

INTERET DE L'IRM DANS LES MALFORMATIONS ARTERIO-VEINEUSES CEREBRALES

INTEREST OF MRI IN CEREBRAL ARTERIO-VENOUS MALFORMATIONS

Kiki SM^{1,4}, Ebinda Mipinda G¹, Adjadohoun S⁴, Akanni M⁴, Yekpe Ahouansou HP⁴, Nikiema Z⁵, Biaou O⁴,
Mwanyombet L^{1,3}, Kouna Ndouongo Ph^{1,2}.

1. *Service de Radiologie de la Polyclinique El RAPHA de Libreville (Gabon).*
2. *Service de Neurologie du Centre Hospitalier Universitaire de Libreville (Gabon).*
3. *Service de Neuro-chirurgie de l'Hôpital des Instructions des Armées Omar Bongo Ondimba (Gabon).*
4. *Service de Radiologie du Centre National Hospitalier et Universitaire Hubert Koutoukou MAGA de Cotonou (Bénin).*
5. *Service d'Imagerie Médicale du Centre Hospitalier Universitaire Sourô Sanou, Bobo-Dioulasso, (Burkina-Faso).*

Correspondant : Dr Sessi Miralda KIKI ; E.mail: gracekik@yahoo.fr BP 263 Abomey-Calavi (Bénin).

RESUME

Objectifs : Montrer l'intérêt diagnostique et pronostique de la prise en charge des malformations artério-veineuses cérébrales (MAVc) en imagerie par résonance magnétique.

Matériels et méthodes : Il s'est agi d'une étude rétrospective, portant sur dix cas de MAVc colligés sur une période de 24 mois à la polyclinique El-Rapha de Libreville. Les patients ont bénéficié d'une IRM cérébrale (1,5 Tesla) en séquences pondérées en T1, T2, T2*, Flair, diffusion, T1 après injection de gadolinium, Angio IRM TOF.

Résultats : L'âge moyen était de 28,8 ans [5 - 45 ans] avec un sex-ratio de 1,5. Neuf patients ont bénéficié d'une IRM et cinq patients ont eu un angioscanner en première intention. Nous avons enregistré neuf cas de MAVc supra-tentorielles dont deux corticales, avec une prédilection pour le lobe temporal. L'artère cérébrale moyenne était l'artère nourricière principale dans la majorité des cas (8 cas). La taille du nidus était comprise entre 1,7 et 7,5 cm de grand axe. Le drainage veineux était superficiel dans la plus part des cas.

Conclusion : La pratique de l'IRM en Afrique sub-saharienne oblige les radiologues à s'appropriier les différents aspects des MAVc mais également à avoir à l'esprit les points clés du compte rendu.

Mots clés : Malformations artério-veineuses cérébrales, ARM, nidus

ABSTRACT

Objective: To report our experience in the management of cerebral arteriovenous malformations (c-AVM) using magnetic resonance imaging.

Materials and Methods: This was a retrospective study of ten cases of c-AVM in a 24-month period at the El-Rapha polyclinic in Libreville. Patients underwent a cerebral MRI (1.5 Tesla) in T1, T2, T2*, Flair, diffusion, T1 weighted sequences after gadolinium injection, Angio MRI TOF.

Results: The mean age was 28.8 years [5 - 45 years] with a sex ratio of 1.5. Nine patients received MRI and five patients had a first-line angiography scan. We recorded nine cases of supra-tentative c-AVM, including two cortical ones with a predilection for the temporal lobe. The mean cerebral artery was the main feeder artery in the majority of cases (8 cases). The size of the nidus was between 1.7 and 7.5 cm in length. Venous drainage was superficial in most cases.

Conclusion: The practice of MRI in sub-Saharan Africa requires radiologists to take ownership of the various aspects of the c-AVM but also to have in their mind the key points of the included report.

Keywords: Cerebral arteriovenous malformations, AVM, nidus

INTRODUCTION

Les malformations artério-veineuses cérébrales (MAVc) se définissent par la présence d'une communication artério-veineuse anormale, entre des artères piales et/ou des branches artérielles dures, puis une ou des veines, *via* un réseau de vaisseaux dysplasiques et malformatifs appelé « nidus », sans interposition de tissu cérébral sain [1].

La prévalence des MAVc varie entre 10 et 15/100 000 habitants, avec environ 1,3 nouveaux cas/100 000/an [1,2]. Elles sont diagnostiquées le plus souvent chez de jeunes adultes, âgés de 20 à 40 ans. La prise en charge neurologique est nécessaire devant des crises épileptiques (focales ou généralisées), des céphalées (épisodeques ou chroniques) ou un déficit neurologique progressif. La complication la plus grave est la rupture spontanée, menant à une hémorragie intracérébrale, intraventriculaire et/ou sous-arach-noïdienne [2].

Le rôle de l'imagerie est de faire la caractérisation radio-anatomique précise des MAVc afin de définir le risque hémorragique, le traitement le plus adapté et d'en assurer le suivi. L'artériographie numérique est la technique de référence, mais l'imagerie vasculaire non invasive en particulier l'angiographie par résonance magnétique (ARM) apporte plusieurs informations dans la caractérisation de ces MAVc. L'amélioration de l'accès à l'imagerie par résonance magnétique (IRM) a permis d'augmenter le nombre de MAVc diagnostiquées, surtout chez les patients présentant des symptômes modérés comme des céphalées, ainsi que chez des patients asymptomatiques [3].

L'IRM étant de plus en plus disponible en Afrique sub-saharienne, nous nous sommes proposé à travers quelques observations, de montrer l'apport de l'IRM dans la caractérisation des MAVc.

MATERIELS ET METHODES

Nous avons réalisé une étude descriptive rétrospective sur une période de 24 mois (Novembre 2013-Novembre 2015), à la Clinique El Rapha à Libreville (capital du Gabon). Tous les dossiers d'IRM cérébrales ont été recensés et seuls les dossiers des patients présentant une MAVc ont été inclus dans l'étude. Les examens ont été réalisés sur un appareil Siemens AVANTO 1,5 Tesla, qui a permis de réaliser plusieurs séquences. Parmi elles, nous avons :

- Des coupes axiales pondérées en FLAIR « Fluid Attenuated Inversion Recovery »,
- Des coupes axiales pondérées en T1, T2, T2*, diffusion,
- Des coupes coronales pondérées en T2,
- Une ARM 3D TOF « time of flight ou temps de vol ».
- Des coupes axiales, coronales et sagittales T1 après injection de 10 ml gadolinium (Magnevist).

Au terme de cette analyse, nous avons utilisé la classification de Spetzler – Martin [4] pour apprécier le risque opératoire, en termes de morbi-mortalité. Cette classification était basée sur le l'addition des scores tel que résumé dans le tableau I.

Tableau I : Critères utilisés pour établir le score de Spetzler – Martin

Variabiles	Résultat	Score
Taille du nidus	Petit (< 3 cm)	1
	Moyen (3 – 6 cm)	2
	Grande (> 6 cm)	3
Eloquence de la zone adjacente	Pas éloquente	0
	Eloquente	1
Drainage veineux	Seulement superficiel	0
	Profond	1

Les données épidémiologiques et l'analyse sémiologique des résultats d'IRM ont été recueillies sur une fiche d'enquête et traitées avec le logiciel Excel 2013.

RESULTATS

Nous avons analysé 433 dossiers d'IRM cérébrales et seulement dix cas de MAVc ont retenu.

L'âge moyen était de 28,8ans [5 - 45 ans]. Le sexe masculin prédominait dans six cas avec une sex-ratio de 1,5.

Le mode de révélation le plus fréquent était l'hémorragie cérébrale, soit cinq cas, suivi de quatre cas d'épilepsie, puis d'un cas de la paralysie faciale et du trouble du langage.

Nous avons enregistré neuf cas de MAVc supratentorielles dont deux corticales, sans prédilection pour le côté. Les figures 1 et 2 illustrent respectivement un cas de MAVc cortical puis un cas de MAVc sous tentoriel.

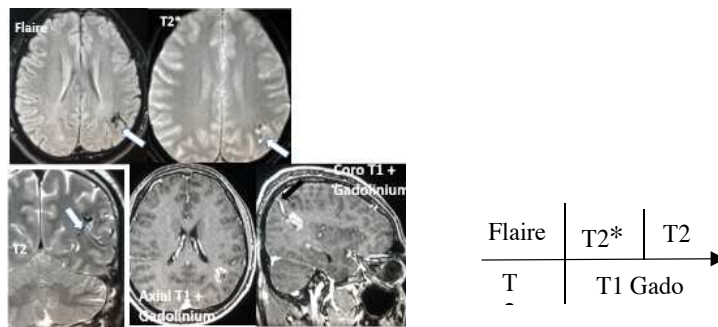


Figure 1 : coupes axiales flaire, T2*, T2, coronale T2 axiale et sagittale T1 montrant une MAVc corticale temporale postérieure gauche sous forme d'un lacis vasculaire en hyposignal flaire, T2 et T2* (flèche noire). Il existe un rehaussement après injection de gadolinium avec une veine de drainage corticale vers le sinus sagittal supérieur. L'afférence est l'artère cérébrale moyenne gauche.

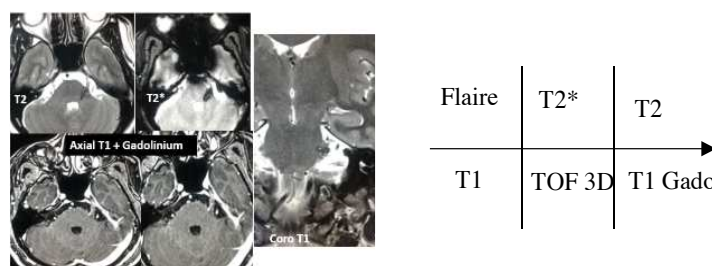


Figure 2: coupes axiales T2, T2*, coronale T2, montrant un aspect élargie du trijumeau gauche, accompagné au niveau cysternal par un lacis vasculaire et au niveau du tronc cérébral d'un petit hématoxe en hyposignal, en rapport avec une MAVc (flèche). Cette dernière se rehaussement après injection de gadolinium, alimentée par les perforantes du tronc basilaire et drainée par les veines méningées.

Les MAVc étaient surtout localisées au niveau temporal (4) et au niveau pariétal (2). Les autres localisations (frontale, occipitale, plexus choroïde et fosse postérieure) n'avaient été mises en cause qu'une fois pour chacune d'entre elles. Les MAVc de taille inférieure à 3 cm étaient au nombre de quatre, celles supérieures à 6 cm étaient au nombre de trois, puis celles comprises entre 3 et 6 cm étaient également de

trois. La taille moyenne du nidus était de 4,17 cm avec des extrêmes compris entre 1,6 et 7,5 cm. L'artère cérébrale moyenne était l'artère nourricière principale chez huit patients (figures 3 et 4). Nous avons retrouvé l'artère cérébrale postérieure et le système vertébro-basilaire respectivement dans un cas.

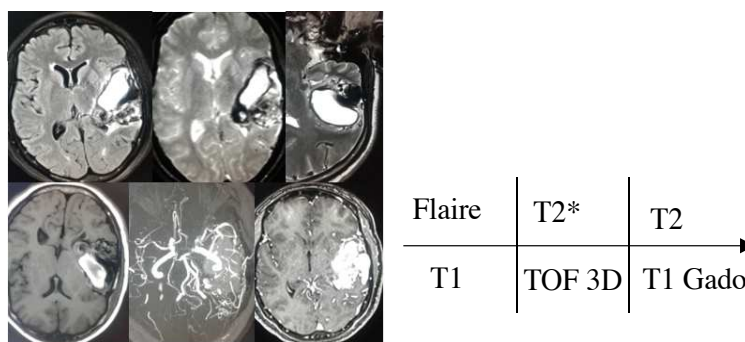


Figure 3 : coupes axiales flaire, T2*, T2, coronale T2 et axiale T1 montrant un volumineux hématoxe subaiguë temporal gauche au contact du quel il existe une MAVc. Il existe un rehaussement après injection de gadolinium de la MAVc nourrit par l'artère cérébrale moyenne homolatérale avec une veine de drainage corticale vers le sinus sagittal supérieur, l'afférente reste l'artère cérébrale moyenne avec un anévrysme veineux distal cortical temporal gauche. Il n'y a pas de thrombose sur la veine de drainage.

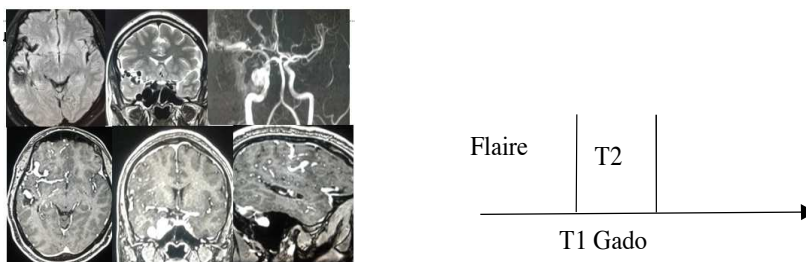


Figure 4 : coupes axiale flaire et coronale T2 montrant une MAVc temporale droite en hyposignal avec une dilatation de de l'artère cérébrale moyenne droite qui la nourrit et un anévrisme sur la carotide interne, mieux visible sur les séquences TOF 3D et T1 avec gadolinium en coupe axiale, coronale et sagittale. Sur la coupe sagittale T1 après injection de gadolinium on visualise le drainage par une veine temporale corticale vers le sinus sagittal supérieur.

La MAVc était rompue dans six cas avec un hématome lobaire, qui était le mode de révélation.

Le type de drainage est illustré par le tableau II. Le drainage veineux était superficiel chez tous les patients.

Tableau II : Répartition des MAVc en fonction du drainage du nidus

Drainage veineux	Effectifs
Veines corticales	5
Sinus transverse	1
Sinus longitudinal supérieur	3
Sinus caverneux	1
Total	10

Après l'étude radio-anatomique, seulement trois patients n'avaient aucun facteur de risque hémorragique. Parmi les sept autres quatre patients présentaient un facteur de risque et trois, deux facteurs de risque hémorragique. Selon le Grading de Speltzer - Martin [4], nous avons enregistré deux cas respectivement dans les grades I et II, puis trois cas respectivement dans les grades III et IV. Aucun cas de grade V n'a été enregistré dans cette série.

DISCUSSION

La limite principale de ce travail est liée à son caractère mono-centrique et de son faible échantillonnage. L'épidémiologie des MAVc bien qu'ayant fait l'objet de plusieurs publications reste encore mal connu. En effet, cette pathologie étant très rare, l'évaluation exacte de sa prévalence et de son incidence est très difficile à réaliser de façon générale, surtout en Afrique sub-saharienne. Morris et al. en 2009 ont montré que les MAVc étaient découvertes de façon fortuite sur une IRM Cérébrale dans 0,05% de la population [5]. Même si nous avons pu rapporter seulement dix cas, notre étude a le mérite d'avoir été réalisé sur un appareil à haut champ, le seul en date à être le plus accessible financièrement dans le pays. Le centre d'étude est situé au cœur de Libreville, capitale du Gabon en Afrique centrale. Aboutaib et Erradey dans une série marocaine (Marrakech et Casablanca)

ont enregistré respecti-vement 24 cas sur une période de 10 ans et 18 cas sur une période de 4 ans [6,7]. Shotar et al. dans une série française mono-centrique ont enregistré 147 cas de MAVc sur une période de 11 ans [8]. Nous pouvons dire que les différences d'effectifs pourraient être liées au caractère mono centrique ainsi qu'au niveau de référence et à la spécialité du centre d'étude. Un centre spécialisé en neurologie recrute plus qu'une structure non spécialisée.

Les MAVc sont retrouvées chez des sujets jeunes en témoigne l'âge moyen des patients de cette série qui était de 28,8 ans [5 - 45 ans]. Ces valeurs se rapprochent des données de la littérature en général et en particulier des observations faites dans les grandes séries multicentriques, comme celles de Hofmeister et al. en 2000 avec un âge moyen au diagnostic autour de 30 ans [9]. Aboutaib et Massager retrouvaient respecti-vement une moyenne d'âge de 31,3 et de 33 ans [6,10]. L'âge moyen au diagnostic est par contre plus élevé dans la méta-analyse de Gross et al. ainsi que celle de Stapf et al. [11,12], qui étaient respectivement de 33,7 ans et 34 ans±15. Erradey et Shotar ont enregistré respectivement un âge moyen de 39,5 ans et 42±14,9 ans [7,8]. L'âge relativement bas dans cette série est lié à l'inclusion de la population pédiatrique dans un échantillon faible, comparativement aux autres séries où la population pédiatrique est exclue de façon aléatoire ou non.

En prenant en considération les résultats de plusieurs séries, les MAVc affectent les deux sexes dans des proportions comparables [9,13,14,15]. Les résultats suivent les mêmes tendances que les données de la littérature avec une sex-ratio de 1,5. Ces valeurs se rapprochent des observations faites dans les grandes séries multicentriques, comme celles de Hofmeister et al. en 2000 avec une sex-ratio de 1/1 [9]. STAPF et SHOTAR retrouvaient respectivement 52% et 48,2% de population féminine [8, 12]. Aboutaib et al. ont enregistré une sex-ratio de 1,18 [6]. Erradey dans une série marocaine a enregistré par contre une sex-ratio de 5 [7].

L'hémorragie cérébrale (5 cas) était l'indication principale ayant nécessité la réalisation de l'imagerie, suivi de l'épilepsie (4 cas). Le même constat a été fait par une équipe marocaine, soit 87,5% des cas dans leur série [6]. Massager et al. ont rapporté, 50 % d'hémorragie cérébrale et 20 % de cas d'épilepsie dans leur série [10]. Pour Barreau et al. l'hémorragie est la manifestation la plus grave et la plus fréquente des MAVc [16]. STAPF et al. affirment au contraire que l'épilepsie est le mode de révélation le plus fréquent, avec un pourcentage pouvant aller jusqu'à 60 % selon les séries [13]. Selon Ghossoub et al. les crises d'épilepsie révèlent la MAVc dans 30 % des cas [17]. Ces différences statistiques pourraient s'expliquer par la non accessibilité des moyens d'imagerie en général et de l'IRM en particulier sous nos tropiques, le retard à la consultation des patients, impliquant une découverte des MAVc souvent au stade de rupture dans notre contexte (6 cas). L'amélioration de l'accessibilité à l'IRM pourrait permettre un diagnostic plus précoce des MAVc en vue d'un traitement plus optimal. Le développement de l'imagerie en particulier de l'IRM a apporté de nouveaux outils pour caractériser les malformations vasculaires cérébrales. Le principal objectif de l'IRM cérébrale est d'être en mesure de détecter une pathologie vasculaire lorsqu'elle existe [18]. Bien que l'angiographie par cathétérisme reste la référence pour l'évaluation et la programmation pré thérapeutique, l'irradiation, les risques du cathétérisme et l'utilisation de produits de contraste ont fait de l'IRM l'examen de choix chez les patients présentant une suspicion de malformation vasculaire intracrânienne [19,20]. L'analyse de la MAVc doit fournir des éléments sur sa localisation et sur trois compartiments distincts à savoir le nidus, les afférences et les veines de drainage. Plusieurs séquences sont utilisées pour une meilleure caractérisation des MAVc. En dehors de séquences conventionnelles et de l'IRM fonctionnel de diffusion, plusieurs autres séquences ont été développées pour une meilleure analyse des MAVc mais ne sont pas utilisées en pratique courante. On pourrait citer entre autre, l'angio-IRM dynamique, l'IRM fonctionnelle de perfusion, d'activation et de réactivité cérébro-vasculaire puis l'IRM de flux en 4D [3,18,21].

Les MAVc sous piales sont les plus fréquentes et plus souvent rencontrées à l'étage supratentorielle [6,12,16,22]. Dans notre série la topographie supratentorielle, était prédominante (9 cas), sans prédilection pour le côté. Aboutaib et col ont enregistré 91,6% de MAVc de siège supra-tentorial et lobaire [6]. Il est important de préciser la topographie en zone « éloquent » ou fonctionnelle à savoir dans le cortex sensitivo-moteur, les aires visuelles ou du langage, le thalamus, l'hypothalamus, la capsule interne, le tronc cérébral, les pédoncules cérébelleux ou les noyaux cérébelleux [8]. Les territoires temporaux et pariétaux étaient les plus concernés dans notre série (4 et 2 cas). La topographie des MAVc est très variable dans la littérature. Massager et Aboutaib ont enregistré une prédominance pour le territoire frontal [6, 10]. En cumulant les effectifs, le territoire temporo-pariétal était le plus touché dans la série de Massager et al. [10]. Il a été enregistré deux cas de MAVc corticales et une MAVc sous-piale au niveau de la citerne pré pontique (figure n°1 et n°2).

Le nidus se présente sous forme de structures serpentineuses en vide de signal qui sur les séquences pondérées, T1, T2, T2* et FLAIR, traduisant son caractère circulant (figure n°3). Il est à différencier de l'hématome lié à la rupture de la MAVc dont le signal varie en fonction des séquences et selon son stade évolutif. La taille moyenne du nidus était de 4,17 cm avec des extrêmes compris entre 1,6 et 7,5 cm. STAPF et al. dans une grande série ont enregistré un diamètre maximal de $3,3 \pm 1,7$ cm [12]. ABOUTAIB et al. ont enregistré une taille moyenne de 27 mm [1 – 6 cm] [6]. Erradey et al. retrouvaient une taille beaucoup plus élevée avec une moyenne de 6,5 cm [4 - 9] [7]. Pour Turski et al, la lecture des images natives en 3D TOF associée à des reconstructions multi planaires à partir de données sources constitue la technique la plus performante pour l'évaluation du nidus [23]. L'injection de gadolinium est souvent plus intéressante pour la délimitation précise du nidus grâce au très bon remplissage des vaisseaux dys-plasiques au sein du nidus et ceci quel que soit la complexité du flux. Après injection de contraste, les MAVc parenchymateuses (sous-piales) ont la forme d'un amas de vaisseaux denses à rehaussement artériel, de quelques millimètres à plusieurs centimètres [16, 21]. Dans le cas de MAVc dures ou piales, le nidus n'est pas visible car millimétrique ; seules les artères et veines efférentes sont visibles (figure n°3). Ces MAV sont donc détectées essentiellement sur des signes indirects [16]. Les séquences 3D TOF avec injection sont peu utiles en raison de l'opacification veineuse par le gadolinium à l'origine de superpositions vasculaires gênantes [21].

Les afférences de la malformation peuvent avoir trois configurations possibles : afférence unique ou multiple alimentant le nidus de façon directe ; artères alimentant à la fois le nidus et le tissu cérébral

normal ; artères n'alimentant pas directement le nidus mais ayant subi des modifications angio-mateuses en périphérie du nidus en raison du développement d'une circulation collatérale, liée à l'ischémie chronique [21]. Dans notre série, l'artère cérébrale moyenne était l'artère nourricière principale dans la majorité des cas (80%). Ce constat est comparable aux données de la littérature. Aboutaib et al. ont retrouvé l'artère sylvienne comme l'artère nourricière principale dans 50% des cas suivie de l'artère cérébrale antérieure (33,3%) [6]. Selon les équipes de Masahiro puis de Turjman, l'artère nourricière principale dans la majorité des cas, est l'artère sylvienne dans 32%-57% des cas puis dans un ordre décroissant l'artère cérébrale antérieure 28%-40% des cas puis le système vertébro-basilaire (SVB) 12% des cas [3,24]. La séquence 3D T1 avec injection permet une meilleure analyse des rapports de la MAVc avec les zones éloquentes du système nerveux central. Sur les séquences 3D TOF, les afférences dysplasiques péri-nidales sont souvent difficiles à distinguer du nidus lui-même [21]. En général, les flux dans les vaisseaux malformatifs sont lents et très vite saturés. Il peut être utile également de réaliser des séquences 3D TOF avec injection de gadolinium [25].

Le drainage veineux de la MAV est constitué de structures veineuses souvent multiples et dilatées s'abouchant dans un sinus dural, bien visible après injection de gadolinium. On distingue classiquement le drainage veineux superficiel dans les sinus sigmoïde, transverse, caverneux, sphéno-pariétal ou sagittal supérieur et le drainage veineux profond dans les veines basales, cérébrales internes, de Galien et dans le sinus droit [21]. Dans notre série, le drainage veineux était superficiel chez tous les patients. Aboutaib et Erradey retrouvaient un drainage veineux superficiel dans 71,4% - 50%, profond chez 23,8% - 27,5% et combiné chez 4,8% - 22,5% des patients [6,7]. Stapf et al. ont enregistré un drainage veineux superficiel dans 50%, profond chez 20% et combiné chez 30% des patients [12]. Les séquences 3D T1 avec gadolinium sont très intéressantes pour l'analyse du retour veineux et en particulier pour la détection des ectasies ou sténoses veineuses et pour préciser le caractère profond ou superficiel du drainage (figure n°4). Les séquences conventionnelles T1 sans injection doivent être analysées au préalable afin de pouvoir identifier la thrombose d'une veine de drainage [21]. Plusieurs classifications angiographiques ont été proposées pour évaluer le risque hémorragique d'une MAVc. La plus utilisée est celle de Spetzler et Martin, proposée initialement pour rendre compte du pronostic d'exérèse d'une MAVc, il est aujourd'hui communément adopté pour décrire la situation d'une MAVc donnée quel que soit le traitement planifié, en d'autre terme elle permet un certain degré d'appréciation du risque thérapeutique [4]. On reconnaît cinq grades de Spetzler de I à V, plus le grade augmente plus le risque de morbidité et

de mortalité post chirurgicale augmente [4]. En l'appliquant en IRM dans notre étude, les grades II et III étaient les plus représentés (6 cas). Il en est de même dans la série de Aboutaib au Maroc avec 95 %, soit 19 % pour le grade I et 76 % pour le grade III [6]. Spetzler et Hamilton sur une série de 120 patients ont noté une morbidité de 2.6% pour les MAVc de grade I-III et de 36.4% pour les MAVc de grade IV-V [26]. Shaler et al. sur une série de 128 cas avait noté une augmentation de la morbidité en fonction du grade de Spetzler [27].

CONCLUSION

Les malformations artério-veineuses cérébrales sont rares, souvent diagnostiquées chez le sujet jeune et sans prédilection pour le sexe. L'ARM permet de répondre à la plupart des objectifs de l'imagerie malgré une résolution spatiale et temporelle encore inférieure à celle de l'angiographie conventionnelle. La pratique de l'IRM en Afrique sub-saharienne oblige les radiologues à s'appropriier les différents aspects des MAVc mais également d'avoir à l'esprit les points clés du compte rendu à savoir : la taille et la localisation du nidus, le type de drainage, le système artériel afférent, la classification de Spetzler puis les signes de gravité.

Il est alors impératif pour les pays en voie de développement de rendre disponible et accessible l'IRM pour améliorer nos plateaux techniques en générale et un diagnostic précoce des MAVc en particulier.

DECLARATION D'INTERETS

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

REFERENCES

1. Ondra SL, Troupp H, George ED, et al. The natural history of symptomatic arteriovenous malformations of the brain: a 24-year follow-up assessment. *J Neurosurg* 1990; 73: 387-91.
2. Fleetwood IG, Steinberg GK. Arteriovenous malformations. *Lancet* 2002; 359:863-73.
3. Ducreux D, Trystram D, Oppenheim C, et al. Imagerie diagnostique des malformations artério-veineuses cérébrales. *Neurochirurgie* 2001;47:190-200.
4. Spetzler RF, Martin NA. A proposed grading system for arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 1986; 65(4):476-83.
5. Morris Z, Whiteley WN, Longstreth WT Jr, et al. Incidental findings on brain magnetic resonance imaging: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2009; 339:b3016.
6. Aboutaib M. La prise en charge des malformations artério-veineuses intracrâniennes : expérience du

- service de neurochirurgie au CHU Mohammed VI [thèse de doctorat] ; Casablanca ; Université Hassan II ; 2006.
7. Erradey Z. Les facteurs pronostiques des malformations artérioveineuses. [Thèse] ; Casablanca ; Université Hassan II ; 2006.
 8. Shotar E. Elaboration d'un score radio-clinique prédictif de l'évolution neurologique après rupture de malformation artério-veineuse cérébrale. [Thèse] ; Paris ; Université Paris Descartes ; 2015.
 9. Hofmeister C, Stapf C, Hartmann A, et al. Demographic, morphological, and clinical characteristics of 1289 patients with brain arteriovenous malformation. *Stroke*; 2000; 31:1307-10.
 10. Massager N, Lonneville S, Mine B, et al. Résultats du traitement radiochirurgical Gamma Knife des malformations artério-veineuses cérébrales. *Rev Med Brux* 2016; 37(1):18-25.
 11. Gross B, Du R. Natural history of cerebral arteriovenous malformations: a meta-analysis. *J Neurosurg* 2013;118:437-43.
 12. Stapf C, Khaw A, Sciacca R, et al. Effect of age on clinical and morphological characteristics in patients with brain arteriovenous malformation. *Stroke* 2003; 34:2664-9.
 13. Stapf C. Histoire naturelle des malformations artérioveineuses cérébrales. *La Lettre du Neurologue* 2005 ; IX(10) :359-62.
 14. Bernau M, Sciacca R, Pile-Spellman J, et al. The epidemiology of brain arteriovenous malformations. *Neurosurg* 2000 ;47 :389-96.
 15. Spelle L, Mounayer C, Piorin M, et al. Malformations artérioveineuses: données épidémiologiques et génétiques. *J Neuroradiol* 2004 ; 31:362-4.
 16. Barreau X, Marnat G, Gariel F, et al. Intracranial arteriovenous malformations. *Diagn Interv Imaging* 2014; 95(12):1175-86.
 17. Ghossoub M, Nataf F, Merienne L, et al. Caractéristiques des crises d'épilepsie associées aux malformations artério-veineuses cérébrales. *Neurochirurgie* 2001 ;47 :168-76.
 18. Edjlali M, Roca P, Gentic J-C, et al. Technologies avancées appliquées à l'analyse physiopathologique des malformations vasculaires cérébrales. *J Radiol Diagn Interv* 2014 ;95(12):1175-81.
 19. Grist T, Mistretta C, Strother C, et al. Time-resolved angiography: past, present, and future. *J Magn Reson Imaging* 2012; 36: 1273-86.
 20. Marchal G, Bosmans H, Van Fraeyenhoven L, et al. Intracranial vascular lesions: optimization and clinical evaluation of three-dimensional time-of-flight MR angiography. *Radiology* 1990; 175: 443-8.
 21. Leclerc X, Gauvrit JY, Trystram D. Imagerie vasculaire non invasive et malformations artérioveineuses cérébrales. *J Neuroradiol* 2004 ;31 :349-58.
 22. Turjman F, Massoud TF, Vinuela F, et al. Correlation of the angioarchitectural features of cerebral arteriovenous malformations with clinical presentation of hemorrhage. *Neurosurgery* 1995; 37: 856-60.
 23. Tursky P. Magnetic resonance angiography of vascular malformations. *In : Magnetic Resonance Imaging of the brain and spine (second edition)*. Atlas SW. (ed), Lippincott-Raven. 1996, p : 1501-1618.
 24. Shin M, Kawamoto S, Kurita H, et al. Retrospective analysis of 10 year experience of stereo tactic radio surgery for AVM in children and adolescents. *J Neurosurg* 2002; 97(4): 779-84.
 25. Chakeres DW, Schmalbrock P, Brogan M, Yuan C, Cohen L. Normal venous anatomy of the brain : demonstration with gadopentetate dimeglumine in enhanced 3-D MR angiography. *AJR Am J Roentgenol* 1991; 156: 161-72.
 26. Spetzler RF, Hargraves RW, McCormick PW, et al. Relationship of perfusion pressure and size to risk of haemorrhage from arteriovenous malformation. *J Neurosurg* 1992;76:918-23.
 27. Schaller C, Schramm J, Haun D. Significance of factors contributing to surgical complications and to late outcome after elective surgery of cerebral arteriovenous malformations. *J Neurol Neurosurgery Psychiatry* 1998; 65:547-54.