

ÉCOLE DOCTORALE [SST /U INSERM 619]

Dynamique et pathologie du développement cérébral

THÈSE

Sophie GALLAS

soutenue le : 16 décembre 2009

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université François -
Rabelais**

Discipline/ Spécialité : Doctorat Sciences et Vie
Médecine

**Evaluation à moyen et long terme du traitement
endovasculaire des anévrismes intracrâniens par
l'optimisation des séquences d'Angiographie par Résonance
Magnétique.**

**A propos d'une cohorte de patients, avec 1036 anévrismes
cérébraux suivis depuis 1998.**

THÈSE dirigée par :

Monsieur le Professeur Laurent Brunereau, Université François – Rabelais, Tours.

RAPPORTEURS :

**Monsieur le Professeur René Chapot, Université ESSEN, Allemagne Krupp-
Kranken Haus, Allemagne.**

Monsieur le Professeur Frédéric Ricolfi, Université de Dijon.

JURY :

Monsieur le Professeur Laurent Brunereau, Université François – Rabelais, Tours.

Monsieur le Professeur René Chapot, Krupp-Krankenhaus, Essen, Allemagne.

**Monsieur le Docteur Jacques Drouineau, praticien hospitalier,
Centre hospitalo-universitaire de Poitiers.**

Monsieur le Professeur Denis Herbreteau, Université François – Rabelais, Tours.

Monsieur le Professeur Frédéric Ricolfi, Université de Dijon.

Résumé :

Depuis 1991, et l'apparition de matériels d'embolisation à détachement contrôlé, le traitement endovasculaire a remplacé progressivement la prise en charge chirurgicale des anévrismes intra cérébraux. Ce traitement endovasculaire des anévrismes est associé à un faible taux de morbidité et de mortalité. Différentes études ont montré sa fiabilité mais pour l'instant toujours à court ou moyen terme. Il est par contre impératif de suivre les patients ayant été embolisés. L'artériographie cérébrale reste l'examen de référence même si l'IRM avec l'apparition de nouvelles séquences commence à être validée pour suivre ces patients.

En 1998, nous avons rédigé un protocole de surveillance, des patients traités par voie endovasculaire en y incluant l'IRM. Depuis nous avons progressé sur la détection des reliquats et des patients à risque de nouveau saignement, en validant les premières séquences d'angioMR, puis en incluant des séquences de diffusion, des séquences avec injection de contraste à la recherche d'un rehaussement intra anévrisimal, et maintenant des séquences de flux intra anévrisimal. Toutes ces informations ont été comparées à l'examen de référence, l'artériographie cérébrale. Les contrôles IRM ont été réalisés sur des imageurs 1.5 Tesla et aussi sur l'imageur 3 Tesla pendant la période de mobilité au CHU de Reims.

Ce travail commencé en 98 nous a permis de publier sur le suivi à moyen et long terme de ces patients traités par voie endovasculaire. Nous avons obtenu la plus grande population d'anévrismes surveillés aussi bien pour les anévrismes rompus que non rompus avec un suivi moyen de 55 mois, un taux de resaignement inférieur à 1% et un taux de retraitement à 7.7%. A cinq ans de surveillance, nous avons mis en évidence des « néo anévrismes » chez plusieurs patients, à l'endroit du premier anévrisme traité. Ces néo anévrismes doivent être suivis à long terme pour connaître leur évolution.

Ces nouvelles lésions nous ont orientées vers de nouvelles séquences d'IRM, utilisées de manière fréquente dans la pathologie du flux du liquide céphalo rachidien et dans l'imagerie cardiaque, pour essayer de détecter toute modification de flux au sein de l'anévrisme et à son collet.

SUM UP :

Since 1991 and the introduction of detachable intracranial coils, the endovascular treatment of cerebral aneurysms has become an established treatment technique and has supplanted surgical approach of these aneurysms. The rate of morbidity and mortality of this new technique is now well known and low. Initial Angiographic and clinical results were yet published with good outcome. Concern exists about long term reopening and the inherent risk of recurrent hemorrhage and long-term imaging follow-up is advocated.

Digital Subtraction Hemorrhage was the gold standard for detection and follow-up of patients, but this diagnostic procedure is invasive and exposes the patient to a small risk of serious complication. MR angiography has been used as an alternative noninvasive imaging technique to assess the occlusion of coiled intracranial aneurysms with promising results.

Since 1998, we have collected all patients with subarachnoid hemorrhage, and patients with cerebral aneurysms treated by endovascular approach. We have proposed different MRI sequences to validate this technique and improve this technique

We have compared 3D TOF to digital angiography, with sequences with injection of gadolinium.

Since 1998, we have obtained a very long term follow-up of 1036 aneurysms treated. We have yet published our results about middle follow-up of ruptured aneurysms, and unruptured aneurysms. This year, we obtained results after ten years of treatment with a middle follow-up at 55 months. Stability and efficacy of occlusion was 84% during years. Modification of coiling was less than 10% with a retreatment rate at 7, 7%. Rate of rebleeding was very low, less than 1 % during years.

After five years we were surprised to observe some new aneurysms in the same place as first treated; these de novo aneurysms were observed by others authors. We have proposed to continue to follow-up these patients.

MRI angiography has good correlation with angiography; injection of contrast does not have additional value. We try to develop some new sequences as 2D Q Flow to determine flow into incomplete occluded aneurysms.

INTRODUCTION :

La pathologie anévrismale intracrânienne est du fait de risque de rupture qui l'accompagne, une pathologie potentiellement grave ainsi qu'un enjeu de santé publique. Le traitement endovasculaire est une solution efficace de prise en charge des anévrismes, qui consiste à remplir le sac anévrismal à l'aide de spires métalliques en platine, les coils. Ce traitement vient supplanter le geste neurochirurgical qui était le traitement de référence jusqu'au début des années 1996.

Les données à long terme de la stabilité de ces occlusions ne sont pas encore connues par absence de recul. Le maillage des coils au sein de l'anévrisme peut se modifier dans le temps, il est donc primordial de surveiller les patients traités de la sorte le plus longtemps possible. La technique dite de référence pour surveiller les patients est l'angiographie cérébrale, technique irradiante et invasive.

Les progrès récents de l'imagerie par résonance magnétique permettent d'obtenir des images relativement similaires à celles obtenues à l'angiographie cérébrale avec des risques associés bien moindres. Nous avons élaboré une base de données multicentriques sur cinq centres de neuroradiologie afin d'évaluer la surveillance par angio MR de ces patients et d'obtenir des données sur la faisabilité, la stabilité du traitement endovasculaire. Nous avons comparé des séquences d'angio MR à l'examen de référence pour le suivi de ces patients à long terme.

Aucune donnée dans la littérature au début de ce projet n'existait sur l'évaluation du traitement endovasculaire des anévrismes intra crâniens.

1 Généralités sur les anévrismes intra crâniens et leur prise en charge thérapeutique :

1-1 Définition :

Les anévrismes cérébraux sont des malformations vasculaires assez communes dans la population générale. Une publication récente relevant des données épidémiologiques de plusieurs pays a montré une prévalence de l'ordre de 0.4% à 3.6% dans les études d'autopsie, et une prévalence entre 3.7% et 6% dans les études prospectives et rétrospectives angiographiques (1,2). Les séries angiographiques ont le désavantage de surestimer la prévalence à cause de biais de sélection des patients étudiés, au contraire des séries post mortem qui sont objectives sur la prévalence des pathologies trouvées. Chez 30% des patients, on décèle des anévrismes multiples (3).

Un anévrisme cérébral est une dilatation persistante d'une artère cérébrale. On distingue trois formes d'anévrismes, des anévrismes sacculaires ou sacciformes où le sac est bien individualisé et va communiquer avec le vaisseau porteur par un collet ; les anévrismes fusiformes qui sont une perte de parallélisme des parois vasculaires sans collet individualisable et enfin les anévrismes disséquants, qui correspondent à une déchirure de la paroi artérielle au niveau de l'intima. Les anévrismes mycotiques sont dus à une prolifération infectieuse locale qui détruit la paroi vasculaire et peut entraîner un tableau classique d'hémorragie méningée associé à un tableau infectieux sévère. Le plus souvent l'origine cardiaque valvulaire est la cause de la migration de l'embol infectieux au niveau cérébral.

Les anévrismes peuvent se révéler par une hémorragie méningée en cas de rupture de la malformation vasculaire, par des céphalées persistantes, ou par un syndrome de masse vu la taille de la malformation.

Les autres anévrismes sont découverts de façon fortuite lors d'un bilan neuroradiologique ou lors d'une enquête familiale. Si le traitement de l'hémorragie méningée est une grande urgence médicale et ne fait aucun doute, la prise en charge des anévrismes asymptomatiques ou « symptomatiques mais non rompus » s'est considérablement modifiée depuis ces dernières années. L'apparition d'études mondiales multicentriques, notamment les résultats de l'étude ISAT et de l'étude ISUA ont considérablement fait évoluer la prise en charge endovasculaire des anévrismes rompus comme non rompus (4 ; 5).

1-2 : Facteurs de risque de l'apparition d'anévrismes cérébraux

Plusieurs facteurs de risque sont connus pour le développement des anévrismes intra crâniens : les facteurs génétiques ou inhérents et les facteurs acquis.

Les femmes sont le plus souvent atteintes avec un Sex ratio de 1.6. La formation et l'apparition d'anévrismes est plus souvent associée à certaines maladies génétiques touchant notamment les tissus élastiques et vasculaires. Ainsi la pathologie la plus connue associée à une prévalence augmentée des anévrismes intra crâniens est la polykystose rénale, avec un taux de 10 à 15 % d'anévrisme cérébral (maladie autosomique dominante) ; le syndrome d'Ehlers Danlos, la neurofibromatose de Recklinghausen, les déficiences en antitrypsine, la maladie de Marfan, le syndrome de Cutis Laxa (6,7,8).

Des formes familiales d'anévrismes cérébraux sont connues, elles restent exceptionnelles et difficile à chiffrer. Chez les enfants, l'incidence est rare : entre 0.6% et 1.9% de l'ensemble des anévrismes découverts dans la population générale le sont avant l'âge de 15 ans. La prédominance est masculine, et les anévrismes sont beaucoup plus fréquemment distaux et volumineux voire géants. Chez les vrais jumeaux homozygotes, il est vivement recommandé une exploration par angiographie dès qu'un anévrisme a été diagnostiqué chez l'un des deux patients (9).

Les facteurs acquis :

L'hypertension artérielle est un facteur de risque indéniable de la formation de l'anévrisme et de sa rupture. La consommation de tabac est aussi un facteur de risque avec un risque relatif multiplié par 2.2 pour les fumeurs d'avoir un anévrisme géant. Le tabac prédisposerait les patients à développer de multiples anévrismes intra crâniens par la réduction du taux d' α antitrypsine (10). Le rôle de l'alcool est assez controversé, en effet l'alcool à haute dose aggrave toutes les pathologies vasculaires, mais dans diverses publications son rôle n'est pas démontré (11).

1-3 : La localisation des anévrismes cérébraux:

Ils siègent de manière préférentielle au niveau du polygone de Willis, et la bifurcation sylvienne. 85% des anévrismes sacculaires sont situés au niveau de la circulation antérieure (communicante antérieure, cérébrale antérieure, artère cérébrale moyenne). La plus fréquente des localisations est au niveau de l'artère communicante antérieure puis au niveau de la

terminaison de l'artère carotide interne (en terminaison ou en carotido-ophtalmique en regard de la naissance de l'artère ophtalmique), et en position de l'artère communicante postérieure, puis au niveau de l'artère cérébrale moyenne.

Au niveau du système vertébro-basilaire, la plupart des anévrismes sont situés au niveau du sommet du tronc basilaire. Une localisation plus distale au niveau des segments artériels fera suggérer une forme mycotique ou bien une forme disséquante.

1-4 : Symptomatologie clinique de la rupture anévrismale :

Les symptômes liés à la rupture de l'anévrisme sont une céphalée violente, en coup de poignard, un syndrome méningée avec des nausées et vomissements et une raideur de la nuque, une perte de conscience, ou un coma d'emblée. Quand un anévrisme cérébral se rompt, il y a effusion de sang dans les espaces sous arachnoïdiens, d'où le terme d'hémorragie méningée, effusion de sang dans le parenchyme intra cérébral ce qui donne un hématome intra cérébral et parfois même une contamination ventriculaire entraînant une hémorragie intra ventriculaire. Ces différents mécanismes vont être à l'origine d'une brutale augmentation de la pression intra crânienne pouvant entraîner le décès du patient par œdème cérébral massif et compression des structures du tronc cérébral de façon irrémédiable. Les chiffres épidémiologiques concernant la gravité des hémorragies méningées rapportent une mortalité immédiate entre 30 et 50%. Pour les patients qui vont être pris en charge par des unités de soin spécialisé, on considère que seul un tiers de ces patients va s'en sortir sans aucune séquelle neurologique, un tiers aura des séquelles neurologiques à type de déficit moteur ou et sensitif accompagné de troubles neuropsychologiques et les derniers patients décéderont à l'hôpital des suites de l'hémorragie méningée et des complications secondaires.

Les complications précoces possibles de l'hémorragie méningée sont le risque de **resaignement**, complication dramatique de mauvais pronostic (30% de décès). Ce risque est d'autant plus important qu'il survient dans les heures ou premiers jours après le saignement initial, et justifie la prise en charge thérapeutique rapide (12).

L'**hydrocéphalie** aigue est due à l'inondation des ventricules, avec obstruction des voies d'écoulement du liquide cérébro-spinal suite à la formation de caillots. Cette hydrocéphalie obstructive aggrave et majore l'hypertension intracrânienne déjà présente lors du saignement. Elle peut survenir immédiatement ou dans les jours juste après l'hémorragie méningée. Elle a pour conséquence une diminution de la pression de perfusion cérébrale et

favorise la survenue d'ischémie cérébrale retardée. Son seul traitement préventif est la surveillance répétée de la taille du système ventriculaire et la mise en place d'une dérivation ventriculaire pour évacuer ce hyperpression.

Les complications plus tardives sont la survenue d'un **vasospasme artériel** : elle survient entre le 5^{ème} jour et le 12^{ème} jour après l'hémorragie initiale, il s'agit d'une vasoconstriction artérielle en rapport avec la libération de facteurs vasoconstricteurs par les plaquettes. Le vasospasme entraîne une diminution de la perfusion cérébrale allant jusqu'à l'ischémie cérébrale. Son traitement repose sur un bon contrôle de la perfusion intracrânienne, le maintien d'une hyper volémie, et par la perfusion d'antagonistes calciques (nimodipine®). Le vasospasme peut aussi dans des formes graves traité par angioplastie mécanique qui consiste à dilater au ballon les artères spasmées.

Plus tardivement peut survenir une **hydrocéphalie à pression normale**, complication liée à un défaut de résorption du liquide cérébro-spinal au niveau des granules de Paccioni. Il s'agit d'un feutrage de dépôts des molécules de dégradation de l'hémoglobine, qui vient obstruer la bonne évacuation du liquide cérébro-spinal secrété de façon continue. Son traitement consiste en la mise en place d'une dérivation ventriculo-péritonéale.

Les anévrismes non rompus peuvent se révéler par un syndrome de masse : une paralysie nerveuse (du troisième nerf crânien dans les anévrismes de l'artère communicante postérieure), des crises d'épilepsie, des complications ischémiques par embol distal, des céphalées inhabituelles. Ils sont aussi découverts au cours d'un examen pour une autre pathologie, de façon fortuite.

2 : La prise en charge des anévrismes cérébraux :

Lorsque l'anévrisme cérébral est rompu, responsable d'une hémorragie méningée, c'est une urgence thérapeutique nécessitant le transfert et le traitement dans une unité neurochirurgicale.

Le traitement neurochirurgical a longtemps été la seule possibilité curative de l'anévrisme : le clippage de l'anévrisme nécessite la réalisation d'un volet de craniotomie puis l'abord de la malformation en disséquant les structures encéphaliques. Certaines topographies anévrismales sont difficiles d'accès, au niveau de la loge intra-caverneuse, en carotido-ophtalmique, et au niveau du système vertébro-basilaire, bien que les progrès de la microchirurgie ont été assez bénéfiques. La prérogative de ce traitement reste le caractère définitif de l'exclusion de l'anévrisme par un ou deux clips chirurgicaux. Par voie chirurgicale, il faut traiter le plus rapidement l'anévrisme rompu pour éviter le vasospasme artériel et l'hypertension artérielle associée. Souvent pour les patients de grade grave, l'intervention était différée de trois semaines pour attendre l'amélioration clinique du patient.

La neuroradiologie interventionnelle s'est développée suite à l'apparition des ballonnets largables permettant d'occlure les vaisseaux. Ce traitement s'est ensuite amélioré avec l'existence de ballonnet largable à l'intérieur du sac anévrismal tout en préservant le vaisseau porteur, puis depuis 1991 avec l'apparition de spires en platine de différentes tailles à détachement contrôlé. Les premiers coils à avoir été commercialisés sont les coils GDC élaborés par le Docteur Guglielmi (Guglielmi Detachable Coils , développés par Boston Scientific/ neurovascular, Fremont, Californie) (14,15). Au départ, il existait deux diamètres du fil en platine (0.015 inch ou 0.10 inch) puis des coils de plus gros calibre sont apparus. Depuis le début des années 2000, des coils à structure externe modifiés sont apparus.

Pour les anévrismes à collet large, une nouvelle approche a été utilisée par le Professeur Moret (16) consistant à l'apposition d'un ballon non détachable en regard du collet pendant le largage des coils. Cette nouvelle technique très appréciée des neuroradiologues Français a encore élargi notre champ d'activité en pouvant traiter des anévrismes dans lesquels les coils ne pouvaient pas rester en place sans risque de migration.

Depuis quelques années sont apparus des stents intra crâniens que l'on peut déposer en regard d'un anévrisme à collet large; puis une nouvelle génération de stent type « flow diverters » est en train de révolutionner la prise en charge des anévrismes géants et fusiformes qui restaient très difficiles à traiter.

3 : Les études multicentriques publiées sur l'état des connaissances des patients traités.

3-1: Etude ISAT: International Subarachnoid Aneurysms Trial.

(4, 17-20)

ISAT est une étude multicentrique, randomisée qui compare les bénéfices et le suivi des patients ayant une hémorragie méningée traités soit par chirurgie soit par voie endovasculaire. Cette étude a été dirigée par l'université d'Oxford : après une étude pilote menée de septembre 1994 à décembre 1996, le recrutement a commencé en janvier 1997 et s'est arrêté en mai 2002 après le 2143^{ème} patient. Ces 2143 patients ont été randomisés, 1073 ont eu un traitement par embolisation de leur anévrisme, et 1070 ont été opérés. Cette étude multicentrique a regroupée 16 centres de neuroradiologie et neurochirurgie. Cette étude a été arrêtée précocement (milieu 2002 au lieu de fin 2002) vue la différence significative des résultats de l'évolution des patients. Les résultats ont montré une supériorité de la prise en charge endovasculaire sur le devenir des patients à 2 mois, notamment en se référant au score modifié de Rankin. A un an, il existait une diminution relative du risque de dépendance ou de décès de 22.6% chez les patients traités par voie endovasculaire, avec une réduction du risque absolu de 6.9%. Les résultats de l'ISAT ont été très en faveur du traitement endovasculaire des anévrismes intra crâniens rompus, et ont confortés une attitude que nous avons déjà en France depuis l'introduction des coils à détachement contrôlé : à savoir le traitement en première intention des patients par voie endovasculaire quelque soit leur grade initial. Il y a bien sûr quelques biais de sélection sur les patients inclus : une sous représentation des grades graves (63% de grade I contre 5% de grade IV et V dans les deux bras de l'étude) ; une sous représentation des anévrismes larges ou géants avec 92% d'anévrismes de taille inférieure à 10 mm, une majorité d'anévrismes situés au niveau de la circulation antérieure avec seulement 14% d'anévrismes sylviens considérés comme les plus accessibles au traitement chirurgical et les plus difficiles à emboliser.

Concernant les retraitements à distance, cette étude a démontré un taux de retraitement 6.9 fois supérieur pour les patients embolisés que pour les patients opérés. Différents critères vont expliquer cette différence : la qualité de l'occlusion initiale de l'anévrisme, la taille du sac anévrisimal, l'âge du patient. Il y avait aussi une différence dans le délai moyen entre l'hémorragie initiale et le retraitement : plus précoce pour les patients opérés (5 mois contre 24 mois pour les patients embolisés). Les sites anatomiques prédisposant aux récurrences

sont différents selon la technique utilisée : pour l'embolisation ce sont les anévrismes de l'artère communicante postérieure, et pour les anévrismes opérés ce sont ceux de l'artère communicante antérieure. Ces différences sont dues aux difficultés techniques du traitement : un anévrisme de l'artère communicante antérieure est plus difficile à atteindre par voie chirurgicale. Concernant les resaignements à distance il n'y avait pas de différence significative entre les deux cohortes avec un taux inférieur à 1%.

Plusieurs sous groupes de patients ont été individualisés à partir de cette cohorte de patients ; récemment un nouvel article est paru sur les résultats concernant les patients âgés de 65 ans et plus. Les conclusions sont les suivantes : dans les bons grades, pour un anévrisme de la circulation antérieure ou situés en communicante postérieure, le traitement par voie endovasculaire est le meilleur traitement ; alors que les patients avec un anévrisme de l'artère cérébrale moyenne ont un meilleur pronostic s'ils sont opérés. Là encore les mêmes biais de sélection sont à prendre en compte à savoir plus de 90% de bons grades cliniques initiaux et une sous représentation des anévrismes de l'artère cérébrale moyenne et de la circulation vertébro basilaire.

Le suivi à long terme de cette même étude a montré que le risque de resaignement d'un anévrisme traité est faible. Il y a plus de resaignements à distance dans la population des anévrismes embolisés que clippés, mais il n'existe pas de différence dans le nombre de patients décédés. Le taux de retraitement est de 9% dans la population des patients embolisés. Le risque de décès à 5 ans est plus faible dans la population embolisée, et la probabilité d'une survie dans de bonnes conditions est la même dans les deux groupes. Dans les deux populations de patients sont apparus des anévrismes de novo, non vus sur les premières angiographies.

3-2: Etude Carat: Cerebral Aneurysm Rupture After Treatment.

Le but du traitement endovasculaire et chirurgical des anévrismes rompus est de prévenir le resaignement à distance. Depuis 1991 et l'apparition des coils à détachement contrôlé, la prise en charge par voie endovasculaire s'est considérablement développée. Dans l'étude ISAT le taux de resaignement à 1 an était estimé à 1.7%. L'étude CARAT (21,22) concerne les patients traités ou opérés, dans 9 centres aux Etats Unis de 1996 à 1998 suivis jusqu'en 2005 pour évaluer le taux de resaignement à distance. 1001 patients dont 295 embolisés ont été suivis sur une moyenne de 4 ans, 19 resaignements ont été observés dans un délai moyen de 3 jours. Le risque de resaignement était évalué à 2.2% la première année, 0.2% la seconde année puis 0% après. Ce risque de resaignement était indirectement lié au taux initial d'occlusion de l'anévrisme : 1.1% pour les occlusions totales, 2.9% pour les subtotaux et 5.9% pour les occlusions partielles. Dans cette étude, il y eu plus de resaignement dans la population embolisée que dans la population opérée (10 pour 295 et 9 pour 706 opérés.) Le taux de mortalité à 30 jours était de 58% pour les patients ayant resaignés. Que les patients soient opérés ou embolisés, il est admis qu'un suivi angiographique et par angio MR est indispensable pour mettre en évidence les recanalisations. Le suivi à long terme a toujours été nécessaire pour dépister rapidement les patients à retraiter et admis par tous même si pour l'instant il y a eu peu d'études sur ce sujet.

3-3: Etude ISUIA: International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms.

Cette étude (5) concerne l'évolution naturelle des anévrismes cérébraux non rompus chez des patients sans antécédents d'hémorragie méningée (groupe 1) et ceux ayant déjà un antécédent d'hémorragie méningée (groupe 2). Les patients étaient soit observés pendant 5 ans (n=1692) soit opérés (n=1917) soit embolisés (n=451).

Pour l'évolution naturelle : Le risque cumulé de rupture spontanée calculé à 5 ans variait selon les antécédents des patients et la taille de l'anévrisme : pour les anévrismes de moins de 7 mm, risque relatif de rupture était de 2.5% pour les localisations sur l'artère communicante postérieure dans le groupe 1 contre 3.4% pour les patients du groupe 2. Au-delà de 7 mm, le risque de rupture augmentait avec la taille de l'anévrisme et selon sa localisation (plus de risque pour les anévrismes de l'artère communicante postérieure et ceux supérieurs à 25 mm.)

Pour les patients opérés ou embolisés, dans le groupe 1, la morbidité mortalité à 30 jours était de 9.3% pour les patients embolisés contre 13.7% pour les patients opérés ; dans le groupe 2 la morbidité mortalité était de 7.1% pour les anévrismes embolisés contre 11% pour les opérés. De même à 1 an il existait une différence d'évolution en faveur du traitement endovasculaire.

Une des premières conclusions de cette étude concerne la taille limite à partir de laquelle il existe un intérêt de traiter : pour les anévrismes de moins de 7 mm il n'y a pas de différence d'évolution entre les patients traités et non traités. Au-delà de 7 mm et selon certaines localisations, il était démontré l'intérêt d'un traitement notamment pour les gros anévrismes.

Le taux de morbidité et mortalité était meilleur dans le groupe embolisé que dans le groupe opéré sachant que les deux cohortes de patients traités n'étaient pas totalement identiques avec une population plus âgée dans la cohorte du traitement endovasculaire.

Les anévrismes de la terminaison du tronc basilaire pourraient être considérés à risque élevé par comparaison à ceux de la portion antérieure du cercle de Willis. Une des limites de ce papier est aussi le suivi à long terme.

Plusieurs études ont été publiées (23-26) sur les résultats de la prise en charge endovasculaire des anévrismes non rompus, avec un taux de morbidité entre 4.6% et 7% et un taux de mortalité entre 0% et 3.4%.

Le problème essentiel posé par le traitement endovasculaire des anévrismes non rompus est non seulement la qualité immédiate de leur exclusion mais surtout leur devenir à long terme qui reste encore une inconnue. La proportion d'exclusion totale varie dans les séries de traitement endovasculaire entre 47 et 67%. Cette exclusion totale est stable dans 95% des cas. En revanche les anévrismes avec collet résiduel se recanalisent dans 12% à 18% des cas. Cette recanalisation expose à une rupture dont l'incidence de survenue est estimée à 0.9% par an. Cette proportion supérieure à celle liée à l'histoire naturelle serait due aux perturbations hémodynamiques engendrées par le coiling à l'intérieur du sac résiduel.

Toutes ces études ont particulièrement favorisé l'expansion de la prise en charge endovasculaire des anévrismes intra crâniens, venant conforter une attitude que nous avons déjà adoptée en France depuis l'arrivée des coils à détachement contrôlé. Il était important de continuer ces travaux pour répondre aux questions sur le suivi de ces patients, leur devenir à plus long terme, le taux de recanalisation à distance et l'évolution de l'occlusion avec le temps.

D'autres études monocentriques (26-27) ont été réalisées sur la prise en charge des anévrismes soit par chirurgie soit par embolisation. Les conclusions sont souvent similaires : le grade des patients traités par embolisation est souvent plus élevé ainsi que l'âge moyen des patients. Ayant un grade clinique plus élevé initialement ces patients récupèrent plus lentement, à 3 mois il y a une différence non significative dans l'évolution clinique qui disparaît à un an. La prise en charge par voie endovasculaire et les perfusions intra vasculaires de médicaments vasodilatatrices protégeraient contre le vasospasme les patients.

4 : Exploration des anévrismes intra crâniens : mode de découverte et modalité du suivi.

4 -1 : Examen tomodensitométrie crânio encéphalique :

Cet examen sans injection permet de mettre en évidence l'existence d'un saignement sous arachnoïdien sous forme d'une hyperdensité spontanée dans les espaces sous arachnoïdiens. L'origine du saignement n'est pas toujours évidente. La topographie du sang dans les espaces sous arachnoïdiens est un bon élément d'indication de l'origine de l'hémorragie méningée.

Un hématome intra parenchymateux se révélera par une plage hyperdense localisée dans le parenchyme cérébral en regard du site de saignement. L'hémorragie intra ventriculaire précède la survenue d'une dilatation ventriculaire.

L'angioscanner depuis l'apparition des nouveaux scanners multibarrettes permet de visualiser rapidement les troncs supra aortiques, le polygone de Willis et de localiser l'origine du saignement. La reconstruction de ces images MIP et VRT permet d'avoir la morphologie 3D de l'anévrisme cérébral. Pour les anévrismes du système vertébro basilaire, l'angioscanner serait même plus sensible que l'angiographie. (29-32). Par contre, la valeur prédictive négative de cet examen est médiocre, puisque les petits anévrismes du siphon carotidien sont souvent difficiles à diagnostiquer. Le recours aux reconstructions fines en mode 2D, notamment dans le plan sagittal peut être proposé dans ces cas, afin d'analyser au mieux la paroi postérieure de la carotide interne supra caveuse et la région carotido-ophtalmique. Cet examen est considéré comme l'examen étiologique de première intention des hémorragies méningées non traumatiques, à compléter par une exploration angiographique conventionnelle bien conduite, incluant des acquisitions tridimensionnelles dans tous les cas où il ne révèle pas la cause de l'hémorragie.

Cet examen avec injection permet de détecter un vasospasme défini par le rétrécissement des artères encéphaliques au niveau du polygone de Willis. L'évolution technologique de ces appareils permet aussi de faire une perfusion cérébrale mettant en évidence rapidement les zones de souffrance ischémiques cérébrales dus soit à un vasospasme soit à une embolie anévrismale.

Dans le suivi des patients traités, cet examen permet de dépister une hydrocéphalie, la régression de l'hémorragie et de l'hématome associé, de surveiller l'apparition d'un œdème

cérébral et d'une ischémie cérébrale. C'est un examen très utilisé dans la période aiguë de l'hémorragie méningée.

Intérêt de la tomodensitométrie en l'absence d'hémorragie :

C'est un des examens les plus effectués dans le cadre de bilan de céphalées. En général l'anévrisme cérébral est visualisé après séquences angiographiques. Les reconstructions en 3D permettent de bien visualiser la forme de l'anévrisme et sa morphologie et ses rapports avec les vaisseaux normaux du polygone de Willis.

Dans le cadre du suivi à distance cet examen est peu recommandé et sert surtout au suivi des complications à savoir l'apparition d'une hydrocéphalie et le bon fonctionnement de la valve de dérivation ventriculaire externe, ou les complications ischémiques dues au vasospasme.

4-2 : L'angiographie cérébrale :

L'angiographie cérébrale reste l'examen de référence en raison de sa résolution spatiale qui s'est encore accrue avec l'utilisation des capteurs plans et des reconstructions volumiques qui sont souvent associées. Les reconstructions améliorent à la fois la détection des petits anévrismes de moins de 3 mm et les informations pré-thérapeutiques utiles pour choisir entre une chirurgie et une embolisation. Cependant l'angiographie n'est plus la technique réalisée en première intention depuis quelques années avec l'amélioration de l'angioscanner à la fois en termes technologiques avec les multi détecteurs et en termes de post traitement avec des reconstructions volumiques pratiquées presque en temps réel.

Se pose depuis quelques années l'indication de l'angiographie dans le suivi des patients embolisés. En effet cet examen est considéré plus invasif qu'un angioscanner ou qu'une angio MR. Cet examen n'est pas dénué de risques propres, ischémiques et hémorragiques. La morbi-mortalité de cette technique n'est pas négligeable avec un taux de complications entre 2% et 4% dans la littérature (33,34). C'est un examen qu'il est parfois difficile à faire en hospitalisation de jour, qui nécessite un médecin neuroradiologue interventionnel. Cet examen garde des indications initialement notamment dans le bilan pré thérapeutique des anévrismes. Comme tout examen nécessitant l'utilisation des rayons X, il expose le patient à une irradiation cérébrale non anodine. L'aspect psychologique compte aussi car il est difficile de proposer aux patients de leur faire une angiographie de façon annuelle alors qu'on peut obtenir autant d'informations par l'angioMR.

4-3 : L'imagerie par Résonance Magnétique Cérébrale :

4-3-1 : Séquences classiques :

L'IRM encéphalique confirme avec une sensibilité supérieure à celle du scanner une hémorragie sous arachnoïdienne. En particulier les séquences FLAIR qui sont les plus sensibles dans les premières heures par rapport aux pondérations T1, T2, T2* montrent un hypersignal dans les citernes de la base et dans les sillons corticaux. Après quelques jours d'évolution, les séquences T2* montrent des dépôts d'hémossidérine, soit dans les citernes de la base, soit dans les sillons. L'IRM ne se substitue pas au scanner initialement car l'imagerie doit être réalisée en urgence pour ne pas retarder la prise en charge du patient. C'est un examen qui nécessite la parfaite coopération des patients, ce qui peut être difficile à réaliser chez un patient agité. Il existe des contre indications à la réalisation d'un examen par résonance magnétique, notamment l'existence d'implants ferromagnétiques comme les pace makers ou les clips chirurgicaux. Certains patients n'ont pas pu être suivis par IRM à cause de ces contre indications (35,36).

4-3-2 : l'Angiographie par Résonance Magnétique :

L'angiographie par résonance magnétique est une technique qui permet de donner des informations sur les vaisseaux, tant en ce qui concerne leur anatomie que leur fonctionnement (37-40). Il existe trois principales techniques pour mettre en évidence un flux artériel : ce sont le temps de Vol ou TOF (Time of Flight), l'angiographie avec injection de Gadolinium et l'angiographie par contraste de phase moins adaptée à l'étude des vaisseaux intra cérébraux.

Les séquences utilisées **sans injection de produit de contraste** sont des séquences en time of flight (TOF) qui permettent une bonne exploration du polygone de Willis.

Le phénomène utilisé dans cette technique d'IRM est l'entrée de coupe. Le principe est de saturer les protons fixes de manière intensément répétée de manière à ce qu'ils n'aient pas le temps de produire un signal. Ainsi les protons sanguins qui arrivent dans la zone de la coupe saturée sont « frais » et produisant un signal intense. Le sang se conduit donc comme un agent de contraste endogène.

L'angiographie par temps de Vol est une séquence en Echo de gradient. Ces séquences permettent l'utilisation de temps de répétition courts, nécessaires à une saturation efficace des tissus stationnaires. Le 3D TOF permet une haute résolution spatiale et un rapport signal-bruit élevé, particulièrement utile pour l'étude des petits vaisseaux intra cérébraux. L'acquisition peut se faire sur n'importe quel plan. Sur le polygone de Willis, on privilégie le plan axial

pour être au maximum perpendiculaire aux vaisseaux étudiés. Le volume d'acquisition peut donc être orienté de façon optimale en fonction de la zone d'intérêt et du sens du flux.

Le principal inconvénient de cette technique réside dans la saturation progressive des spins entrant dans le volume intérêt. Il en découle une perte progressive de signal dans le sens du flux, surtout dans les vaisseaux à flux lent. Les flux turbulents peuvent conduire à une baisse de signal, en particulier en aval d'une sténose artérielle.

Au cours de ses dernières années, plusieurs séquences ont été développées et expérimentées pour trouver la meilleure séquence avec le meilleur rapport signal sur bruit permettant de bien individualiser l'anévrisme, et sa partie circulante (car dans les gros anévrismes il existe parfois une partie partiellement thrombosée). De plus en 10 ans sont apparus les imageurs à haut champ, c'est-à-dire à 3 Tesla permettant d'améliorer sensiblement la résolution spatiale avec une taille de voxel entre 0.2 et 0.4 mm et aussi le signal et le contraste.

Pour **le suivi des patients embolisés**, (37-44) de nombreuses études ont évaluées les séquences 3D TOF sans et avec injection afin d'améliorer le suivi des patients, à la place de l'angiographie cérébrale. Les coils en platine ne produisent pas d'artéfacts et ne contre indiquent pas l'examen pour ces patients. Des études préliminaires in vitro et in vivo ont été réalisées démontrant le faible niveau de susceptibilité magnétique des coils en platine, leur aspect non ferromagnétique et l'absence de production de chaleur localement.

Brunereau (37) décrit dès 1999 une bonne spécificité et sensibilité de l'Angio MR pour la détection des recanalisation anévrismales, avec une excellente valeur prédictive positive pour la détection du résidu anévrisimal et la bonne visualisation de l'artère porteuse de l'anévrisme.

Cottier (40) et al compare dans une étude prospective le suivi des anévrismes embolisés par des séquences 3D TOF, à l'angiographie et démontre aussi l'intérêt, la bonne spécificité et sensibilité de l'Angio MR. Seuls les petits anévrismes dont la taille est inférieure à 3 mm restent difficiles à voir en Angio MR alors qu'ils sont visualisés en angiographie conventionnelle.

4-3-3 : ARM avec injection de gadolinium :

L'angio-MR avec injection combine l'acquisition d'une séquence ultrarapide en écho de gradient fortement pondérée en T1 avec l'injection intraveineuse de gadolinium. Elle permet

d'acquérir en quelques secondes et dans n'importe quel plan de l'espace un volume en 3D où les vaisseaux apparaissent en hypersignal rehaussé par le gadolinium. Les techniques d'ARM récentes utilisent l'injection de Gadolinium en bolus avec acquisition des données lors du premier passage artériel. Cette séquence a fait ses preuves et est couramment utilisée pour l'angiographie des troncs supra aortiques.

Pour les séquences injectées, plusieurs études sont sorties comparant des séquences 3D TOF aux séquences 3D TOF injectées. La valeur apportée par l'injection avec une meilleure visualisation des artères porteuses est évidente, mais souvent le contraste au temps veineux peut gêner l'interprétation des images et dégrader la qualité des images (43,44).

5 : L'objectif de notre travail :

Depuis 1991 et l'apparition des coils à détachement contrôlé, le traitement endovasculaire des anévrismes s'est développé en France. Depuis 1994, plusieurs centres de province ont commencé eux aussi à gérer les anévrismes de cette façon. Dans les cinq villes du centre ouest, à savoir Angers, Clermont Ferrand, Poitiers, Tours et Toulouse, le traitement endovasculaire avec coils GDC a commencé dès 1996. Parce que les différents médecins interventionnels des ces différentes villes se connaissaient bien et avaient été formés ensemble à Paris, service de l'Hôpital Lariboisière, nous avons décidé et convenu de mettre en commun nos patients depuis 1997. Les premiers travaux de suivi des patients ont été publiés par les équipes parisiennes, et concernaient des études monocentriques avec résultats à court terme sur la faisabilité, la technicité, et le suivi des patients. Nous avons voulu créer et enregistrer tous nos patients dès 1997 pour voir l'évolution sur 10 ans du nombre de patients traités, l'évolution des indications pour les anévrismes rompus, puis pour les anévrismes non rompus, et connaître la morbidité et mortalité initiale due au traitement. Très vite il nous est apparu fondamental de continuer à surveiller ces patients car aucune étude n'avait portée sur le suivi au-delà de 24 mois. Pour améliorer ce suivi nous avons travaillé sur différentes séquences d'IRM, et sur les séquences d'Angio MR en comparant différentes séquences entre elles avec le gold standard à savoir l'angiographie cérébrale.

La pathologie de l'anévrisme étant différente selon le mode de révélation de celui-ci, nous avons évalué de façon distincte les patients qui avaient été traités suite à une hémorragie méningée des patients traités d'un anévrisme non rompu.

Ensuite nous nous sommes intéressés sur le devenir à moyen et plus long terme de ces patients en essayant de les surveiller le plus longtemps possible, au maximum 10 ans après l'épisode initial du traitement. Cette cohorte importante de patients nous a permis de rencontrer des familles d'anévrismes et de faire le lien sur certaines pathologies associées à un risque accru de formation anévrismale. Nous avons aussi travaillé sur quelques familles rencontrées avec des anévrismes multiples et mis en évidence de nouvelles corrélations entre maladie du tissu élastique et formation anévrismale (8).

Enfin depuis l'avènement des imageurs à haut champ, notamment 3 Tesla nous avons validé des séquences d'angio MR puis dernièrement, chez des patients qui recanalisent de leur anévrisme, nous évaluons des séquences de Flux, jamais utilisées dans cette pathologie, pour visualiser le flux sanguin au niveau du collet anévrisimal et du sac anévrisimal.

5-2 : L'évolution de nos séquences IRM :

L'Angio MR est une technique non invasive très utilisée en alternance avec l'angiographie cérébrale dans le suivi des patients embolisés. C'est une technique non irradiante, rapide, qui apporte plus de confort au patient que l'angiographie cérébrale. Au début nous avons systématiquement utilisés pour tous les patients des séquences en 3D TOF sans injection de gadolinium pour le suivi des patients.

Notre protocole de suivi des patients a donc été déterminés par ces résultats de la littérature avec une Angio MR entre trois et six mois après l'embolisation, une angiographie classique associée à une Angio MR à un an, puis en cas de superposition des examens, un suivi annuel par Angio MR au moins jusqu'à 5 ans puis tous les deux ans après la cinquième année de suivi sans modification de l'anévrisme occlus. Tous les patients qui ont été retraités ont bénéficiés d'un suivi plus intense associant toujours après le nouveau traitement une angiographie cérébrale et une angio MR, pour s'assurer de la concordance des images puis un suivi annuel par Angio MR.

Au début de notre étude, le protocole de suivi était le suivant : imageur 1.5 Tesla, antenne crâne, sagittal T1 en écho de gradient pour le repérage, axial Fast Spin Echo T2 sur tout l'encéphale. Les paramètres de la séquence d'angio MR étaient les suivants : (imageur GE 1.5 Tesla) séquence en écho de gradient, TR = 38 ms, TE = 6.9 ms, angle de bascule à 30°, matrice à 224x512 ; champ de vue à 22 cm, 46 passages, épaisseur de coupes à 1.2mm ; transfert de magnétisation, temps d'acquisition à 4 min 57.

Afin de vérifier le bénéfice ou non d'une injection de gadolinium, en prenant les mêmes patients, nous avons utiliser en plus une séquence 3D TOF avec injection pour mieux visualiser le flux intra sacculaire. Le fait d'utiliser du gadolinium a permis d'augmenter la visibilité de certaines artères notamment les artères cérébrales antérieures. De même ces séquences ont permis de diminuer les artéfacts dus aux coils en platine. Le protocole utilisé était le suivant : imageur 1.5T, (SIGNA, GE Healthcare, Milwaukee, Wisc) champ de vue 22 cm, TR = 35 ms, TE = 3.4 ms, angle de balancement à 20°, épaisseur de coupes à 1.4 mm, temps d'acquisition 6 min. puis cette séquence était comparée à la séquence d'angio MR après bolus de gadolinium : injection de 8 ml de iomeprol, (Iomeron®, Guerbet, Roissy, France), champ de vue 22 cm, TR = 6.6 ms, TE = 1.5 ms, angle de bascule 35°, épaisseur de coupes 1.4mm, temps d'acquisition 58 s.

Nous avons aussi profité de l'évolution des imageurs avec l'apparition des imageurs haut champ à 3 Tesla pour contrôler nos patients sur les deux types de machine (1,5 Tesla et 3 Tesla). Tous nos patients n'ont pas pu bénéficier de ce type de contrôle, c est pourquoi nous rapportons ces résultats à part (Cf chapitre 6-7).

6- Nos Résultats :

6-1 : Notre base de données et notre suivi à long terme :

Tous les patients depuis janvier 1998 ont été rentrés dans cette base collective. Nous avons noté la date de naissance, la date du traitement, les antécédents médicaux vasculaires quand nous les avons, le grade de l'hémorragie méningée et le grade de Fisher suite au scanner, la localisation de l'anévrisme, le nombre d'anévrismes, la taille du sac anévrisimal en privilégiant le grand axe de l'anévrisme, la taille du collet, le nombre de coils utilisés, la taille du plus grand coil utilisé, l'utilisation ou non d'une technique de « remodeling », les complications immédiates survenues pendant le traitement (rupture per opératoire, dissection vasculaire, thrombose vasculaire, mauvais détachement des coils, migration des coils, le cassage de coils) puis l'évolution clinique pendant les premiers 30 jours. Pour la surveillance des patients, ils étaient tous convoqués entre trois et six mois pour la réalisation d'une artériographie cérébrale puis une Angio MR, de même à un an de l'épisode clinique initial. Les patients ont été revus annuellement dans les cinq centres pendant les cinq premières années, puis nous avons espacés les suivis à tous les deux ans après la cinquième année en l'absence de modifications de l'occlusion de l'anévrisme. Nous avons noté les complications à distance, l'évolution clinique, l'existence d'une recanalisation, la nécessité d'un nouveau traitement, l'apparition de nouveaux anévrismes soit au même endroit que celui déjà traités soit sur une autre artère.

Pour la rigueur de notre étude, nous avons exclus tout malade hospitalisé pour une hémorragie méningée autre qu'anévrismale, les patients âgés de moins de 18 ans et ou femme enceinte, les patients ayant un anévrisme fusiforme, ou disséquant ou mycotique. Les patients vus en consultation préopératoire pour un anévrisme cérébral non rompu étaient informés de notre protocole de suivi. S'ils refusaient de participer à ce protocole de suivi nous les excluons de la base de données.

A cette époque, dans nos centres de neuroradiologie interventionnelle, il y avait un référent neuroradiologue qui traitait les patients. Tous les patients ont été traités de la même manière car les cinq représentant de chaque ville se connaissaient depuis longtemps et avaient tous eu la même pratique et le même enseignement dans les premiers grands centres de neuroradiologie Française. Tous les patients ont été traités par le même type de coils, des coils GDC ou Guglielmi Detachable Coils (Boston Scientific/ neurovascular, Fremont, Californie). Il existait une véritable homogénéité des médecins interventionnels, de la prise en charge des patients, de la surveillance des patients.

L'évaluation de l'occlusion anévrismale correspondait à la classification décrite par Cognard (47): occlusion totale ou complète lorsque le maillage des coils est bien dense et qu'il n'y a plus de flux dans l'anévrisme ; occlusion subtotale lorsqu'il reste un peu de collet perméable sans flux intra sacculaire ; occlusion incomplète ou partielle lorsqu'il persiste une opacification partielle du sac ou du collet anévrismal dans sa totalité. Tout au long de nos inclusions, nous sommes restés fidèles à cette classification pour plus d'homogénéité de nos résultats.

Dans chaque centre il y avait un médecin neuroradiologue interventionnel responsable des inclusions et de la surveillance des patients. La personne s'occupant de la base de données était indépendante des médecins neuroradiologues thérapeutes. Les différents examens de contrôle des patients ont été revus de façon indépendante par ces cinq praticiens. En cas de discordance à propos d'un résultat, nous revoyions ensemble les différents clichés du patient.

Pour diminuer au maximum les patients perdus de vue, nous avons sensibilisés les patients eux-mêmes à l'intérêt de ce suivi et nous envoyions systématiquement des courriers aux médecins traitants afin d'avoir le plus de renseignements sur l'évolution des patients. Nous leur demandions de nous indiquer tout changement de domicile, de nom (pour les femmes mariées ou divorcées), et l'apparition de nouvelles maladies.

Comme la pathologie anévrismale n'est pas la même selon que le patient a saigné ou non, nous avons voulu différencier nos résultats selon l'histoire clinique du patient. Nous avons donc publié nos résultats concernant les anévrismes rompus, puis les anévrismes non rompus avec nos premières conclusions sur l'évolution de l'occlusion dans ces deux types de pathologie. Nous nous sommes ensuite intéressés aux résultats à distance avec un suivi par patient allant de cinq années à dix années. Enfin dans la dernière partie, nous rapportons deux études faites en parallèle, l'une comparant les séquences d'Angio MR sur deux types d'imageurs à champ différents (1.5T et 3T) puis sur les séquences de flux que nous réalisons chez les patients qui ont une récurrence importante.

6-2 : Evaluation des résultats pour les anévrismes rompus (46):

Entre Janvier 1998 et Mai 2003, dans les cinq centres concernés, 650 patients ont été traités d'un ou plusieurs anévrismes cérébraux s'étant révélé par une hémorragie méningée soit 705 anévrismes embolisés. Pour cette même période d'inclusion des malades, 37% de tous les anévrismes rompus étaient opérés. La moyenne d'âge des patients était de 57 ans, (min 18 ans –max 84 ans). Il y avait une prédominance de femmes représentant 57 % de la population étudiée. Les anévrismes traités étaient localisés principalement au niveau carotidien, communicante postérieure ou sylvien soit 88 % au niveau de la circulation antérieure. A l'admission, 21% des patients était de grade I, 17% de grade II, 35% de grade III et 25% de grade IV.

Pour la taille des anévrismes ; il y avait 33% de petits anévrismes moins de 5 mm, 52.3% d'anévrismes entre 5 mm et 10 mm et 9.4% entre 10 et 14 mm, 4% avait une taille supérieure à 15 mm. Comme dans toutes les séries publiées, 85 % des anévrismes traités était des petits anévrismes.

La faisabilité de la technique d'embolisation était de 97%. Pour 16 anévrismes nous n'avions pas pu traiter celui-ci à cause de difficultés anatomiques ou de collet trop large avec une difficulté pour maintenir les coils au sein du sac anévrisimal. Initialement 496 anévrismes (72.6%) avaient une occlusion totale, 171 avaient une occlusion subtotale soit 25% et l'occlusion était incomplète pour 16 anévrismes.

Nous avons donc suivi ces patients en notant l'évolution clinique de ceux-ci. La gravité de l'hémorragie méningée a tuée 78 patients, soit un taux global de mortalité de 11.4%. Le vasospasme et l'ischémie cérébrale étaient les deux causes principales des décès des patients. Le suivi par artériographie et angiographie par résonance magnétique a pu être réalisé pour 571 anévrismes. Notre temps moyen de suivi à l'écriture de cde premier rapport était de 36 mois avec un intervalle entre 6 mois et 5 ans au maximum. En comparant nos angiographies initiales avec nos angiographies de suivi et nos Angio MR (séquences 3D TOF sans et avec gadolinium pour les anévrismes géants), nous obtenions une stabilité d'occlusion à 75.4 %. Pour 9.6 % il y avait une amélioration de l'occlusion de l'anévrisme : l'anévrisme se thrombosait au contact des coils et le résultat à distance était meilleur que le résultat initial en fin de procédure. Enfin, il y a eu des patients qui ont développées une recanalisation, en effet sous l'effet de la pression de perfusion intravasculaire, certains coils se sont tassés dans le fond du sac anévrisimal laissant réapparaître à nouveau le collet voir même un peu de sac.

Toutes les modifications observées au niveau des anévrismes n'ont pas été retraités. Seuls les anévrismes s'étant vraiment modifié avec apparition d'un collet potentiellement dangereux ou d'une néopoché ont été retraités. Dans cette cohorte de patients nous avons repris 33 anévrismes, dont 14 parfaitement initialement occlus, 13 subtotaux et 6 déjà incomplets. Nous avons donc un taux de retraitement calculé à 4.7% avec un délai moyen de retraitement très précoce à savoir 9 mois.

En 2004, lorsque nous avons sorti ce premier papier, aucune série multicentrique n'avait été publiée sur les anévrismes rompus. A cette époque, il existait une plus forte sélection des anévrismes embolisés : nous ne traitons pas tous les anévrismes de l'artère cérébrale moyenne qui étaient souvent gérés chirurgicalement. Nous avons peu de larges ou gros anévrismes connus pour être les plus difficiles à traiter de façon complète par un traitement endovasculaire simple (peu de stents intra crâniens avant 2004). Comme nous avons régulièrement suivis nos patients, nous n'avons observé qu'un seul resaignement à distance. Proposer systématiquement un suivi régulier par Angio MR était un moyen de revoir les patients sans les obliger à passer 24 heures à l'hôpital pour subir une angiographie cérébrale. Nous étions au début un peu critiqués par certains collègues pour ce protocole de suivi mais rapidement et avec la publication d'autres travaux sur l'utilité et la bonne spécificité de l'Angio MR, l'utilisation de l'Angio MR s'est beaucoup développée dans les différents centres de neuroradiologie interventionnelle. Le confort du patient est vraiment un critère à prendre en compte surtout chez ces patients qui ont déjà subi le traumatisme de l'hémorragie. Leur proposer une consultation annuelle avec un examen d'IRM durant moins de 30 minutes était un moyen d'obtenir une surveillance importante. Comme nous surveillons régulièrement les patients, dès qu'apparaissait une modification du maillage avec potentiel risque de resaignement nous proposons un nouveau traitement au patient.

Une des autres conclusions importantes de cette étude à moyen terme était la stabilité de l'occlusion et le fait de démontrer que les anévrismes avec « packing des coils instable » après traitement se modifient rapidement, entre la première année et la deuxième année de surveillance. Après deux années de surveillance bien menées, pour un patient dont l'anévrisme ne s'était pas modifié, il était rare de voir une modification à distance. C'est avec notre suivi à long terme que nous avons confirmé ces premières notions (46-49).

Pour les autres anévrismes, nous avons observé une grande stabilité de l'occlusion avec 85% de stabilité. 14 % des anévrismes se modifiaient dans le temps avec un retraitement pour moins de 5 % de tous les anévrismes traités. Ce taux de retraitement assez faible comparé à d'autres séries a d'abord beaucoup étonné; mais par la suite d'autres équipes ont

confirmé cette première impression que nous avons eue. L'utilisation de coils en platine apportait une grande sécurité d'occlusion anévrismale avec peu de complications liées au matériel.

A Multicenter Study of 705 Ruptured Intracranial Aneurysms Treated with Guglielmi Detachable Coils

Sophie Gallas, Anne Pasco, Jean-Philippe Cottier, Jean Gabrillargues, Jacques Drouineau, Christophe Cognard, and Denis Herbreteau

BACKGROUND AND PURPOSE: The long-term durability of Guglielmi detachable coil (GDC) embolization of cerebral aneurysms is still unknown. The purpose of this study was to evaluate the stability of anatomic occlusion of aneurysms treated with GDCs and assess the rate of recanalization and re-treatment.

METHODS: A multicenter study involving 650 patients with 705 ruptured aneurysms treated with GDCs between January 1998 to May 2003 was conducted. During this period, 63% of ruptured aneurysms were treated by the endovascular technique. The morbidity and mortality associated with this technique, procedural feasibility, acute angiographic occlusion results, and long-term angiographic follow-up were assessed.

RESULTS: Overall technical feasibility of GDC treatment was 96.9%. Upon admission, 25% of patients were Hunt and Hess grade IV or V. Acute angiographic results in 683 aneurysms demonstrated total occlusion in 496 cases (72.6%), subtotal occlusion in 171 cases (25%), and incomplete occlusion in 16 cases (2.4%). All patients were controlled by angiography and MR imaging at 3 months, 1 year, and subsequent yearly examinations post-treatment. A second treatment was performed in 27 cases (recanalization, 4.7%). Long-term follow-up angiograms (mean, 36 months) were obtained in 571 aneurysms (95%). Of them, 422 aneurysms (73.9%) demonstrated complete occlusion, 148 aneurysms (25.9%) demonstrated subtotal occlusion, and only 1 aneurysm was incompletely occluded. Overall mortality was 11.4% for all patients, with procedural mortality evaluated at 1.4%. Overall morbidity was calculated at 8.6%. Only one rebleeding occurred in our study, with a second procedure performed without vital consequences for the patient.

CONCLUSION: Our multicenter study confirms the stability of aneurysm embolization with GDC, with only 4.7% of aneurysms requiring re-treatment.

Since 1991, endovascular treatment (EVT) of cerebral aneurysms has experienced a revolution, with the introduction of platinum coil technology (1-2). During the past 10 years, significant study of the feasibility of this technique has been performed, and clinical results of EVT have been published by endovascular specialists worldwide (2-8). Most recently, the results of the International Subarachnoid Hemorrhage Trial (ISAT) demonstrated the clinical superiority of endovascular treatment to standard surgical management

of ruptured intracranial aneurysms (9-10). The main question of this technique is the stability of the occlusion with detachable coils and the efficacy in providing protection against growth or regrowth of the aneurysm and consequent bleeding, in ruptured aneurysms. The only remaining downside is the recanalization of aneurysms due to coil compaction, mostly because of a large neck or the size of the lesion. The aim of this study was to better assess the long-term durability of endovascular coiling of cerebral aneurysms with Guglielmi detachable coils (GDCs) and the real rate of second treatment for ruptured aneurysms alone.

Received August 13, 2004; accepted after revision December 24. From the Departments of Neuroradiology (S.G., J.P.C., C.G., D.H.) and Radiology (A.P., J.G., J.D.), University François Rabelais, Centre Hospitalier Universitaire Bretonneau, Tours, France. Address reprint requests to Sophie Gallas, MD, Department of Neuroradiology, Centre Hospitalier Bretonneau, 2 Boulevard Tonnelé 37044 Tours Cedex, France.

© American Society of Neuroradiology

Methods

A consecutive series was analyzed retrospectively: from January 1998 to May 2003, 705 intracranial ruptured aneurysms in 650 patients were considered for endovascular treatment at five neuroradiologic centers. During this same period, 37% of all

6-3 : Evaluation des résultats pour les anévrismes non rompus (50):

Dans les anévrismes non rompus, on distingue les anévrismes asymptomatiques des anévrismes symptomatiques. Les véritables asymptomatiques sont ceux découverts par inadvertance lors d'un examen cérébral soit par Angio-Scanner soit par IRM. Ces anévrismes n'ont pas saigné et ne se manifeste par aucun signe clinique particulier. Les autres sont souvent découverts au décours d'un bilan de céphalées, de crises d'épilepsie, d'un accident thrombo embolique, de compression nerveuse, ou bien dans le cadre d'une pathologie du tissu cutanée style Polykystose Rénale très souvent associée aux anévrismes cérébraux.

De Janvier 1998 à janvier 2004 nous avons collecté les patients traités dans nos cinq centres de leur anévrisme non rompu. Il s'agissait de 290 patients avec 321 anévrismes non rompus. La moyenne d'âge des patients traités était de 49 ans, avec une prédominance de femmes à 63%. Les anévrismes était petit, inférieur à 10 mm pour 77% d'entre eux, et il n'y avait que 3% d'anévrismes géants c'est-à-dire mesurant plus de 20 mm.

La faisabilité du geste était de 94%, seuls 19 anévrismes n'ont pas été accessibles à un traitement endovasculaire du aux particularités anatomiques, au collet large ou à une trop forte instabilité des coils dans le sac anévrisimal. En fin de procédure, les résultats initiaux étaient une occlusion totale pour 207 anévrismes, subtotal pour 84 anévrismes et incomplet pour 9 anévrismes.

Les complications relatives au traitement sont plus facilement appréciables sur ce genre de population initialement asymptomatique. En effet, dans les séries d'anévrismes rompus, même si le traitement est bien réalisé, le patient peut avoir des complications suite à la gravité de l'hémorragie initiale, du vasospasme, de l'ischémie.

Le taux de mortalité propre au traitement endovasculaire était certainement sous estimé dans les autres séries publiées (23-28), entre 0.5% et 1.4% : nous avons rapportés 5 décès soit un taux de mortalité de 1.7%. La seule cause de décès est la rupture per embolisation de l'anévrisme initialement asymptomatique. D'avoir étudié une importante population multicentrique nous a permis de mettre en évidence une notion que nous avons déjà tous dans chaque centre : le risque non nul de décès lors d'un traitement d'un anévrisme cérébral à froid. Le geste endovasculaire est comme tout geste chirurgical et présente des risques. Il faut insister sur ce risque qu'on a souvent envie d'occulter surtout quand on voit les

patients en consultation. Les taux de mortalité dans les séries uniquement chirurgicales pour ce même type de patients varient entre 2.5% et 3.5%.(23-28,50,51)

Le taux global de complications liés au traitement était de 7.7%, taux comparable aux autres études.

Pourquoi suivre si longtemps ces patients qui étaient asymptomatiques ?

Nous avons réussi à surveiller ces patients de la même façon que les patients avec hémorragie méningée : la stabilité de l'occlusion était de 71.5% ; l'amélioration à 10% et on a noté 11.3% de recanalisations avec un taux de retraitement à 3.2%. Notre moyenne de suivi était de 38 mois en 2006 quand nous avons écrit notre article.

Le taux de retraitement des patients qui n'ont jamais saigné, est plus faible que pour les patients avec anévrismes rompus (dans notre première série taux égal à 4.7%). Pour ces patients, la surveillance par Angio MR est un très bon moyen de les revoir sans leur proposer d'examen invasif. Mais si leur anévrisme est perméable de façon trop importante, il faut leur proposer un traitement complémentaire. Il est certain que les neuroradiologues restent plus agressifs chez les patients qui ont un antécédent de saignement méningé. Déjà dans ISUIA, le risque spontané d'hémorragie augmentait avec la taille de l'anévrisme, sa localisation et l'existence d'un antécédent hémorragique ou non.

ORIGINAL
RESEARCH

S. Gallas
J. Drouineau
J. Gabrillargues
A. Pasco
C. Cognard
L. Pierot
D. Herbreteau

Feasibility, Procedural Morbidity and Mortality, and Long-Term Follow-Up of Endovascular Treatment of 321 Unruptured Aneurysms

BACKGROUND AND PURPOSE: The purpose of our study was to evaluate the technical feasibility, morbidity and mortality, and durability of occlusion of unruptured aneurysms treated with Guglielmi detachable coils (GDCs) with a long-term follow-up.

MATERIALS AND METHODS: Between January 1998 and January 2005, we treated 321 unruptured aneurysms with GDCs in 5 neuroradiologic institutions. During this period, 63% of unruptured aneurysms were treated by endovascular technique. Procedural feasibility, technical complications, morbidity and mortality, and acute and long-term angiographic occlusion were assessed.

RESULTS: Overall technical feasibility of coiling treatment was 94%; 302 aneurysms were treated by endovascular technique. At the end of the initial procedure, acute occlusion was classified as complete in 207 cases (70%), subtotal in 84 cases (26.1%), and incomplete in 11 cases (3.9%). Ischemic complications were observed in 28 patients (9%); 8 patients (2.6%) had perforation of their aneurysms. Treatment-related morbidity was 14.4%, and morbidity with clinical complications was evaluated at 7.7% ($n = 23$ patients). Five patients (1.7%) died as a result of aneurysm perforation. Final follow-up angiograms, after 9 secondary treatments, demonstrated complete occlusion in 193 patients (69.5%), subtotal in 80 aneurysms (28.5%), and incomplete occlusion in 5 (1.8%). Nineteen patients were lost to follow-up (6.3%).

CONCLUSION: Endovascular coiling with detachable coils is an attractive option for treatment of unruptured aneurysms. This method of treatment is safe with a low rate of complications. Prospective studies with longer follow-up periods are needed to assess the long-term durability of occlusion in unruptured aneurysms.

A symptomatic aneurysms may be defined as incidental aneurysms found in patients with a symptomatic aneurysm (which are not responsible for the clinical presentation), patients imaged for reasons unrelated to aneurysms who happen to have an incidental aneurysm that was completely unexpected, and those found in patients investigated because they are at risk of harboring an aneurysm (familial aneurysm disease, polycystic kidney disease).¹⁻³ Incidental unruptured aneurysms are defined as those found unexpectedly in patients undergoing investigation for other suspected pathology.

The management of unruptured aneurysms may include observation, surgery, endovascular embolization, or a combination of these. Since 1991 and the introduction of detachable coils and more recently the results of the International Subarachnoid Aneurysm Trial,^{4,5} endovascular treatment is an accepted alternative to surgical treatment of intracranial ruptured aneurysms. The question remains, however, as to which treatment offers the better outcome and what risks are involved. Surgical treatment, which has been in use for more than 40 years, has fairly clearly defined risks and morbidity.⁶

Endovascular treatment appears to offer lower risks but is still developing. Most recent evidence on the relative risks of treatment and of observation comes from the International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms (ISUIA).⁷ The treating physician must weigh the natural history of aneurysms and the potential consequences of subarachnoid hemorrhage (SAH) with the efficacy, morbidity, and mortality of the intervention. Ideally, the morbidity and mortality rate of endovascular treatment should be lower than that of the natural history rupture rate. A measure of complications caused by the treatment itself would be ideal so that the impact of therapy could be isolated from other aspects of presentation or medical care.

Materials and Methods

From January 1998 to January 2005, we prospectively collected the results of nonruptured aneurysms treated with Guglielmi detachable coils (GDCs; Boston Scientific/Neurovascular, Fremont, Calif) in 5 neuroradiologic centers. During this period, 480 patients with unruptured aneurysms were referred to our institution. The decision to treat, especially in small aneurysms (<5 mm), depended on a full assessment of the patient (including life expectancy and their wishes) and an assessment of the risks and efficacy of the intervention. The selection criteria included the size, shape, location of aneurysms, and the patient's clinical condition and wishes. The assignment of patients to methods of treatment was made in a joint meeting of neurosurgeons and neuroradiologists. In this population of patients, 321 aneurysms (63%) in 290 patients were considered for endovascular treatment.

Endovascular treatment was performed by 5 experienced physicians. Each physician had at least 5 years' experience with endovascular coiling. Endovascular management for all patients treated as part

Received February 13, 2007; accepted after revision May 24.

From the Department of Neuroradiology (S.G., L.P.) Hôpital Universitaire Maison Blanche, Reims, France; Department of Radiology A (J.D.), Centre Hospitalier Universitaire de Poitiers, Poitiers, France; Department of Radiology (J.G.), Centre Hospitalier Universitaire de Clermont Ferrand, Clermont Ferrand, France; Department of Radiology (A.P.), Centre Hospitalier Universitaire d'Angers, Angers, France; Departments of Neuroradiology (C.C.), Centre Hospitalier de Toulouse, Hôpital Purpan, Toulouse, France; and Department of Neuroradiology (D.H.), Centre Hospitalier de Tours, Tours, France.

Please address correspondence to Sophie Gallas, MD, Department of Neuroradiology, Centre Hospitalier Universitaire Maison Blanche, 45 rue Cognacq-Jay, 51100 Reims cedex France; e-mail: sgallas@chu-reims.fr

DOI 10.3174/ajnr.A0757

6-4 : Evaluation du suivi Angio MR avec injection de produit de contraste sur imageur 1.5 Tesla (43):

Nous avons voulu tout en suivant la même population de patients, déterminer la faisabilité et l'utilité du suivi par Angio MR avec injection de gadolinium. Les deux limitations connues des séquences 3D TOF utilisées en routine sont les artéfacts dus à la saturation et les artéfacts de « spin dephasing ». Dans les différentes études publiées (37-41 ;44), souvent l'injection de gadolinium entraîne un rehaussement veineux qui peut gêner l'interprétation du signal en regard du collet anévrismal. Pour une sélection de patients, nous avons effectué une IRM avec séquence angiographique et en plus on injectait du gadolinium afin de comparer la meilleure sensibilité des séquences. Le protocole a été déjà décrit précédemment (cf paragraphe 5-2).

Les patients qui ont été suivis de cette manière ont aussi bénéficiés d'une angiographie cérébrale de contrôle permettant de comparer les résultats obtenus. Nos conclusions étaient qu'il n'y avait pas de différence entre la sensibilité du 3D TOF et des séquences injectés. La spécificité était meilleure pour les séquences 3D TOF que pour les séquences avec injection. Les deux séquences permettaient de bien détecter les résidus au collet. Le fait d'utiliser une séquence après passage du bolus diminuait les effets dus aux turbulences. Le contraste était meilleur au niveau du vaisseau porteur, et au niveau du collet. Parfois le rehaussement veineux peut gêner l'interprétation du signal au niveau de la base du crane, comme en regard de l'artère cérébrale moyenne. Les séquences après bolus sont plus utiles dans la détection des recanalisations des gros anévrismes, car sans bolus il existe des artéfacts provoqués par les turbulences au sein du collet anévrismal. Par contre, ces séquences semblent intéressantes pour détecter et surveiller les anévrismes distaux comme les anévrismes péricalleux.

Cette étude a confirmé l'intérêt de faire une Angio MR à trois mois du traitement de l'anévrisme puis à un an systématiquement associé avec une angiographie cérébrale. En pratique courante, il y a peu d'intérêt à injecter du gadolinium dans le suivi anévrismal.

A partir de ces conclusions nous avons continué à surveiller les patients sans leur faire d'injection. Sauf certains anévrismes géants, où les flux turbulents au sein du collet peuvent être gênants, nous avons continué à faire nos séquences classiques d'angioMR 3D TOF.

ORIGINAL
RESEARCH

L. Pierot
C. Delcourt
F. Bouquigny
D. Breidt
B. Feuillet
O. Lanoix
S. Gallas

Follow-Up of Intracranial Aneurysms Selectively Treated with Coils: Prospective Evaluation of Contrast-Enhanced MR Angiography

BACKGROUND AND PURPOSE: The aim of this study was to determine the feasibility and usefulness of contrast-enhanced MR angiography (CE-MRA) for the follow-up of intracranial aneurysms treated with detachable coils, by comparing CE-MRA with digital subtraction angiography (DSA) and 3D time-of-flight (TOF) MRA.

METHODS: Thirty-two patients with 42 treated aneurysms were included in the study; 6 had been treated for multiple aneurysms. All MRAs were performed with a 1.5T unit within 48 hours of DSA. We performed 2 types of acquisition: a 3D TOF sequence and CE-MRA. Twenty-eight patients were included 1 year after endovascular treatment, and 4 patients, after 3 years or more. DSA was the technique of reference for the detection of a residual neck or residual aneurysm.

RESULTS: Compared with DSA, the sensitivity of MRA was good. For the detection of residual neck, there was no significant difference between the results of 3D TOF MRA (sensitivity, 75%–87.5%; specificity, 92.9%, according to both readers) and CE-MRA (sensitivity, 75%–82.1%; specificity, 85.7%–92.9%). For the detection of residual aneurysm, sensitivity and specificity of both techniques were the same, respectively 80%–100% and 97.3%–100%. Therefore, CE-MRA was not better than 3D TOF MRA for the detection of residual neck or residual aneurysm. For large treated aneurysms, there was no difference between decisions regarding further therapy after CE and 3D TOF MRA, even though CE-MRA with a short echotime and enhancement gave fewer artifacts and better visualization of recanalization than 3D TOF MRA. The interpretation of transverse source images and the detection of coil mesh packing seemed easier with 3D TOF imaging.

CONCLUSION: This prospective study did not show that CE-MRA was significantly better than 3D TOF MRA for depicting aneurysm or neck remnants after selective endovascular treatment using coils. For aneurysms treated with coils, 3D TOF MRA seems a valid and useful technique for the follow-up of coiled aneurysms.

Endovascular treatment of intracranial aneurysms with detachable coils has become a less-invasive alternative to surgical clipping.¹ Because of the development of the microcatheter and occlusive materials, the role of endovascular treatment is becoming increasingly important and is now a well-established procedure. However, the long-term efficacy of this treatment still needs to be established. Aneurysm recanalization may occur because of coil compaction or regrowth of a residual neck, even in cases of initial total occlusion.^{2–4}

Treated aneurysms are usually followed up by digital subtraction angiography (DSA), which is the standard technique for detecting aneurysm reperfusion and determining whether further therapy is needed.^{2,3} However, DSA is expensive, invasive, and carries some risk for the patient.^{5,6}

MR angiography (MRA) may provide a noninvasive alternative with less discomfort and morbidity for patients. Previous authors have also reported good sensitivity^{6,7} for 3D time-of-flight (TOF) MRA in the detection of aneurysm reperfusion.

Spin dephasing and saturation are 2 limitations of 3D TOF MRA.^{6,8} Some authors used contrast material with 3D TOF MRA without significant improvement,^{6,9,10} and venous enhancement often degrades image quality. Progress in MRA has been reported with ultrafast CE-MRA (reduction of acquisition time and k-space elliptic central acquisition), which was

mainly developed for carotid angiography and seems a promising technique for intracranial aneurysm detection.^{11–13}

The purpose of this study was to evaluate the efficacy and usefulness of CE-MRA for the detection of residual flow in the follow-up of intracranial aneurysms treated with detachable coils.

Patients and Methods

Study Design

Our usual follow-up protocol for aneurysms selectively treated with coils is MR imaging and MRA at 3 months, and MR imaging, MRA, and DSA at 1 year. Subsequent follow-up is performed by using MR imaging and MRA. In this study, patients were prospectively and consecutively included if they harbored 1 or multiple aneurysms selectively treated with coils and if a follow-up angiography was scheduled according to the usual follow-up protocol.

Patients

Thirty-two patients with 42 treated aneurysms were included in the study. Six had been treated for multiple aneurysms. Patients were between 25 and 73 years of age and comprised 27 women and 5 men. Thirty-six aneurysms (86%) were in the carotid system (anterior communicating artery, 10; internal carotid artery and posterior communicating artery, 20; middle cerebral artery, 6), and 6 (14%) were in the vertebrobasilar system (basilar artery and posterior cerebral artery, 5; and posterior and inferior cerebellar artery, 1). The size of the aneurysms ranged from 3 to 19 mm (3–9 mm in 27 cases, 10–14 mm in 13, and >15 mm in 2).

Received July 7, 2005; accepted after revision September 10.

From the Service de Radiologie, Hôpital Maison-Blanche, Reims cedex, France.

Address correspondence to Laurent Pierot, MD, Service de Radiologie, Hôpital Maison-Blanche, 45, rue Cognacq-Jay, 51092 Reims cedex, France.

6-5 : Optimisation des séquences Angio MR pour le suivi à long terme d'une cohorte de patients traités d'un anévrisme cérébral (52):

Le travail de recueil de données que nous avons commencé en 1998 a été poursuivi depuis 10 ans dans les cinq villes pour obtenir un très long suivi épidémiologique de nos patients. Avec ce suivi angiographique, par angioMR et par la clinique, nous avons obtenu une importante masse de données concernant ces patients traités depuis 1998. Aucun suivi multicentrique n'a encore été rapporté dans la littérature et nous sommes les seuls actuellement à disposer d'autant d'informations longitudinales sur une telle cohorte de patients. Afin d'avoir un recul suffisant, nos inclusion de patients ont été arrêtés à 2005. De plus à partir de cette date, il y a eu beaucoup de modifications dans le matériel d'embolisation avec l'apparition de nouveaux coils, des coils en platine et des coils modifiés remaniés, de nouveaux stents, et même certaines colles utilisées avec ballon dans certains traitements. Nous avons donc continués à surveiller nos patients selon le protocole initial.

En considérant la période 1998 -2003, nous avons traité 1036 anévrismes pour un total de 1108 procédures. L'objectif était de déterminer la stabilité de l'occlusion, le nombre exact de recanalisation et de retraitements, l'apparition éventuelle de nouveaux anévrismes. C'est à partir de ce moment que nous avons aussi décidé de faire évoluer nos séquences d'IRM pour ces quelques patients qui ont tendance à recanaliser.

Notre suivi a été important avec 890 anévrismes contrôlés à deux ans, 850 à 3 ans après le traitement, 402 anévrismes à 5 ans ; 213 à 8 ans et plus de 110 à 10 ans du traitement. A 10 ans, en considérant les patients initialement mort due à la gravité de l'hémorragie méningée, les patients perdus de vue et les patients décédés d'autres maladies intercurrentes, nous avons revus plus de 65% de la population traitée en 1998.

Sur ces 1036 anévrismes suivis, 62 ont été repris au moins une fois jusqu'à 3 fois pour un anévrisme récidivant systématiquement. Nous avons conclu que certaines localisations étaient plus à risque de récurrence du au flux dans l'artère porteuse comme les anévrismes de l'artère communicante postérieure et les anévrismes de l'artère communicante antérieure. C'est au niveau de ces artères communicantes qu'il y a le plus de flux et de pression car ces artères constituent les segments du polygone de Willis. Quant au délai d'apparition e la recanalisation, nous avons confirmé ce que nous évoquions dès 2004 : le délai moyen de retraitement était de 10 mois, avec 66% de retraitement dans les 18 mois. On peut maintenant

affirmer qu'un anévrisme embolisé qui reste stable sur les contrôles angioMR et par angiographie conventionnelle pendant deux années, va rester parfaitement stable. Objectivement, nous pourrions à partir de cette cohorte et de l'importance du suivi que nous avons obtenu, conclure d'une suspension de surveillance après 36 mois. Mais en fait, deux autres notions sont à prendre en charge : l'aspect psychologique important du suivi des patients et l'apparition de néo anévrismes. Nous avons observé chez quelques patients parfaitement traités la repousse de nouveaux anévrismes exactement au même endroit que l'initial traité, sur la même artère porteuse, sans modification du maillage des coils. Ces anévrismes sont vraiment apparus pendant la surveillance des patients. En moyenne après cinq années de suivi, nous avons observé 10 « néo-anévrismes ». Il est bien difficile actuellement d'expliquer la physiopathologie de cette apparition de nouveaux anévrismes, s'agit il d'une véritable pathologie du tissu artérielle avec des faiblesses de paroi localisées qui récidivent à distance ? Dans ce cas les patients développeraient d'autres anévrismes sur d'autres artères cérébrales ? Est ce le flux vasculaire qui vient « buter » contre le maillage des coils et entrainer par effet mécanique l'apparition d'une « néopoché » ? En même temps, nous avons comparé sur les angiographies et les angio MR le maillage des coils et celui-ci ne s'est pas compacté ni modifié. Il ne s'agit pas d'une thrombose du fond du sac anévrisimal avec réapparition de l'anévrisme comme nous pouvons le voir parfois dans certains anévrismes partiellement thrombosé après l'hémorragie, que nous traitons et qui se recanalisent rapidement, une fois que le caillot s'est désagrégé.

Ce phénomène de néo anévrismes nous a beaucoup surpris. D'autres auteurs ont fait la même observation que nous : Sprengers (53) a calculé une incidence à 1.5% de néo anévrismes après 5 ans de surveillance; les taux rapportés sont entre 0.84 % et 2.2% (50-55). Van der Schaff (54) fait la même observation avec 87 nouveaux anévrismes découverts dans le suivi de 495 anévrismes clippés. En reprenant les angiographies initiales, 19 n'étaient pas présents initialement sur les angiographies, soit 1/3 des anévrismes découverts, et les autres existaient mais n'avaient pas été vus par défaut de 3D ou mauvaise visualisation initiale. La localisation de ces anévrismes était principalement l'artère cérébrale moyenne, leur taille était inférieure à 5 mm, et le délai moyen d'apparition était de 5.5 ans. Ces auteurs mettent en évidence tout l'intérêt de surveiller les patients par angioscanner qui permettent d'obtenir des reconstructions de toute épaisseur et dans tout plan de l'espace.

Il est fort possible qu'aujourd'hui, avec l'évolution des scanners multibarettes dans nos services, cette modalité diagnostique serait prioritaire sur l'IRM. Nous continuions à

surveiller nos patients par Angio MR car c'est un examen non irradiant. Ces notions nous ont donné l'envie de faire des séquences de flux pour ces patients « difficiles » avec « néo-anévrismes ». Comme nous l'avons déjà souligné, ces patients chez qui nous avons observé un néo anévrisme sont très suivis, et bénéficient d'une angio MR de façon annuelle. Contrairement aux conclusions de Holmin et de Sprengers (55,57) et al, qui ne recommandent pas de surveillance par angio MR au-delà de 6 mois, nous recommandons de suivre les patients au moins 5 ans de façon régulière puis au-delà d'espacer les surveillances à tous les deux ans. Même si les études actuellement publiées ne montrent pas de taux de resaignement à distance de plus de 2%, nous sommes peu d'auteurs à avoir un suivi au delà de 10 ans de ces patients. Il faut encore attendre les résultats d'autres équipes pour obtenir un consensus international sur le suivi à long terme de ces patients.

ORIGINAL
RESEARCH

S. Gallas
A.C. Januel
A. Pasco
J. Drouineau
J. Gabrillargues
A. Gaston
C. Cognard
D. Herbreteau

Long-Term Follow-Up of 1036 Cerebral Aneurysms Treated by Bare Coils: A Multicentric Cohort Treated between 1998 and 2003

BACKGROUND AND PURPOSE: The endovascular treatment (EVT) of cerebral aneurysms has experienced a revolution since 1991 with the introduction of platinum coil technology. During the past 10 years, there has been significant study of the feasibility of this technique, and clinical results of EVT have been published. The long-term durability of Guglielmi detachable coil (GDC) embolization of cerebral aneurysms still remains unknown. The purpose of this study was to evaluate the stability of anatomic occlusion of aneurysms and to assess the rate of recanalization and retreatment of these aneurysms.

MATERIALS AND METHODS: Between January 1998 and December 2003, 1036 aneurysms (804 ruptured and 232 nonruptured) were treated consecutively with GDC coils in 5 neuroradiology centers. Procedural feasibility, acute angiographic occlusion results, morbidity, and mortality associated with this technique were assessed. All patients were regularly followed by digital subtraction angiography and MR imaging each year after treatment.

RESULTS: Initial acute angiographic results in 1036 aneurysms demonstrated total occlusion in 731 patients (70.5%), subtotal occlusion in 252 (24.3%), incomplete occlusion in 20 (1.9%), and failures in 33% (3.3%) aneurysms. A remodeling technique was used in 10%. A second procedure was performed for 72 aneurysms (7%). The total aneurysm follow-up time was 49,823 months (4160.25 aneurysm-years). The retreatment period was either in the months following initial treatment in aneurysms incompletely occluded or in years due to recanalization or de novo aneurysms. Fewer than 5 patients rebled during 10 years of follow-up. Long-term follow-up angiograms were obtained in 899 aneurysms, with 646 total, 230 subtotal, and 23 incomplete results.

CONCLUSIONS: Long-term follow-up of cerebral aneurysms is necessary to depict recanalization. Only 7% of the aneurysms were retreated. Use of bare coils gives a good long-term level of occlusion.

Endovascular embolization with detachable coils has become an established technique for the treatment of patients with intracranial aneurysms. Endovascular treatment (EVT) of cerebral aneurysms experienced a revolution with the introduction of platinum coil technology in 1991.^{1,2} During the past 10 years, there has been significant study of the feasibility of this technique, and clinical results of EVT have been published by endovascular specialists worldwide.²⁻⁸ In 2002, results of the International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) demonstrated the clinical superiority of EVT over standard surgical treatment of ruptured intracranial aneurysms.³ Some articles have been published pertaining to the stability of occlusions treated with detachable coils and the efficacy of providing protection against growth or regrowth of the aneurysm and consequent bleeding.⁴⁻¹⁶ Long-term follow-up and the rate of recanalization due to coil compaction, typically caused by unfavorable morphologic characteristics

such as lesion and neck size, remain a disadvantage compared with surgical treatment.

The aim of this study was to better assess the long-term durability of Guglielmi detachable coil (GDC) (Boston Scientific/Neurovascular, Fremont, Calif) treatment of cerebral aneurysms and the rate of required second treatments.

Materials and Methods

Patients

This study was approved by the institutional review boards of 5 participating hospitals in France. Since 1998, all patients with ruptured or unruptured cerebral aneurysms who underwent endovascular treatment were recruited and recorded in a data base. All treatments, retreatments, and follow-ups for each patient were consecutively collected. Every patient from each center was followed up by the representative interventional physician, and we conducted annual meetings to collect and review all cases. From 1998 to 2003, 929 patients were enrolled in this study, with a total of 1036 aneurysms treated. Feasibility, morbidity-mortality, and initial results were previously published.^{13,14} We present the long-term results of occlusion after follow-up (mean, 66 months; range, 3-10 years).

Patient Characteristics

From January 1998 to December 2003, 1036 cerebral aneurysms were considered for endovascular treatment with detachable coils at 5 neuro-radiologic centers. We collected all procedures, initial and second treatments after follow-up, to obtain 1108 total procedures. Of the 1036 cerebral aneurysms, 804 were initially ruptured; 232 were unruptured; and 72 were second procedures (Table 1). Clinical presen-

Received March 20, 2009; accepted after revision May 19.

From the Department of Neuro-radiology (S.G., D.H.), University François Rabelais, Centre Hospitalier Universitaire Bretonneau, Tours, France; Department of Neuro-radiology (A.C.J., C.C.), Centre Hospitalier de Toulouse, Hôpital Purpan, Toulouse, France; Department of Radiology (A.P.), Centre Hospitalier Universitaire d'Angers, Angers, France; Department of Radiology (J.D.), Centre Hospitalier Universitaire de Poitiers, Poitiers, France; Department of Radiology (J.G.), Centre Hospitalier Universitaire de Clermont Ferrand, Clermont Ferrand, France; and Department of Neuro-radiology (S.G., A.G.), Hôpital Henri Mondor, Creteil, France.

Please address correspondence to Sophie Gallas, MD, Department of Neuro-radiology, Centre Hospitalier Henri Mondor, Creteil Cedex, France; e-mail: sophie.gallas@yahoo.fr and sophie.gallas@hmn.aphp.fr

DOI: 10.3174/ajnr.A1744

6-6 : Résultats préliminaires des séquences d'Angio MR à 3Tesla comparées aux séquences 1.5Tesla (57):

Les IRM à haut champ permettent par rapport aux IRM 1.5 Teslas une augmentation du signal et l'allongement des temps de relaxation T1. Le signal est proportionnel au champ magnétique. Ainsi à 3Tesla, les rapports signal sur bruit et contraste sur bruit sont en théorie doublés. Le temps de relaxation des tissus augmente de 30% ce qui permet une meilleure élimination des tissus stationnaires particulièrement utile au 3 D TOF. Nous avons pu parallèlement à notre étude, comparer pour certains patients les séquences d'Angio MR effectués sur deux types d'imageurs à savoir IRM 1.5T et IRM 3 T. les protocoles étaient les suivants :

- IRM 1.5 Tesla : General Electrics medical System
Antenne crane, séquence axiale T2 Flair, puis séquence 3D TOF avec TE= 3.4ms
TR=35ms, angle de bascule 20°, FOV= 22cm, épaisseur de partition=1.4 mm, temps d'acquisition= 5 min 56 s
- ARM à 3 Tesla : Phillips, Achieva 3T, antenne crane, axial T2 Flair, séquence 3 D TOF avec TE=3.45ms, TR=18ms, angle de bascule = 20°, FOV = 21, matrice d'acquisition=464, matrice de reconstruction = 512, épaisseur de coupe = 0.55 mm, temps d'acquisition = 4 min 59 s

Tous ces patients étaient contrôlés par une angiographie standard. Au total nous avons pu contrôler et suivre 63 patients. Cette petite proportion de patients s'explique du fait qu'il n'y a pas encore dans toutes les unités de neuroradiologie d'IRM à haut champ, et que cette étude a pu être réalisée dans deux CHU dotés de ce type d'imageur, à savoir le CHU de Reims et le CHU Henri Mondor.

Cette étude sur un faible échantillon de patients a permis de mettre en évidence une meilleure détection des résidus sur l'imageur 3T avec une sensibilité de l'ordre de 88% et une spécificité de 92% comparées à l'angiographie cérébrale standard.

En comparant les images natives obtenues sur les deux types d'imageurs, on obtenait une meilleure visualisation des résidus sur l'IRM 3T, une meilleure visibilité des coils, du vaisseau porteur ainsi que des branches distales.

Nous n'avons pas la possibilité actuellement d'effectuer des IRM 3T pour chaque patient. Les résultats obtenus sur ces IRM à haut champ sont d'une très bonne qualité, avec une

amélioration de la sensibilité et de la spécificité de la découverte des résidus anévrismaux, et une meilleure visualisation par augmentation du rapport signal sur bruit.

A distance, il est certain que tous les patients seront à la fois explorés initialement puis surveillés sur ces imageurs vraiment dédiés à la pathologie vasculaire cérébrale. L'augmentation du champ nous permet d'obtenir une amélioration du signal sur bruit, et de mieux voir le vaisseau porteur et le maillage des coils au niveau du collet.

D'autres auteurs ont comparés les séquences 3D TOF avec ou sans injection sur imageur à haut champ (58,59). Comme pour les imageurs à 1.5 Tesla, il n'apparaît pas d'avantage à l'injection de gadolinium. Là encore, la très bonne qualité du 3D TOF et l'absence d'injection sont des critères pour préférer cette technique, beaucoup plus appréciable pour les patients.

6-7: Résultats préliminaires des séquences de flux dans la détection des recanalisations anévrismales à long terme (60).

Après avoir observé ces recanalisations à distance, et l'apparition des ces néo anévrismes, nous avons essayé de développer des séquences de Flux .Nous utilisons des séquences de « cinephase » qui sont basées sur le décalage de phase des protons stationnaires et mobiles. On applique des lobes de gradient en plus du champ magnétique, gradient positif puis gradient négatif, gradients symétriques pour annuler le signal des protons stationnaires. On obtient des cartes paramétriques avec approche qualitative sur les vitesses des protons. Ce sont des séquences avec Gating cardiaque, pour coordonner le signal au rythme cardiaque. Ces séquences n'ont pas une bonne résolution spatiale et doivent être comparées aux séquences classiques de 3D TOF.

Le protocole de la séquence utilisée actuellement est :

2D Q FLOW SENSE

FOV = 230 mm

TE= 80 ms

TR=1 ms

Taille voxel = 0,575

Epaisseur = 5 mm

Nbre de paquets = 2

Matrice acquisition 400x255

Vitesse PC=10 m/s.

Nous avons étudié quelques patients avec ces séquences, qui montrent du flux au sein du maillage anévrismal lorsqu'il y a du flux sur les séquences en 3D TOF.

Actuellement nos résultats sont pour 15 patients ; une bonne sensibilité évaluée à 95% lorsqu'il existe une recanalisation et une bonne spécificité quand l'anévrisme est bien occlus. En effet s'il existe un hypersignal en 3D TOF pour les anévrismes non occlus totalement, on voit le flux sanguin « rentré » dans l'anévrisme ce qui sous entend un passage intra sacculaire. Ces séquences sont encore en évaluation et pourraient nous permettre de bien mettre en évidence les anévrismes qui ont du flux au sein de leur coils, et donc dépister rapidement ceux qu'il faudra particulièrement surveiller afin d'éviter toute recanalisation. Ces premiers essais sont très prometteurs

et nous encouragent à continuer à explorer le flux comme indice de récurrence. Ces résultats n'ont pas été encore soumis à une publication et ne sont pas rapportées à aucun moment dans la littérature neuroradiologique.

7 : Discussion :

Les techniques de traitement endovasculaire des anévrismes intracrâniens se sont développées depuis l'apparition des coils en platine à détachement contrôlé. En France, la prise en charge des anévrismes par voie endovasculaire s'est beaucoup imposée dans nos centres hospitalo universitaires depuis 1998. Quand nous avons commencé à organiser cette base de données multicentriques les questions auxquelles nous voulions répondre étaient :

- Quelle est la faisabilité et la durabilité de cette méthode pour la prise en charge des anévrismes intracrâniens ?
- Comment allons-nous surveiller ces patients, par quelle modalité ?
- Quelles sont les évolutions que nous pouvons attendre de l'imagerie par résonance magnétique ? quelles en sont les avantages et inconvénients ?
- Qu'allons nous observer à plus ou moins long terme chez ces patients traités d'un ou plusieurs anévrismes ? quelle est la fréquence de néo anévrismes à distance ?

L'intérêt premier de ce travail a été de collecter régulièrement les données initiales des patients ainsi que leur suivi à court, moyen puis plus long terme. Il y a très peu d'études multicentriques reposant sur une telle cohorte de patients avec un aussi important suivi. Techniquement, récupérer les différents compte rendus des patients, programmer leur suivi, récupérer leurs images d'angiographie cérébrale et d'Angio MR est difficile. Il y avait une sélection dans les patients car en 1998, tous les anévrismes n'étaient pas embolisés en première intention. Il y a aussi un biais de sélection dans la taille des anévrismes traités, qui sont pour 85 % des cas des anévrismes de moins de 10 mm. Mais ces résultats sont une photographie objective de ce qu'il s'est passé depuis 1998 dans l'évolution de la prise en charge des patients, de leur surveillance et des retraitements. Toutes les études publiées ont les mêmes critères de population (17 ;22 ;24-26 ;45 ;47-49 ;53 ;61).

Ces études longitudinales sont toujours longues et associées à un important taux de gens « perdus de vue ». Nous nous sommes astreints à relancer systématiquement nos patients qui ne venaient pas au rendez vous, en contactant les médecins traitants et en recherchant toutes les informations possibles pour retrouver ces patients. Nous avons eu peu de patients perdus de vue ce qui nous satisfait énormément et vient renforcer la valeur de nos résultats. Obtenir un suivi total pour 899 anévrismes de 49 923 mois avec un taux moyen de 55 mois (4,5 an) et une surveillance de 4160.25 anévrismes –an est très satisfaisant. A 10 ans du

traitement initial nous avons contrôlé 110 anévrismes, ce qui représente 65% des patients traités en 1998.

Cette étude longitudinale a confirmé l'évolution de la prise en charge des anévrismes par voie endovasculaire au profit des techniques chirurgicales. Pour les anévrismes sylviens ; l'évolution du traitement endovasculaire a été le plus manifeste depuis 10 ans (61). Bien avant les résultats d'ISAT, nous privilégions la voie endovasculaire pour les anévrismes rompus dans nos différents centres. Ces premiers bons résultats sur l'évolution à distance des malades, avec une très bonne faisabilité de la technique, une stabilité importante de l'occlusion et un taux faible de retraitement, nous ont aidés à imposer cette technique pour les anévrismes non rompus qui étaient encore opérés. En 10 ans, nous avons tous notés une évolution de l'indication du traitement endovasculaire pour les anévrismes cérébraux rompus ou non.

La faisabilité du geste n'a cessé d'augmenter ces dix dernières années, notamment avec l'amélioration de nos salles de vasculaire, l'apparition et la généralisation des techniques 3D, et l'évolution constante du matériel utilisé. En France, l'utilisation d'un ballon de « remodeling » est devenue une technique courante aussi bien pour les anévrismes rompus que non rompus, et a permis d'accéder et d'occlure plus facilement des anévrismes de l'artère cérébrale moyenne réputés pour être les plus inaccessibles.

Notre travail sur le suivi et sur l'Angio MR a évolué au cours du temps. Au début nous comparions les angiographies aux premières séquences d'angio MR, puis nous avons essayé de faire des séquences en Angio MR avec injection pour les comparer aux examens de référence. Ces séquences d'IRM étaient faciles à faire, à reproduire dans nos différents centres et tout à fait acceptables pour les patients. En proposant cet examen comme surveillance, nous avons amélioré l'observance du suivi, que nous n'aurions certainement pas pu obtenir avec l'angiographie cérébrale classique. L'angio MR avec séquences 3D TOF est maintenant la méthode de choix pour suivre ces patients. Tous les auteurs s'accordent sur le fait qu'il n'est pas nécessaire de faire une angiographie tous les ans, mais que la concordance initiale des images permet de proposer un suivi par Angio MR avec séquence 3D TOF.

Certains auteurs s'appliquent à surveiller longtemps leur patients tandis que d'autres considèrent que seul un suivi de deux ans suffit. Nous restons sur nos impressions initiales qu'il faut absolument surveiller les patients plus de cinq ans, voire dix ans pour s'assurer de la bonne stabilité de l'occlusion et l'absence de néo anévrismes. A l'heure actuelle, personne ne connaît la véritable évolution des anévrismes traités par voie endovasculaire. Les auteurs du monde entier s'interrogent sur le délai de la surveillance et aucun d'eux n'a la réponse.

Comme le disent récemment de très grands neuroradiologues comme Van Rooj (62) et son équipe, ainsi que Jean Raymond et son équipe (63), nous ne savons pas exactement comment bien suivre ces patients, combien de temps il faut les surveiller et quel est le devenir à long terme. Tous sont convaincus d'une surveillance régulière et de cinq années au moins, mais ils sont dans l'attente des résultats à long terme et le délai de surveillance idéale (56,62,63). Nous sommes les seuls actuellement à avoir apportés des résultats à long terme, avec un grand nombre de patients suivis au-delà de 8 ans, représentant plus de 70% des patients traités entre 1998 et 1999.

Notre cohorte de patients était intéressante car nous avons débuté en 1998, époque où les patients recevaient tous le même traitement. Pendant les premières années de ce traitement endovasculaire, le matériel utilisé était vraiment homogène, les coils étaient tous en platine, et nous n'avions pas de stents ni de coils modifiés. On a ainsi obtenu une grande homogénéité de notre base de données avec des patients comparables car traités de la même façon, suivis de la même façon. Actuellement, le matériel diffère beaucoup plus de services en service et devant la multitude de matériel proposé, de stents, de coils actifs, il est beaucoup plus difficile d'obtenir une telle population homogène avec un tel suivi. Quelques études ont été réalisées, multicentriques avec évaluation de la faisabilité, mais celles-ci ont un suivi à court terme.

Nous avons pu démontrer en suivant longtemps ces patients la stabilité de l'occlusion. Les modifications de maillage des coils dans l'anévrisme apparaissent vite, et tous les patients qui ont eu besoin d'être retraités l'ont été entre la première année de suivi et la deuxième. Après deux années de surveillance bien effectuées, peu de patients ont eu de modification de leurs anévrismes.

A plus longue échéance, nous avons observé des néo anévrismes, notion évoqués par d'autres auteurs. Même si ces cas restent peu nombreux par rapport aux nombres de patients surveillés, il faut s'y intéresser et continuer à surveiller les patients. Nous n'avons pas encore assez de recul pour savoir ce que vont devenir ces néo anévrismes, s'il faut les traiter précocement ou non, s'ils grossissent rapidement ou non.

L'optimisation de toutes nos séquences IRM, d'angio MR, sur différents types d'imageurs nous a permis de valider la technique d'Angio MR pour la surveillance de ces patients. Avec l'évolution technologique, il est certain que les séquences les plus informatives sont actuellement des séquences en 3 D TOF et si possible sur imageur 3 Tesla. Des études en cours sur les séquences 3D TOF injectées en 3 Tesla n'ont pas démontrées d'intérêt particulier à l'injection (57,58).

Il faut peut être maintenant s'intéresser à un autre mécanisme d'imagerie avec le développement des séquences de flux pour visualiser, comme à l'angiographie cérébrale, le flux au contact et dans le sac anévrismal. On va peut être comprendre avec cette technique d'exploration le mécanisme qui entraîne la récurrence de certains anévrismes et pas d'autres et comprendre à plus longue échéance la « formation » anévrismale. Pourquoi le flux vasculaire intra crânien entraîne chez certains patients la formation d'anévrismes ?

8 : Conclusion :

Nous avons avec cette étude multicentrique et ce grand nombre de patients suivis depuis 10 ans, validé plusieurs types de séquences d'Angio MR pour la surveillance des patients embolisés d'un anévrisme intra crânien à savoir les séquences en 3D TOF au détriment de l'angiographie cérébrale classique. Les séquences 3D TOF avec injection n'ont pas apportées plus de renseignement que les séquences classiques. En suivant toute cette population de patients, nous avons conforté des résultats initiaux sur la faisabilité et la validité du traitement endovasculaire pour les anévrismes rompus puis les anévrismes non rompus. Nous avons pu définir un délai de surveillance angiographique et par IRM au-delà duquel, les patients ont une stabilité dans leur occlusion anévrismale, délai établi entre 18 mois et 24 mois après le traitement. A cinq ans de la surveillance, il est apparu pour quelques patients des « néo- anévrismes » que nous continuons à surveiller très régulièrement. Ceux-ci nous ont fait évoluer vers des séquences de flux avec « gating cardiaque » pour essayer de comprendre comment le flux pouvait favoriser la recanalisation et essayer d'extrapoler sur la naissance des anévrismes et leur croissance.

Toutes ces informations épidémiologiques et angiographiques nous ont permis d'élargir nos indications de geste endovasculaire dans nos différents centres de neuroradiologie. Nous attendons beaucoup des nouveaux imageurs à haut champ pour détecter et surveiller nos patients à l'aide de séquences 3D TOF.

9 : Bibliographie :

1. Rinkel GJ, Djibuti M, Algra A, et al. Prevalence and risk of rupture of intracranial aneurysms : a systematic review. *Stroke* 1998;29:251-6.
2. Winn HR, Jane JA, Taylor J et al. Prevalence of asymptomatic incidental aneurysms : review of 4568 angiograms. *J Neurosurg* 2002;96:43-49.
3. Lozano AM, Leblanc R. Familial intracranial aneurysms. *J neurosurg* 1987;66:522-528.
4. ISAT International Subarachnoid Aneurysms Trial of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised trial. *Lancet* 2002;360:1267-1274.
5. Unruptured intracranial aneurysms: natural history, clinical outcome, and risks of surgical and endovascular treatment. *Lancet* 2003;362:103-110.
6. Gasparotti R, Liserre R. Intracranial Aneurysms. *Eur radiol* 2005 ;15 :441-7.
7. Schievink WI, Schaid DJ, Rogers HM et al. On the inheritance of intracranial aneurysms. *Stroke* 1994;25:2028-2037.
8. Gallas S, Estrade L, Lanoix O, et al. Syndrome De CUTIS LAXA : Un Syndrome dermatologique rare Associé Aux Anévrismes Intra Cérébraux. A propos d'une patiente porteuse de 8 anévrismes. *J Radiol* accepted to publication for 2010.
9. Hagen T, Neidl K, Piepgras U. Multiple cerebral aneurysms in identical twins. *Am J of Neuroradiol AJNR* 1997;18:973-6.)
10. Qureshi AI, Sung GY, Suri MF et al. Factors associated with aneurysms size in patients with subarachnoid hemorrhage: effect of smoking and aneurysms location. *Neurosurgery* 2000;46:44-50
11. Inagawa T. Risk factors for the formation and rupture of intracranial saccular aneurysms in shimane, Japan. *Surg Neurol* 2009
12. Weaver JP, Fisher M. Subarachoid hemorrhage: an update of pathogenesis, diagnosis and management. *J Neurol Sci* 1994;125:119-131.
13. Keedy A. An overview of intracranial aneurysms. *MJM*2006;9:141-146.
14. Guglielmi G, Vinuela F, Dion J, Duckwiler G. Electrothrombosis of saccular aneurysms via endovascular approach. II. Preliminary clinical experience. *J Neurosurg* 1991;75:8-14.
15. Guglielmi G, Vinuela F, Duckwiler G, et al. Endovascular treatment of posterior circulation aneurysms by electrothrombosis using electrically detachable coils. *J Neurosurg* 1992;77:515-524.

16. Moret J, Cognard C, Weill A, Castaings L, Rey A. The remodeling Technique in the treatment of wide neck intracranial aneurysms. *Interv Neuroradiol* 1997;3:21-35.
17. Campi A, Ramzi N, Molyneux A, et al. Retreatment of ruptured cerebral aneurysms in patients randomized by coiling or clipping in the international subarachnoid aneurysm trial (ISAT) . *Stroke* 2007;38:1538-1544.
18. Ryttefors M, Enblad P, Kerr R, et al. International subarachnoid Aneurysm trial of neurosurgical Clipping versus endovascular coiling. Subgroup analysis of 278 elderly patients. *Stroke* 2008;39:2720-2726.
19. Molyneux AJ, Kerr R SC, Birks J et al. Risk of recurrent subarachnoid haemorrhage, death, or dependence and standardised mortality ratios after clipping or coiling of an intracranial aneurysm in the international subarachnoid aneurysm trial (ISAT) : long-term follow-up. *Lancet Neurol* 2009;8:427-433.
20. Britz GW. ISAT Trial: coiling or clipping for intracranial aneurysms? Comment. *Lancet* 2005;366:783-785.
21. CARAT Investigators. Rates of delayed rebleeding from intracranial aneurysms are low after surgical and endovascular treatment. *Stroke* 2006;37:1437-1442.
22. Johnston SC, Dowd CF, Higashida RT et al. Predictors of rehemorrhage after Treatment of ruptured intracranial aneurysms. The CARAT study. *Stroke* 2008;39:120-125.
23. Lanterna LA, Tredici G, Dimitrov BD et al. Treatment of unruptured cerebral aneurysms by embolization with Guglielmi detachable coils: case fatality, morbidity, and effectiveness in preventing bleeding: a systematic review of the literature. *Neurosurgery* 2004;55:767-775.
24. Wanke I, Doerfler A, Dietrich U et al. Endovascular treatment of unruptured intracranial aneurysms. *AJNR* 2002;23:756-761.
25. Gonzalez N, Murayama Y, Nien YL et al. Treatment of unruptured aneurysms with GDCs: clinical experience with 247 aneurysms. *Am J of neuroradiol AJNR* 2004;25:577-583.
26. Roy D, Milot G, Raymond J. Endovascular treatment of unruptured aneurysms. *Stroke* 2001;32:1998-2004.

27. Proust F, Derrey S, Debono B et al. Anévrismes intracrâniens non rompus: que proposer? *Neurochirurgie*,2005 ;51 :435-454.
28. Natarajan SK, Sekhar LN, Ghodke B et al. Outcomes of Ruptured Intracranial Aneurysms Treated by microsurgical Clipping and Endovascular Coiling in a high-volume center. *Am J of Neuroradiol AJNR* 2008; 29:753-59.
29. Kadri S, Brunel H, Bourbotte G, et al. L'angio-scanner cérébral multibarrette peut il supplanter l'angiographie conventionnelle dans le diagnostic étiologique des hémorragies sous-arachnoïdiennes ? *J. Neuroradiol*, 2006 ;33,45-50.
30. Chappel ET, Moure FC, Good MC et al. Comparison of computed tomographic angiography with digital subtraction angiography in the diagnosis of cerebral aneurysms: a meta-analysis. *Neurosurgery* 2003;52:624-631.
31. Gauvrit JY, Leclerc X, Ferré JC et al. Imagerie de l'hémorragie sous arachnoïdienne. *Journal of Neuroradiol* 2009 ;36 :65-73.
32. Van Der Schaff IC, Velthuis BK, Marieke JH et al. Multislice computed tomography angiography screening for new aneurysms in patients with previously clip-treated intracranial aneurysms: feasibility, positive predictive value, and interobserver agreement. *J Neurosurg*, 2006;105:682-688.
33. Hankey GJ, Warlow CP, Sellar RJ. Cerebral angiographic risk in mild cerebrovascular disease. *Stroke* 1990;21:209-22.
34. Grzyska V, Freitag J, Zeumer H. selective arterial intracerebral DSA: complication rate and control of risk factors. *Neuroradiology* 1990;32:269-9.
35. Hartman J, Nguyen T, Larsen D et al. MR artifacts, heat production and ferromagnetism of Guglielmi detachable coils. *AJNR* 1997;18:497-501.
36. Brunereau L, Bousson V, Arrivé L et al. Artéfacts en Angiographie par résonance magnétique. *J Radiol* 1998 ;79 :849-859.
37. Brunereau L, Cottier JP, Sonier CBS et al. Prospective evaluation of time of flight MR angiography in the follow-up of intracranial saccular aneurysms treated with Guglielmi detachable coils. *JCAT* 1999;23:216-223.
38. Boulin A, Pierot L. Follow-up intracranial aneurysms treated with detachable coils: comparison of gadolinium-enhanced 3D time-of -flight MR

- angiography and digital subtraction angiography. *Radiology* 2001;219:108-13.
39. Anzalone N, Righi C, Simionato F et al. Three dimensional time of flight MR angiography in the evaluation of intracranial aneurysms treated with Guglielmi detachable coils. *Am J of Neuroradiol AJNR* 2000; 21:746-52.
 40. Cottier JP, Bleuzen-Couthon A, Gallas S, et al. Intracranial aneurysms treated with Guglielmi Detachable coils: is contrast necessary in the follow-up with 3D time of flight MR angiography? *Am J of Neuroradiol AJNR* 2003; 24:1797-803.
 41. Cottier JP, Bleuzen-Couthon A, Gallas S et al. Follow-up of intracranial aneurysms treated with detachable coils: comparison of plain radiographs, 3D time of Flight MRA and digital subtraction angiography. *Neuroradiology* 2003;45:818-824.
 42. Gauvrit JY, Leclerc X, Pernodet M et al. Intracranial Aneurysms treated with Guglielmi Detachable Coils: usefulness of 6-months imaging follow-up with contrast enhanced MR angiography. *Am J of neuroradiol AJNR* 2005;26:515-21.
 43. Pierot L, Delcourt C, Bouquigny F et al. Follow up of intracranial aneurysms selectively treated with coils: prospective evaluation of contrast-enhanced MR angiography. *Am J of fNeuroradiol AJNR* 2006; 27:744-49.
 44. Anzalone N. MR angiography Follow-up of aneurysms treated with coils: is there a Need for the use of gadolinium? Commentary. *Am J of Neuroradiol* 2009;30:1531.
 45. Cognard C, Pierot L, Boulin A, Weill A, Tovi M, Castaings L, Rey A, Moret J, Toevi M. Intracranial aneurysms: endovascular treatment with mechanical detachable spirals in 60 aneurysms. *Radiology* 1997;202:783-792.
 46. Gallas S, Pasco A, Cottier JP, et al. A multicenter study of 705 ruptured aneurysms treated with Guglielmi detachable coils. *Am J of Neuroradiol AJNR* 2005;26:1723-1731.
 47. Raymond J, Guilbert F, Weill A et al. Long term angiographic recurrences after selective endovascular treatment of aneurysms with detachable coils. *Stroke* 2003;34:1398-1403.

48. Thornton S, Debrun G, Aletich VA et al. Follow-up Angiography of intracranial aneurysms treated with endovascular placement of Guglielmi detachable coils. *Neurosurgery* 2002;50:239-250.
49. Piotin M, Spelle L, Mounayer C et al. Intracranial Aneurysms: Treatment with Bare Platinum coils: Aneurysm packing, Complex Coils, and Angiographic Recurrence. *Radiology* 2007;243:500-08.
50. Gallas S, Drouineau J, Gabrillargues J et al. feasibility, procedural morbidity and mortality, and long term follow-up of endovascular treatment of 321 unruptured aneurysms. *Am J of Neuroradiol AJNR* 2008;29:63-68.
51. Tsutsumi K, Ueki K, Morita A et al. Risk of aneurysms recurrence in patients with clipped cerebral aneurysms: results of long-term follow-up angiography. *Stroke* 2001;32:1191-94.
52. Gallas S, Januel AC, Pasco A, et al. Long-term Follow-up of 1036 cerebral aneurysms treated by bare coils: a multicentric cohort treated between 1998 and 2003. *Am J of Neuroradiol AJNR* 2009; A 1744. In press.
53. Sprengers ME, Van Rooij WJ, Sluzewski M, et al. MR angiography Follow-up 5 years after coiling: frequency of new aneurysms and enlargement of untreated aneurysms. *AJNR Am J of Neuroradiol* 2009 ;30 :303-07.
54. Van Der Schaff IC, Velthuis BK, Werner MJH et al. New Detected Aneurysms on Follow-Up Screening in patients with previously Clipped intracranial Aneurysms. Comparison with DSA or CTA at the time of SAH. *Stroke* 2005;36:1753-58.
55. Holmin S, Krings T, Ozanne A, et al. Intradural saccular aneurysms treated by Guglielmi Detachable bare coils at a single institution between 1993 and 2005: clinical long term follow-up for a total of 1810 patient-years in relation to morphological treatments results. *Stroke* 2008;39:2288-97.
56. Sprengers ME, Schaafsma J, Van Rooij WJ et al. Stability of intracranial aneurysms adequately occluded 6 months after coiling: a 3T MR angiography multicenter long term follow-up study. *Am J of Neuroradiol AJNR* 2008;29:1768-74.
57. Estrade L. Angiographie par résonance magnétique à 1.5 Tesla et 3 Tesla pour le suivi des anévrismes embolisés : Comparaison avec l'artériographie cérébrale sélective. Thèse de médecine, 2008, CHU de Reims.

58. Majoie CB, Sprengers ME, Van Rooij WJ et al. MR angiography at 3 T versus digital subtraction angiography in the follow-up of intracranial aneurysms treated with detachable coils. *Am J of Neuroradiol AJNR* 2005;26:1349-1356.
59. Sprengers ME, Scaafsma JD, Van ROOIJ WJ et al. Evaluation of the occlusion status of coiled intracranial aneurysms with angiography at 3T: Is contrast enhancement necessary? *Am J of Neuroradiol AJNR* 2009;30:1665-71.
60. Fink C, Goyen M, Lotz J. Magnetic resonance angiography with blood pool contrast agents: future applications. *Eur radiol* 2007;17:38-44.
61. Quadros RS, Gallas S, Noudel R, et al. Endovascular treatment of middle cerebral artery aneurysms as first option: a single center experience of 92 aneurysms. *Am J of Neuroradiol AJNR* 2007;28:1567-72.
62. Van Rooj WJ, Sluzewski M. Opinion: Imaging follow-up after coiling of intracranial aneurysms. *Am J of Neuroradiol AJNR* 2009;30:1646-48.
63. Raymond J. Counterpoint: Has the last word been said? Commentary. *Am J of Neuroradiol AJNR* 2009;30:1649-52.