thérapeutique par voie chirurgicale. Une série récente de 17 patients présentant une dAVF avec un drainage veineux cortical et traités à l'aide de NAEL, rapporte un taux d'occlusion de 94 % à l'issue du traitement endovasculaire en une session avec un taux de complications cliniques de 5.8 % ³¹. Aucune recanalisation n'était notée lors du suivi.

Agents emboliques

L'occlusion du pied de veine peut être réalisée à l'aide de spirales de platine et/ou d'agents emboliques liquides, adhésifs (AEL) ou non adhésifs (NAEL). Les concentrations des agents emboliques varient, faisant ainsi varier leur vitesse de migration, permettant à l'opérateur d'ajuster la concentration de l'agent selon l'anatomie de la fistule et le positionnement du microcathéter.

Les NAEL les plus fréquemment utilisés sont : l'Onyx (Covidien, Irvine, CA, USA) ou le Squid (Emboflue, Switzerland) - un mélange d'éthylène-vinyl-alcool, DMSO (diméthyl sulfoxyde) et de poudre de tantale – ou le PHIL (Microvention, Tustin, CA, USA) - Precipitating Hydrophobic Injectable Liquid composé d'un copolymère non adhésif (polyactide-co-glycolide et polyhydroxyéthylmethacrylate) dissous dans du DMSO avec un composant iodé. L'AEL utilisé est le Glubran (GEM, Viareggio, Italy) - n-butyl-cyanoacrylate-.

Approche veineuse

L'approche veineuse est notamment réalisable en cas de fistules de type I et II, permettant une navigation aisée et moins risquée au sein d'un sinus veineux que d'une veine leptoméningée de résistance moindre. Elle est souvent efficace car elle permet

l'occlusion des communications artério-veineuses en aval des anastomoses artérielles qui souvent réinjectent les communications artério-veineuses lorsque l'embolisation est réalisée par voie artérielle. Elle permet en outre en effet de s'affranchir de certains risques liés à l'embolisation artérielle : ischémie des nerfs crâniens, embolisation erratique dans des territoires cérébraux par ouverture d'anastomose.

L'occlusion peut être réalisée à l'aide de spirales de platine déployées sein du sinus, associées ou non à un agent embolique liquide ². Il s'agit de l'approche la plus souvent privilégiée pour les fistules du sinus sigmoïde, transverse ou caverneux. L'étude du drainage veineux du parenchyme cérébral est impérative avant l'occlusion d'une structure veineuse afin d'éviter une hyperpression veineuse, un infarctus veineux ou un sur-risque de saignement après l'embolisation, d'autant plus qu'une pathologie sinusienne thrombotique peut être préalablement présente ³². Ainsi, en cas de sinus pathologique, suspendu, et ne drainant plus le parenchyme sain, l'occlusion complète du sinus peut être envisagée. Par ailleurs, Caragine et al., rapportent l'existence chez certains patients, d'un sinus parallèle au sinus normal- transverse ou sigmoïde-, au sein duquel se drainent les vaisseaux afférents de la fistule, et ne participant donc pas au drainage normal bien que communiquant avec le sinus transverse ou sigmoïde. Aussi, ce sinus parallèle peut être occlus en limitant les risques liés à une perturbation du drainage veineux du parenchyme sain ³³.

Toutefois, il faut noter que le point de shunt des fistules de la fosse postérieure est par définition localisé au sein d'une veine sous arachnoïdienne et non au sein d'un sinus. L'approche veineuse est alors de réalisation technique plus compliquée en rapport avec la tortuosité des veines et leur calibre étroit en cas de drainage intracrânien infratentorial ou non réalisable en cas de drainage péri médullaire.

Approche artérielle

Bien que la cible thérapeutique des dAVF soit le pied de veine, l'approche artérielle est envisageable. Sa réussite dépend du positionnement du microcathéter qui doit être positionné au plus près du point de shunt afin de permettre au matériel embolique d'atteindre le pied de veine. En effet, si les artères afférentes sont occluses sans occlusion de la veine de drainage, les vaisseaux collatéraux au point de shunt seront

recrutés et se développeront pour réalimenter le pied de veine de la fistule, entraînant une récurrence de la dAVF et possiblement une augmentation du risque hémorragique. Par ailleurs, le risque majeur de l'approche artérielle est ischémique : ischémie des nerfs crâniens, embolisation erratique de territoires cérébraux par ouverture d'anastomoses, reflux du liquide embolique sur le cathéter. Aussi, le cathétérisme de l'artère méningée moyenne est souvent favorisé afin de limiter le risque d'ischémie parenchymateuse en cas de reflux. De plus, son trajet est souvent relativement peu tortueux, permettant un positionnement distal du microcathéter.

Approche combinée

Les approches combinées artérielle + veineuse sont par ailleurs envisageables dans plusieurs cas. D'une part, afin de préserver le sinus d'une embolisation risquée, un ballon d'occlusion peut être gonflé dans le sinus au moment de l'injection par voie artérielle de l'agent embolique ³². D'autre part, en cas d'insuffisance de traitement par voie artérielle, un complément d'embolisation peut être envisagé par voie veineuse afin d'occlure le pied de veine.

Traitement chirurgical

Le traitement chirurgical des dAVF est souvent préféré pour les dAVF de l'étage antérieure ou du sinus longitudinal supérieur ³⁴.

La résection de la fistule n'est pas systématiquement nécessaire : l'occlusion de la fistule peut être obtenue par dissection de la veine artérialisée et coagulation à son point d'entrée dans l'espace sous arachnoïdien lorsque l'anatomie est favorable ³⁵. La voie d'abord chirurgicale dépendra de la localisation de la veine de drainage. En outre, l'embolisation pré chirurgicale peut dans certains cas faciliter la chirurgie ^{25, 36}. D'autres techniques hybrides, associant embolisation et chirurgie ont été décrites incluant notamment l'exposition chirurgicale du vaisseau à ponctionner ³⁷. Plusieurs séries rapportent un taux d'occlusion de 100% avec néanmoins un taux de morbidité de 10% en cas de technique combinée par embolisation première et chirurgie ³⁴. Du fait de

l'hétérogénéité des traitements, combinés ou non, et de série de petite taille, l'estimation du taux d'occlusion est difficile. De même, la rareté de la pathologie rend le taux de complications difficilement estimable.

Radiochirurgie

La radiochirurgie est possible mais peu proposée du fait de deux inconvénients principaux : le délai entre sa réalisation et l'occlusion de la fistule et sa moindre efficacité en comparaison avec les autres options thérapeutiques invasives ². Toutefois, en cas d'anatomie défavorable à un traitement chirurgical ou endovasculaire, la radio chirurgie peut être indiquée, d'autant plus que le taux de complication demeure faible. Le taux d'occlusion moyen rapportée dans une revue de la littérature est de 63 %, diminuant à 56 % en cas de drainage veineux cortical et s'élevant à 75 % en l'absence de drainage veineux cortical ³⁸. Les taux de complications étaient relativement faibles, avec un taux d'hémorragie post radiochirurgie de 1.2 %, de survenue d'un nouvel événement neurologique de 1,3 % et un taux de mortalité de 0,3 % ³⁸. Enfin, la radiochirurgie peut aussi être envisagée de manière combinée à l'approche endovasculaire.

Spécificité du traitement pour les fistules de la fosse postérieure

Les fistules de la fosse postérieure sont des lésions agressives, avec un risque hémorragique élevé. L'indication d'une prise en charge thérapeutique est formelle.

Les principes du traitement sont les mêmes que pour l'ensemble des dAVF intracrâniennes et reposent sur l'occlusion complète du pied de veine. Nous aborderons donc dans ce chapitre uniquement les spécificités de leur traitement.

Endovasculaire

Dans la plupart des cas, le drainage veineux leptoméningé est tortueux et non connecté à un sinus, rendant l'embolisation par voie veineuse risqué, difficile ou impossible, comme dans les fistules de type V. Toutefois, certains patients présentent dans certains cas une anatomie veineuse autorisant la navigation en cas d'absence d'accès artériel.

L'embolisation par voie artérielle est donc souvent favorisée lorsque l'extrémité du microcathéter peut être naviguée au plus proche du pied de veine pour permettre à l'agent embolique de l'atteindre tout en limitant le reflux sur l'artère cathétérisée.

Par ordre de fréquence, les branches alimentant les fistules de la tente sont ²⁵ :

- L'artère méningée moyenne
- Le tronc méningo-hypophysaire
- L'artère cérébrale postérieure
- L'artère occipitale
- L'artère méningée postérieure
- L'artère cérébelleuse supérieure

L'artère méningée moyenne est généralement privilégiée lors de l'approche artérielle

du fait d'un trajet peu tortueux et du risque moindre en cas de reflux ³⁹. Néanmoins, certaines dAVF ne sont pas alimentées par l'artère méningée moyenne et des branches issues de l'artère carotide interne et du système vertébro-basilaire peuvent être cathétérisées, avec un risque de reflux symptomatique. Certains auteurs recommandent donc l'utilisation d'un ballon d'occlusion au niveau de l'artère carotide interne afin de stabiliser le microcathéter en place au sein de la branche tentorielle mais aussi d'obtenir un arrêt du flux durant l'injection afin d'augmenter la pénétration et de protéger la carotide interne d'un éventuel reflux de l'agent embolique ⁴⁰. L'agent embolique liquide demeure à la discrétion de l'opérateur, mais des études récentes tendent à montrer un meilleur contrôle du comportement des NAEL, entraînant ainsi une diminution du risque de reflux artériel ³⁹.

Les récentes données de la littérature rapportent des taux élevés d'occlusion par traitement endovasculaire. En effet, dans une série de 18 patients présentant une dAVF de la tente du cervelet à drainage cortical, 94 % des fistules étaient occlues après une session (33.3 %) ou deux sessions (66.7 %) ⁴¹.

Les taux de complications en rapport avec l'embolisation d'une dAVF de la fosse postérieure rapportés dans la littérature varient. En effet, Zhou et al., dans une série de cinq dAVF tentorielles, rapportent une complication (20 %) à type d'ischémie cérébelleuse, Abud et al. un taux de 7.5 % dans une série de 40 patients (18 localisées au niveau de la fosse postérieure, 22 au niveau des sinus transverse ou sigmoïde) ³⁹ alors que Motebojane et al. et Liang et al. ne rapportent aucune complication, respectivement dans une série de douze et de cinq dAVF localisées au niveau du foramen magnum ^{24, 42}.

Les dAVF de la fosse postérieure sont des pathologies rares dont la fréquence des complications opératoires est uniquement estimable à travers les séries de taille très limitées et hétérogènes, dont la comparaison est difficile. On peut le comparer aux taux de complications des traitement des fistules d'autres localisations, dont les taux varient : 5.8 % dans une série de 17 dAVF avec un drainage cortical sans localisation précisée ³¹, 6.7 % dans une série de 30 dAVF avec un drainage cortical sans localisation précisée ⁴³, 14 % ³² dans un groupe de 36 dAVF du sinus latéral de type I-IIb. Ainsi, malgré une localisation particulièrement éloquent, un risque

hémorragique (fragilité des veines leptoméningées en comparaison avec les sinus veineux) et ischémique (navigation artérielle plus fréquente), en théorie plus élevés que ceux concernant l'embolisation des autres types de dAVF, on retrouve un taux de complications opératoires comparables.

Chirurgie

Les fistules de la fosse postérieures présentent souvent un drainage veineux profond rendant difficile l'exposition chirurgicale ⁴⁴. Il peut être envisageable pour les patients présentant une fistule avec une seule veine de drainage dont l'exposition chirurgicale est réalisable ². Dans une série de 31 dAVF de la tente traitées chirurgicalement avec embolisation première, les auteurs rapportent un taux d'occlusion de 94 %, un taux de morbidité immédiate de 13 % et de 0 % au suivi ⁴⁴. Dans une autre série de cinq dAVF traitées par voie chirurgicale unique (deux patients) ou combinée avec un traitement endovasculaire (trois patients), le taux de complication en rapport avec la chirurgie était de 0 % ²⁵.

Radiochirurgie

De rares auteurs ont rapporté des cas de dAVF de la fosse postérieure traitées par radio chirurgie. Koebbe et al rapportent une série de 18 dAVF sur 10 ans, traitées par radiochirurgie seule (44.4 %) ou radiochirurgie et embolisation (66.6 %) ⁴⁵. Seul un patient de la série présentait une fistule de la fosse postérieure à drainage cortical, traité uniquement par radiothérapie, sans complication rapportée. Toutefois, l'épate est décédé avant l'angiographie de contrôle.

Néanmoins, étant donné le délai d'efficacité dans des situations à risque rapide d'hémorragie, le taux d'occlusion assez faible et les risques de lésions sur les structures adjacentes tels que le tronc cérébral ou les nerfs crâniens, la radio chirurgie pour les dAVF de la fosse postérieure n'est habituellement pas recommandée ^{25, 34}.

Il faut toutefois noter que le temps d'hospitalisation et d'arrêt de travail ainsi que les thérapeutiques adjuvantes (antibiothérapie, soins de nursing) et le coût des différentes thérapeutiques ne sont ni détaillés ni comparés.

Anatomie de la fosse postérieure

Artères

Les dAVF sont des shunts artérioveineux anormaux localisés au sein de la dure mère. Le drainage veineux peut se faire dans des sinus, dans des veines ostéodurales, ou de manière rétrograde dans des veines leptoméningées vers des veines corticales cérébrales, cérébelleuses ou périmédullaires.

L'alimentation artérielle est le plus souvent issue des branches durales, moins fréquemment des branches transosseuses, et rarement de branches piales.

Beaucoup de variations dans la vascularisation méningée de la fosse postérieure existent. Nous présenterons ici uniquement les principales branches vascularisant les méninges de la fosse postérieure (figure 12).

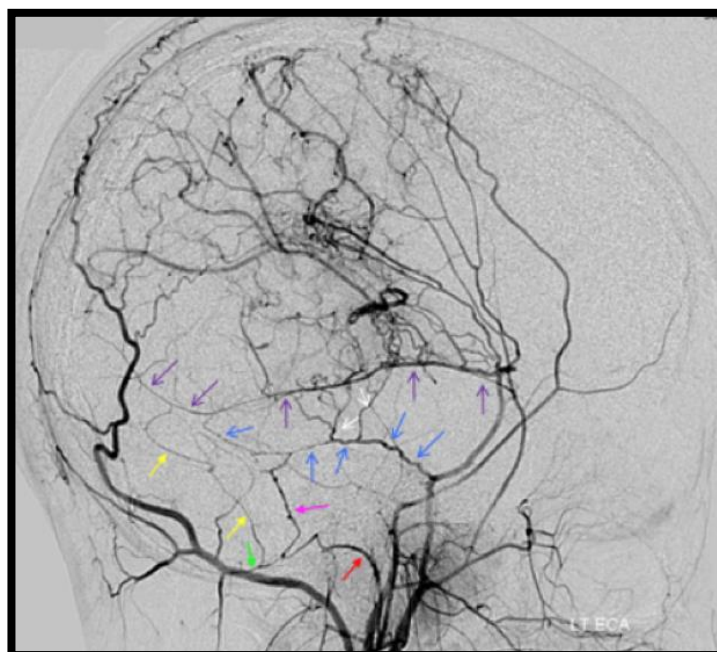


FIGURE 12 : ANGIOGRAPHIE DE PROFIL VIA L'ARTERE CAROTIDE EXTERNE (ECA) PRESENTANT LES PRINCIPALES BRANCHES VASCULARISANT LES MENINGES DE LA FOSSE POSTERIEURE. ROUGE : APA, TRONC NEUROMENINGE ; ROSE : APA, BRANCHE JUGULAIRE ; BLEUE : MMA, BRANCHE TENTORIAELLE ; VIOLET : MMA, BRANCHE PETROSQUAMEUSE ; BLANC : ANASTOMOSES ENTRE LES BRANCHES TENTORIAELLE ET PETROSQUAMEUSE ; VERT : ARTERE OCCIPITALE, BRANCHE MASTOÏDIENNE ; JAUNE : BRANCHE MENINGEE DE L'ARTERE OCCIPITALE. D'APRES NEUROANGIO ⁴⁶

Artère Méningée Moyenne (MMA)

En terme de fréquence, la principale artère afférente des dAVF de la fosse postérieure est la MMA. La MMA naît de l'artère maxillaire interne, branche de l'artère carotide externe, et est la principale artère alimentant la dure mère.

Elle pénètre en intracrânien par le foramen épineux, réalise un angle fermé et se dirige vers l'arrière (figure 13). Elle donne des branches frontales, pétrosquameuses, tentorielles, caverno-ophtalmiques et pariétales. Les branches pétrosquameuses et tentorielles se dirigent vers le sinus sigmoïde et le sinus transverse et participent à la vascularisation de la tente. La branche pétrosquameuse présente de potentielles anastomoses dangereuses avec l'ICA via l'ILT ou le MHT, ou avec l'artère vertébrale (figure 14). Par ailleurs, l'injection d'agent embolique via cette branche doit aussi prendre en compte la vascularisation des nerfs crâniens, risquant d'être atteints en cas d'embolisation trop proximale ou de reflux important.

Il faut aussi noter la présence de branches artérielles, principalement issues de la MMA, vascularisant la paroi des sinus veineux durs, et participant souvent à l'alimentation des dAVF.

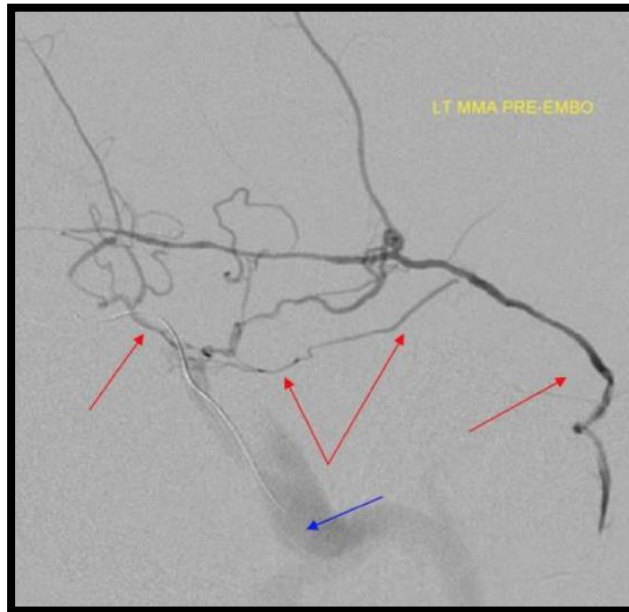


FIGURE 13 : ANGIOGRAPHIE DE PROFIL, INJECTION SELECTIVE VIA LA MMA. DAVF GRADE I : OPACIFICATION PRECOCE DU SINUS SIGMOÏDE (FLECHE BLEUE) VIA LES BRANCHES PETRO SQUAMEUSES DE LA MMA (FLECHES ROUGES). D'APRES NEUROANGIO ⁴⁶

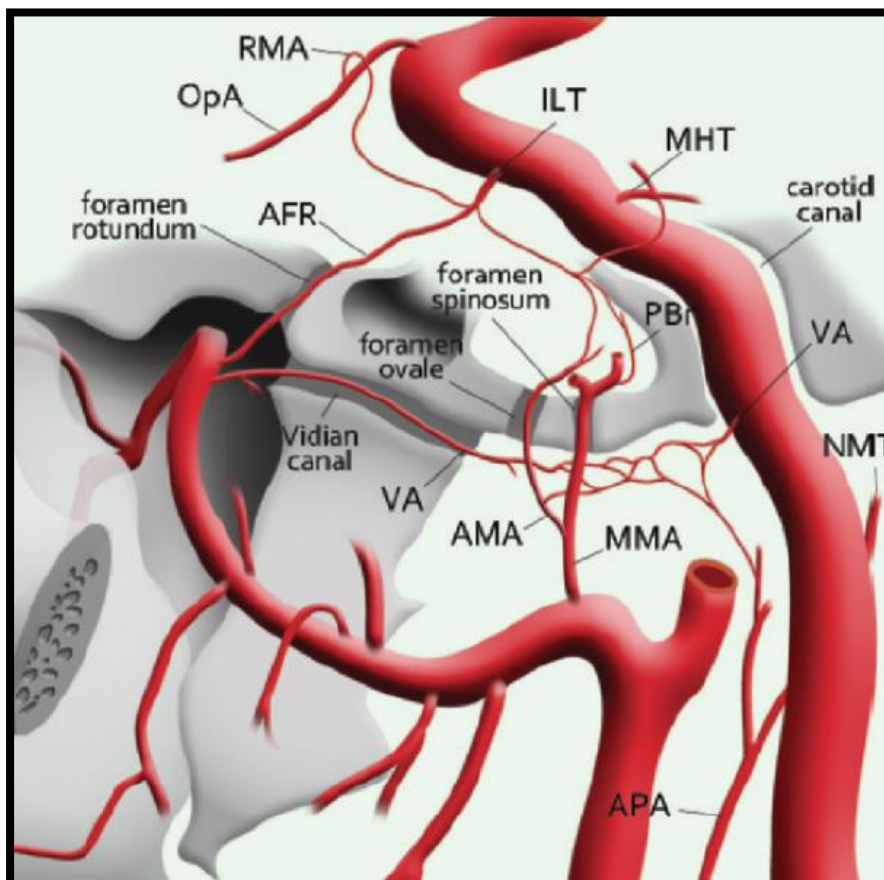


FIGURE 14 : ANASTOMOSES DANGEREUSES POTENTIELLES ISSUES DE LA MMA (PBr : BRANCHE PETROSQUAMEUSE), L'APA (NMT : TRONC NEUROMENINGE) ET L'ICA (ILT ET MLT). D'APRES NEUROANGIO ⁴⁷

Artère Pharyngienne Ascendante (APA)

L'APA naît de l'ACE et réalise un trajet relativement droit, vers le haut, en avant de l'ACE et de manière postéro-médiale par rapport à l'ACI. Généralement, l'APA se divise en deux troncs : en avant le tronc à destination pharyngée, et en arrière le tronc neuroméningé, qui se divise en branches hypoglosses (HBr) et jugulaires (JBr) vascularisant la dure mère bordant le foramen adjacent ainsi que les nerfs crâniens (Figure 15, 16).

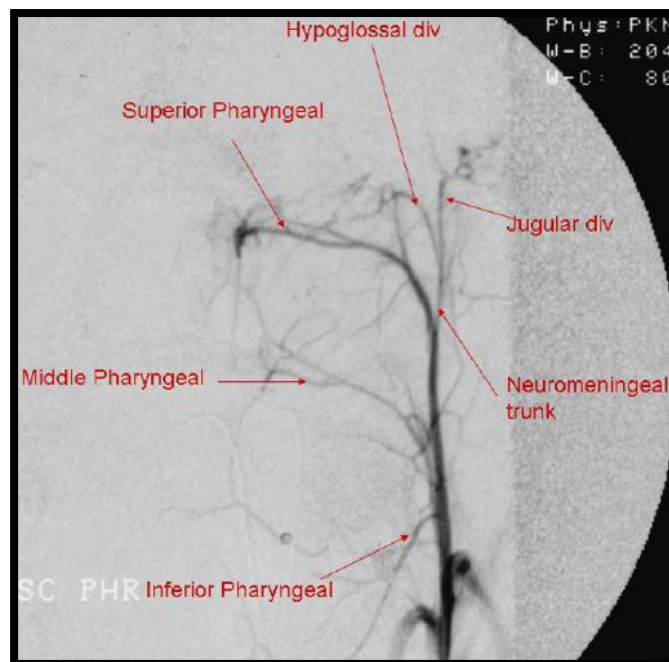


FIGURE 15 : ANGIOGRAPHIE DE FACE, SELECTIVE VIA L'APA. VISUALISATION DES TROIS BRANCHES PHARYNGEES (SUPERIEURE, MOYENNE, INFERIEURE) ET DU TRONC NEUROMENINGE SE DIVISANT EN JBR ET EN HBR. D'APRES NEUROANGIO ⁴⁸

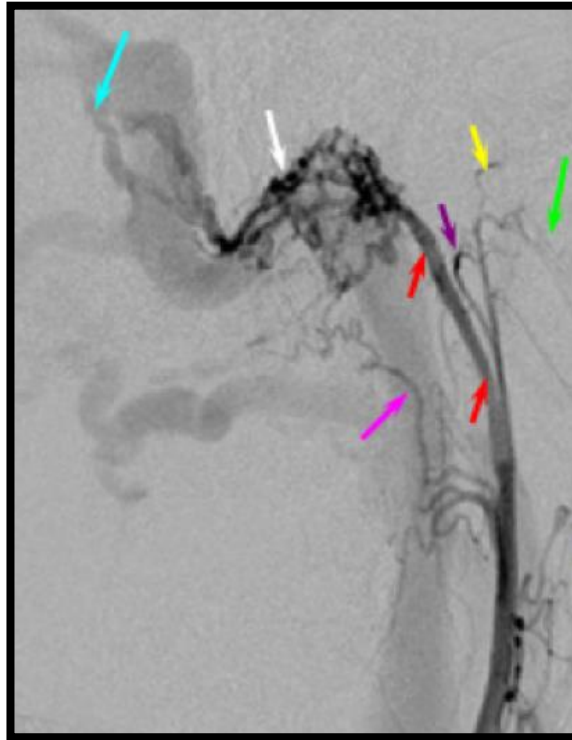


FIGURE 16 : ANGIOGRAPHIE SELECTIVE VIA L'APA, DAVF SIGMOÏDE DE TYPE I. BLEU : POINT DE SHUNT ; ROUGE : TRONC NEUROMENINGE ET JBr ; BLANC : BRANCHE SIGMOÏDIENNE ; JAUNE : HBr ; ROSE : BRANCHES MUSCULO SPINALES ; VERT : BRANCHE PHARYNGIENNE SUPERIEURE ; VIOLET : BRANCHE TYMPANIQUE INFERIEURE. D'APRES NEUROANGIO ⁴⁸

La HBr pénètre dans le foramen hypoglosse et vascularise la XIIème paire crânienne ainsi que la dure mère adjacente. Il existe un riche réseau anastomotique avec le MHT, notamment via des branches clivales, et la MMA.

Au niveau du canal hypoglosse, la branche hypoglosse peut s'anastomoser avec l'arcade odontoïde via les branches musculo spinales. Elle vascularise donc la méninge autour du foramen magnum et du processus odontoïde.

Par ailleurs, la HBr peut donner naissance à une artère de la tente et à une PMA. Son trajet est plus médial que celui de la JBr.

La JBr pénètre dans le foramen jugulaire et vascularise la dure mère adjacente et les IXème, Xème et XIème paires crâniennes. Elle s'anastomose avec des branches de la HBr, de la PMA et des artères de la tente.

Elle empreinte un trajet latéral vers le sinus sigmoïde, où la branche jugulaire pourra s'anastomoser entre autre avec la MMA et des branches transosseuses de l'artère

occipitale. La JBr se termine fréquemment en PMA, qui peut aussi naître de l'artère occipitale ou de l'artère vertébrale (figure 17).

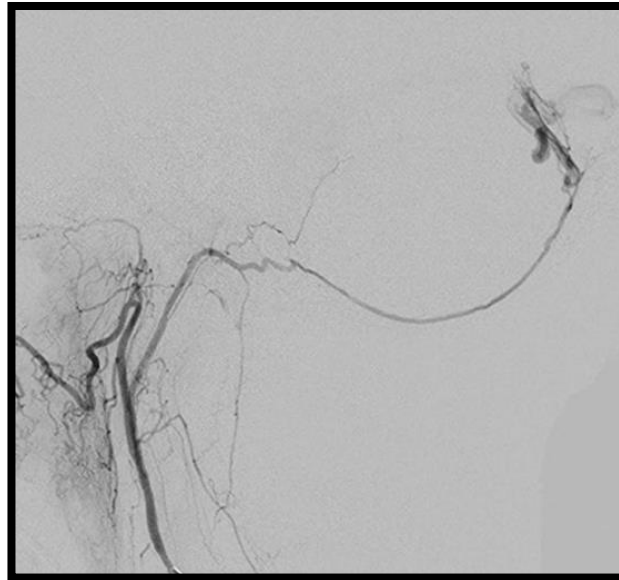


FIGURE 17 : ANGIOGRAPHIE SELECTIVE DE L'APA. INJECTION SUPRA SELECTIVE DE L'APA, VUE DE PROFIL. D'AVF DE LA FOSSE POSTERIEURE DE TYPE III. ALIMENTATION EXCLUSIVE PAR UNE ARTERE MENINGEE POSTERIEURE, ISSUE DU TRONC NEUROMENINGE DE L'APA. D'APRES NEUROANGIO ⁴⁸

Artère occipitale (AO)

L'artère occipitale naît de l'ACE et présente un trajet postéro-supérieur. Dans 20 à 30% des cas elle peut naître d'un tronc commun avec l'APA ⁴⁹. Elle vascularise principalement les muscles du cou ainsi que la dure mère de la fosse postérieure et joue un rôle important de connexion entre le système vasculaire antérieur –carotidien- et postérieur –vertébral- via de nombreuses anastomoses.

Elle présente un premier segment ascendant, cervical, dirigé vers le haut, l'arrière et le dehors. Elle passe entre l'artère carotide interne en dedans et le ventre postérieur du muscle digastrique en dehors. L'artère occipitale donne à ce niveau plusieurs collatérales :

- l'artère sterno-cléido-mastoïdienne supérieure,
- l'artère stylo-mastoïdienne (néanmoins le plus souvent issue de l'artère auriculaire postérieure)
- plusieurs rameaux musculaires.

Au niveau de la mastoïde de l'os temporal, l'artère occipitale décrit un trajet horizontal (segment cervico-occipital). Elle donne à ce niveau :

- l'artère cervicale postérieure, qui descend le long du muscle splénius et s'anastomose avec les artères vertébrale, cervicale transverse et cervicale profonde
- une branche méningée, pénétrant dans le crâne par le foramen jugulaire et vascularisant la dure-mère de la fosse postérieure
- une branche auriculaire pouvant donner une branche mastoïdienne, artère inconstante qui pénètre en intra crânien par le foramen mastoïdien de l'os temporal pour vasculariser la dure-mère de la région.

Ainsi, l'artère occipitale vascularise la dure mère de la fosse postérieure via sa branche mastoïdienne (figure 18). Bien que cette branche mastoïdienne puisse aussi naître de l'APA et de l'artère auriculaire postérieure, elle est le plus souvent issue de l'artère occipitale. La branche mastoïdienne peut être divisée en trois segments : un premier extra crânien, un deuxième transosseux et un troisième intracrânien. Ce dernier se dirige vers le foramen magnum et peut alimenter l'artère méningée postérieure. Le territoire vascularisé est souvent postérieur par rapport à la pyramide de l'os pétreux, dans la région du sinus sigmoïde.

Par ailleurs, les petites branches ostéodurales traversant l'os peuvent aussi être recrutées dans certains shunts (figure 19, 20). Comme elles sont souvent de calibre très réduit et tortueuses, il est rare que l'agent d'embolisation puisse atteindre le shunt à travers ces vaisseaux, d'autant plus que sa vitesse de polymérisation est rapide.

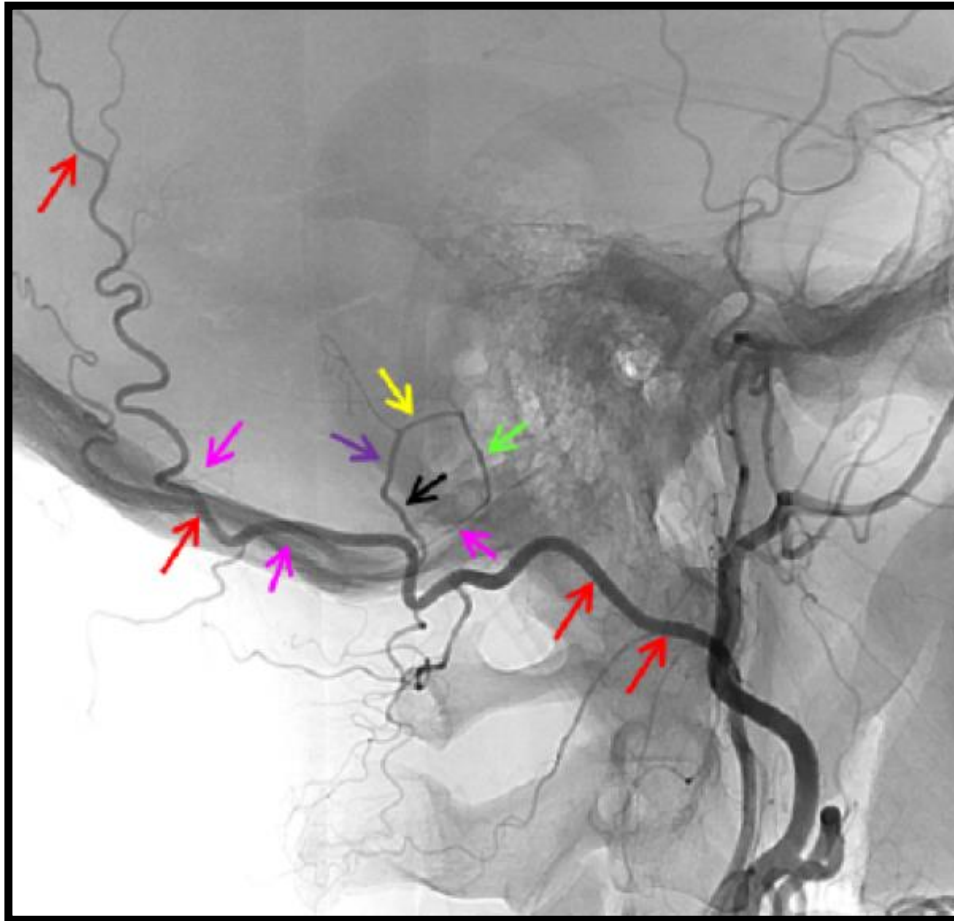


FIGURE 18 : ANGIOGRAPHIE DE PROFIL VIA L'ECA. L'ARTERE OCCIPITALE (FLECHE ROUGE) DONNE NAISSANCE A LA PMA (ROSE ET VERTE) VIA LA BRANCHE MASTOÏDIENNE. CETTE BRANCHE PRESENTE UN SEGMENT EXTRACRANIEEN (NOIR) SUIVI D'UN SEGMENT TRANSOSSEUX (VIOLET) PUIS D'UN SEGMENT INTRACRANIEEN (JAUNE ET VERT). CE DERNIER SE DIRIGE VERS LE FORAMEN MAGNUM PUIS VERS LE HAUT POUR FORMER LA PMA (ROSE). D'APRES NEUROANGIO ⁴⁹

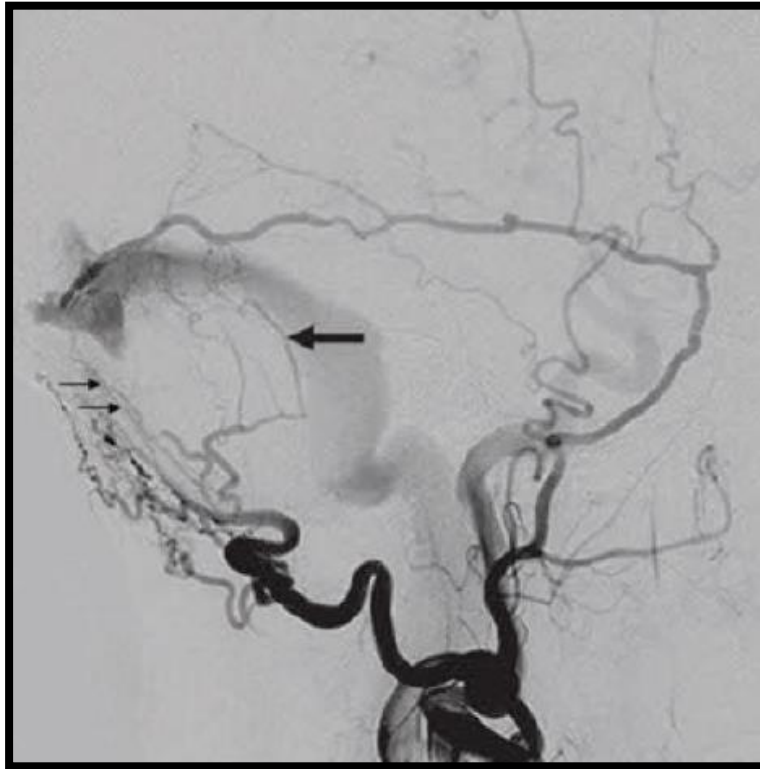


FIGURE 19 : ANGIOGRAPHIE DE PROFIL VIA L'ECA. DAVF DE LA FOSSE POSTERIEURE DE GRADE I. ALIMENTATION VIA L'ARTERE OCCIPITALE, VIA DES BRANCHES TRANSOSSEUSES (PETITES FLECHES) ET VIA LA BRANCHE MASTOÏDIENNE (GRANDE FLECHE), S'ANASTOMOSANT AVEC LA MMA. D'APRES NEUROANGIO ⁴⁹

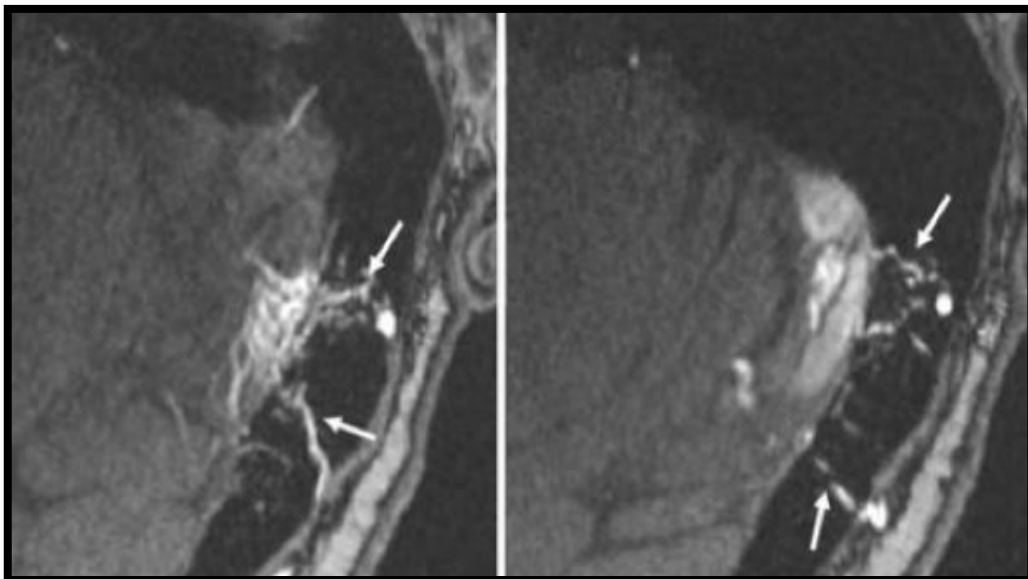


FIGURE 20 : IRM, SEQUENCE TOF, COUPES AXIALES CENTREES SUR LE SINUS TRANSVERSE GAUCHE. DAVF GRADE II A+ B. ALIMENTATION VIA DES BRANCHES TRANSOSSEUSES (FLECHES) ISSUES DE L'ARTERE OCCIPITALE GAUCHE. D'APRES NEUROANGIO ⁴⁹

Tronc méningo-hypophysaire (MHT)

Le MHT naît de la partie proximale du segment caverneux de l'ICA et vascularise l'hypophyse, une partie du clivus, les IIIème, IVème, Vème et VIème paires crâniennes, la tente du cervelet et la dure mère adjacente. De nombreuses anastomoses existent avec l'ILT, la MMA et la HBr de l'APA et l'OA.

Schématiquement, les branches principales du MHT sont (Figure 21) :

- B: l'artère tentorielle latérale, cheminant sur le bord latéral de la tente et s'anastomosant avec la branche pétrosquameuse de la MMA et avec l'OA.
- C: l'artère tentorielle médiale ou marginale ou artère de Bernasconi Cassinari), cheminant le long de bord libre de la tente
- D: l'artère hypophysaire inférieure
- F : les branches clivales inférieures, cheminant vers la partie inférieure du clivus et s'anastomosant avec les branches clivales de l'APA
- G: l'artère clivale latérale : qui se divise :
 - en branches latérales F qui se dirigent vers le sinus pétreux supérieur
 - en branches médiales I qui se dirigent vers le sinus pétreux inférieur et s'anastomosant avec la JBr de l'APA (J).

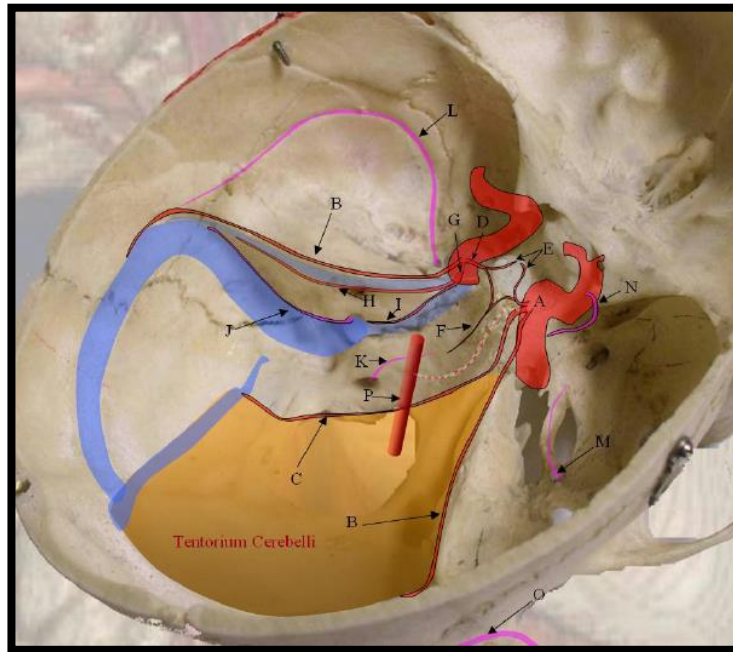


FIGURE 21 : BRANCHES DU TRONC MENINGO-HYPOPHYSAIRE. D'APRÈS NEUROANGIO⁵⁰

L'artère tentorielle marginale chemine le long du bord médial de la tente vers le torcular. Elle est difficilement distinguée de l'artère tentorielle latérale sur une angiographie de profil, mais son trajet médial est facilement reconnaissable sur une angiographie de face (figure 22).

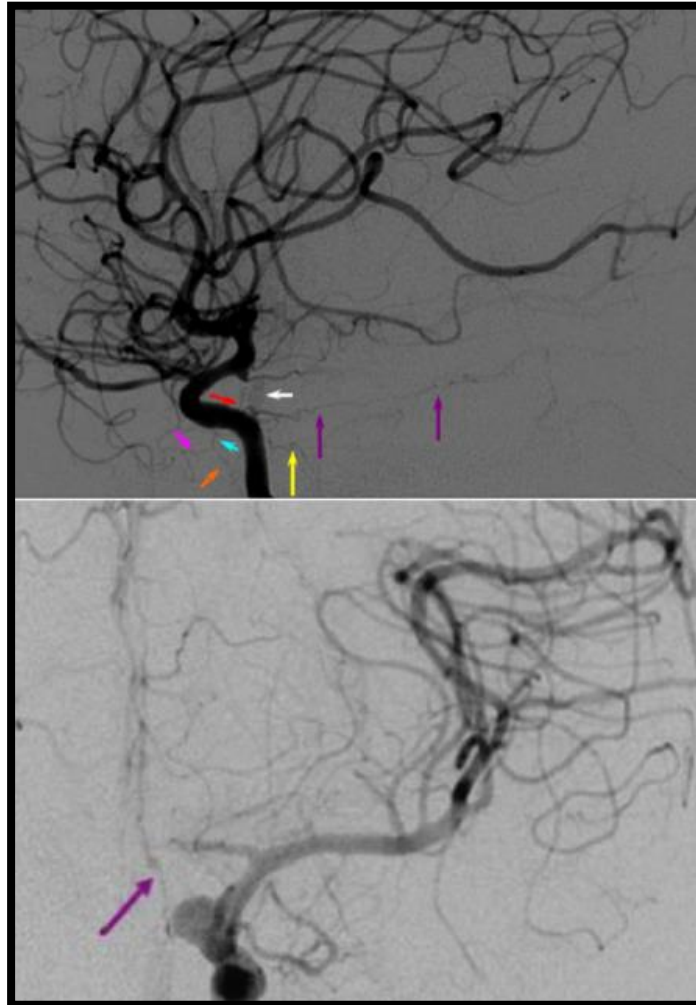


FIGURE 22 : ANGIOGRAPHIE DE PROFIL ET DE FACE VIA L'ICA METTANT EN EVIDENCE L'ARTERE TENTORIALE MARGINALE. ROUGE : BRANCHE HYPOPHYSAIRE INFERIEURE ; BLANC : BLUSH HYPOPHYSAIRE ; VIOLET : BRANCHE TENTORIALE MARGINALE ; BLEUE : ILT ; ROSE : BRANCHE DU FORAMEN ROTUNDUM ; ORANGE : BRANCHE DU FORAMEN OVALE. D'APRES NEUROANGIO 50

La branche tentorielle latérale du MHT chemine le long du bord latéral de la tente du cervelet, le long du sinus sigmoïde. Elle est souvent impliquée dans les dAVF du sinus sigmoïde. Elle se distingue de l'artère tentorielle marginale par son trajet latéral, vers le sinus sigmoïde, sur une angiographie de face (figure 23).



FIGURE 23 : ANGIOGRAPHIE DE FACE VIA L'ICA MONTRANT L'ARTERE TENTORIELLE LATERALE. ROUGE : ARTERE TENTORIELLE LATERALE : TRAJET VERS LE SINUS SIGMOÏDE. D'APRES NEUROANGIO⁵⁰

Tronc inféro-latéral (ILT)

L'ILT naît de la partie latérale de la portion caverneuse de l'ICA, sous forme d'un tronc unique ou de multiples vaisseaux (figure 24). Il présente de nombreuses anastomoses avec la circulation extra crânienne, en particulier avec la MMA et avec l'artère ophtalmique. Il s'agit d'une voie de reconstitution de l'ACI en cas d'occlusion proximale de l'ICA avec l'artère ophtalmique.

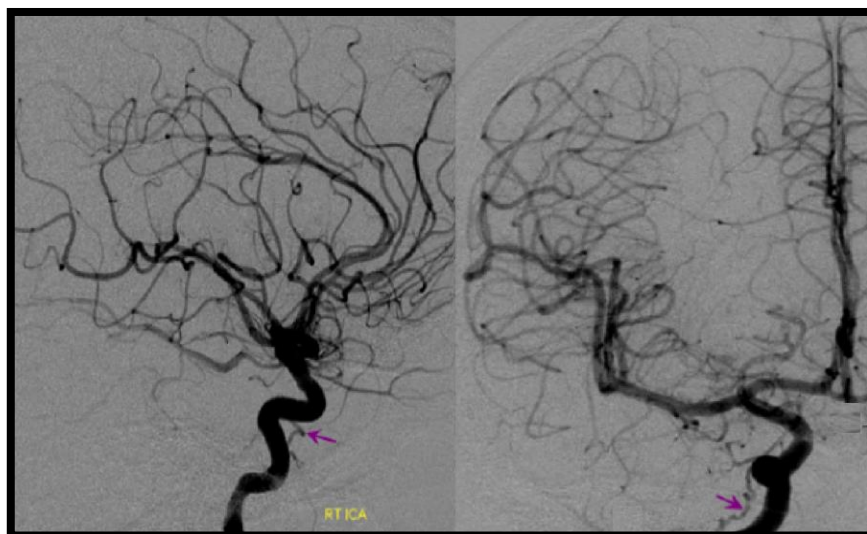


FIGURE 24 : ARTERIOGRAPHIE DE LA CAROTIDE INTERNE FACE ET PROFIL METTANT EN

L'ILT se compose de plusieurs branches (figure 25) :

- B: la branche récurrente: vascularise la IVème paire crânienne et s'anastomose avec le MHT, notamment via l'artère tentorielle médiale ou latérale.
- C: la branche antéromédiale: s'anastomose fréquemment avec l'artère ophtalmique
- D: artère du foramen rotundum: vascularise le nerf du foramen rotundum et s'anastomose avec la branche du foramen rotundum de l'artère maxillaire interne (L) et participe à la suppléance carotidienne en cas d'occlusion
- E: artère du foramen ovale: vascularise le nerf du foramen ovale et s'anastomose avec l'artère méningée accessoire de l'artère maxillaire interne (J), avec l'APA (H) et avec la branche caverneuse de la MMA (I)

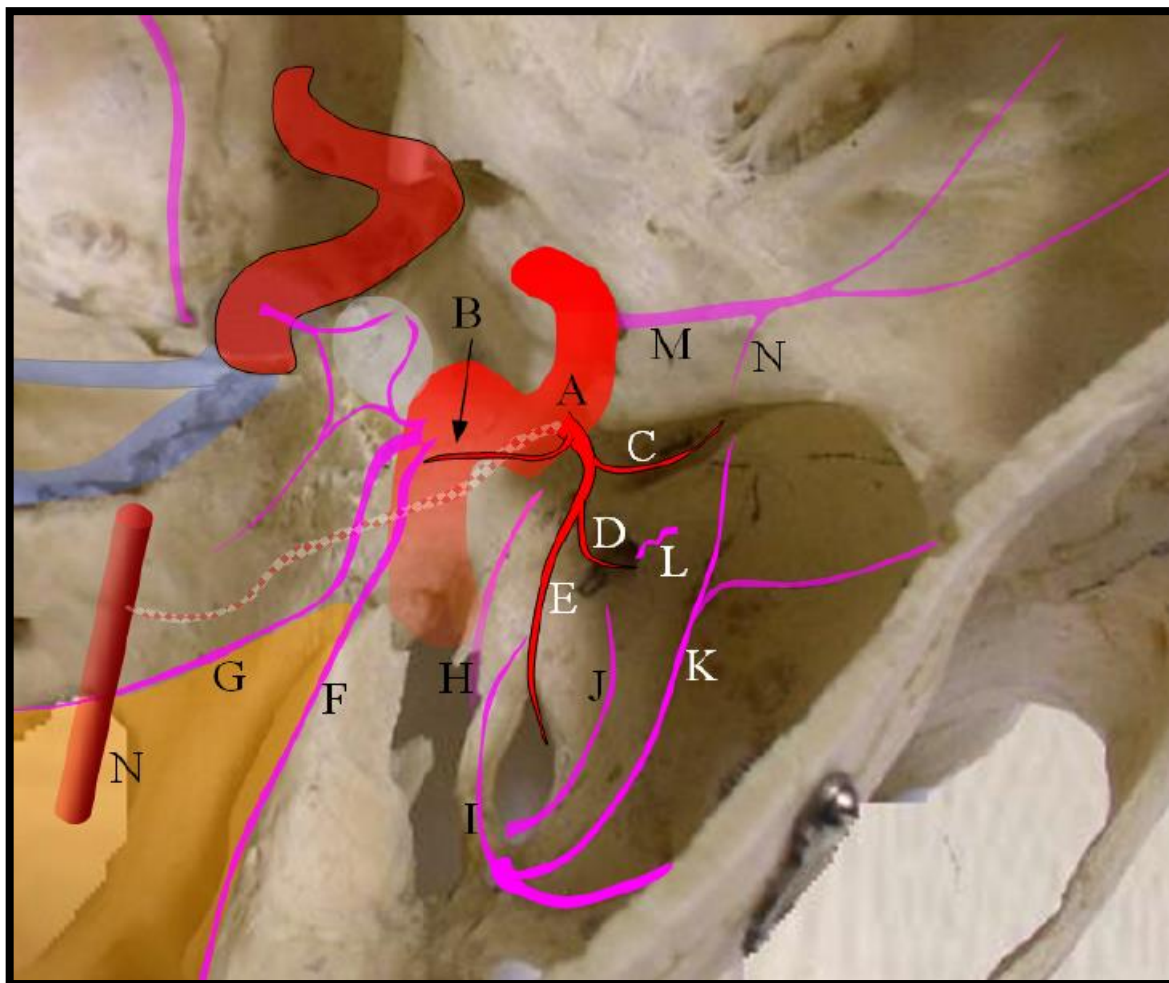


FIGURE 25 : REPRESENTATION DES BRANCHES DU TRONC INFERO-LATERAL. D'APRES NEUROANGIO⁵¹

Artère méningée postérieure (PMA)

La PMA vascularise largement la dure mère de la fosse postérieure. Elle naît classiquement de la portion sous occipitale de l'artère vertébrale (figure 26) mais les variantes sont fréquentes et elle peut notamment être issue de l'artère occipitale. La PMA reçoit aussi des afférences de l'artère occipitale, APA et de l'artère auriculaire postérieure.

La PMA pénètre en intra crânien par le foramen magnum et réalise un trajet ascendant le long de la paroi latérale de l'os occipital. Elle peut donner naissance à une branche sigmoïdienne – pouvant aussi être issue de l'APA ou de la branche pétrosquameuse de la MMA- qui chemine au sein de la dure mère vers le sinus sigmoïde et qui est fréquemment incriminée dans les fistules sigmoïdiennes.

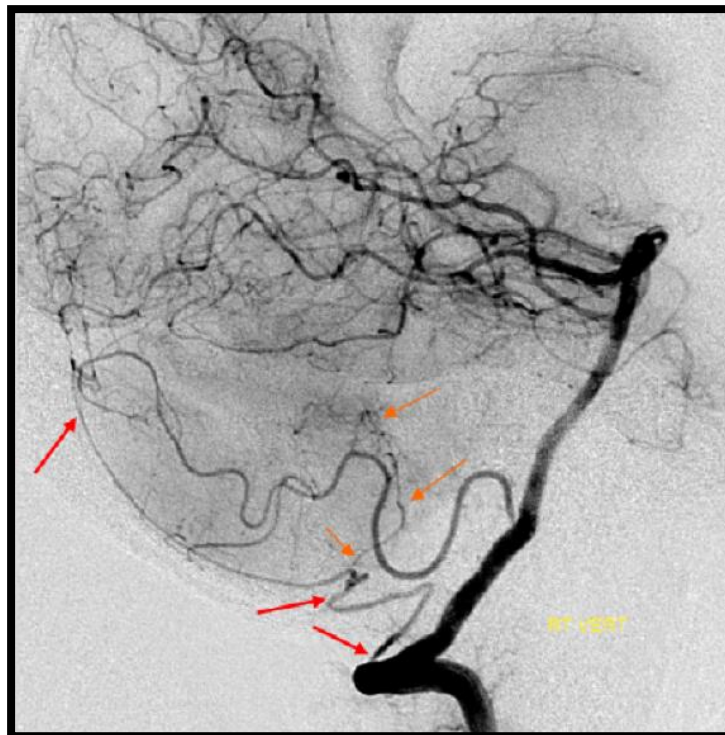


FIGURE 26 : ARTERIOGRAPHIE DE PROFIL VIA L'ARTERE VERTEBRALE. ROUGE : PMA PENETRANT PAR LE FORAMEN MAGNUM. ORANGE : BRANCHE SIGMOÏDIENNE DE LA PMA CHEMINANT DANS LE SINUS, PARTICIPANT SOUVENT A L'ALIMENTATION DES DAVF DU SINUS SIGMOÏDE. LA PMA PEUT AUSSI NAITRE DE L'APA (JBR) OU DE LA BRANCHE PETROSQUAMEUSE DE LA MMAD'APRÈS NEUROANGIO ⁴⁶

Alimentation piale

Environ 11.3 % des dAVF présentent une alimentation via des branches piales ⁵². Le recrutement pial pourrait être secondaire à l'activation des facteurs angiogéniques incriminés dans le développement du shunt dural artérioveineux à la suite d'une thrombose ⁵³.

L'alimentation piale est plus fréquemment rencontrée chez les patients jeunes, les dAVF de la tente et en présence de veines dilatées ⁵². Les artères piales alimentant le plus fréquemment les fistules de la fosse postérieure sont : l'artère cérébelleuse supérieure (artère de Davidoff et Schechter), l'artère cérébrale postérieure (branche tentorielle médiale) (figure 27), l'artère cérébelleuse antéro-inférieure (branche subarquée), l'artère cérébelleuse postéro-inférieure (PMA).

Deux types de vaisseaux piaux alimentant les dAVF ont été décrits : les branches dures de vaisseaux piaux connectant de manière physiologique des artères piales à des artères dures et se dilatant en cas de dAVF, et des néo-vaisseaux purement piaux, très tortueux et ramifiés ⁵².

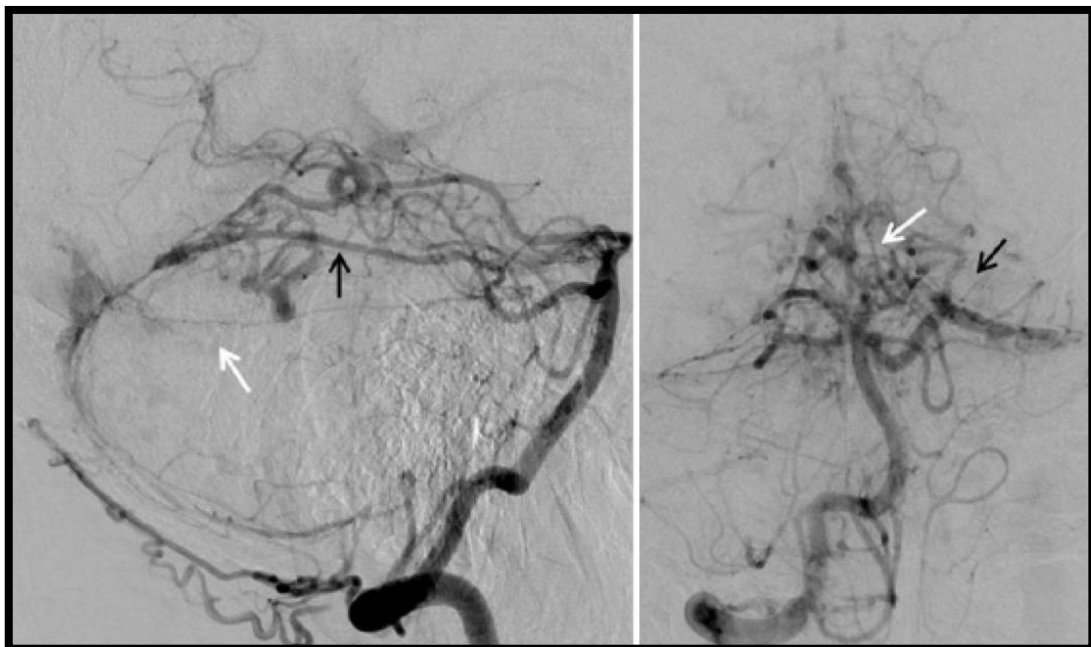


FIGURE 27 : ANGIOGRAPHIE VIA L'ARTERE VERTEBRALE DROITE DE PROFIL ET DE FACE : dAVF DU TORCULAR TYPE IV. FLECHE NOIRE : ARTERE DAVIDOFF ET SCHECHTER NAISSANT DE

L'ARTERE CEREBELLEUSE SUPERIEURE ; FLECHE BLANCHE : ARTERE TENTORIELLE NAISSANT
DE L'SCA. D'APRES BYRNE & GARCIA, 2013 ²³

Veines

De nombreuses anastomoses sont présentes entre les veines de la fosse postérieure, expliquant l'incidence limitée des séquelles neurologiques après l'occlusion de veines⁵⁴. Par ailleurs, les variations concernant le drainage veineux de la fosse postérieure sont considérables. Nous décrirons ici les différents groupes veineux, organisés selon leurs aires de drainage, d'après Rhoton⁵⁴. Les veines de la fosse postérieure sont divisées en quatre groupes : superficiel, profond, du tronc cérébral et les bridging veins (BV), détaillés dans le tableau 2.

TABLEAU 2 : VEINES DE LA FOSSE POSTERIEURE

I Veines superficielles	A- V. tentorielles	1- V. vermiennes supérieures 2- V. hémisphériques supérieures
	B- V. cérébelleuses superficielles	1- V. vermiennes inférieures 2- V. hémisphériques inférieures 3- V. rétro tonsillaires 4- V. latéro et médio-tonsillaires
	C- V. pétreuses	1- V. hémisphériques antérieures
II Veines profondes	A- V. de la scissure cérébello-mesencéphalique	1- V. du pédoncule cérébelleux supérieur 2- V. de la scissure cérébello-mésencéphalique 3- V. ponto-trigéminee 4- V. tectale
	B- V. de la scissure cérébello-médullaire	1- V de la scissure cérébello-médullaire 2- V. du pédoncule cérébelleux inférieure 3- V. supra tonsillaires 4- V. choroïdiennes
	C- V. de la scissure cérébello-pontique	1- V. de la scissure cérébello-pontique 2- V. du pédoncule cérébelleux moyen
III Veines du tronc cérébral	A- V. longitudinales	1- V. médianes a- V. ponto-mésencéphalique médiane antérieure b- V. médullaire médiane antérieure 2- V. antéro-latérales a- V. pontomésencéphlique antéro-latérale b- V. médullaire antéro-latérale 3- V. latérales a- V. mésencéphalique latérale b- V. médullaire latérale et rétro olivaires
	B- V. transverses	1- V. pédonculaire 2- V. de la communicante postérieure 3- V. du sillon ponto-mésencéphalique 4- V. pontique transverse 5- V. du sillon pontomédullaire 6- V. médullaires transverses
IV Bridging veines	A- Groupe galénique	Vers la veine de Galien
	B- Groupe tentoriel	Vers le torcular et les sinus tentoriels
	C- Groupe pétreux	Vers les sinus pétreux

Veines superficielles

Les veines superficielles drainent la tente, la surface corticale du cervelet et la zone pétéreuse. Elles sont divisées selon leur territoire de drainage et leur position médiane (vermienne) ou latérale (hémisphérique).

Veines tentorielles

La tente est drainée par les veines hémisphériques supérieures et les veines vermiennes supérieures (figure 28, 30, 31).

Les veines drainant la partie vermienne de la tente sont divisées en groupe antérieur, avec un trajet ascendant vers la veine de Galien et en groupe postérieur, se drainant vers le torcular ou les sinus tentoriels, après s'être ou non anastomosées avec la veine vermienne inférieure.

De même, les veines drainant la partie hémisphérique de la tente sont aussi divisées en groupe antérieur, rejoignant principalement la veine vermienne supérieure ou des veines au sein de la scissure cérébello-mésencéphalique, et postérieure, formant souvent un tronc commun avec la veine hémisphérique inférieure se drainant vers le torcular, le sinus tentoriel, le sinus pétéreux supérieur.

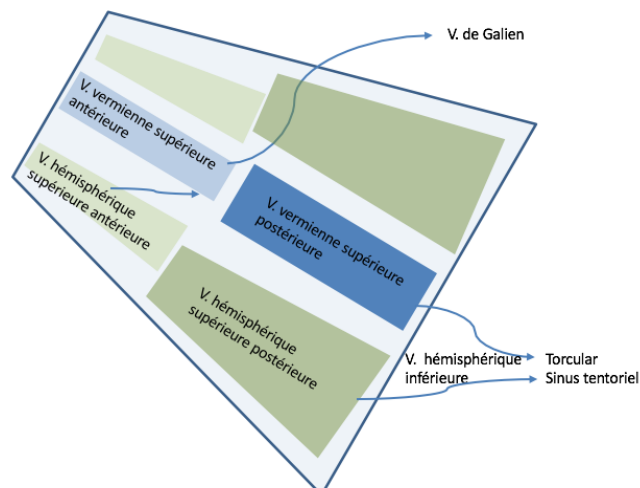


FIGURE 28 : SCHEMA DU DRAINAGE VEINEUX DE LA TENDE DU CERVELET (PROJECTION SUPERIEURE) : AU CENTRE LES VEINES VERMIENNES (ANTERIEURES /POSTERIEURES) ; LATERALEMENT LES VEINES HEMISPHERIQUES (ANTERIEURES / POSTERIEURES)

Veines cérébelleuses superficielles

La partie superficielle du cervelet est drainée par les veines hémisphériques inférieures et les veines vermiennes inférieures (figure 29, 30, 31).

Les veines vermiennes inférieures sont souvent formées par la réunion des veines tonsillaires. Les veines hémisphériques inférieures sont divisées en quatre groupes : supéro-médial, inféro-médial, supéro-latéral et inféro-latéral, selon la partie du cervelet qu'elles drainent. Elles se drainent dans le torcular, les sinus tentoriels, ou dans la veine vermienne inférieure.

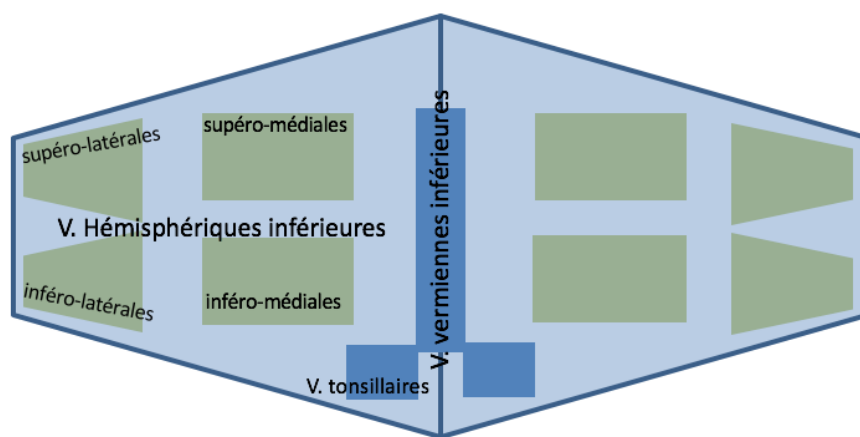


FIGURE 29 : SCHEMA DU DRAINAGE VEINEUX DE LA PARTIE SUPERFICIELLE DU CERVELET (PROJECTION CORONALE)

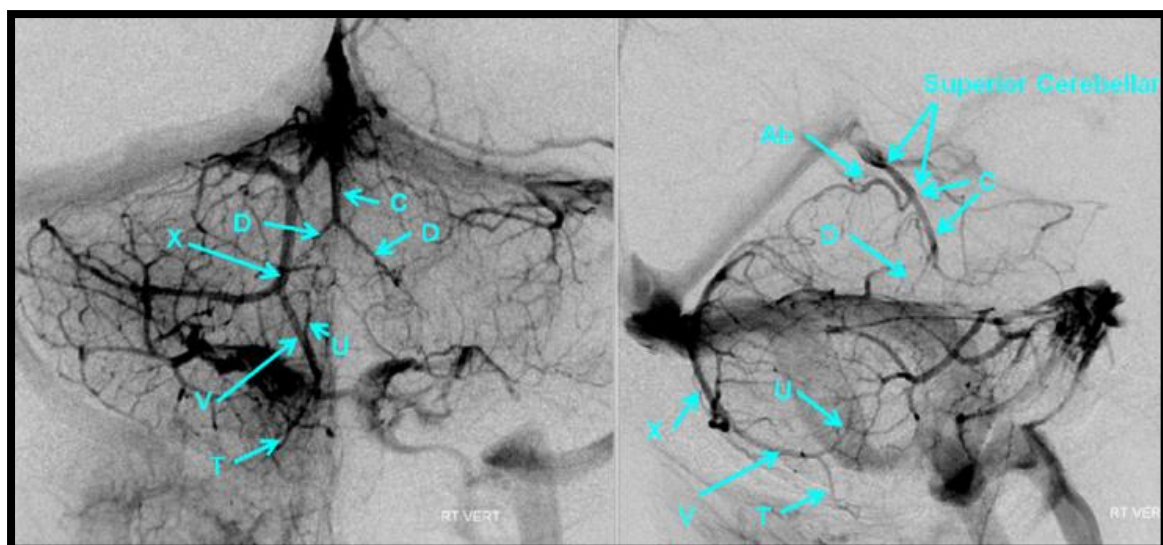


FIGURE 30 : ANGIOGRAPHIE DE LA FOSSE POSTERIEURE AU TEMPS VEINEUX FACE ET PROFIL.
C : VEINE PRECENTRALE ; D : VEINE DU PEDONCULE SUPERIEUR ; U : VEINE RETRO

TONSILLAIRE SUPERIEURE ; T : VEINE RETRO TONSILLAIRE INFERIEURE ; V : VEINE VERMIENNE INFERIEURE ; X : VEINE VERMIENNE INFERIEURE. D'APRES NEUROANGIO ⁵⁵

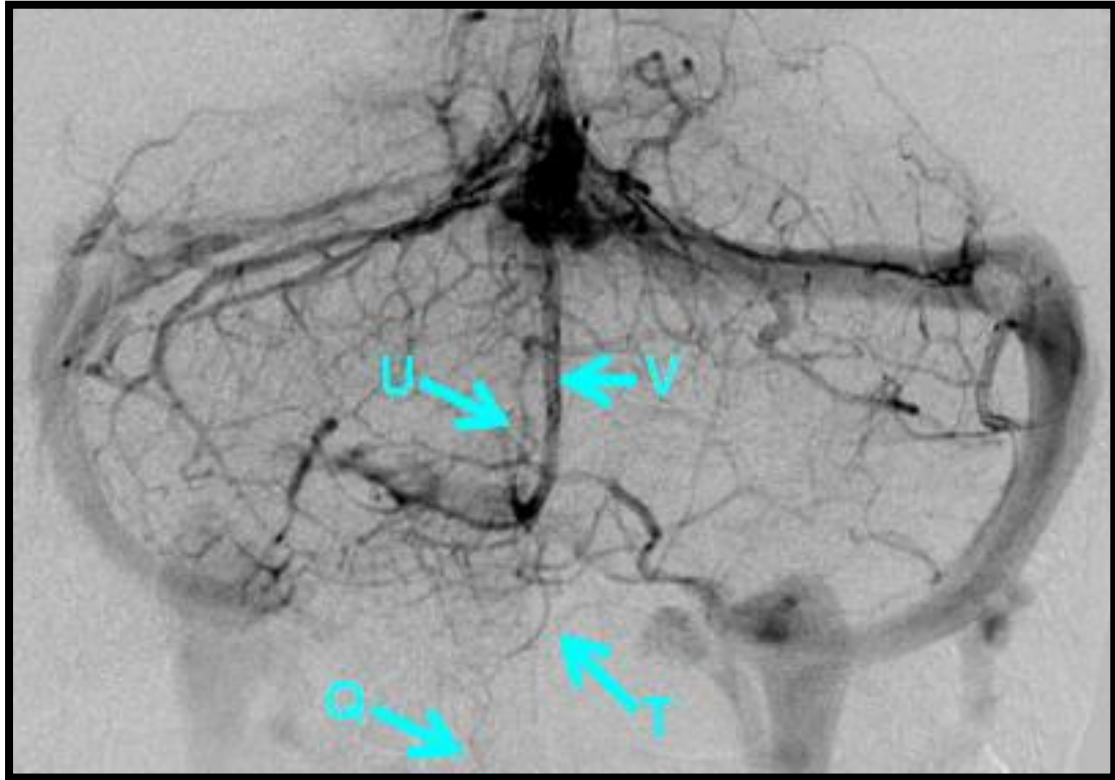


FIGURE 31 : ANGIOGRAPHIE DE LA FOSSE POSTERIEURE AU TEMPS VEINEUX FACE. V : VEINES VERMIENNES INFERIEURES ; U : VEINES RETRO TONSILLAIRES SUPERIEURES ; T : VEINES RETRO TONSILLAIRES INFERIEURES ; Q : VEINES SPINALES POSTERIEURES. D'APRES NEUROANGIO ⁵⁵

Veines pétreuses

La surface présente à la partie postérieure de l'os pétreux est drainée par les veines hémisphériques antérieures. Elles sont divisées en trois groupes : supérieur, moyen et inférieur.

Les limites entre les surfaces de drainage de la tente, du cervelet superficiel et pétreuse sont souvent parallèles aux sinus veineux adjacents : la frontière entre les zones tentorielle et pétreuse est parallèle au sinus pétreux supérieur ; entre les zones tentorielle et cérébelleuse, la frontière est parallèle au sinus transverse ; entre les zones cérébelleuse et pétreuse, la frontière est parallèle au sinus sigmoïde.

Les veines à cheval entre les différentes surfaces de drainage s'anastomosent souvent à ces endroits pour former un tronc commun se drainant dans un sinus veineux.

D'autres variations veineuses peuvent être incluses dans le groupe superficiel, nommées selon leur drainage (hémisphérique ou vermien) ou selon la scissure où elles cheminent.

Veines profondes

Les veines profondes (figure 32, 33) se divisent en deux groupes selon leur aire de drainage et leur trajet :

- celles cheminant au sein des trois scissures entre le cervelet et le tronc cérébral, en relation avec le toit et les parois du 4^{ème} ventricule: les veines cérébello-mésencéphaliques, cérébello-pontiques et cérébello-médullaires. La veine de la scissure cérébello-mésencéphalique est en relation avec la moitié supérieure du toit du 4^{ème} ventricule ; la veine cérébello-médullaire avec la moitié inférieure du toit du 4^{ème} ventricule ; la veine cérébello-pontique avec le récessus latéral et les parois latérales du 4^{ème} ventricule.
- celles au niveau des trois pédoncules cérébelleux: les veines cérébelleuses pédonculaires supérieures, moyennes et inférieures. La veine du pédoncule supérieur chemine sur la partie postérieure du pédoncule cérébelleux supérieur, dans la scissure cérébello-mésencéphalique. La veine du pédoncule cérébelleux inférieur a un trajet ascendant sur la surface postérieure du pédoncule cérébelleux inférieur, au niveau de la scissure cérébello-médullaire. La veine du pédoncule cérébelleux moyen chemine sur la paroi latérale du pédoncule cérébelleux moyen, au niveau antérieur de la scissure cérébello-pontique.

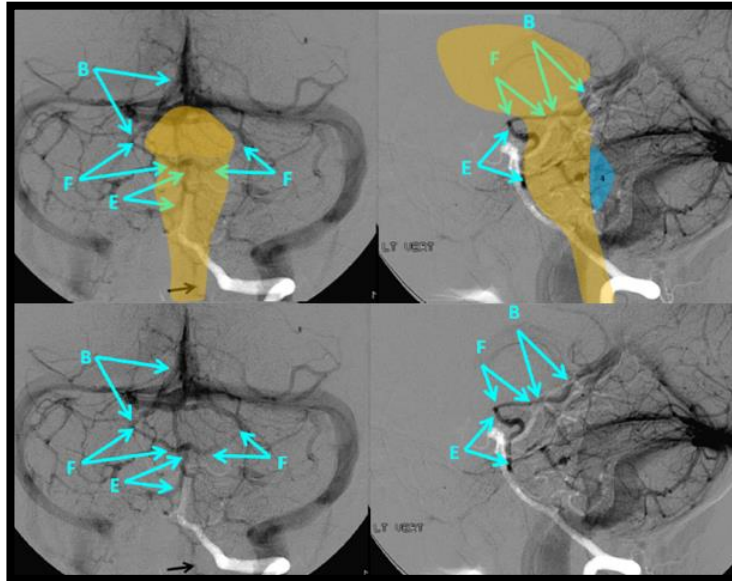


FIGURE 32 : ANGIOGRAPHIE AU TEMPS VEINEUX, FACE ET PROFIL VIA L'AV. FUSION AVEC L'IMAGE DU TRONC BASILAIRE (EN BLANC). PROJECTION DU TRONC CEREBRAL EN JAUNE AIDANT A REPERER LES VEINES. LA VEINE PONTO-MESENCÉPHALIQUE (E) S'ANASTOMOSE AVEC LES VEINES PEDONCULAIRES (F), QUI SUIVENT LA FORME DU PEDONCULE ET SE DRAINENT DANS LA VEINE BASALE (B). D'APRES NEUROANGIO⁵⁶

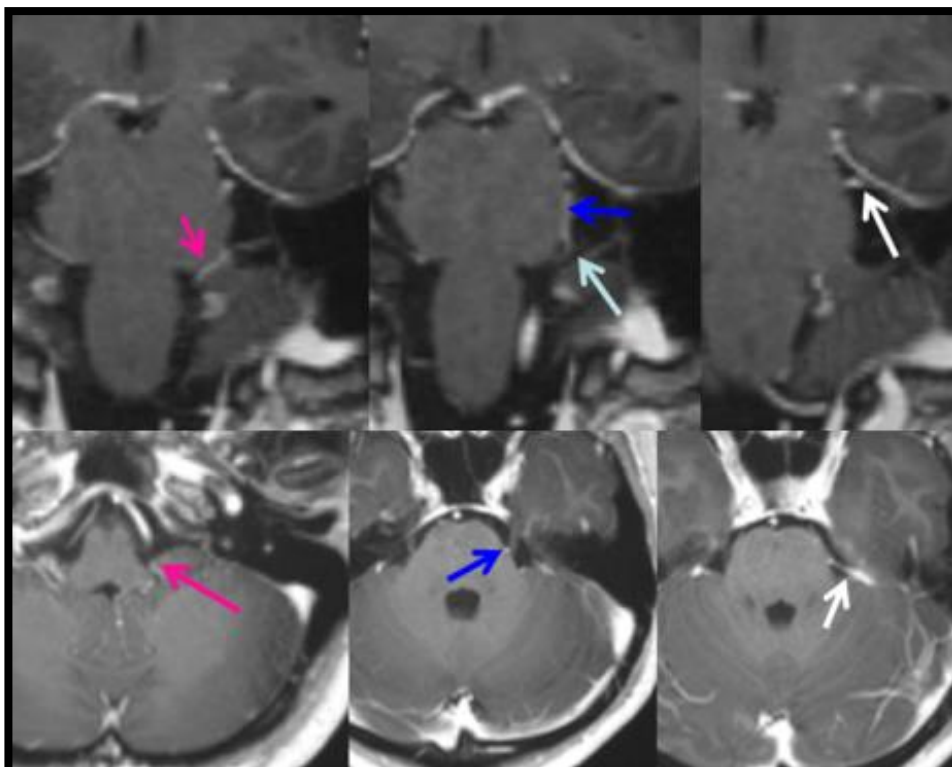


FIGURE 33 : IRM APRES INJECTION DE GADOLINIUM, COUPES CORONALES ET AXIALES. ROSE

: VEINES DE LA SCISSURE CEREBELLO-PONTIQUE (AU NIVEAU DU RECESSUS LATÉRAL DU 4^{EME} VENTRICULE) ; BLEU : VEINES DE LA SCISSURE CEREBELLO-PONTIQUE (EN RELATION AVEC LE VEME NERF CRANIEN) ; BLANC : VEINES PETREUSES. D'APRES NEUROANGIO ⁵⁶

Veines du tronc cérébral

Les veines du tronc cérébral sont nommées selon leur trois caractéristiques principales : le territoire de drainage (mésencéphale, pont ou bulbe), la surface de drainage (médiane, antérieure, latérale...) et la direction de leur trajet (transverse ou longitudinal) (figure 34, 35, 36).

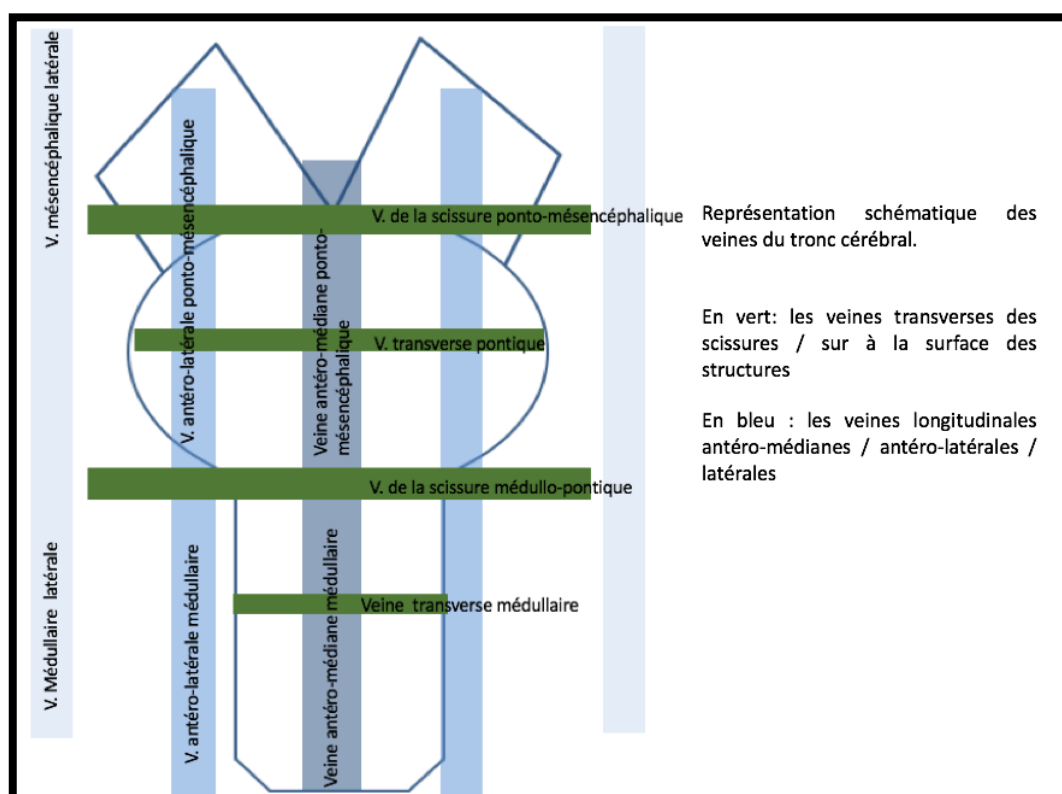


FIGURE 34 : SCHEMA DES VEINES DU TRONC CEREBRAL

Les veines ayant une direction longitudinale sont :

- les veines ponto-mésencéphaliques antéro-médianes cheminant le long de la ligne médiane et pouvant être reliées au sinus pétreux via une veine connectante (bridging veine)
- les veines médullaires antéro-médianes, cheminant sur la ligne médiane et pouvant soit être reliées au sinus adjacent via une veine connectante et soit être reliées aux veines spinales antérieures

- les veines ponto-mésencéphaliques antéro-latérales, pouvant être connectées au sinus pétreux inférieur via une veine connectante (bridging veine);
- les veines médullaires antéro-latérales (pré-olivaires), qui cheminent sur la partie antéro-latérale du tronc cérébral
- les veines médullaires latérales
- les veines mésencéphaliques latérales qui cheminent le long de la paroi latérale du tronc cérébral et se drainent dans la veine basale
- les veines rétro-olivaires.

Les veines ayant une direction transverse et cheminant dans les sillons à la jonction pont - mésencéphale et pont – bulbe sont les veines ponto-mésencéphaliques et ponto-médullaires. Les veines pontiques transverses et médullaires transverses cheminent à la partie latérale du pont et du bulbe. Les veines pédonculaires naissent au niveau de la citerne interpédonculaire et contournent les pédoncules sous le tractus optique vers les veines basales. La veine communicante postérieure chemine transversalement vers la citerne interpédonculaire au-dessus des nerfs oculomoteurs, pouvant anastomoser les veines pédonculaires et les veines ponto-mésencéphaliques médianes antérieures.

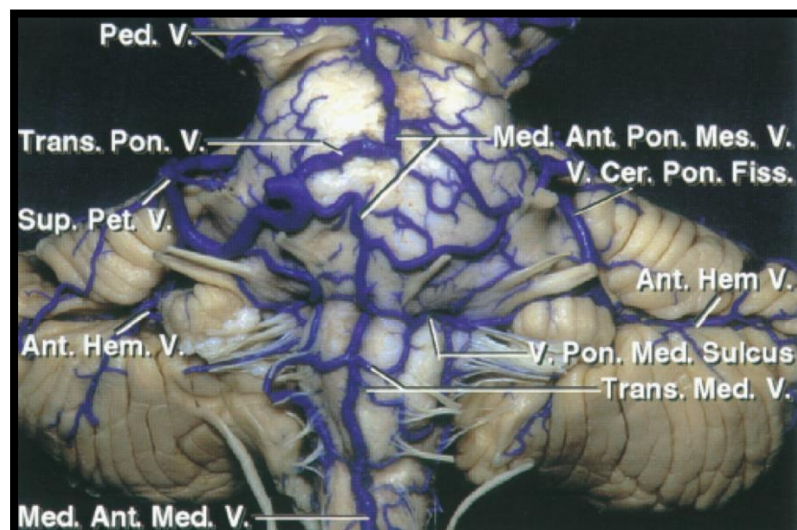


FIGURE 35 : VEINES DE LA FOSSE POSTERIEURE, DISSECTION. VUE DE FACE.

LA VEINE PONTO MESENCEPHALIQUE MEDIANE ANTERIEURE (MED. ANT. PON MES. V.) ET LA VEINE MEDULLAIRE MEDIANE ANTERIEURE (MED. ANT. MED. V.) ONT UN TRAJET VERTICAL ASCENDANT, LE LONG DU DU TRONC CEREBRAL.

LES VEINES TRANSVERSES PONTIQUE (TRANS. PON. V.) ET MEDULLAIRE (TRANS. MED. V.) CHEMINENT HORIZONTALEMENT LE LONG DU PONT ET DU BULBE ET LA VEINE TRANSVERSE DE LA SCISSURE PONTO-MEDULLAIRE (V. PON. MED. SULCUS) CHEMINENT HORIZONTALEMENT LE LONG DE LA JONCTION PONTO-MEDULLAIRE.

LA VEINE HEMISPHERIQUE ANTERIEURE (ANT. HEM. V.) DRAINE LA REGION PETREUSE ET SE JETTE SOUVENT DANS LA VEINE DE LA SCISSURE CEREBELLO-PONTIQUE (V. CER. PON. FISS.) QUI REJOINT LES VEINES PETREUSES SUPERIEURES (SUP. PET. V.).

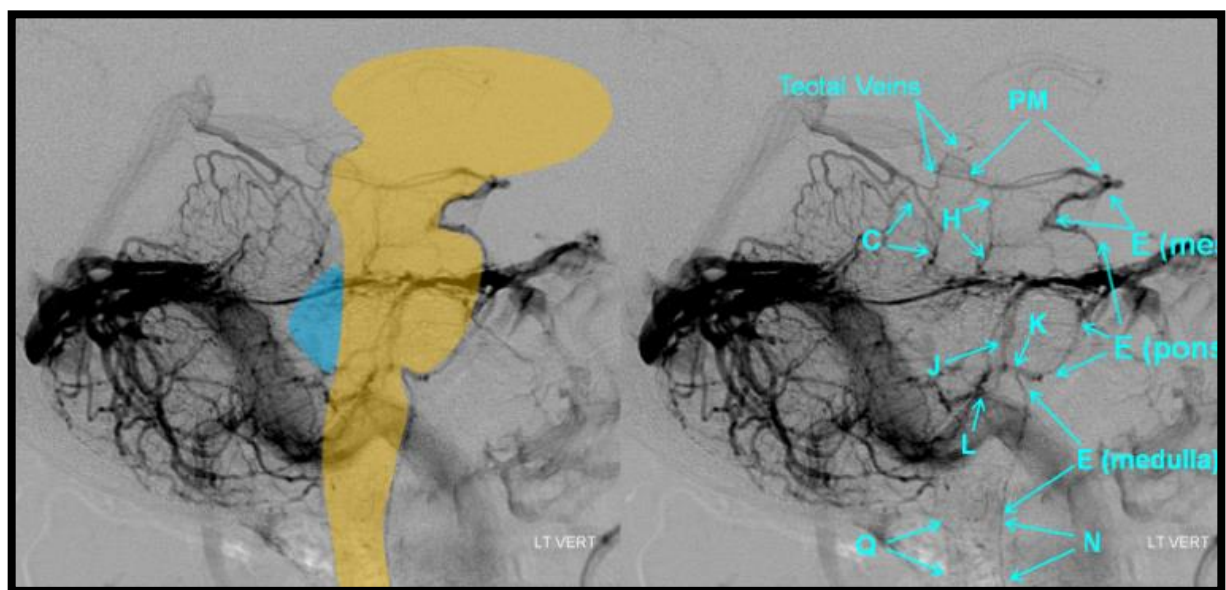


FIGURE 36 : ANGIOGRAPHIE DE PROFIL VIA L'AV AU TEMPS VEINEUX. SCHEMATISATION DU TRONC CEREBRAL AIDANT A REPERER LES VEINES. E (MES, PONS): VEINE ANTERIEURE PONTO-MESENCEPHALIQUE ; E (MEDULLA) : VEINE ANTERIEURE MEDULLAIRE ; N : VEINE SPINALE ANTERIEURE ; Q : VEINE SPINALE POSTERIEURE ; PM : VEINE LATERO-MESENCEPHALIQUE; C : VEINE PRECENTRALE ; H : VEINE LATERALE MESENCEPHALIQUE ; K : VEINE DU SILLON PONTO-MEDULLAIRE ; J : VEINE LATERALE PONTIQUE. D'APRES NEUROANGIO ⁵⁶

Bridging veins

L'extrémité de l'ensemble des veines drainant la fosse postérieure se rejoignent pour former les « bridging veins », veines connectantes, sorte de pontage veineux entre les

différents groupes sus-décrits. On distingue trois groupes selon leur drainage veineux (figure 37, 38, 39, 40):

- Supérieur : groupe galénique se drainant dans la veine de Gallien
- Antérieur : groupe pétreux se drainant dans les sinus pétreux
- Postérieur: groupe tentoriel se drainant dans les sinus tentoriel, se drainant eux-mêmes dans les sinus transverses et convergeant vers le torcular.

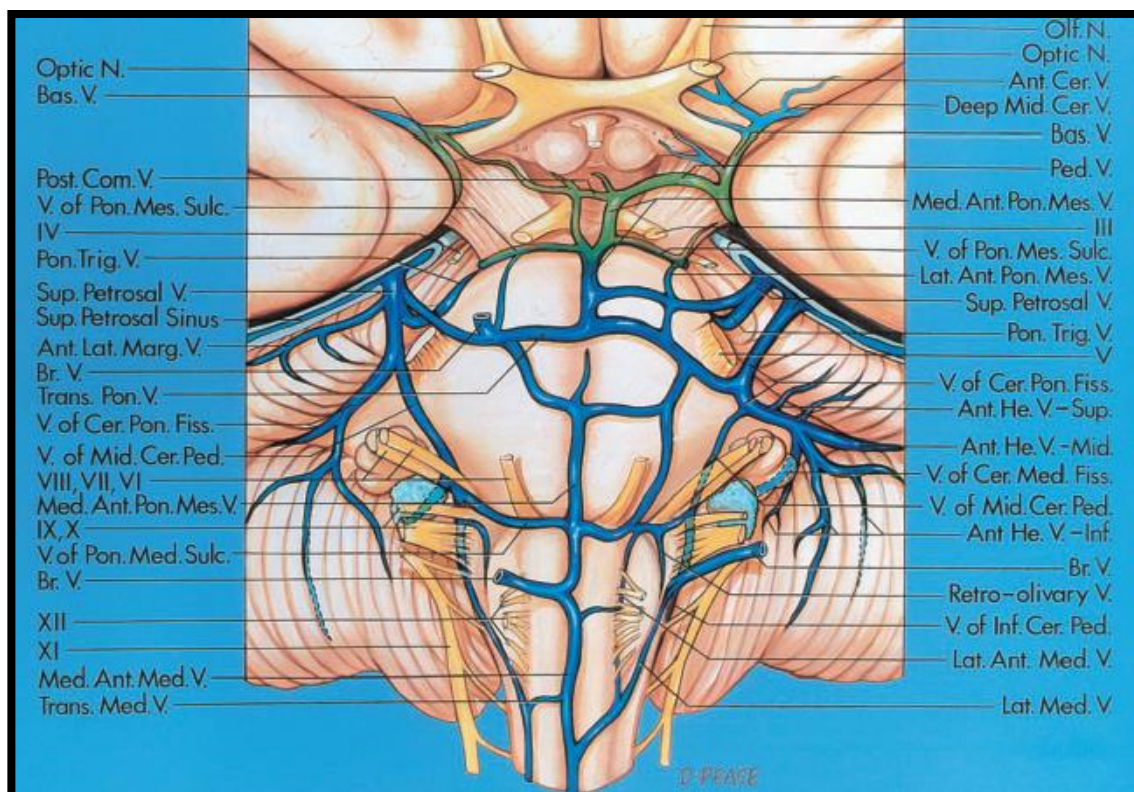


FIGURE 37 : VEINES DE LA FOSSE POSTERIEURE. COUPE CORONALE. BRIDGING VEINES : GROUPE GALENIQUE (EN VERT) ; GROUPE TENTORIEL (EN ROUGE) ; GROUPE PETREUX (EN BLEU). D'APRES RHOTON, 2000 ⁵⁴.

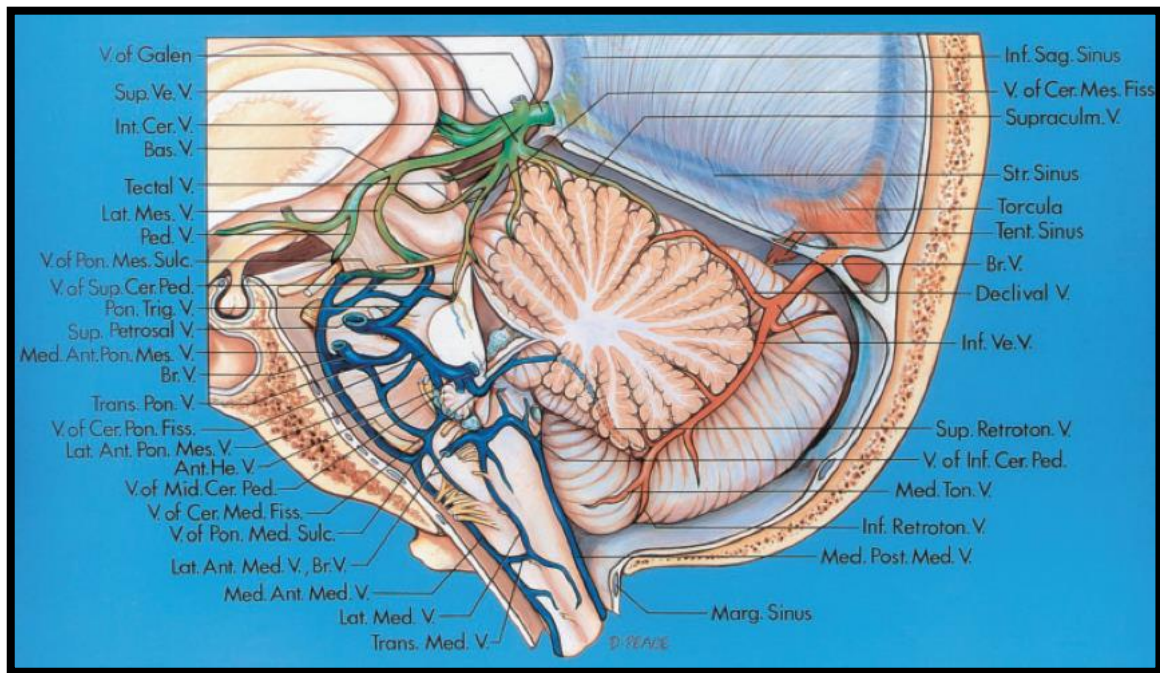


FIGURE 38 : VEINES DE LA FOSSE POSTERIEURE. COUPE SAGITTALE. BRIDGING VEINES : GROUPE GALENIQUE (EN VERT) ; GROUPE TENTORIEL (EN ROUGE) ; GROUPE PETREUX (EN BLEU). D'APRES RHOTON, 2000 ⁵⁴.

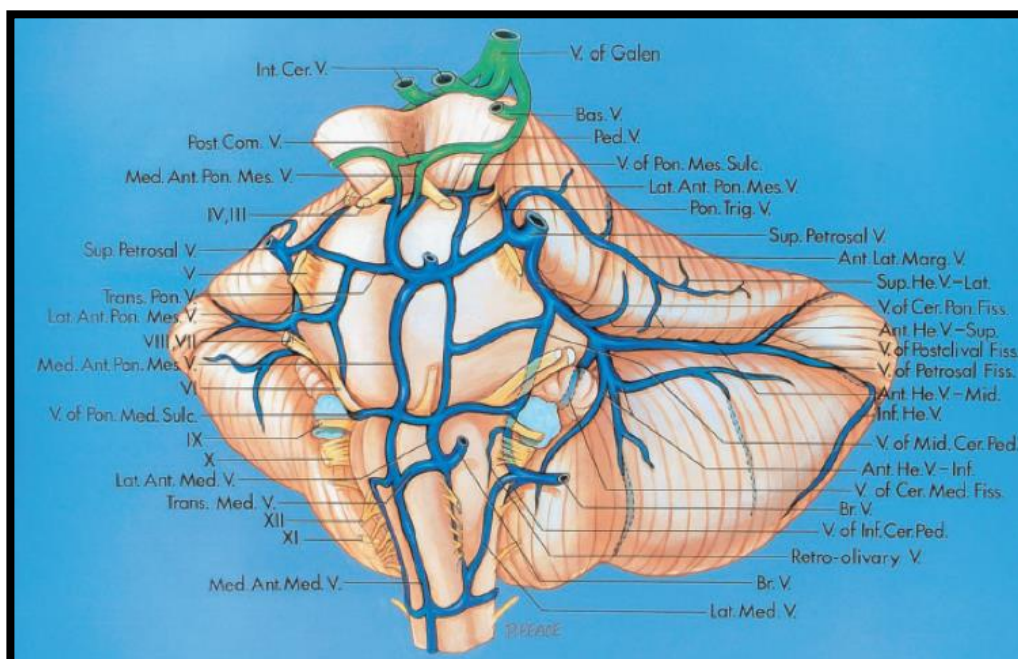


FIGURE 39 : VEINES DE LA FOSSE POSTERIEURE. COUPE DE 3/4. BRIDGING VEINES : GROUPE GALENIQUE (EN VERT) ; GROUPE TENTORIEL (EN ROUGE) ; GROUPE PETREUX (EN BLEU). D'APRES RHOTON, 2000 ⁵⁴.

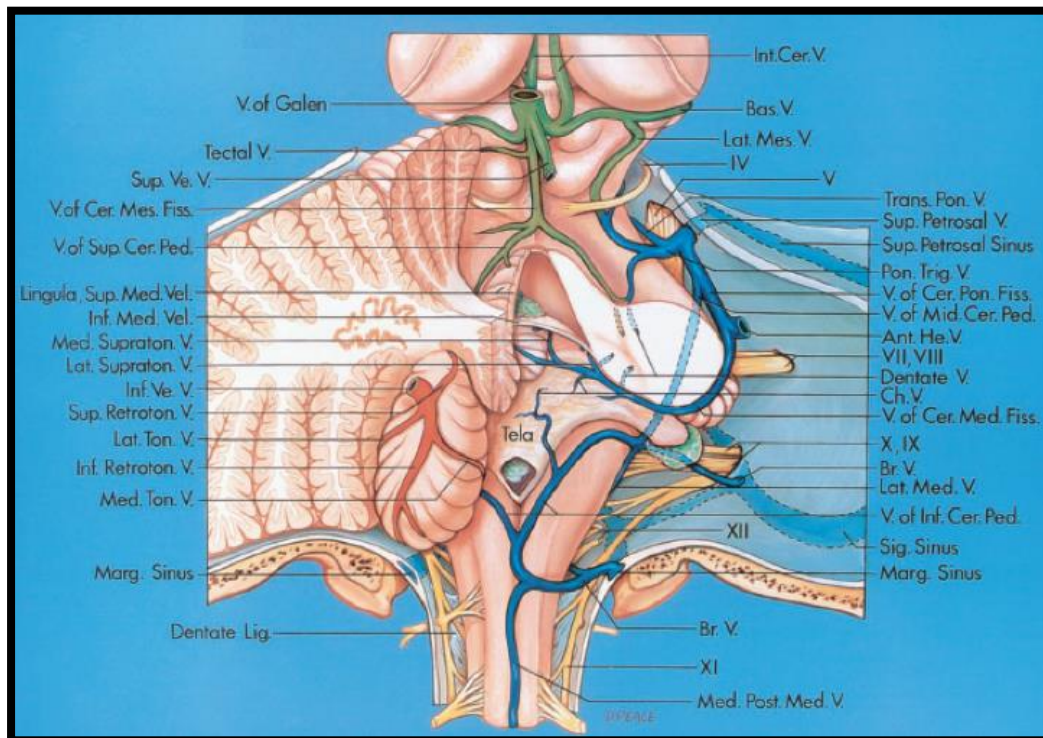


FIGURE 40 : VEINES DE LA FOSSE POSTERIEURE. COUPE CORONALE. BRIDGING VEINES : GROUPE GALENIQUE (EN VERT) ; GROUPE TENTORIEL (EN ROUGE) ; GROUPE PETREUX (EN BLEU). D'APRES RHOTON, 2000 ⁵⁴.

Groupe galénique

Le groupe galénique, supérieur, est formé par les veines convergeant vers la veine de Galien, incluant :

- les veines superficielles drainant la tente du cervelet: veines vermiennes supérieures et le groupe antérieur des veines hémisphériques supérieures
- les veines profondes drainant la scissure cérébello-mésencéphalique et la moitié supérieure du toit du 4^{ème} ventricule: veines cérébello-mésencéphaliques et veines du pédoncule cérébelleux supérieur
- les veines du tronc cérébral drainant le mésencéphale: les veines inter pédonculaires, communicantes postérieures, tectales, latéro-mésencéphaliques, le groupe supérieur des veines antéro-latérales et antéro-

médiales ponto-mésencéphaliques

La plupart de ces veines se drainent via la veine vermiennne supérieure et la veine basale pour atteindre la veine de Galien.

Groupe tentoriel

Le groupe tentoriel draine la partie superficielle du cervelet et comprend les veines se drainant dans le sinus droit, les sinus latéraux et le torcular, soit directement, soit via un sinus tentoriel. Il inclut les veines superficielles drainant :

- le cervelet (veines vermiennes inférieures, veines hémisphériques inférieures)
- la partie postérieure de la tente (groupe postérieur des veines hémisphériques supérieures, veines vermiennes supérieures)

Groupe pétreux

Le groupe pétreux est composé des veines se drainant dans les sinus pétreux. Il connecte ainsi le groupe antérieur du tronc cérébral et le sinus pétreux supérieur. Il draine la surface pétreuse, la scissure cérébello-pontique et cérébello-médullaire, la moitié inférieure du toit du 4^{ème} ventricule, le récessus latéral, la partie antérieure et latérale du pont et de la moelle.

Il inclut :

- les veines superficielles drainant la partie latérale des hémisphères cérébelleux
- les veines profondes drainant la scissure cérébello-pontique, cérébello-médullaire et la partie latérale de la scissure cérébello-mésencéphalique, la partie inférieure du toit et les parois du 4^{ème} ventricule,
- la majorité des veines du tronc cérébral

Les veines pétreuses sont divisées en veines pétreuses supérieures et inférieures selon leur drainage dans le sinus pétreux supérieur ou inférieur. Les veines pétreuses supérieures sont les veines les plus fréquemment retrouvées dans la fosse

postérieure. Elles sont le plus fréquemment formées par les veines transverses du pont, les veines ponto-trigéminalées, les veines supérieures hémisphériques latérales, les veines cérébello-pontiques et les veines du pédoncule cérébelleux moyen. Elles sont divisées en groupe latéral, moyen et médial selon leur drainage dans le sinus pétreux supérieur par rapport au méat acoustique interne.

Les veines pétreuses inférieures sont composées de quelques petites veines connectantes.

Enfin, le groupe antérieur des veines du tronc cérébral peut dans de rare cas se drainer dans les veines spinales d'où émergeront des veines radiculaires se drainant dans les plexus veineux épiduraux (figure 41).

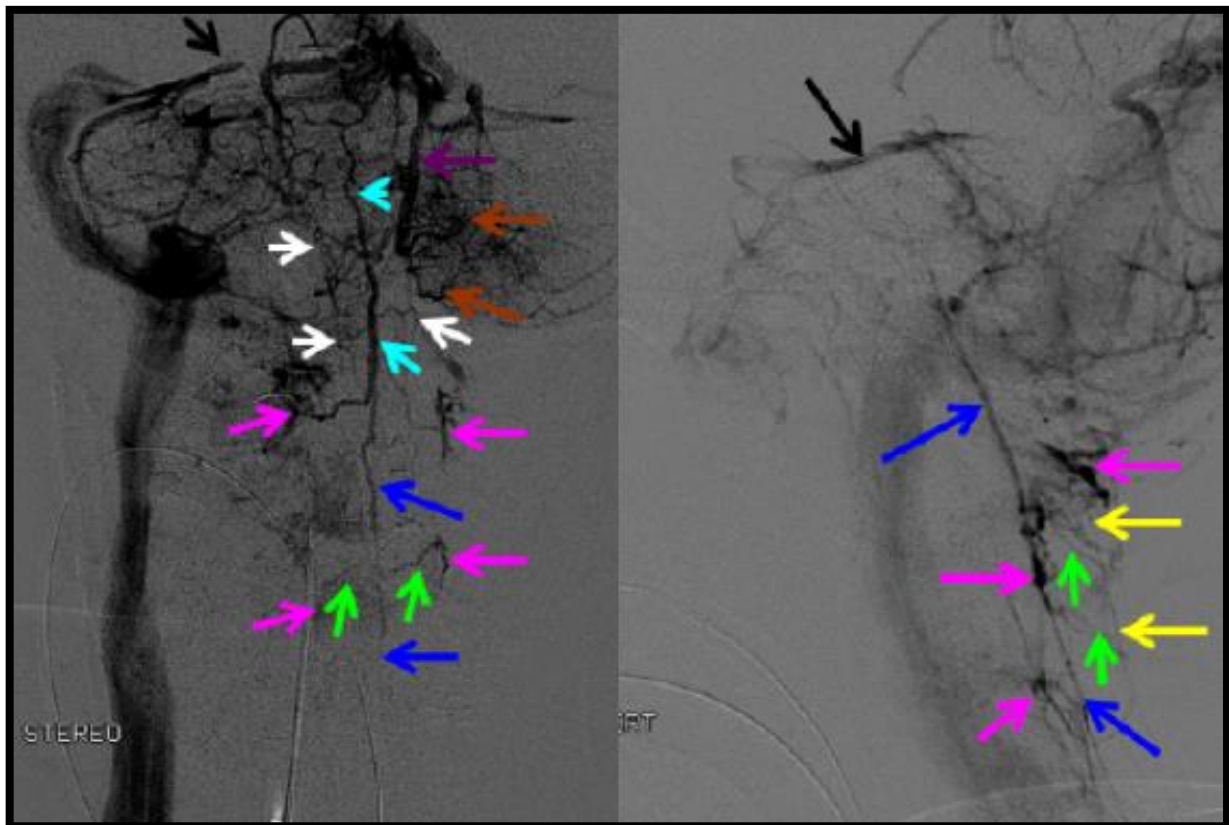


FIGURE 41 : ANGIOGRAPHIE DE LA FOSSE POSTERIEURE AU TEMPS VEINEUX FACE ET PROFIL. BLEU CLAIR : VEINES MEDULLAIRES ANTERIEURES ; BLEU FONCE : VEINES SPINALES ANTERIEURES ; BLANC : VEINES TRANSVERSES MEDULLAIRES ; ROSE : PLEXUS VEINEUX PERI MEDULLAIRE ; VERT : VEINES RADICULAIRES ; NOIR : SINUS PETREUX SUPERIEUR ; VIOLET :

VEINE DE LA SCISSURE CEREBELLO- MESENCEPHALIQUE ; MARRON : VEINES DU PEDONCULE CEREBELLEUX MOYEN. D'APRES NEUROANGIO ⁵⁵

Conclusion:

Les dAVF de la fosse postérieure sont des pathologies rares à fort risque hémorragique. Elles nécessitent une prise en charge thérapeutique active ayant pour objectif l'occlusion complète du shunt. L'objectif du traitement est la déconnection du pied de veine. Les techniques pour ce traitement ne font preuve d'aucune recommandation. La revue de la littérature montre néanmoins une évolution concernant la prise en charge de ces fistules, avec une augmentation des séries de cas traités par voie endovasculaire. Toutefois, il faut noter que pour les cas dont l'anatomie est favorable à un accès chirurgical aucune étude randomisée comparant le traitement chirurgical versus endovasculaire n'existe.

Par ailleurs, il faut aussi souligner les progrès des techniques endovasculaires sur le plan diagnostic (angiographie tridimensionnelle) et thérapeutique (nouveaux agents d'embolisation, amélioration des dispositifs médicaux) augmentant la maîtrise du traitement endovasculaire. Aussi, en pratique, de nombreux centres proposent des traitements endovasculaires seuls, ce qui est notamment le cas au CHU de Limoges. Nous avons donc choisi de revoir les dAVF la fosse postérieure traitées dans le service de neuroradiologie interventionnelle depuis dix ans. Du fait d'une collaboration avec le centre hospitalo-universitaire de Novorisky, Russie, nous avons choisi d'inclure les dAVF traitées dans ce centre afin de constituer une cohorte plus importante.

Les données démographiques, cliniques, anatomiques, et thérapeutiques des patients inclus dans notre cohorte ont ainsi été analysées et comparées aux données disponibles dans la littérature.

Il ressort de cette étude rétrospective que le traitement endovasculaire des dAVF de la fosse postérieure, principalement réalisé par voie artérielle, permet d'obtenir un taux satisfaisant d'occlusion complète avec un taux de complications faible. Les données de l'étude sont détaillées dans l'article ci-dessous.

Article

Posterior Fossa Dural Arteriovenous Fistulas: outcomes of endovascular treatment

Détraz L ¹, Orlov K ², Berestov V ³, Borodestky V ⁴, Rouchaud A ^{4,5}, Abreu-Mattos LG ⁴, Mounayer C ^{4,5}

¹ Service de neuroradiologie interventionnelle et diagnostique, Centre Hospitalier Universitaire de Nantes, Hôpital Laennec, Boulevard Jacques Monod -Saint-Herblain-44093 Cedex Nantes 1, France

² Department of Neurosurgery, E. Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Rechkunovskaya Street, 630055 Novosibirsk, Russian Federation

³ Service de radiologie, neuroradiologie interventionnelle, Centre Hospitalier Universitaire de Limoges, Hôpital Dupuytren, Avenue Martin Luther King, 87042 Limoges Cedex 1, France

⁴ CNRS, XLIM, UMR 7252, Université de Limoges, 87060 Limoges Cedex, France

Abstract

Introduction: Dural Arterio-Venous Fistulas (dAVF) located in the posterior fossa are a rare entity. Objectives of the study were to analyze the anatomy of the dAVF, their endovascular treatment strategies and clinical outcomes.

Methods: Two centers retrospectively selected patients treated between January 2009 and June 2018 for posterior fossa dAVF. We collected patient demographics, clinical presentation, arterial and venous outflow anatomy of the dAVF and treatment outcomes.

Results: Twenty-six patients treated endovascularly for posterior fossa dAVF type III, IV or V, have been included. 100 % of the dAVF were occluded: transarterial approach was performed in 23 dAVF (88.5 %), combined transarterial and transvenous approach for 2 dAVF (7.7 %) and transvenous approach alone for 1 dAVF (3.8 %). Middle meningeal artery (MMA) was the most common artery chosen to inject embolic liquid (46 %, 12/26). Procedure related morbidity was 15.4 % at 24 hours, 7.7 % at discharge and 0% 6 months. Procedure related mortality was 0%.

Conclusion: Endovascular treatment offers high occlusion rates for posterior fossa dAVF with low morbi-mortality rates. Arterial approach is the first line preferred approach even if transvenous or combined approach can be a safe and effective option for patients with favorable anatomy.

Key Words: dural arteriovenous fistulas; endovascular; liquid embolic material

Introduction

Dural arteriovenous fistulas (dAVF) are a rare pathology, accounting for 10 to 15% of all intracranial vascular shunts ¹. dAVF of the posterior fossa are defined as intracranial shunts involving the tentorium and the dura that covers the remainder of the posterior fossa ².

One third of arteriovenous shunts located in the posterior fossa are purely dural and commonly involve the transverse or the sigmoid sinus ². Most of them are clinically benign, mainly resulting in intracranial bruits ³ as clinical symptoms are in closed relationship with the venous drainage ^{4, 5}. Besides, dAVF of lateral or sigmoid sinus are anatomically and histologically different from the tentorial and foramen magnum fistulas as the shunt is located inside the sinus which is a duplication of the dura mater and not directly into the vein. On another hand, tentorial dAVF usually drain into subarachnoid veins, and not into the associated sinus ⁶. Those veins are more dangerous to navigate and make difficult the transvenous access for endovascular treatment. Excluding shunts of the transverse and sigmoid sinus, posterior fossa fistulas are the most dangerous fistulas due to their cortical drainage at risk of rupture and their eloquent location ^{3, 7}.

Due to their rarity, only few studies described the anatomical settings, clinical presentation and endovascular management of posterior fossa dAVF. Hence, we reviewed dAVF located in the posterior fossa with subarachnoid venous drainage from two centers and all treated by endovascular approach and we analyzed their anatomy, clinical presentation, endovascular treatment and outcomes after treatment.

Methods

Data Collection

Data were collected in prospective databases in two interventional neuroradiology centers from January 2009 to June 2018.

Posterior fossa dAVFs cases have been retrospectively identified from the databases. Patients demographics, baseline clinical presentation, embolization technique and follow-up outcomes were collected and a retrospective analysis of the patient record,

neuroimaging and follow up was performed by two investigators in each center. In case of discrepancy, the investigators reviewed together the cases to reach consensus.

Patient selection

All cases were diagnosed with initial MRI or CT angiography and further confirmed and analyzed by selective digital subtraction angiography (DSA). Initial DSA included selective bilateral internal and external carotids and vertebral angiography.

Inclusion criteria were patients with ruptured and unruptured dAVF, with a dural shunt located in the posterior fossa and with subarachnoid venous drainage. Exclusion criteria were dAVF directly draining into the sinus.

Endovascular treatment protocol

In each center, therapeutic strategy was defined by a multidisciplinary neurovascular staff. All the selected patients have been treated by endovascular treatment, under general anesthesia. Procedures were performed in a biplane flat panel angiographic suites (Allura Xper FD20; Philips Healthcare, The Netherlands). Arterial vascular access was achieved by a transfemoral approach by using a 6 French catheter. When venous access was needed, trans jugular or trans femoral approach was used. For each patient, 3000 to 5000 UI heparin were administered i.v at the beginning of the intracranial catheterization.

Non-adhesive embolic liquid (NAEL) and adhesive embolic liquid (AEL) agents were used. NAEL used were: Onyx (Covidien, Irvine, CA, USA), Squid (Emboflue, Switzerland) or PHIL (Microvention, Tustin, CA, USA). AEL used was Glubran (GEM, Viareggio, Italy).

Clinical and imaging follow-up

Every patient underwent full clinical and neurological evaluation by the senior neuroradiologist in charge, before the treatment, at awakening, at discharge and six months after the endovascular procedure. Six months' evaluation was usually followed by DSA. If the DSA was not performed, patients underwent MRI. mRS score was assessed before the treatment, at discharge and at six months. A stable or improved

mRS between pre-treatment and six months follow up was considered good clinical outcome.

Results

Patients' baselines characteristics

Out of the 198 dAVF treated in the two centers, 26 patients (13.1%) presented posterior fossa dAVF and were included in this study. Mean age was 54 +/- 15 years (ranging from 38 to 80 years old) with 80.7 % males (21/26). Eight patients (30.7 %) presented with intracranial hemorrhage. Table 1. According to Lariboisiere classification ⁸, 10 dAVF (38.5 %) were type III, 10 were type IV (38.5 %) and 6 were type V (23.1 %). Clinical symptoms leading the diagnosis was headache (9 cases, 34.6 %), cerebellar syndrome (4 cases, 15.4%), hemiparesis (2 cases, 7.7 %), myelopathy (4 cases, 15.4 %), acute cervical pain (1 case, 3.8%), pulsatile tinnitus (1 case, 3.8 %). 5 cases (19.2 %) were incidental finding.

Table 1: Details regarding patients' demographics, clinical presentation, treatment outcomes, anatomy and classification of dAVF.

M : Male ; F : Female ; R : Right ; L : Left ; APhA : Ascending Pharyngeal Artery ; ILT : Infero Lateral Trunk ; MHT : MeningoHypophyseal Trunk ; MMA : Middle Meningeal Artery; OA : Occipital Artery ; PMA : Posterior Meningeal Artery ; SCA : Superior Cerebellar Artery ; VA : Vertebral Artery ; CN : Cranial Nerve

AGE SEX	LAR IBOI SIE RE TYPE	SID E	HEMO R RHAGE	CLINICAL PRESENT ATION	LOCATI ON	PRINCIPA L ARTERIAL ANATOMY	FIRST SECOND ARY ARTERI AL ANATOMY	SECOND SECOND ARY ARTERI AL ANATOMY	VENOUS SHUNT	VENOUS OUTFLOW	NUMBE R OF SES SIONS	APPROACH	ARTERY ACCES S	ARTERY - EMBO LIC AGENT	VENOUS ACCESS	VEIN - EMBOLIC AGENT	CONTR OLE 6 MONTHS	mRS BEFORE	mRS 6 MONTHS	COMPLI CATION
44 M	III	R	No	Tinnitus Pulsatile	Petrosal	Meningeal recurrent branch of ILT	PMA of OA	-	Superior petrosal vein	Basal vein	1	Venous	-	-	Basal vein	Onyx 18 + coils	Total Occlusion	0	0	-
76 M	III	L	No	Cerebellar syndrome	Petrosal	Tentorial medial branch of MHT	Meningeal recurrent branch of ILT	-	Superior petrosal vein	Basal vein	1	Arterial	MMA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	0	0	-
38 M	IV	L	No	Hemiparesis	Petrosal	Tentorial branch of MMA	PMA of OA	Meningeal recurrent branch of ILT	Superior petrosal vein	Basal vein	1	Arterial	MMA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	3	1	Hydrocephaly after venous thrombosis and midbrain compression
40 M	IV	R	No	Incidental	Petrosal	Tentorial medial branch of MHT	Tentorial branch of MMA	PMA of OA	Superior petrosal vein	Basal vein	1	Arterial	MMA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	0	0	-
39 M	III	R	No	Headache	Petrosal	Squamous branch of MMA	Tentorial medial branch of MHT	Transosseous of OA	Superior petrosal vein	Basal vein	2	Arterial	MHT/MMA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	0	0	-
61	III	R	Yes	Cerebellar syndrome	Free edge	Meningeal branch of SCA	Tentorial medial branch of MHT	-	Tectal vein	Torcular	1	Arterial	Meningeal branch of SCA	Hystoacryl 20%	-	-	Total Occlusion	1	1	Ischemia due to reflux into the SCA
57 M	IV	R+L	Yes	Hemiparesis	Free edge	Tentorial medial branch of MHT	Meningeal branch of SCA	Tympanic branch of APhA	Tectal vein	Torcular	3	Arterial+Venous	APhA+MHT	Onyx 18	Basal vein	Onyx 18	Total Occlusion	3	2	-

40 M	IV	R+ L	Yes	Headache	Free edge	Tentorial branch of MMA	PMA of OA	Meningeal branch of SCA	Tectal vein	Torcular	1	Arterial	MMA	Onyx 18	-	-	-	2	1	-
58 M	III	L	No	Headache	Free edge	Meningeal branch of SCA	-	-	Tectal vein	Torcular	1	Arterial	Meningeal branch of SCA	Onyx 18	-	-	-	0	0	-
73 M	IV	L	No	Acute Cervical Pain	Tentorial Posterior	PMA of VA	Transosseous of OA	Petrosal branch of MMA	Declival vein	Cerebellar cortical vein	1	Arterial	MMA + PMA OA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	0	0	-
60 M	IV	R	No	Cerebellar syndrome	Tentorial Posterior	PMA of VA	Transosseous of OA	Meningeal recurrent branch of ILT	Declival vein	Cerebellar cortical vein	1	Arterial	PMA + Transosseous OA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	0	0	Transient hemiparesis
64 M	IV	R	Yes	Headache	Tentorial Posterior	PMA of VA	PMA of OA	Tentorial branch of MMA	Declival vein	Cerebellar cortical vein	1	Arterial	MMA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	2	1	-
80 M	IV	L	No	Incidental	Tentorial Posterior	PMA of VA	Transosseous of OA	Squamous branch of MMA	Declival vein	Cerebellar cortical vein	1	Arterial	MMA	Phil	-	-	Total Occlusion	0	0	-
74 M	III	R	No	Cerebellar syndrome	Tentorial Posterior	PMA of VA	PMA of OA	Squamous branch of MMA	Declival vein	Cerebellar cortical vein	1	Arterial	MMA	Phil	-	-	Total Occlusion	2	1	-
52 M	III	R	Yes	Headache	Tentorial Posterior	Transosseous of occipital artery	Tentorial branch of MMA	-	Declival vein	Cerebellar cortical vein	1	Arterial	Transosseous of OA	Onyx 18	-	-	-	0	0	-
63 F	IV	R+ L	Yes	Headache	Tentorial Posterior	Tentorial branch of MMA	PMA of VA	-	Declival vein	Cerebellar cortical vein	2	Arterial	MMA	Onyx18 / Squid18	-	-	Total Occlusion	1	0	-
30 F	III	R	No	Incidental	Tentorial Posterior	PMA of VA	-	-	Declival vein	Cerebellar cortical vein	1	Arterial	PMA of VA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	0	0	-
43 F	IV	L	no	Incidental	Petrosal	Transosseous of OA	Tentorial medial branch of MHT	Jugular branch of APhA	Superior petrosal vein	Lateral tentorial sinus	1	Arterial	Transosseous of OA	Phil	-	-	Total Occlusion	0	0	-
23 M	III	L	No	Headache	Tentorial Posterior	PMA of vertebral artery	-	-	Cerebellar inferior vein	Lateral tentorial sinus	1	Arterial	PMA of VA	Squid	-	-	Total Occlusion	0	0	-
33 M	III	R	Yes	Headache	Tentorial Posterior	Tentorial medial branch of MHT	Tentorial branch of MMA	-	Cerebellar inferior vein	Lateral tentorial sinus	1	Arterial+Venous	MMA	Onyx 18	Tentorial vein	Onyx 18 + coils	Total Occlusion	0	0	-

76 M	V	R	No	Hemiparesis	Foramen Magnum	Hypogloss branch of APhA	-	-	Lateral medullar vein	Plexus venous perimedullar	1	Arterial	APhA	Hystoacryl 20%	-	-	Total Occlusion	4	2	-
54 F	V	L	No	Myelopathy	Foramen Magnum	PMA of OA	jugular branch of APhA	PMA of VA	Lateral medullar vein	Plexus venous perimedullar	2	Arterial	PMA of OA / PMA of VA	Glue / Onyx 18	-	-	Total Occlusion	3	2	-
44 M	V	R	No	Myelopathy	Foramen Magnum	PMA of VA	-	-	Lateral medullar vein	Plexus venous perimedullar	1	Arterial	PMA of VA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	2	1	-
56 M	V	R	No	Paraparesis	Petrosal	Tentorial medial branch of MHT	Tentorial branch of MMA	-	Superior petrosal vein	Plexus venous perimedullar	1	Arterial	MMA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	3	1	IV CN transient palsy
55 M	V	R	Yes	Headache	Magnum Foramen	PMA of VA	PMA of OA	Jugular branch of APhA	Lateral medullar vein	Plexus venous perimedullar	1	Arterial	APhA + PMA OA	Hystoacryl 20% + Onyx 18	-	-	Total Occlusion	0	0	-
58 M	V	L	No	Incidental	Magnum Foramen	PMA of VA	PMA of OA	Hypogloss branch of APhA	Lateral medullar vein	Plexus venous perimedullar	1	Arterial	PMA OA	Onyx 18	-	-	Total Occlusion	0	0	-

Location and angioarchitecture

All dAVF were fed by a meningeal branch of the external carotid artery. Multiple arterial feeders were observed in 84.4 % (22/26) of cases with bilateral supply in 61.5 % (16/26). The most common feeding artery was the middle meningeal artery MMA (11 cases (42.3 %): 7 from a tentorial branch, 3 from a squamous branch, 1 from a petrosal branch); then, the posterior meningeal artery (PMA) arising from the vertebral artery (11 cases (42.3 %); the PMA from occipital artery (9 cases, (34.6 %)), the medial tentorial branch of the meningo-hypophyseal trunk (MHT) (7 cases, (26.7 %); and the ascending pharyngeal artery (APA) (6 cases, (23.1 %): 3 from the hypoglossal branch and 3 from the jugular branch) Table 1.

19.2 % (5/26) presented a venous outflow into the basal vein. All of them presented a petrosal location with a shunt into the superior petrosal vein. Also, all of them were supplied by a branch of the MHT/ILT and 80.0 % by MMA. Table 2

Four dAVF (15.4 %) presented a venous outflow into the torcular. All of them were located on the free edge of the tentorium, with a shunt located into the tectal vein. All were supplied by a meningeal branch of the superior cerebellar artery with different secondary supply with branches arising from the internal carotid or from the PMA. Table 2

Eight dAVF (30.8 %) presented an outflow into the cerebellar veins, (30.8 %): 6 cases (75.0 %) presented a tentorial posterior location with a shunt into the declival vein and 2 cases (25.0 %) presented a petrosal location with a shunt into the superior petrosal vein. PMA from the vertebral artery was the more frequent feeder (87.5 %) although MMA and transosseous branches of the occipital artery were also frequent feeders (75.0 %). Table 2.

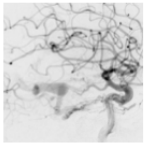
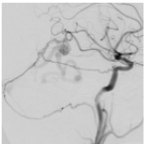
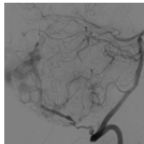
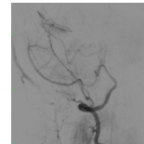
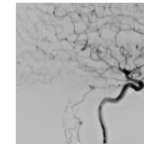
					
Venous outflow	Basal vein	Torcular	Cerebellar veins	Lateral tentorial Sinus	Perimedullar veins
Number of dAVF	5 (19%)	4 (15%)	8 (31%)	3 (12%)	6 (23%)
Localisation of the shunt (number of dAVF)	Petrosal (5)	Free edge (4)	Tentorial posterior (6) Petrosal (2)	Tentorial posterior (2) Petrosal (1)	Foramen magnum (5) Petrosal (1)
Arterial feeders	5 (100%) MHT/ILT 4 (80%) MMA	4 (100%) Meningeal branch of SCA 3(75%) MHT	7 (87,5%) PMA 6 (75%) MMA 6 (75%) TOB	2 (66%) MHT	4 (67%) PMA
Venous shunt	Superior petrosal vein (4)	Tectal vein (4)	Declival vein (8)	Cerebellar inferior veins (2) Superior petrosal vein (1)	Lateral medullar vein (5) Superior petrosal vein (1)
Hemorrhage	0	3 (75%)	3 (37,5%)	1 (33,3%)	1 (17,7%)
Approach	Arterial (venous if no MMA access)	Arterial (venous if no safe arterial access)	Only Arterial	Arterial (venous if no safe arterial access)	Only Arterial
Preferred arterial access	MMA	Meningeal branch. of SCA	MMA	MMA	PMA if FM MMA if petrosal

Table 2: Anatomy and treatment of the dAVF according their basal outflow

MHT: meningeal hypophysaire trunk ; MMA : middle meningeal artery ; PMA : posterior meningeal artery ; SCA : superior cerebellar artery ; TOB : transosseuses branch of occipital artery ; FM : foramen magnum

Three dAVF (11.5 %) had a lateral tentorial outflow: 2 cases (66.7 %) presented a tentorial posterior location with a shunt into the cerebellar inferior veins and 1 case (33.3 %) presented a petrosal location with a shunt into the petrosal superior vein. Arterial feeders were more variable even if the tentorial branch of the MHT was the most frequent feeder (2/3, 66.7 %). Table 2

Six dAVF (23.1 %) had a perimedullar outflow: 5 cases (83.3 %) were located on the foramen magnum with a shunt into the lateral medullar vein in 3 cases (75.0 %), dAVF were fed unilaterally by the PMA of the vertebral artery and in 3 cases (75.5 %) dAVF were fed by the APA. None were fed by the MMA. 1 case (16,7 %) was with a petrosal location with a shunt into superior petrosal vein, fed by the tentorial medial branch of MHT and the tentorial branch of MMA. Table 2.

Endovascular treatment strategies

Transarterial approach was performed in 23 dAVF (88.5 %), combined transarterial and transvenous approach in 2 patients (7.7 %) and transvenous approach alone in 1 case (3.8 %). Table 1, Table 2 and Table 3. During the selected period, 100% of the dAVF were totally occluded: 22 (84.6 %) dAVF were totally occluded with a unique session, 2 dAVF (7,7 %) after two sessions and one (3.8 %) after three sessions. Details are provided in table 3. None had surgery.

	Arterial approach					Combined approach	Venous approach
Number of dAVF treated	23					2	1
	Onyx 18	PHIL	Onyx 18 + Glubran	Glubran	Squid		
Number of session	17	3	2	2	2	3	1
Complications (number of cases)	3	0	0	1	0	0	0

Table 3 : Endovascular treatment strategy.

Regarding dAVF draining into the basal vein, MMA embolization was the first option in 80.0 % of cases, even if the MHT/ILT was the principal feeder. One dAVF was occluded using a single transvenous approach due to the narrowed caliber of the main feeding artery and to the risk of reflux into the ICA. Details are provided in (Figure 1).

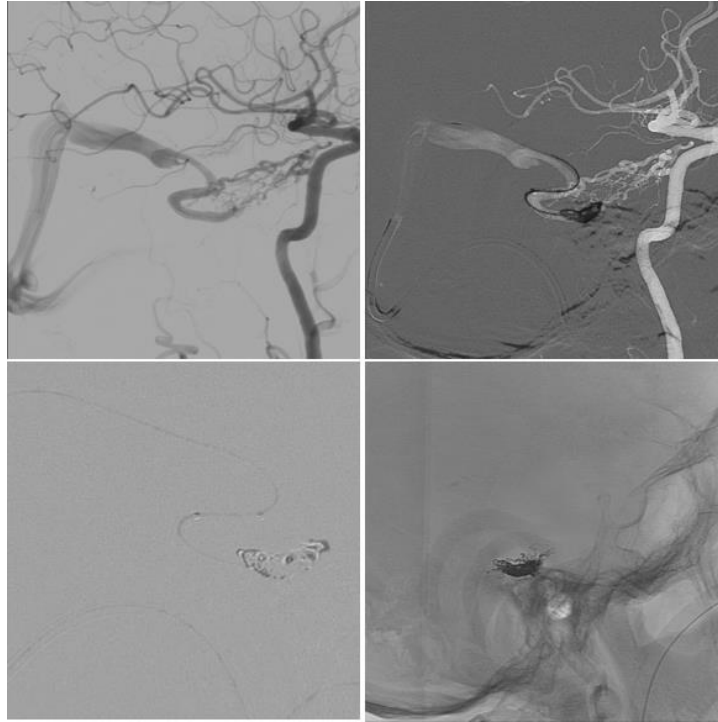


Figure 1 : Transvenous approach. Petrosal dAVF with petrosal outflow, fed by the recurrent tentorial branch of the ILT and a posterior meningeal branch, draining into the intern temporal vein. Retrograde catheterization of the straight sinus via jugular golf and lateral sinus. Two Echelon 10 microcatheters were navigated to the foot vein located on the internal temporal vein. By one microcatheter, platinum coils were rolled, then through the second microcatheter Onyx 18 was injected. dAVF was totally cured at the end of the intervention.

- a- Lateral initial angiogram
- b- Transvenous coiling
- c- Transvenous Onyx injection
- d- Cast of Onyx and coils

dAVF with a tectal shunt and a torcular outflow were fed by the meningeal branch of SCA and by different accessory supplies from the PMA or the MHT. Hence, embolization through the meningeal branch of SCA was the first option (50.0 % of the cases) when the navigation and the onyx reflux were acceptable. For one case, due to incomplete occlusion and arterial navigation difficulties, embolization was completed by transvenous approach with a pressure cooker technique using coils and NAEL.

Concerning dAVF draining into the cerebellar cortical veins, MMA was the most frequent feeder (75.0 %) and the embolization via the MMA was the first option when possible (5 cases, 62.5 %) (Figure 2). PMA (3 cases, 37.5 %) and transosseous

branches (1 case, 12.5 %) were the second option due to the risk of ischemia in case of reflux into the vertebral artery and due to navigation difficulties.

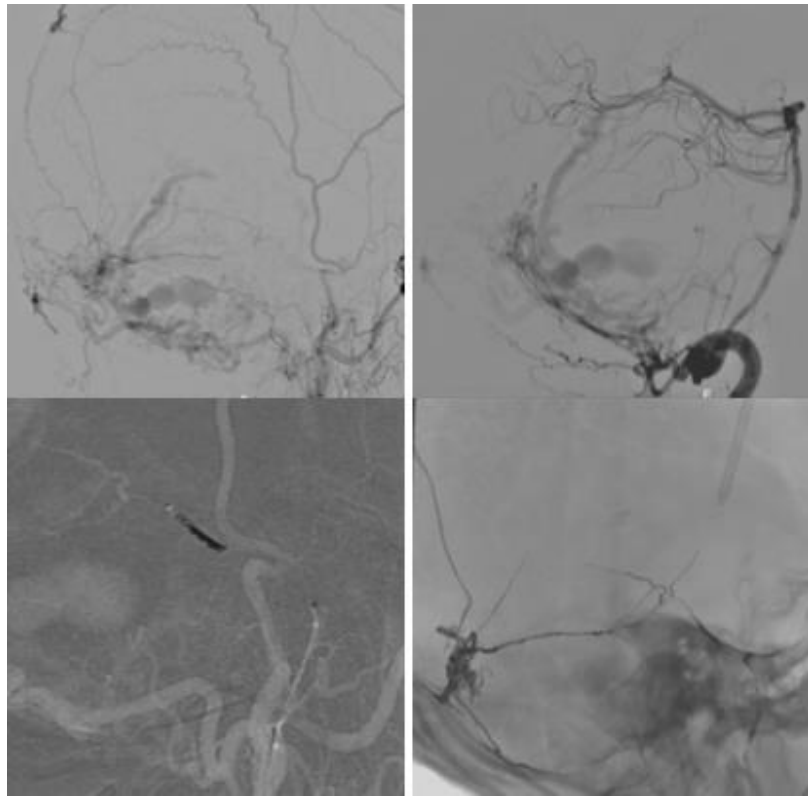


Figure2: Transarterial approach.Ruptured dAVF with a shunt located into the declival vein and venous outflow into the cerebellar veins, fed by the PMA of the VA, transosseous of OA, squamous branch of the MMA. MMA was catheterized and platinum coils were rolled into the MMA to improve NAEL penetration, then NAEL was injected.

- a- Lateral initial angiogram via the ECA
- b- Lateral initial angiogram via the VA
- c- Coils pressure cooker in the MMA
- d- Final cast of Onyx and coils

For dAVF draining into the lateral tentorial sinus, transarterial approach via the MMA was the preferred option when possible. In one case, a complementary transvenous approach through the tentorial sinus was also performed because of the partial occlusion via the injection of embolic liquid through a narrow MMA. Occlusion was total.

For dAVF draining into perimedullar veins, venous approach was not possible. Regarding foramen magnum fistulas, despite the frequency of anastomosis in this

area, 3 cases (60.0 %) of the dAVF were treated via the PMA. Regarding the petrosal location, MMA was chosen (Figure 3).

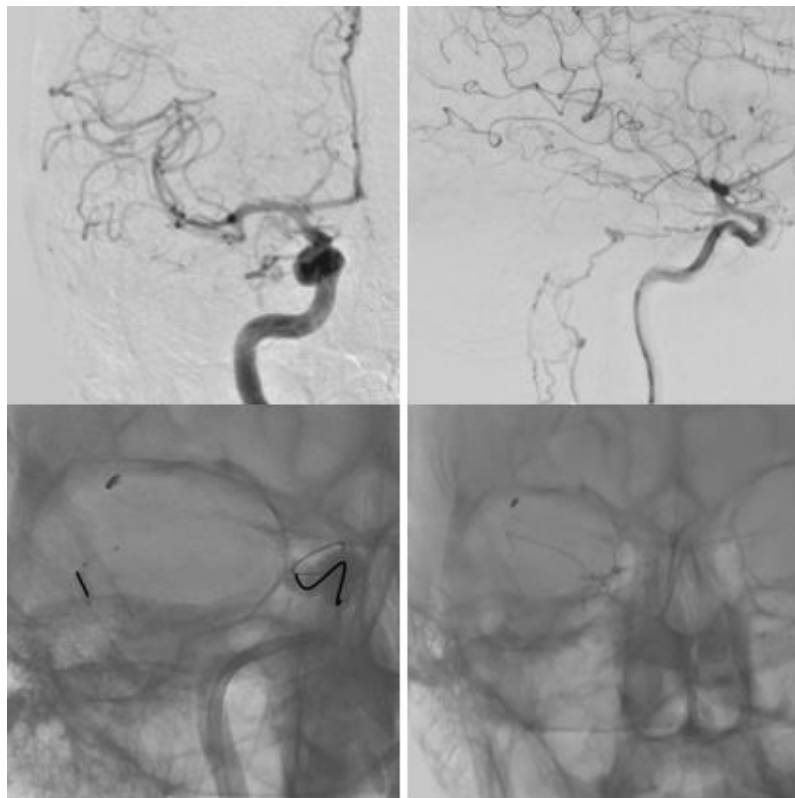


Figure 3: Double balloons technique. Unruptured petrosal dAVF, fed by the medial tentorial branch of the MHT and by a tentorial branch of the MMA, draining into superior petrosal vein with an outflow into the perimedullar veins. Balloon pressure cooker technique was used: a Scepter XC balloon 4x11 was inflated in the MMA to improve onyx injection, while protecting the carotid siphon with a Copernic balloon. While both balloons were inflated Onyx 18 was injected in a unique session using Marathon microcatheter. Total occlusion of the shunt was noted on the final angiography.

- a- Antero-posterior initial angiogram
- b- Lateral initial angiogram
- c- Balloon pressure cooker in the MMA with balloon protecting device in the ICA
- d- Final cast of Onyx

Clinical and angiographic outcomes

Treatment related morbidity was observed in four patients (15.4 %) including two with complete recovery in less than 24 hours. The two other patients had a fully recovery at 6 months follow-up. Transient symptoms presented were a fourth cranial nerve palsy

after NAEL embolization and hemiparesis after reflux of NAEL into the vertebral artery. The two major complications were hydrocephaly due to mass effect after a venous thrombosis and superior cerebellar ischemia due to a NAEL arterial reflux (Table 1). We reported no complication with transvenous or combined procedures. Thus, procedure related morbidity at 24 hours was 15.5 %, 7.7 % at discharge was, and 0 % at 6 months. Procedure related mortality was 0 %.

Four patients were lost of follow-up for which mRS at discharge was 0 for all of them. Compared to the clinical situation at the time of the diagnosis, every patient had a stable or improved clinical situation at 6 months (Table 4). All of them achieved independence (mRS < 2) at 6 months or at discharge versus 80.0 % at the time of the diagnosis.

22 patients (84.6 %) underwent a control angiography at 6 months which showed the permanent occlusion for each of them.

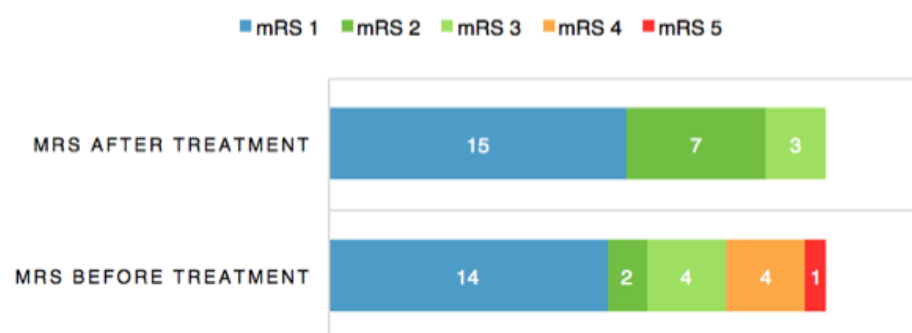


Table 4: mRS before treatment at the time of the diagnostic, and 6 months after treatment when available, or at discharge if not.

Discussion

Treatment considerations and classification

When intervention is indicated, the cornerstone of dAVF treatment is the disconnection of the vein foot. Proximal draining veins must be occluded at the end of the treatment

⁹. Due to their rarity, endovascular treatment of posterior fossa dAVF has less been described. Nevertheless, arterial approach is the most common approach even if transvenous or combined approach can be a safe and effective option ^{10, 11}. As described in the literature ¹⁰, in our series the transarterial route was the first line approach. However, transvenous approach, alone or combined, appears to be safe and effective in our study. We deployed no clinical complication and mRS was stable or improved at 6 months for all patients.

Furthermore, in agreement with the literature ^{9, 12, 13} the MMA artery was the most commonly selected artery to navigate to the shunt, even if it was not the main feeding artery, because of the less tortuous route and the lower rate of dangerous anastomosis. We reported two main complications – extended venous thrombosis causing hydrocephaly and cerebellar ischemia- without relation with the MMA navigation.

In the present series, complications rates linked to the procedure were small. This is to note that the complications rate reported in the literature were even lower. Indeed, Maimon et al. reported a complication rate of 5.8 % ⁹ and Cognard and al. a rate of 6.7 % ¹⁴. However, those rates do not specifically concern posterior fossa dAVF but all dAVF with cortical venous drainage, including dAVF which are considered safer to treat. Besides, Zhou and al, in a series of five tentorial dAVF reported one complication (20 %) due to cerebellar infarctus ⁷ whereas Motebajane and al, in a series of 12 dAVF of the foramen magnum treated with NBCA reported no complication ¹⁵ as Liang and al in a series of five dAVF of the foramen magnum treated with Onyx ¹⁶. Besides, tentorial fistulas are more challenging fistulas as there is usually dural supply from both internal and external carotid arteries, increasing the procedural risk of intracranial embolic events ¹². Furthermore, as venous drainage pattern is linked to the clinical symptoms ^{4, 5}, this slightly higher complication rate regarding fossa posterior fistulas might be linked to specificity of posterior fossa drainage. Likewise, posterior fossa fistulas are located in a very eloquent zone

Finally, complication rate of the present series might also be linked to a more intensive endovascular treatment since 100 % of the dAVF were occluded, whereas Maimon and al. reported a rate of 88.3 % ⁹ and Cognard and al. a rate of 80% ¹⁴ of total occlusion.

Anatomic consideration and classification

We analyzed 26 dAVF of the posterior fossa with infratentorial venous drainage. Because of the importance of the venous drainage on the clinical presentation ⁵ special attention should be given to the venous outflow in order to improve the understanding and the treatment strategy. Venous outflow can be defined according to the main draining vein at the level of the shunt. Thus, based on their venous outflow, cases can be classified into five groups and consider the shunt, the arterial feeders and the treatment strategy.

The 5 groups noted were:

- Group 1: vein outflow into the basal vein
- Group 2: vein outflow into the torcular
- Group 3: vein outflow into the cerebellar cortical vein
- Group 4: vein outflow into the lateral tentorial sinus
- Group 5: vein outflow into the plexus venous perimedullar

Other classifications exist but are not adapted to the endovascular approach since they are not specifically based on the outflow. Indeed, Lawton and al established a very detailed classification dividing 31 tentorial dAVF into six group ⁶. Nevertheless, this classification is anatomic and does not examine the venous outflow pattern. This classification is mainly made for a surgical purpose to prepare the surgical access but is not adapted for endovascular approach. Another classification exists based on the location of the shunt and not on the outflow, thus including posterior fossa shunt with sometimes supratentorial drainage ¹⁷. Hence, the proposed classification is more adapted to the endovascular approach and based on venous outflow which is the most clinically impactful ⁵. However, due to the rarity of the cases, this classification has to be strengthened by further studies including more patients.

All of the dAVF draining into the basal vein, were petrosal and had a venous shunt into the superior petrosal vein. One other petrosal dAVF drained into the tentorial sinus and another petrosal dAVF drained into perimedullar veins. Hence, for petrosal dAVF, the

anatomic location of the shunt did not predict the outflow, thus the symptoms, enhancing the need for a classification considering the venous outflow. In fact, our results were consistent with the pattern of drainage of the petrosal dAVF which was described by Li and al.¹⁸ and Matsushima et al.¹⁹. They classified petrosal dAVF into four groups based on the draining area: posterior mesencephalic group, anterior pontomesencephalic group, petrosal group and tentorial group. They showed that all patients from the posterior mesencephalic and some patients from the pontomesencephalic group had a supratentorial drainage via a connection to the basilar vein. However, in the present series, we only focused on infra tentorial drainage so we do not present any pontomesencephalic dAVF in our series.

Regarding the perimedullar drainage, the four dAVF with a shunt into the lateral medullar vein were located on the foramen magnum and fed by the PMA of the vertebral artery or the APA as classically described in the literature^{3, 15}.

Limitations

Limitations has to be noted in the present series. First, it is a retrospective analysis with inherent bias due to this method. Second, the cohort is relatively small as posterior fossa dAVF are rare and patients were not randomized into transarterial approach, transvenous or combined approach, which does not allow to compare treatment safety and efficiency.

Finally, due to their rarity, no many studies focusing on dAVF of the posterior fossa can be found in the literature. To our knowledge, our series is the largest in the literature specifically concerning dAVF of the posterior fossa.

Conclusion

dAVF of the posterior fossa with subarachnoid venous drainage are rare and difficult to treat. Special attention has to be given to the venous outflow to understand the pathology and to analyze the therapeutic procedure. Arterial approach is the most common approach. Venous approach, isolated or combined, also seems to be safe and successful in some selected cases.

REFERENCES

1. Newton TH, Cronqvist S. Involvement of dural arteries in intracranial arteriovenous malformations. *Radiology*. 1969;93:1071–1078.
2. Newton TH, Weidner W, Greitz T. Dural arteriovenous malformation in the posterior fossa. *Radiology*. 1968;90:27–35.
3. Pierot L, Chiras J, Meder JF, Rose M, Rivierez M, Marsault C. Dural arteriovenous fistulas of the posterior fossa draining into subarachnoid veins. *AJNR Am. J. Neuroradiol*. 1992;13:315–323.
4. Houser OW, Baker HL, Rhoton AL, Okazaki H. Intracranial dural arteriovenous malformations. *Radiology*. 1972;105:55–64.
5. Lasjaunias P, Chiu M, ter Brugge K, Tolia A, Hurth M, Bernstein M. Neurological manifestations of intracranial dural arteriovenous malformations. *J. Neurosurg*. 1986;64:724–730.
6. Lawton MT, Sanchez-Mejia RO, Pham D, Tan J, Halbach VV. TENTORIAL DURAL ARTERIOVENOUS FISTULAE: OPERATIVE STRATEGIES AND MICROSURGICAL RESULTS FOR SIX TYPES. *Oper. Neurosurg*. 2008;62:110–125.
7. Zhou L-F, Chen L, Song D-L, Gu Y-X, Leng B. Tentorial dural arteriovenous fistulas. *Surg. Neurol*. 2007;67:472–481.
8. Cognard C, Gobin YP, Pierot L, Bailly AL, Houdart E, Casasco A, et al. Cerebral dural arteriovenous fistulas: clinical and angiographic correlation with a revised classification of venous drainage. *Radiology*. 1995;194:671–680.
9. Maimon S, Nossek E, Strauss I, Blumenthal D, Frolov V, Ram Z. Transarterial treatment with Onyx of intracranial dural arteriovenous fistula with cortical drainage in 17 patients. *AJNR Am. J. Neuroradiol*. 2011;32:2180–2184.
10. Lee S-K, Hetts SW, Halbach V, terBrugge K, Ansari SA, Albani B, et al. Standard and Guidelines: Intracranial Dural Arteriovenous Shunts. *J. Neurointerventional Surg*. 2017;9:516–523.
11. Wong GKC, Poon WS, Yu SCH, Zhu CXL. Transvenous embolization for dural transverse sinus fistulas with occluded sigmoid sinus. *Acta Neurochir. (Wien)*. 2007;149:929–935; discussion 935-936.
12. Kortman H, Bloemsma G, Boukrab I, Peluso J, Sluzewski M, van der Pol B, et al. Treatment of cranial dural arteriovenous fistulas with exclusive cortical venous drainage: A single-center cohort of 35 patients. *Interv. Neuroradiol*. 2017;23:661–665.

13. Stiefel MF, Albuquerque FC, Park MS, Dashti SR, McDougall CG. Endovascular treatment of intracranial dural arteriovenous fistulae using Onyx: a case series. *Neurosurgery*. 2009;65:132–139; discussion 139-140.
14. Cognard C, Januel AC, Silva NA, Tall P. Endovascular treatment of intracranial dural arteriovenous fistulas with cortical venous drainage: new management using Onyx. *AJNR Am. J. Neuroradiol*. 2008;29:235–241.
15. Motebejjane MS, Choi IS. Foramen Magnum Dural Arteriovenous Fistulas: Clinical Presentations and Treatment Outcomes, A Case-Series of 12 Patients. *Oper. Neurosurg*. 2018;15:262–269.
16. Liang G, Gao X, Li Z, Wang X, Zhang H, Wu Z. Endovascular treatment for dural arteriovenous fistula at the foramen magnum: report of five consecutive patients and experience with balloon-augmented transarterial Onyx injection. *J. Neuroradiol. J. Neuroradiol*. 2013;40:134–139.
17. Byrne JV, Garcia M. Tentorial dural fistulas: endovascular management and description of the medial dural-tentorial branch of the superior cerebellar artery. *AJNR Am. J. Neuroradiol*. 2013;34:1798–1804.
18. Li J, Ren J, Du S, Ling F, Li G, Zhang H. Dural Arteriovenous Fistulas at the Petrous Apex. *World Neurosurg*. 2018;119:e968–e976.
19. Matsushima K, Matsushima T, Kuga Y, Kodama Y, Inoue K, Ohnishi H, et al. Classification of the superior petrosal veins and sinus based on drainage pattern. *Neurosurgery*. 2014;10 Suppl 2:357–367; discussion 367.

Bibliographie

1. Elhammady MS, Ambekar S, Heros RC. Epidemiology, clinical presentation, diagnostic evaluation, and prognosis of cerebral dural arteriovenous fistulas [Internet]. In: Handbook of Clinical Neurology. Elsevier; 2017 [cited 2019 Jan 31]. p. 99–105. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444636409000096>
2. Houdart E, Saint-Maurice J-P, Chapot R, Merland J-J. Fistules artérioveineuses durales intracrâniennes. *EMC - Neurol.* 2004;1:123–135.
3. Harrigan MR, Deveikis JP. Handbook of Cerebrovascular Disease and Neurointerventional Technique [Internet]. 3rd ed. Humana Press; 2018 [cited 2019 Jan 31]. Available from: <https://www.springer.com/us/book/9783319667775>
4. Zipfel GJ, Shah MN, Refai D, Dacey RG, Derdeyn CP. Cranial dural arteriovenous fistulas: modification of angiographic classification scales based on new natural history data. *Neurosurg. Focus.* 2009;26:E14.
5. Kim DJ, terBrugge K, Krings T, Willinsky R, Wallace C. Spontaneous angiographic conversion of intracranial dural arteriovenous shunt: long-term follow-up in nontreated patients. *Stroke.* 2010;41:1489–1494.
6. Brown RD, Wiebers DO, Nichols DA. Intracranial dural arteriovenous fistulae: angiographic predictors of intracranial hemorrhage and clinical outcome in nonsurgical patients. *J. Neurosurg.* 1994;81:531–538.
7. Cognard C, Gobin YP, Pierot L, Bailly AL, Houdart E, Casasco A, et al. Cerebral dural arteriovenous fistulas: clinical and angiographic correlation with a revised classification of venous drainage. *Radiology.* 1995;194:671–680.
8. Newton TH, Cronqvist S. Involvement of dural arteries in intracranial arteriovenous malformations. *Radiology.* 1969;93:1071–1078.
9. Barnwell SL, Halbach VV, Dowd CF, Higashida RT, Hieshima GB, Wilson CB. Multiple dural arteriovenous fistulas of the cranium and spine. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 1991;12:441–445.
10. Chaudhary MY, Sachdev VP, Cho SH, Weitzner I, Puljic S, Huang YP. Dural arteriovenous malformation of the major venous sinuses: an acquired lesion. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 1982;3:13–19.
11. Uranishi R, Nakase H, Sakaki T. Expression of angiogenic growth factors in dural arteriovenous fistula. *J. Neurosurg.* 1999;91:781–786.
12. Borden JA, Wu JK, Shucart WA. A proposed classification for spinal and cranial dural arteriovenous fistulous malformations and implications for treatment. *J. Neurosurg.* 1995;82:166–179.

13. Padilha I. Tips and tricks you should know to suspect a dural arteriovenous fistula. [Internet]. 2017 [cited 2019 Mar 12];Available from: https://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&task=&pi=136166
14. Lasjaunias P, Chiu M, ter Brugge K, Tolia A, Hurth M, Bernstein M. Neurological manifestations of intracranial dural arteriovenous malformations. *J. Neurosurg.* 1986;64:724–730.
15. Holekamp TF, Mollman ME, Murphy RKJ, Kolar GR, Kramer NM, Derdeyn CP, et al. Dural arteriovenous fistula-induced thalamic dementia: report of 4 cases. *J. Neurosurg.* 2016;124:1752–1765.
16. Lee PH, Lee JS, Shin DH, Kim BM, Huh K. Parkinsonism as an initial manifestation of dural arteriovenous fistula. *Eur. J. Neurol.* 2005;12:403–406.
17. Kim N-H, Cho K-T, Seo HS. Myelopathy due to intracranial dural arteriovenous fistula: a potential diagnostic pitfall. Case report. *J. Neurosurg.* 2011;114:830–833.
18. Kosnik EJ, Hunt WE, Miller CA. Dural arteriovenous malformations. *J. Neurosurg.* 1974;322–329.
19. Hamada J-I, Yano S, Kai Y, Koga K, Morioka M, Ishimaru Y, et al. Histopathological study of venous aneurysms in patients with dural arteriovenous fistulas. *J. Neurosurg.* 2000;1023–1027.
20. Obrador S, Soto M, Silvela J. Clinical syndromes of arteriovenous malformations of the transverse-sigmoid sinus. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 1975;38:436–451.
21. Castaigne P, Bories J, Brunet P, Cassan JL, Meininger V, Merland JJ. [Arteriovenous fistulae of the dura mater. Clinical and radiological study of 13 cases]. *Ann. Med. Interne (Paris).* 1975;126:813–817.
22. Newton TH, Weidner W, Greitz T. Dural arteriovenous malformation in the posterior fossa. *Radiology.* 1968;90:27–35.
23. Byrne JV, Garcia M. Tentorial dural fistulas: endovascular management and description of the medial dural-tentorial branch of the superior cerebellar artery. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2013;34:1798–1804.
24. Motebejane MS, Choi IS. Foramen Magnum Dural Arteriovenous Fistulas: Clinical Presentations and Treatment Outcomes, A Case-Series of 12 Patients. *Oper. Neurosurg.* 2018;15:262–269.
25. Zhou L-F, Chen L, Song D-L, Gu Y-X, Leng B. Tentorial dural arteriovenous fistulas. *Surg. Neurol.* 2007;67:472–481.
26. Pierot L, Chiras J, Meder JF, Rose M, Rivierez M, Marsault C. Dural

arteriovenous fistulas of the posterior fossa draining into subarachnoid veins. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 1992;13:315–323.

27. Willinsky R, Terbrugge K, Montanera W, Mikulis D, Wallace MC. Venous congestion: an MR finding in dural arteriovenous malformations with cortical venous drainage. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 1994;15:1501–1507.

28. Kwon BJ, Han MH, Kang H-S, Chang K-H. MR imaging findings of intracranial dural arteriovenous fistulas: relations with venous drainage patterns. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2005;26:2500–2507.

29. Osborn AG, Hedlund GL, Salzman KL. Osborn's Brain E-Book. Elsevier Health Sciences; 2017.

30. Halbach VV, Higashida RT, Hieshima GB, Goto K, Norman D, Newton TH. Dural fistulas involving the transverse and sigmoid sinuses: results of treatment in 28 patients. *Radiology.* 1987;163:443–447.

31. Maimon S, Nossek E, Strauss I, Blumenthal D, Frolov V, Ram Z. Transarterial treatment with Onyx of intracranial dural arteriovenous fistula with cortical drainage in 17 patients. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2011;32:2180–2184.

32. Ertl L, Brückmann H, Kunz M, Crispin A, Fesl G. Endovascular therapy of low- and intermediate-grade intracranial lateral dural arteriovenous fistulas: a detailed analysis of primary success rates, complication rates, and long-term follow-up of different technical approaches. *J. Neurosurg.* 2017;126:360–367.

33. Caragine LP, Halbach VV, Dowd CF, Ng PP, Higashida RT. Parallel venous channel as the recipient pouch in transverse/sigmoid sinus dural fistulae. *Neurosurgery.* 2003;53:1261–1266; discussion 1266-1267.

34. Gandhi D, Chen J, Pearl M, Huang J, Gemmete JJ, Kathuria S. Intracranial Dural Arteriovenous Fistulas: Classification, Imaging Findings, and Treatment. *Am. J. Neuroradiol.* 2012;33:1007–1013.

35. Thompson BG, Doppman JL, Oldfield EH. Treatment of cranial dural arteriovenous fistulae by interruption of leptomeningeal venous drainage. *J. Neurosurg.* 1994;80:617–623.

36. Lucas CP, Zabramski JM, Spetzler RF, Jacobowitz R. Treatment for intracranial dural arteriovenous malformations: a meta-analysis from the English language literature. *Neurosurgery.* 1997;40:1119–1130; discussion 1130-1132.

37. Quiñones D, Duckwiler G, Gobin PY, Goldberg RA, Viñuela F. Embolization of dural cavernous fistulas via superior ophthalmic vein approach. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 1997;18:921–928.

38. Chen C-J, Lee C-C, Ding D, Starke RM, Chivukula S, Yen C-P, et al. Stereotactic radiosurgery for intracranial dural arteriovenous fistulas: a systematic review. *J. Neurosurg.* 2015;122:353–362.

39. Abud TG, Houdart E, Saint-Maurice J-P, Abud DG, Baccin CE, Nguyen AD, et al. Safety of Onyx Transarterial Embolization of Skull Base Dural Arteriovenous Fistulas from Meningeal Branches of the External Carotids also Fed by Meningeal Branches of Internal Carotid or Vertebral Arteries. *Clin. Neuroradiol.* 2018;28:579–584.
40. van Rooij WJ, Sluzewski M, Beute GN. Tentorial artery embolization in tentorial dural arteriovenous fistulas. *Neuroradiology.* 2006;48:737–743.
41. Tomak PR, Cloft HJ, Kaga A, Cawley CM, Dion J, Barrow DL. Evolution of the management of tentorial dural arteriovenous malformations. *Neurosurgery.* 2003;52:750–760; discussion 760-762.
42. Liang G, Gao X, Li Z, Wang X, Zhang H, Wu Z. Endovascular treatment for dural arteriovenous fistula at the foramen magnum: report of five consecutive patients and experience with balloon-augmented transarterial Onyx injection. *J. Neuroradiol. J. Neuroradiol.* 2013;40:134–139.
43. Cognard C, Januel AC, Silva NA, Tall P. Endovascular treatment of intracranial dural arteriovenous fistulas with cortical venous drainage: new management using Onyx. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2008;29:235–241.
44. Lawton MT, Sanchez-Mejia RO, Pham D, Tan J, Halbach VV. TENTORIAL DURAL ARTERIOVENOUS FISTULAE: OPERATIVE STRATEGIES AND MICROSURGICAL RESULTS FOR SIX TYPES. *Oper. Neurosurg.* 2008;62:110–125.
45. Koebbe CJ, Singhal D, Sheehan J, Flickinger JC, Horowitz M, Kondziolka D, et al. Radiosurgery for dural arteriovenous fistulas. *Surg. Neurol.* 2005;64:392–398.
46. Posterior Meningeal Artery | neuroangio.org [Internet]. [cited 2019 Mar 10];Available from: <http://neuroangio.org/anatomy-and-variants/posterior-meningeal-artery/>
47. Middle Meningeal Artery | neuroangio.org [Internet]. [cited 2019 Mar 10];Available from: <http://neuroangio.org/anatomy-and-variants/middle-meningeal-artery/>
48. Ascending Pharyngeal Artery | neuroangio.org [Internet]. [cited 2019 Mar 17];Available from: <http://neuroangio.org/anatomy-and-variants/ascending-pharyngeal-artery/>
49. Occipital Artery | neuroangio.org [Internet]. [cited 2019 Mar 10];Available from: <http://neuroangio.org/anatomy-and-variants/occipital-artery/>
50. Meningohypophyseal Trunk | neuroangio.org [Internet]. [cited 2019 Mar 10];Available from: <http://neuroangio.org/anatomy-and-variants/meningohypophyseal-trunk/>
51. Inferolateral Trunk | neuroangio.org [Internet]. [cited 2019 Mar 10];Available

from: <http://neuroangio.org/anatomy-and-variants/inferolateral-trunk/>

52. Osada T, Krings T. Intracranial Dural Arteriovenous Fistulas with Pial Arterial Supply. *Neurosurgery*. 2019;84:104–115.
53. Li J, Du S, Ling F, Zhang H, Li G. Dural Arteriovenous Fistulas at the Petrous Apex with Pial Arterial Supplies. *World Neurosurg*. 2018;118:e543–e549.
54. Rhoton AL. The Posterior Fossa Veins. *Neurosurgery*. 2000;47:S69–S92.
55. 4th ventricle and its veins | neuroangio.org [Internet]. [cited 2019 Mar 16];Available from: <http://neuroangio.org/venous-brain-anatomy/4th-ventricle-and-its-veins/>
56. Anterior Pontomesencephalic Vein | neuroangio.org [Internet]. [cited 2019 Mar 16];Available from: <http://neuroangio.org/venous-brain-anatomy/anterior-pontomesencephalic-vein/>

Serment d'Hippocrate

Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque.

Titre de Thèse : Fistules durales de la fosse postérieure : étude d'une série multicentrique traitée par voie endovasculaire.

RESUME

Introduction : Les fistules durales artérioveineuses (dAVF) de la fosse postérieure sont une pathologie rare. L'objectif de notre étude est d'analyser l'anatomie, les stratégies de traitement endovasculaire et les résultats cliniques concernant les dAVF de la fosse postérieure.

Méthodes : Les patients présentant une dAVF de la fosse postérieure, définie par un shunt artérioveineux direct infratentorial, à l'exclusion des sinus sigmoïde et transverse, et traités par voie endovasculaire dans deux centres différents entre Janvier 2009 et Juin 2018 ont été sélectionnés. Les données démographiques, cliniques, anatomiques et procédurales ont été analysées.

Résultats : 26 patients traités par voie endovasculaire d'une dAVF de la fosse postérieure de type III, IV ou V ont été inclus. 100% des dAVF ont été occluses : l'approche endovasculaire était purement artérielle pour 23 dAVF (88.5 %), combinée -artérielle et veineuse- pour 2 dAVF (7.7 %) et uniquement veineuse pour 1 dAVF (3.3 %). L'injection d'agent embolique liquide était le plus fréquemment réalisée via l'artère méningée moyenne (12/26, 46 %). Le taux de morbidité post procédure était de 15.4 % à 24h, 7.7 % à la sortie et de 0 % à 6 mois. Le taux de mortalité était de 0 %.

Conclusion : Le traitement endovasculaire des dAVF de la fosse postérieure permet d'obtenir un haut taux d'occlusion avec des taux de morbidité restant faibles. L'accès artériel est l'approche la plus utilisée lors du traitement endovasculaire, bien que l'approche veineuse ou combinée puisse être efficace et sûre chez des patients présentant une anatomie favorable.

MOTS-CLES

Fistules durales artérioveineuses de la fosse postérieure ; traitement endovasculaire