

ANNEE 2021

N°

TITRE DE LA THESE

**PACKING TECHNIQUE WITH OR WITHOUT REMODELING FOR
ENDOVASCULAR COIL EMBOLIZATION OF RENAL ARTERY
ANEURYSMS: SAFETY, EFFICACY AND MID-TERM OUTCOMES**

**EMBOISATION ENDOVASCULAIRE DES ANÉVRISMES DES
ARTÈRES RÉNALES PAR TECHNIQUE DE PACKING AVEC OU SANS
REMODELING : SÉCURITÉ, EFFICACITÉ ET RÉSULTATS A MOYEN
TERME**

THESE
Présentée

à l'UFR des Sciences de Santé de Dijon
Circonscription Médecine

et soutenue publiquement le 2 avril 2021

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par Grégory SECCO
Né le 28 février 1991
A Roanne

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à la disposition de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur.

Ceci implique une obligation de citation et de référencement dans la rédaction de vos travaux.

D'autre part, toutes contrefaçons, plagiat, reproductions illicites encourrent une poursuite pénale.

De juridiction constante, en s'appropriant tout ou partie d'une œuvre pour l'intégrer dans son propre document, l'étudiant se rend coupable d'un délit de contrefaçon (au sens de l'article L.335.1 et suivants du code de la propriété intellectuelle). Ce délit est dès lors constitutif d'une fraude pouvant donner lieu à des poursuites pénales conformément à la loi du 23 décembre 1901 dite de répression des fraudes dans les examens et concours publics.

ANNEE 2021

N°

TITRE DE LA THESE

**PACKING TECHNIQUE WITH OR WITHOUT REMODELING FOR
ENDOVASCULAR COIL EMBOLIZATION OF RENAL ARTERY
ANEURYSMS: SAFETY, EFFICACY AND MID-TERM OUTCOMES**

**EMBOISATION ENDOVASCULAIRE DES ANÉVRISMES DES
ARTÈRES RÉNALES PAR TECHNIQUE DE PACKING AVEC OU SANS
REMODELING : SÉCURITÉ, EFFICACITÉ ET RÉSULTATS A MOYEN
TERME**

THESE
Présentée

à l'UFR des Sciences de Santé de Dijon
Circonscription Médecine

et soutenue publiquement le 2 avril 2021

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par Grégory SECCO
Né le 28 février 1991
A Roanne

Année Universitaire 2020-2021
au 1^{er} **Septembre 2020**

Doyen :
Assesseurs :

M. Marc MAYNADIÉ
M. Pablo ORTEGA-DEBALLON
Mme Laurence DUVILLARD

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS

			Discipline
M.	Jean-Louis	ALBERINI	Biophysiques et médecine nucléaire
M.	Sylvain	AUDIA	Médecine interne
M.	Marc	BARDOU	Pharmacologie clinique
M.	Jean-Noël	BASTIE	Hématologie - transfusion
M.	Emmanuel	BAULOT	Chirurgie orthopédique et traumatologie
M.	Christophe	BEDANNE	Dermato-vénéréologie
M.	Yannick	BEJOT	Neurologie
Mme	Christine	BINQUET	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
M.	Philippe	BONNIAUD	Pneumologie
M.	Alain	BONNIN	Parasitologie et mycologie
M.	Bernard	BONNOTTE	Immunologie
M.	Olivier	BOUCHOT	Chirurgie cardiovasculaire et thoracique
M.	Belaid	BOUHEMAD	Anesthésiologie - réanimation chirurgicale
M.	Alexis	BOZORG-GRAYELI	Oto-Rhino-Laryngologie
M.	Alain	BRON	Ophtalmologie
M.	Laurent	BRONDEL	Physiologie
Mme	Mary	CALLANAN (WILSON)	Hématologie type biologique
M.	Patrick	CALLIER	Génétique
Mme	Catherine	CHAMARD-NEUWIRTH	Bactériologie - virologie; hygiène hospitalière
M.	Pierre-Emmanuel	CHARLES	Réanimation
M.	Jean-Christophe	CHAUVET-GELINIER	Psychiatrie d'adultes, Addictologie
M.	Nicolas	CHEYNEL	Anatomie
M.	Alexandre	COCHET	Biophysique et médecine nucléaire
M.	Luc	CORMIER	Urologie
M.	Yves	COTTIN	Cardiologie
M.	Charles	COUTANT	Gynécologie-obstétrique
M.	Gilles	CREHANGE	Oncologie-radiothérapie
Mme	Catherine	CREUZOT-GARCHER	Ophtalmologie
M.	Frédéric	DALLE	Parasitologie et mycologie
M.	Alexis	DE ROUGEMONT	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
M.	Hervé	DEVILLIERS	Médecine interne
M.	Serge	DOUVIER	Gynécologie-obstétrique
Mme	Laurence	DUVILLARD	Biochimie et biologie moléculaire
M.	Olivier	FACY	Chirurgie générale
Mme	Laurence	FAIVRE-OLIVIER	Génétique médicale
Mme	Patricia	FAUQUE	Biologie et Médecine du Développement
Mme	Irène	FRANCOIS-PURSELL	Médecine légale et droit de la santé
Mme	Marjolaine	GEORGES	Pneumologie
M.	François	GHIRINGHELLI	Cancérologie
M.	Pierre Grégoire	GUINOT	Anesthésiologie – réanimation chirurgicale
M.	Frédéric	HUET	Pédiatrie
M.	Pierre	JOUANNY	Gériatrie
M.	Sylvain	LADOIRE	Histologie
M.	Gabriel	LAURENT	Cardiologie
M.	Côme	LEPAGE	Hépto-gastroentérologie

M.	Romarc	LOFFROY	Radiologie et imagerie médicale
M.	Luc	LORGIS	Cardiologie
M.	Jean-Francis	MAILLEFERT	Rhumatologie
M.	Cyriaque Patrick	MANCKOUNDIA	Gériatrie
M.	Sylvain	MANFREDI	Hépatogastroentérologie
M.	Laurent	MARTIN	Anatomie et cytologie pathologiques
M.	David	MASSON	Biochimie et biologie moléculaire
M.	Marc	MAYNADIÉ	Hématologie – transfusion
M.	Marco	MIDULLA	Radiologie et imagerie médicale
M.	Thibault	MOREAU	Neurologie
Mme	Christiane	MOUSSON	Néphrologie
M.	Paul	ORNETTI	Rhumatologie
M.	Pablo	ORTEGA-DEBALLON	Chirurgie Générale
M.	Pierre Benoit	PAGES	Chirurgie thoracique et vasculaire
M.	Jean-Michel	PETIT	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
M.	Christophe	PHILIPPE	Génétique
M.	Lionel	PIROTH	Maladies infectieuses
Mme	Catherine	QUANTIN	Biostatistiques, informatique médicale
M.	Jean-Pierre	QUENOT	Réanimation
M.	Patrick	RAY	Médecine d'urgence
M.	Patrick	RAT	Chirurgie générale
M.	Jean-Michel	REBIBOU	Néphrologie
M.	Frédéric	RICOLFI	Radiologie et imagerie médicale
M.	Paul	SAGOT	Gynécologie-obstétrique
M.	Maxime	SAMSON	Médecine interne
M.	Emmanuel	SAPIN	Chirurgie Infantile
M.	Emmanuel	SIMON	Gynécologie-obstétrique
M.	Éric	STEINMETZ	Chirurgie vasculaire
Mme	Christel	THAUVIN	Génétique
M.	Benoit	TROJAK	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
M.	Pierre	VABRES	Dermato-vénéréologie
M.	Bruno	VERGÈS	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
M.	Narcisse	ZWETYENGA	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie

PROFESSEURS EN SURNOMBRE

M.	Alain	BERNARD (surnombre jusqu'au 31/08/2021)	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
M.	Pascal	CHAVANET (Surnombre jusqu'au 31/08/2021)	Maladies infectieuses

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES MEDICALES

			Discipline Universitaire
Mme	Lucie	AMOUREUX BOYER	Bactériologie
Mme	Louise	BASMACIYAN	Parasitologie-mycologie
Mme	Shaliha	BECHOUA	Biologie et médecine du développement
M.	Mathieu	BLOT	Maladies infectieuses
M.	Benjamin	BOUILLET	Endocrinologie
Mme	Marie-Claude	BRINDISI	Nutrition
Mme	Marie-Lorraine	CHRETIEN	Hématologie
Mme	Vanessa	COTTET	Nutrition
M.	Damien	DENIMAL	Biochimie et biologie moléculaire
Mme	Ségolène	GAMBERT	Biochimie et biologie moléculaire
Mme	Françoise	GOIRAND	Pharmacologie fondamentale
M.	Charles	GUENANCIA	Physiologie
Mme	Agnès	JACQUIN	Physiologie
M.	Alain	LALANDE	Biophysique et médecine nucléaire
M.	Louis	LEGRAND	Biostatistiques, informatique médicale
Mme	Stéphanie	LEMAIRE-EWING	Biochimie et biologie moléculaire
M.	Pierre	MARTZ	Chirurgie orthopédique et traumatologie
M.	Alain	PUTOT	Gériatrie
M.	Paul-Mickaël	WALKER	Biophysique et médecine nucléaire

PROFESSEURS EMERITES

M.	Laurent	BEDENNE	(01/09/2017 au 31/08/2020)
M.	Jean-François	BESANCENOT	(01/09/2020 au 31/08/2023)
M.	Bernard	BONIN	(01/09/2020 au 31/08/2023)
M.	François	BRUNOTTE	(01/09/2020 au 31/08/2023)
M.	Jean-Marie	CASILLAS-GIL	(01/09/2020 au 31/08/2023)
M.	Philippe	CAMUS	(01/09/2019 au 31/08/2022)
M.	Jean	CUISENIER	(01/09/2018 au 31/08/2021)
M.	Jean-Pierre	DIDIER	(01/11/2018 au 31/10/2021)
Mme	Monique	DUMAS	(01/09/2018 au 31/08/2021)
M.	Claude	GIRARD	(01/01/2019 au 31/08/2022)
M.	Maurice	GIROUD	(01/09/2019 au 31/12/2021)
M.	Patrick	HILLON	(01/09/2019 au 31/08/2022)
M.	François	MARTIN	(01/09/2018 au 31/08/2021)
M.	Henri-Jacques	SMOLIK	(01/09/2019 au 31/08/2022)
M.	Pierre	TROUILLOUD	(01/09/2020 au 31/08/2023)

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

Mme	Katia	MAZALOVIC	Médecine Générale
Mme	Claire	ZABAWA	Médecine Générale

PROFESSEURS ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE

M.	Didier	CANNET	Médecine Générale
M.	Arnaud	GOUGET	Médecine Générale
M.	François	MORLON	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE

M.	Jérôme	BEAUGRAND	Médecine Générale
M.	Clément	CHARRA	Médecine Générale
Mme	Anne	COMBERNOUX -WALDNER	Médecine Générale
M.	Benoît	DAUTRICHE	Médecine Générale
M.	Alexandre	DELESVAUX	Médecine Générale
M.	Rémi	DURAND	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Lucie	BERNARD	Anglais
M.	Didier	CARNET	Anglais
Mme	Catherine	LEJEUNE	Pôle Epidémiologie
M.	Gaëtan	JEGO	Biologie Cellulaire

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Marianne	ZELLER	Physiologie
-----	----------	--------	-------------

PROFESSEURS AGREGES de L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE

Mme	Marceline	EVARD	Anglais
Mme	Lucie	MAILLARD	Anglais

PROFESSEURS CERTIFIES

Mme	Anaïs	CARNET	Anglais
M.	Philippe	DE LA GRANGE	Anglais

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES

M.	Mathieu	BOULIN	Pharmacie clinique
M.	François	GIRODON	Sciences biologiques, fondamentales et cliniques
Mme	Evelyne	KOHLI	Immunologie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES

M.	Philippe	FAGNONI	Pharmacie clinique
M.	Marc	SAUTOUR	Botanique et cryptogamie
M.	Antonin	SCHMITT	Pharmacologie

L'UFR des Sciences de Santé de Dijon, Circonscription Médecine, déclare que les opinions émises dans les thèses qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend ne leur donner ni approbation, ni improbation.

COMPOSITION DU JURY

Président : Monsieur le Professeur Romaric LOFFROY

Membres : Monsieur le Professeur Frédéric RICOLFI

Monsieur le Professeur Marco MIDULLA

Monsieur le Docteur Nicolas FALVO

SERMENT D'HIPPOCRATE

"Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

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

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité.

Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

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

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

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

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

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque."

Remerciements

A mon directeur de thèse,

Monsieur le Professeur Romaric LOFFROY

Vous m'avez fait l'honneur de me confier et de diriger ce travail de thèse. Votre investissement et votre excellence dans le travail sont un modèle pour tout le service de Radiologie. Votre expertise et votre esprit d'innovation font rayonner la radiologie dijonnaise dans le monde entier. En espérant avoir été digne de votre confiance, je vous prie de trouver en ce travail le témoignage de mon respect et mon admiration.

A mes juges,

Monsieur le Professeur Frédéric RICOLFI

Merci de me faire l'honneur de juger ce travail. Vous êtes une référence en neuroradiologie diagnostique et interventionnelle, et de nombreuses générations d'internes ont pu profiter de vos connaissances et de votre savoir-faire. Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon plus grand respect.

Monsieur le Professeur Marco MIDULLA

Je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail. Votre sympathie et votre bienveillance subliment les connaissances en imagerie cardiaque et vasculaire que vous nous transmettez. Je vous prie d'accepter ma profonde considération et mon plus grand respect.

Monsieur le Docteur Nicolas FALVO

Vous me faites l'honneur de siéger au sein de ce jury. J'exprime le grand regret de n'avoir jamais pu être affecté dans votre service. Le partage de votre savoir en angiologie est une chance pour tous les internes de radiologie passant dans votre service. Vous trouverez ici l'expression de mon estime et de mon plus grand respect.

Ce travail est dédié :

A l'équipe de chirurgie orthopédique de Beaune, aux IBODES, à Alex, Melkart et Joël, vous êtes les stigmates de mon court passé de chirurgien. Votre faible niveau au ping-pong m'a sans doute poussé à changer de voie.

A mes chefs de radio dijonnais, Luce, Nathalie, Pierre, PO, Brivaël, Alan, Marie-Gabrielle, Romaric, PE, Sophie et Olivier (lâche ce paquet de Tic-Tac).

Aux chefs du CGFL, Nathalie, Olivier et Floriane. A France, même si tu as délaissé ma boule. A Loïc, c'était donc toi le terroriste tant recherché.

Aux Chalonais

A l'équipe de radiologie de la clinique de Mâcon, Xavier, Nicolas, Clothilde, Anne, Marie-Clémence, Emanoïl, Thierry, Edouard, Rany, Jacques et Thomas. Merci pour ce dernier semestre à vos côtés et pour toutes les connaissances dont vous m'avez fait profité dans tous les domaines de la radio. Un semestre chez vous est incontournable.

A l'équipe de radiologie du CH de Mâcon, aux Drs Marx et Fattouh, à Danielle, Aurélie, Matthieu et Sophie. Je suis fier d'intégrer votre équipe prochainement, il me reste encore plein de choses à apprendre à vos côtés.

A toutes les équipes de manip, AS, aide-manip.

A mes co-internes :

Seb, Carole, Léa, Julie, Halime, Ségolène, Angélique, François, Fabien, Marc, Franck, Félix, on s'est croisés en garde ou en stage, travailler (ou covoiturer) avec vous était un plaisir.

A Julien, pour ce délicieux Mcdo de fin de stage et Mcphy (ça rattrape partiellement ce que m'a volé ton oncle !).

A Aurore et Thio, mes derniers co-internes, « non, non, non, non, non, tu dis nodule ! »

A Max, la baraka, la barre de fer, la baraque à frite, pour m'avoir fait découvrir le combo saumon sauce kebab au CGFL.

A Morgane, Kévin et Valentin, pour tous les bons moments passés en stage. Pour ton côté sombre Kévin, le jour où t'as planqué la canne de jambe de bois.

A Louis, en 3 ans t'as autant changé de passions qu'Olivier d'addictions. J'espère continuer de te voir de temps en temps pour admirer ta magnifique chevelure.

A Adrien, le colonel Ghandi, t'es pas le co-interne le plus fiable mais t'es pas loin d'être le plus sympa, et en tout cas celui qui est toujours prêt à dépanner. Merci.

A Marco Bambino, pour les moments passés en cours de DES, en congrès, aux Etats-Unis. Tu t'appelles Marc Kévin mais t'es quand même un chic type et tu resteras un vrai ami d'internat. Regarde où tu mets les pieds quand même.

A Francky, un deuxième vrai ami rencontré au cours de l'internat. Tes origines antillaise et kabylofornienne contribuent fortement à ta bonne humeur. Merci pour tous les bons

moments passés en stage, en DU, et en dehors. Je vous souhaite plein de bonheur avec Fanny et votre futur bébé. Heureusement que les flics du Bois de Boulogne ne sont pas plus perspicaces.

Aux autres potes d'internat hors radio, Matthieu et Jérémy, l'un fait dans le social, l'autre pas. Votre point commun est quand même votre grande fragilité, vous me faites un peu peine mais vous m'êtes bien sympathiques.

Aux Stéphanois : Max, pour ta sympathie et tes aptitudes à la castagne ; Antoine, parce qu'un jour tu seras président et c'est utile de connaître un président. T'as des traces de doigt sur tes lunettes ; Barnabé, pour les parties de worms, les pizzas, l'ascension du crassier, les montages vidéo du WEP. J'espère te voir plus souvent maintenant que tu es à Lyon.

A mes anciens potes de Roanne, perdus de vue pour la plupart au cours de ces 11 ans d'exil stéphanois et bourguignon, on se recroisera sans doute.

A Charles, l'unique rescapé, pour tous les souvenirs de collège et de lycée. On se voit rarement mais j'apprécie toujours les moments passés ensemble.

A Ludo, la bête, le verrat, le cochon de combat, Jean-Yves la veyre, Monsieur Côte de Porc, Serban Verratov. Ca doit faire 20 ans qu'on se connaît mais 10 ans qu'on est amis. Toujours de bonne humeur, on a partagé tellement de bons moments. Je vous souhaite plein de bonheur à Léa, Gabin et toi.

A CG#8, tu m'as martyrisé sur les terrains de basket, tu m'as martyrisé en sous-colle (je plains les internes qui doivent maintenant supporter ta sévérité!), mais t'es un vrai ami. Au moins t'as pas dynamité ma carrière. Plein de bonheur à toi et Lenka.

A ma belle-famille, mes beaux-parents, Laurène, Cédric et Adou. Merci pour votre accueil chaleureux et bienveillant dans votre famille, je suis heureux et fier de partager ma vie avec la vôtre.

A ma famille, mes cousins, cousines, oncles et tantes.

A Loïc, j'ai fait mes premiers pas dans la démolition grâce à toi, ça me sert aujourd'hui. Merci pour les nuits à 10 saisons de PES, on n'arrête pas tant que la poissonnière a pas ouvert.

A Fred, pour tout ce qu'on a vécu ensemble. T'es un super parrain, généreux et toujours disponible et à l'écoute. Tu es désormais le bienvenu en terres mâconnaises.

A mon frère Tanguy, je suis fier de t'avoir et de ce que tu deviens. J'espère te voir plus souvent maintenant qu'on vit moins loin l'un de l'autre.

A mes grands-parents, j'espère que vous êtes fiers de moi. Merci pour tous les repas, les week-ends et les vacances passés ensemble. Chaque moment avec vous était et reste un bonheur. C'est aussi grâce à vous que je suis là.

A mes parents, qui m'ont permis de devenir celui que je suis aujourd'hui. Merci pour l'éducation et l'instruction que vous avez su nous donner, pour nous avoir emmené partout avec vous et fait découvrir les merveilles d'ici et d'ailleurs. Merci aussi pour votre présence et votre soutien toutes ces années, je ne saurai jamais suffisamment vous remercier de tout ce que vous avez fait pour Tanguy et moi.

A toi Adeline, pour tout ce qu'on a vécu et pour m'avoir supporté toutes ces années. Aussi pour m'avoir permis de me nourrir d'autres plats que de sneakers et de granny. Surtout pour tout ce que tu m'apportes au quotidien, ton soutien, ta générosité et ton amour. Je suis fier de toi et de tout ce que tu entreprends. Je suis très heureux de partager ma vie et de fonder ma famille avec toi. Je t'aime.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	12
TABLE DES TABLEAUX ET FIGURES	12
Liste des Abréviations	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUCTION	15
2 . MATERIALS AND METHODS	19
2. 1 Study Population	19
2. 2 Endovascular Procedure	19
2. 3 Angiographic Outcomes, Complications, and Follow-Up	20
2. 4 Statistical Analysis	21
3. RESULTS	22
3. 1 Patients	22
3. 2 Aneurysms	22
3. 3 Coil Embolization and Outcomes	23
3. 4 Complications	23
4. DISCUSSION	25
5. CONCLUSIONS	29
CONCLUSION	30
BIBLIOGRAPHIE	31

TABLE DES TABLEAUX ET FIGURES

Table 1. Characteristics of the 18 patients and 19 aneurysms	36
Table 2. History, clinical presentation, and indications for treatment	37
Table 3. Technique, angiographic results, and complications	38
Table 4. Short- and long-term follow-up results	39
Figure 1. Images from patient 6	40
Figure 2. Exclusion of aneurysm 7 by packing embolization	41
Figure 3. Exclusion of aneurysm 6 in a second session: stent-assisted coiling	42
Figure 4. Follow-up imaging	43

Liste des abréviations

- RAA : Renal Artery Aneurysm
- IU : International Units
- RROC : Raymond–Roy Occlusion Classification
- CT : Computed Tomography
- MRI : Magnetic Resonance Imaging
- SD : Standard Deviation
- FMD : Fibromuscular Dysplasia

Abstract

The endovascular treatment of Renal Artery Aneurysms (RAAs) has lower morbidity and shorter stay lengths compared to surgical repair. Here, we describe coil packing with or without remodeling and assess outcomes and complications. We retrospectively identified the 19 consecutive preventive endovascular RAA coil embolizations done in 18 patients at our center in 2010–2020.

Patient and aneurysm characteristics, technical success rate, complications, and recurrences were recorded. Mean patient age was 63 ± 13 years. The RAA was >1.5 cm in 11 cases, and in four cases, the aneurysm-to-parent artery size ratio was >2 . Simple coiling was performed for 11 (57.9%) aneurysms, stent-assisted coiling for seven (36.8%) aneurysms, and balloon assisted coiling for one (5.3%) aneurysm. Technical success rate was 100%. Complete definitive RAA exclusion was achieved with a single procedure for 17 (89.5%) aneurysms, whereas two (10.5%) aneurysms required a repeat procedure. Four minor complications occurred but resolved with no long-term consequences. No major complications occurred during the mean follow-up of 41.1 ± 29.7 months. Coil embolization by sac packing or remodeling proved to be very safe and effective. Together with the known lower morbidity and shorter stay length compared to open surgery, these data indicate that this endovascular procedure should become the preventive treatment of choice for RAAs.

Keywords: aneurysm; embolization; endovascular treatment; renal artery

1. Introduction

Les anévrismes des artères rénales (AAR) sont rares, avec une incidence de 0,1 à 1% dans la population générale. Ils représentent toutefois 25% de tous les anévrismes des artères viscérales [1]. La complication la plus redoutée est la rupture de l'AAR avec hémorragie massive. Le risque de rupture augmente avec la taille de l'anévrisme et est également plus élevé chez certaines catégories de patients telles que les femmes en âge de procréer. Même si aucune recommandation stricte n'existe concernant les indications de traitement des AAR, une prise en charge est habituellement nécessaire pour les anévrismes symptomatiques et les anévrismes de plus d'1,5 cm [1-6]. Plusieurs études cliniques ont évalué l'efficacité et la sécurité des traitements endovasculaires versus chirurgie [7-10]. Le choix entre ces deux options dépend généralement de la localisation et de la morphologie de l'anévrisme. Les deux techniques sont sûres et efficaces, avec cependant une morbidité et une durée d'hospitalisation moindres en cas de prise en charge endovasculaire. Les différentes techniques endovasculaires sont utilisées selon la localisation de l'anévrisme, sa morphologie et le nombre de branches artérielles naissant de l'anévrisme. Ainsi, une embolisation par coiling simple est réalisée pour les anévrismes à collet étroit. Pour les anévrismes complexes ou à collet large, il est généralement proposé un coiling assisté par stent ou par ballonnet, ou encore l'exclusion de l'anévrisme par stent couvert. Les techniques neuroendovasculaires ont souvent été appliquées aux anévrismes périphériques. Ainsi, les coils détachables ont été développés par Guglielmi [11] en 1990 et ont constitué une véritable révolution en comparaison avec les stents devant être poussés. L'utilisation de coils détachables et repositionnables autorise une grande précision de déploiement, permettant un traitement efficace d'anévrismes de différentes tailles et de différentes morphologies. La technique de remodeling par ballonnet a été développée en 1997 par Moret et al [12] dans le traitement des anévrismes intra-crâniens à collet large : un ballonnet

gonflable est utilisé afin de prévenir la migration de coils dans l'artère porteuse au moment de leur déploiement, mais également afin d'augmenter leur densité au sein du sac anévrysmal. D'autres nouvelles techniques ou nouveaux matériels permettent un traitement efficace des anévrysmes fusiformes ou à collet large tout en préservant la perméabilité de l'artère porteuse. Parmi celles-ci, le remodeling assisté par stent est particulièrement courant en neuroradiologie et a été utilisé pour la première fois dans le traitement d'un AAR en 2008 par Manninen et al. [13-15]. Plus récemment ont été introduits les endoprothèses flexibles et les stents à diversion de flux qui ont rapidement été adoptés pour le traitement des anévrysmes périphériques. Ces stents multicouches modulateurs de flux présentent un design unique qui permet l'exclusion physiologique de l'anévrysme en diminuant la vitesse du flux tourbillonnaire intra-anévrysmal, entraînant une thrombose intra-anévrysmale, tout en garantissant la perméabilité de l'artère porteuse et des branches collatérales [16-17]. De récentes études rapportent les résultats des stents multicouches dans le traitement d'AAR [18-19]. L'objectif de cette étude rétrospective monocentrique est de décrire spécifiquement la technique et les résultats du packing anévrysmal avec ou sans remodeling, réalisée sur 19 anévrysmes chez 18 patients au cours d'une décennie.

Introduction

Renal artery aneurysms (RAAs) are rare, with an incidence in the general population of 0.1 to 1%. However, they account for 25% of all visceral artery aneurysms [1]. The most dreaded complication of RAA is rupture with massive bleeding. The risk of rupture increases with the aneurysm diameter and is also higher in specific patient sub-groups such as women of childbearing age. Although no strong recommendation exists concerning the indications for RAA treatment, symptomatic aneurysms and aneurysms larger than 1.5 cm are usually

deemed to require intervention [1–6]. Multiple clinical studies have assessed the efficacy and safety of endovascular treatment versus surgical repair [7–10]. The choice between these two options is generally based on the location and morphology of the aneurysm. Both techniques are known to be safe and effective. However, endovascular repair is associated with lower morbidity and a shorter length of stay. Various endovascular techniques are used depending on the location and morphology of the aneurysm and on the number of relevant branches arising from the aneurysm. Thus, simple coiling embolization is used for narrow-necked aneurysms. For wide-necked or complex aneurysms, the options include stent- or balloon-assisted coiling and exclusion by stent-grafts. Neuroendovascular techniques have been applied to peripheral aneurysms. Coils that detached instead of having to be pushed, which were developed in 1990 by Guglielmi [11], constituted a breakthrough. The use of detachable microcoils, which are repositionable, allows extraordinary precision in placement, thus allowing effective embolization of aneurysms of different sizes. The balloon remodeling technique was introduced by Moret et al. [12] in 1997 for the treatment of wide-neck intracranial aneurysms: an inflatable balloon is used to avoid coil migration in the parent artery during the procedure and to increase coil density in the aneurysm. Other new tools and techniques allow the endovascular treatment of wide-neck and fusiform aneurysms, while preserving vessel patency. Stent-assisted remodeling is widely used in neuroradiology. It was first described for the treatment of RAAs in 2008 by Manninen et al. [13–15]. More recently, flexible stent grafts and flow diverters have been introduced. Since their approval as an innovative stent system for peripheral aneurysm management, multilayer stents have been applied in several clinical cases [16,17]. The unique design of multilayer stents decreases mean velocity and vorticity within the aneurysm sac immediately and causes thrombus to form, resulting in physiological exclusion of the aneurysm from the circulation, whereas branches and collaterals sprouting from the aneurysm remain patent [17]. Few

studies are available reporting results of multilayer stents for renal artery aneurysms [18,19].

The purpose of this single-center retrospective study was to specifically describe the procedure and outcomes of coiling with or without remodeling used to treat 19 RAAs in 18 patients over a 10-year period.

2. Materials and Methods

2.1. Study Population

All procedures for the preventive endovascular treatment of RAAs were identified by searching our university hospital electronic database over a 10-year period (2010–2020). We then selected those patients managed by endovascular coil packing with or without remodeling. Wide necks were defined as a neck diameter greater than 4 mm or as a dome-to-neck ratio less than 2. Patients with post-traumatic pseudoaneurysms or arteriovenous malformations were excluded. Our ethics committee approved the study and waived the requirement for informed patient consent in compliance with French legislation on retrospective studies of anonymized data.

2.2. Endovascular Procedure

All aneurysms were treated by two interventional radiologists with 15 and 10 years of experience, respectively, under local anesthesia, using the transfemoral approach with the Seldinger technique. The common femoral artery was accessed under ultra-sound guidance. After positioning of the femoral sheath, an intravenous bolus of 5000 IU heparin was delivered. Aortography was performed, and the renal artery was accessed with a 5-Fr catheter inserted through a 6-Fr guiding sheath. A 2.4-Fr Progreate microcatheter (Terumo, Tokyo, Japan) was then advanced into the aneurysm sac to allow placement of the coils. Multiple detachable Concerto microcoils (Medtronic, Minneapolis, MN, USA) of decreasing size were placed into the aneurysm sac. Stent-assisted coil embolization was performed using the EverFlex nitinol self-expanding stent (Medtronic, Minneapolis, MN, USA) deployed over a 0.035-inch guidewire. For 1 patient, a Leo nitinol self-expanding braided stent (Balt, Montmorency, France) was used over a 0.014-inch guidewire to accommodate the unusual arterial anatomy. The Leo stent, designed for treating intracranial aneurysms, is

resheathable and repositionable and has a high radial force that enables safe and effective use in twisting arteries. In case of stent-assisted remodeling technique, catheterization of the aneurysm sac was performed through the mesh of the stent using a 2.0-Fr microcatheter for coiling of the sac. Balloon-assisted coil embolization was performed by double femoral approach using the Rx Viatrac 14 Peripheral Dilatation Catheter (Abbott, Chicago, IL, USA) of appropriate size. Patients managed with simple coiling or remodeling using a balloon were discharged with no antiplatelet therapy. When a bare stent was used for remodeling, patients were discharged with dual antiplatelet therapy (acetyl-salicylic acid, 100 mg daily; clopidogrel, 75 mg daily) for 6 months, after which the clopidogrel was stopped, and the acetylsalicylic acid continued in the same dosage.

2.3. Angiographic Outcomes, Complications, and Follow-Up

The final angiographic results were assessed using the modified Raymond–Roy occlusion classification (RROC), which is widely accepted for evaluating the occlusion of intracranial aneurysms [20]. Class 1 is defined as complete obliteration of the sac, Class 2 as subtotal obliteration with a residual neck, and Class 3 as residual aneurysm. Subclass 3a is defined as contrast opacification within the coil interstices of a residual aneurysm and Subclass 3b as contrast opacification outside the coil interstices, along the residual aneurysm wall. All patients underwent follow-up computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI) at least 1 month after the procedure and a final CT or MRI at the end of the study period, in January 2020. The type of cross-sectional imaging was chosen based on the presence of a stent. In that case, MRI was preferred. CT and MRI were performed after intravenous contrast injection with standard protocols. Complete or incomplete occlusion of the sac was noted. Kidney function was evaluated based on the serum creatinine concentration ($\mu\text{mol/L}$) preoperatively, 1 month after the procedure and at last follow-up.

Perioperative complications were defined as those occurring during the procedure and up to 1 month after the procedure. They were divided into minor and major complications according to the Society of Interventional Radiology classification system [21].

2.4. Statistical Analysis

Descriptive statistics and parameters, such as frequencies and percentages, were used and provided in order to accurately describe our experience regarding the endovascular procedure with or without remodeling. Values were presented as means $\pm$ SDs (range) for all variables.

3. Results

3.1. Patients

We identified 18 patients (15 females) with 19 true RAAs (Table 1). Mean age was 63 ± 13 years (range, 39–85). Seventeen patients had a single aneurysm and one patient had two aneurysms on the right renal artery (Figure 1). The circumstances of the diagnosis are shown in Table 2. A history of fibromuscular dysplasia (FMD) was noted in two (11.1%) females and a history of hypertension in six (33.3%) patients (five females and one male). An aneurysm was found on the splenic artery in one (5.6%) patient. The patient with two RAAs had a history of liver transplantation.

3.2. Aneurysms

Ten (52.6%) aneurysms were located on the right renal artery and nine on the left renal artery. Mean aneurysm size was 15.7 ± 3.6 mm (range, 10–23 mm) with 11 aneurysms larger than or equal to 15 mm. Mean aneurysm neck size was 6.6 ± 2.7 mm (range, 3–15 mm). Fifteen (79%) lesions were narrow-necked aneurysms. Mean parent artery size was 4.7 ± 1.4 mm (range, 3–8 mm). Seven (36.8%) aneurysms had one efferent branch, and 12 had two efferent branches. Sixteen (84.2%) aneurysms were located on the hilar segment of the renal artery, one (5.3%) at the ostium, one on the trunk, and one on the intra-renal segment. Table 2 lists the indications for treatment : size larger than or equal to 1.5 cm in 11 cases; aneurysm-to-parent artery size ratio >2 in 15 cases; flank pain in one patient; hematuria in two patients; vascular steal syndrome in one patient due to high flow in the aneurysmal sac, and progressiveness in one patient.

3.3. Coil Embolization and Outcomes

Simple coiling was performed for 11 (57.9%) aneurysms, stent-assisted coiling for seven (36.8%) aneurysms, and balloon-assisted coiling for one (5.3%) aneurysm. The patient with two aneurysms on the same artery was treated in two sessions and required simple coiling for one aneurysm (Figure 2) and stent-assisted coiling for the other (Figure 3). On the posttreatment angiogram, 18 aneurysms (94.7%) were totally occluded. All aneurysms treated by simple coiling were totally occluded. Of the eight aneurysms treated by coiling with remodeling, one (12.5%) had a residual neck and was graded RROC Class 2. This aneurysm was completely occluded in the short-term and on the final MRI scans. On the short-term MRI scan, one (5.3%) aneurysm was incompletely occluded. This aneurysm was located at the ostium of the right renal artery. Stent-assisted coiling was used initially. Reintervention was with a BeGraft® peripheral covered stent (Bentley, HechinGen, Germany). The final MRI showed complete exclusion of the aneurysm. At the end of the study, mean follow-up was 41.1 ± 29.7 months (range, 1–99). No patients were lost to follow-up. On the final MRI scan, one (5.3%) aneurysm was incompletely occluded. This aneurysm was located at the hilum of the right renal artery and had initially been treated by simple coiling. Reintervention using stent-assisted coiling achieved complete occlusion of the sac. Thus, in all, two (10.5%) aneurysms required reintervention, which achieved complete obliteration.

3.4. Complications

As shown in Table 3, the technical success rate was 100%, with no major complications (Figure 4). Two patients experienced perioperative lumbar pain due to renal microinfarcts

with no consequence, and one patient experienced mild decompensation of heart failure following the procedure. One patient had transient renal failure consisting in a serum creatinine increase from 83 $\mu\text{mol/L}$ preoperatively to 131 $\mu\text{mol/L}$ immediately after the procedure; the serum creatinine concentration was normal (86 $\mu\text{mol/L}$) 1 month later. No delayed complications were recorded during follow-up, especially no procedure-related renal impairment (Table 4).

4. Discussion

In our study of 19 RAAs in 18 patients managed by endovascular coil embolization, the technical success rate was 100% and no major complications occurred at any point during follow-up. Minor complications in four patients resolved rapidly. Only two aneurysms were incompletely occluded, one shortly after the procedure and the other at the final evaluation. Both aneurysms were successfully treated by endovascular reintervention.

In our population, females predominated (83.3%), in keeping with earlier reports [2,22–25].

The mean age of about 60 years is also consistent with the literature [1,2,22,23].

Fibromuscular dysplasia is a known cause of RAA and was present in two of our patients.

Another known cause of RAA is hypertension with atherosclerosis, which was present in six of our patients [26–33]. However, RAAs can also cause hypertension by embolism to the distal parenchyma or kinking of the renal artery [2]. Patient selection for RAA repair remains controversial, except when bleeding has occurred. Bleeding is the most dreaded complication, and the goal is to repair aneurysms at high risk for bleeding. There is general agreement that repair is in order irrespective of aneurysm size in patients with symptoms (hypertension, flank pain, hematuria), complications (dissection, distal embolization, vascular steal syndrome), or rapid enlargement [34–39]. Cases of these indications were represented in our population. In women of childbearing potential, repair is also recommended regardless of aneurysm size. Patients with abnormal blood vessels such as those with Ehlers–Danlos syndrome type IV should also undergo repair given the very high risk of rupture. Larger size is a risk factor for bleeding, and it has been suggested that aneurysms larger than 1.5 cm [1,2,4,5] or 2 cm [7,9,10] should be repaired. We chose the lower cutoff. The ratio of aneurysm size over parent artery size is also important to consider. This criterion has been chiefly studied for intracranial aneurysms and found to be associated

with rupture when greater than 2 cm [40–42]. We repaired aneurysms with a ratio greater than 2 even when aneurysm size was less than 1.5 cm. Although surgery remains the conventional treatment of RAAs [2,7], endovascular interventions are available for treating all aneurysm types.

Endovascular techniques have both gained in popularity and benefited from considerable technical advances over the last two decades. Compared with open surgery, endovascular repair is associated with a significantly lower rate of postoperative complications and a shorter length of stay [9,10]. A key aspect in the endovascular treatment of RAAs is preservation of kidney vascularization, which is terminal, with no anastomoses between segmental branches. Occlusion of proximal arteries, therefore, results in segmental infarction, which may impair renal function. Therefore, the parent arteries and distal flow must be preserved during endovascular treatment. The endovascular treatment of aneurysms has made huge strides over the last two decades. Neuroendovascular techniques have been applied to peripheral aneurysms, as previously described. The balloon remodeling technique is usually performed for the treatment of wide-neck aneurysms. We used this technique in one patient. Stent-assisted remodeling can also be used. We used this method for seven aneurysms. A bare open-cell stent is positioned, and the microcatheter and microcoils are introduced through the mesh of the stent. The kissing-stent or kissing-balloon remodeling technique is used for aneurysms located at bifurcations, which is often the case with renal arteries: a kissing stent was used for one aneurysm in our population. In one patient, we used a Leo intracranial stent, which is a nitinol self-expanding braided stent that is well suited for aneurysms on small tortuous arteries. Finally, stent grafts and flow diverters can be useful to preserve distal vascularization [16–19]. Initially, coronary stent grafts were used because of their high flexibility [43]. These balloon-expandable stent grafts are mounted on very thin microcatheters and can reach distal aneurysms. However,

coronary stent grafts were available in limited lengths and diameters. Dedicated peripheral stent grafts are now available. An interesting point in our study is the use of simple coiling in most patients. The advantage of this technique is that no antiplatelet therapy is needed after the procedure. Thus, it is particularly recommended in young patients and in women of childbearing age. This technique proved very effective and safe, with no major complication and only one recurrence [44,45]. If needed, reintervention by endovascular techniques is usually simple. The effectiveness and safety of endovascular embolization to treat RAAs has been the focus of many studies since 1995 [7–9,30,32]. In early publications, effectiveness was good, but the complication rate remained high, due chiefly to the intrinsic limitations of the material available at the time [47]. Studies done in the last decade to assess the endovascular treatment of 18 and 52 aneurysms, respectively [32,48], used a variety of endovascular techniques including coiling, balloon and stent-assisted coiling, coil trapping, and parent artery occlusion and recorded no major complications. Our patients also had no major complications. There were four transient minor complications. In addition, renal microinfarcts with no consequence on renal function were seen in two patients. No delayed complications were observed during follow-up. Two recurrences were successfully treated using endovascular techniques. Some other embolic agents can be used alone or in combination with coils for the treatment of RAAs. Indeed, liquid embolic agents such as cyanoacrylates or ethylene vinyl alcohol copolymers may be of interest in order to completely fill in the aneurysmal sac after partial coiling, avoiding the use of too many coils. This combined technique can be very useful around the end of the sac packing with coils thanks to the ease of liquid injection through the microcatheter, whereas packing is not possible anymore. Liquid injection into the sac with balloon remodeling technique may even be used in selected aneurysms in well-trained hands [49–51].

Our study has the limitations inherent in its retrospective design. In addition, over the 10-year recruitment period, technical advances may have occurred, and experience was accumulated by the operators. The main limitation is probably the small sample size, with only 19 aneurysms in 18 patients. However, with such a sample, our study represents one of the largest series reported in the literature, due to the rarity of this condition. Follow-up was only about 3 years. Nevertheless, the consistency of the data with a very high success rate and both recurrences successfully treated by endovascular techniques support this treatment method for patients with RAAs [52]. Few experimental in vitro and/or in vivo studies are reported regarding the use of numerical simulation and laboratory modelling to assess the different endovascular techniques available for the treatment of renal artery aneurysms [16,17,53]. Evaluation of functionality and biological response of those models would be of major interest and needs further studies.

5. Conclusions

Technical advances have improved the efficacy and safety of endovascular techniques for the treatment of RAAs, even in comparison with standard surgical repair. In addition, endovascular repair is less invasive and aggressive than surgery. Endovascular treatment deserves to be widely used for the preventive repair of asymptomatic RAAs.

Conclusion

Les progrès techniques ont permis l'amélioration de l'efficacité et de la sécurité des procédures endovasculaires dans le traitement des anévrismes des artères rénales. Les techniques endovasculaires apparaissent ainsi moins invasives et moins agressives que la chirurgie. Le recours au traitement endovasculaire préventif des anévrismes asymptomatiques des artères rénales mérite d'être élargi.

Le Président du jury,

Pr.

Lo FFR01

Vu et permis d'imprimer
Dijon, le 8 Mars 2021
Le Doyen

Pr. M. MAYNADIÉ

Bibliographie

1. Tham, G.; Ekelund, L.; Herrlin, K.; Lindstedt, E.L.; Olin, T.; Bergentz, S.E. Renal artery aneurysms. Natural history and prognosis. *Ann. Surg.* 1983, 197, 348–352, doi:10.1097/00000658-198303000-00016.
2. Henke, P.K.; Cardneau, J.D.; Welling, T.H., 3rd; Upchurch, G.R., Jr.; Wakefield, T.W.; Jacobs, L.A.; Proctor, S.B.; Greenfield, L.J.; Stanley, J.C. Renal artery aneurysms: A 35-year clinical experience with 252 aneurysms in 168 patients. *Ann. Surg.* 2001, 234, 454–462, doi:10.1097/00000658-200110000-00005.
3. Stanley, J.C.; Rhodes, E.L.; Gewertz, B.L.; Chang, C.Y.; Walter, J.F.; Fry, W.J. Renal artery aneurysms. *Arch. Surg.* 1975, 110, 561–566, doi:10.1001/archsurg.1975.01360110107018.
4. Hageman, J.H.; Smith, R.F.; Szilagyi, E.; Elliott, J.P. Aneurysms of the renal artery: Problems of prognosis and surgical management. *Surgery* 1978, 84, 563–572.
5. Henriksson, C.; Björkerud, S.; Nilson, A.E.; Pettersson, S. Natural history of renal artery aneurysm elucidated by repeated angiography and pathoanatomical studies. *Eur. Urol.* 1985, 11, 244–248, doi:10.1159/000472506.
6. Vaughan, T.J.; Barry, W.F.; Jeffords, D.L.; Johnsrude, I.S. Renal artery aneurysms and hypertension. *Radiology* 1971, 99, 287–293, doi:10.1148/99.2.287.
7. Li, Z.; Zhao, Z.; Qin, F.; Wei, X.; Sun, Y.; Liu, J.; Feng, J.; Zhou, J.; Feng, R.; Jing, Z. Outcomes of endovascular treatment and open repair for renal artery aneurysms: A single-center retrospective comparative analysis. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2018, 29, 62–70, doi:10.1016/j.jvir.2017.08.020.
8. Irace, L.; Ben Hamida, J.; Martinelli, O.; Stumpo, R.; Irace, F.G.; Venosi, S.; Gattuso, R.; Berloco, P.B.; Gossetti, B. Open and endovascular treatment by covered and multilayer stents in the therapy of renal artery aneurysms: Mid and long-term outcomes in a single center experience. *G. Chir.* 2017, 38, 219–224, doi:10.11138/gchir/2017.38.5.219.
9. Tsilimparis, N.; Reeves, J.G.; Dayama, A.; Perez, S.D.; Debus, E.S.; Ricotta, J.J., 2nd. Endovascular vs open repair of renal artery aneurysms: Outcomes of repair and long-term renal function. *J. Am. Coll. Surg.* 2013, 217, 263–269, doi:10.1016/j.jamcollsurg.2013.03.021.
10. Hislop, S.J.; Patel, S.A.; Abt, P.L.; Singh, M.J.; Illig, K.A. Therapy of renal artery aneurysms in New York State: Outcomes of patients undergoing open and endovascular repair. *Ann. Vasc. Surg.* 2009, 23, 194–200, doi:10.1016/j.avsg.2008.10.002.
11. Guglielmi, G.; Viñuela, F.; Briganti, F.; Duckwiler, G. Carotid-cavernous fistula caused by a ruptured intracavernous aneurysm: Endovascular treatment by electrothrombosis with

detachable coils. *Neurosurgery* 1992, 31, 591–596, doi:10.1227/00006123-199209000-00026.

12. Moret, J.; Cognard, C.; Weill, A.; Castaings, L.; Rey, A. The “remodelling technique” in the treatment of wide neck intracranial aneurysms. angiographic results and clinical follow-up in 56 cases. *Interv. Neuroradiol.* 1997, 3, 21–35, doi:10.1177/159101999700300103.

13. Manninen, H.I.; Berg, M.; Vanninen, R.L. Stent-assisted coil embolization of wide-necked renal artery bifurcation aneurysms. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2008, 19, 487–492, doi:10.1016/j.jvir.2007.10.026.

14. Ikeda, O.; Nakasone, Y.; Tamura, Y.; Yamashita, Y. Endovascular management of visceral artery pseudoaneurysms: Transcatheter coil embolization using the isolation technique. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2010, 33, 1128–1134, doi:10.1007/s00270-010-9973-0.

15. Yasumoto, T.; Osuga, K.; Yamamoto, H.; Ono, Y.; Masada, M.; Mikami, K.; Kanamori, D.; Nakamura, M.; Tanaka, K.; Nakazawa, T.; et al. Long-term outcomes of coil packing for visceral aneurysms: Correlation between packing density and incidence of coil compaction or recanalization. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2013, 24, 1798–1807, doi:10.1016/j.jvir.2013.04.030.

16. Li, Z.; Hu, L.; Chen, C.; Wang, Z.; Zhou, Z.; Chen, Y. Hemodynamic performance of multilayer stents in the treatment of aneurysms with a branch attached. *Sci. Rep.* 2019, 9, 10193, doi:10.1038/s41598-019-46714-7.

17. Alherz, A.I.; Tanweer, O.; Flamini, V.J. A numerical framework for the mechanical analysis of dual-layer stents in intra-cranial aneurysm treatment. *J. Biomech.* 2016, 49, 2420–2427, doi:10.1016/j.jbiomech.2016.02.026.

18. Balderi, A.; Antonietti, A.; Pedrazzini, F.; Sortino, D.; Vinay, C.; Grosso, M. Treatment of visceral aneurysm using multilayer stent: Two-year follow-up results in five consecutive patients. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2013, 36, 1256–1261, doi:10.1007/s00270-013-0705-0.

19. Meyer, C.; Verrel, F.; Weyer, G.; Wilhelm, K. Endovascular management of complex renal artery aneurysms using the multilayer stent. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2011, 34, 637–641, doi:10.1007/s00270-010-0047-0.

20. Mascitelli, J.R.; Moyle, H.; Oermann, E.K.; Polykarpou, M.F.; Patel, A.A.; Doshi, A.H.; Gologorsky, Y.; Bederson, J.B.; Patel, A.B. An update to the Raymond-Roy Occlusion Classification of intracranial aneurysms treated with coil embolization. *J. Neurointerv. Surg.* 2015, 7, 496–502, doi:10.1136/neurintsurg-2014-011258.

21. Patel, N.; Sacks, D.; Patel, R.I.; Moresco, K.P.; Ouriel, K.; Gray, R.; Ambrosius, W.T.; Lewis, C.A.; Society of Interventional Radiology Technology Assessment Committee. SIR reporting standards for the treatment of acute limb ischemia with use of transluminal

- removal of arterial thrombus. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2003, 14, S453–S465, doi:10.1097/01.rvi.0000094619.61428.11.
22. Coleman, D.M.; Stanley, J.C. Renal artery aneurysms. *J. Vasc. Surg.* 2015, 62, 779–785, doi:10.1016/j.jvs.2015.05.034.
 23. Wayne, E.J.; Edwards, M.S.; Stafford, J.M.; Hansen, K.J.; Corriere, M.A. Anatomic characteristics and natural history of renal artery aneurysms during longitudinal imaging surveillance. *J. Vasc. Surg.* 2014, 60, 448–452, doi:10.1016/j.jvs.2014.03.006.
 24. Klausner, J.Q.; Harlander-Locke, M.P.; Plotnik, A.N.; Lehrman, E.; DeRubertis, B.G.; Lawrence, P.F. Current treatment of renal artery aneurysms may be too aggressive. *J. Vasc. Surg.* 2014, 59, 1356–1361, doi:10.1016/j.jvs.2013.11.062.
 25. Martin, R.S., 3rd; Meacham, P.W.; Ditesheim, J.A.; Mulherin, J.L., Jr.; Edwards, W.H. Renal artery aneurysm: Selective treatment for hypertension and prevention of rupture. *J. Vasc. Surg.* 1989, 92, 6–34.
 26. Roberts, W.C. The hypertensive diseases. Evidence that systemic hypertension is a greater risk factor to the development of other cardiovascular diseases than previously suspected. *Am. J. Med.* 1975, 59, 523–532, doi:10.1016/0002-9343(75)90260-0.
 27. Dustan, H.P. Atherosclerosis complicating chronic hypertension. *Circulation* 1974, 50, 871–879, doi:10.1161/01.cir.50.5.871.
 28. Hollander, W. Role of hypertension in atherosclerosis and cardiovascular disease. *Am. J. Cardiol.* 1976, 38, 786–800, doi:10.1016/0002-9149(76)90357-x.
 29. Spittell, J.A. Hypertension and arterial aneurysm. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1983, 1, 533, doi:10.1016/s0735-1097(83)80085-0.
 30. Klausner, J.Q.; Lawrence, P.F.; Harlander Locke, M.P.; Coleman, D.M.; Stanley, J.C.; Fujimura, N. The contemporary management of renal artery aneurysms. *J. Vasc. Surg.* 2014, 61, 978–984, doi:10.1016/j.jvs.2014.10.107.
 31. Stanley, J.C.; Rhodes, E.L.; Gewertz, B.L.; Chang, C.Y.; Walter, J.F.; Fry, W.J. Renal artery aneurysms. Significance of macroaneurysms exclusive of dissections and fibrodysplastic mural dilations. *Arch. Surg.* 1975, 110, 1327–1333, doi:10.1001/archsurg.1975.01360170067009.
 32. Sédat, J.; Chau, Y.; Baque, J. Endovascular treatment of renal aneurysms: A series of 18 cases. *Eur. J. Radiol.* 2012, 81, 3973–3978, doi:10.1016/j.ejrad.2012.08.017.
 33. Robinson, W.P., 3rd; Bafford, R.; Belkin, M.; Menard, M.T. Favorable outcomes with in situ techniques for surgical repair of complex renal artery aneurysms. *J. Vasc. Surg.* 2011, 53, 684–691, doi:10.1016/j.jvs.2010.10.050.

34. Ngninkeu, N.B.; Eucher, P.; Vandenbossche, P.; Lacrosse, M.; Van Cangh, P.J.; Lorge, F. Ruptured aneurysm of the renal artery: A rare cause of macroscopic hematuria. *Prog. Urol.* 2002, 12, 454–458.
35. Dean, R.H.; Meacham, P.W.; Weaver, F.A. Ex vivo renal artery reconstructions: Indications and techniques. *J. Vasc. Surg.* 1986, 4, 546–552, doi:10.1067/mva.1986.avs0040546.
36. Li, G.; Sun, Y.; Song, H.; Wang, Y. Embolization of ruptured renal artery aneurysms. *Clin. Exp. Nephrol.* 2015, 19, 901–908, doi:10.1007/s10157-015-1087-1.
37. Sojka, M.; Szmygin, M.; Pyra, K.; Kuczyńska, M.; Jargiełło, T. Acute renal artery stenting recovered renal function after spontaneous rupture of renal artery aneurysm—case report. *Pol. J. Radiol.* 2020, 85, e29–e31, doi:10.5114/pjr.2020.92919.
38. Atlı, E.; Uyanık, S.A.; Öğüşlü, U.; Cenkeri, Ç.H.; Yılmaz, B.; Gümüş, B. The endovascular management of postpartum ruptured renal artery aneurysm by parent artery occlusion. *J. Obstet. Gynaecol.* 2020, 40, 1164–1165, doi:10.1080/01443615.2019.1679733.
39. Yadav, S.; Sharma, S.; Singh, P.; Nayak, B. Pregnancy with a ruptured renal artery aneurysm: Management concerns and endovascular management. *BMJ Case Rep.* 2015, 2015, bcr2015211884, doi:10.1136/bcr-2015-211884.
40. Duan, Z.; Li, Y.; Guan, S.; Ma, C.; Han, Y.; Ren, X.; Wei, L.; Li, W.; Lou, J.; Yang, Z. Morphological parameters and anatomical locations associated with rupture status of small intracranial aneurysms. *Sci. Rep.* 2018, 8, 6440, doi:10.1038/s41598-018-24732-1.
41. Rahman, M.; Smietana, J.; Hauck, E.; Hoh, B.; Hopkins, N.; Siddiqui, A.; Levy, E.I.; Meng, H.; Mocco, J. Size ratio correlates with intracranial aneurysm rupture status. *Stroke* 2010, 41, 916–920, doi:10.1161/STROKEAHA.109.574244.
42. Dhar, S.; Tremmel, M.; Mocco, J.; Kim, M.; Yamamoto, J.; Siddiqui, A.H.; Hopkins, L.N.; Meng, H. Morphology parameters for intracranial aneurysm rupture risk assessment. *Neurosurgery* 2008, 63, 185–196, doi:10.1227/01.NEU.0000316847.64140.81.
43. Künzle, S.; Glenck, M.; Puippe, G.; Schadde, E.; Mayer, D.; Pfammatter, T. Stent-graft repairs of visceral and renal artery aneurysms are effective and result in long-term patency. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2013, 24, 989–996, doi:10.1016/j.jvir.2013.03.025.
44. Loffroy, R.; Rao, P.; Ota, S.; De Lin, M.; Kwak, B.K.; Krause, D.; Geschwind, J.F. Packing technique for endovascular coil embolization of peripheral arterial pseudo-aneurysms with preservation of the parent artery: Safety, efficacy and outcomes. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2010, 40, 209–215, doi:10.1016/j.ejvs.2010.03.009.
45. Loffroy, R.; Guiu, B.; Cercueil, J.P.; Lepage, C.; Cheynel, N.; Steinmetz, E.; Ricolfi, F.; Krausé, D. Transcatheter arterial embolization of splenic artery aneurysms and

pseudoaneurysms: Short- and long-term results. *Ann. Vasc. Surg.* 2008, 22, 618–626, doi:10.1016/j.avsg.2008.02.018.

46. Bui, B.T.; Oliva, V.L.; Leclerc, G.; Courteau, M.; Harel, C.; Plante, R.; Giroux, D.; Carignan, L. Renal artery aneurysm: Treatment with percutaneous placement of a stent-graft. *Radiology* 1995, 195, 181–182, doi:10.1148/radiology.195.1.7892464.

47. Saltzberg, S.S.; Maldonado, T.S.; Lamparello, P.J.; Cayne, N.S.; Nalbandian, M.M.; Rosen, R.J.; Jacobowitz, G.R.; Adelman, M.A.; Gagne, P.J.; Riles, T.S.; et al. Is endovascular therapy the preferred treatment for all visceral artery aneurysms? *Ann. Vasc. Surg.* 2005, 19, 507–515, doi:10.1007/s10016-005-4725-3.

48. Tang, H.; Tang, X.; Fu, W.; Luo, J.; Shi, Z.; Wang, L.; Liu, F.; Guo, D. Coil embolization of renal artery bifurcation and branch aneurysms with flow preservation. *J. Vasc. Surg.* 2018, 68, 451–458, doi:10.1016/j.jvs.2017.12.032.

49. Abath, C.; Andrade, G.; Cavalcanti, D.; Brito, N.; Marques, R. Complex renal artery aneurysms: Liquids or coils? *Tech. Vasc. Interv. Radiol.* 2007, 10, 299–307, doi:10.1053/j.tvir.2008.03.009.

50. Chung, R.; Touska, P.; Morgan, R.; Belli, A.M. Endovascular management of true renal arterial aneurysms: Results from a single centre. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2016, 39, 36–43, doi:10.1007/s00270-015-1135-y.

51. Venturini, M.; Della Corte, A.; Lanza, C.; Fontana, F.; Chiesa, R.; De Cobelli, F. Embolization of 2 coexisting intra-parenchymal renal artery aneurysms with an ethylene vinyl alcohol copolymer agent (Squid) and coils. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2020, 43, 942–944, doi:10.1007/s00270-020-02458-w.

52. Buck, D.B.; Curran, T.; McCallum, J.C.; Darling, J.; Mamtani, R.; Van Herwaarden, J.A.; Moll, F.L.; Schermerhorn, M.L. Management and outcomes of isolated renal artery aneurysms in the endovascular era. *J. Vasc. Surg.* 2016, 63, 77–81, doi:10.1016/j.jvs.2015.07.094.

53. Sultan, S.; Kavanagh, E.P.; Hynes, N.; Diethrich, E.B. Evaluation of functionality and biological response of the multilayer flow modulator in porcine animal models. *Int. Angiol.* 2016, 35, 31–39.

ANNEXES

Table 1. Characteristics of the 18 patients and 19 aneurysms.

Patient/ Aneurysm	Age (years)	Sex	Side (Right–Left)	Size (mm)	Neck Size (mm)	Parent Artery Size (mm)	Number of Efferences	Location
1/1	83	Female	R	23	15	6	1	Ostial
2/2	55	Female	L	11	6	5	1	Hilar
3/3	58	Female	R	15	6	4	2	Hilar
4/4	60	Female	R	13	4	3	2	Hilar
5/5	85	Female	L	18	5	3	2	Intrarenal
6/6	39	Female	R	15	9	5	1	Hilar
6/7	39	Female	R	13	5	5	1	Hilar
7/8	54	Female	R	20	7	6	2	Hilar
8/9	44	Female	L	21	6	6	2	Hilar
9/10	79	Female	R	13	3	3	1	Hilar
10/11	62	Female	L	14	9	3	2	Hilar
11/12	55	Female	R	14	6	4	2	Hilar
12/13	65	Female	L	16	7	5	2	Hilar
13/14	57	Female	L	17	6	4	1	Truncal
14/15	66	Male	L	10	5	5	1	Hilar
15/16	70	Female	L	12	5	5	2	Hilar
16/17	71	Male	R	18	9	6	2	Hilar
17/18	78	Male	L	20	8	8	2	Hilar
18/19	61	Female	R	15	4	3	2	Hilar

Table 2. History, clinical presentation, and indications for treatment

Patient/ Aneurysm	History	Clinical Presentation	Indications for Treatment
1/1	Hypertension	Incidental discovery	Size $\geq$ 15 mm
2/2	Hypertension	Vascular steal syndrome	Symptomatic aneurysm
3/3	None	Incidental discovery	Size $\geq$ 15 mm
4/4	None	Hematuria	Symptomatic aneurysm
5/5	Hypertension	Assessment of hypertension	Renovascular hypertension, Size $\geq$ 15 mm
6/6	Liver transplantation	Incidental discovery	Size $\geq$ 15 mm
6/7	Liver transplantation	Incidental discovery	Aneurysm-to-parent artery size ratio > 2 , Treatment of another RAA
7/8	Hypertension	Flank pain	Symptomatic aneurysm
8/9	Fibromuscular dysplasia	Incidental discovery	Size $\geq$ 15 mm
9/10	None	Incidental discovery	Aneurysm-to-parent artery size ratio > 2
10/11	Hypertension	Assessment of hypertension	Renovascular hypertension
11/12	None	Incidental discovery	Size $\geq$ 15 mm
12/13	None	Incidental discovery	Size $\geq$ 15 mm
13/14	None	Incidental discovery	Size $\geq$ 15 mm
14/15	None	Incidental discovery	Aneurysm-to-parent artery size ratio > 2
15/16	None	Incidental discovery	Aneurysm-to-parent artery size ratio > 2
16/17	None	Incidental discovery	Progressiveness
17/18	Hypertension	Hematuria	Symptomatic aneurysm
18/19	Fibromuscular dysplasia	Incidental discovery	Size $\geq$ 15 mm

Table 3. Technique, angiographic results, and complications.

Patient/ Aneurysm	Endovascular Technique	Postoperative Angiographic Results (RROC)	Perioperative Minor Complications	Perioperative Major Complications
1/1	Stenting + coiling	Class 1	None	None
2/2	Coiling	Class 1	Pain	None
3/3	Coiling	Class 1	None	None
4/4	Balloon + coiling	Class 1	Pain	None
5/5	Coiling	Class 1	None	None
6/6	Stenting + coiling	Class 1	None	None
6/7	Coiling	Class 1	None	None
7/8	Coiling	Class 1	None	None
8/9	Coiling	Class 1	None	None
9/10	Coiling	Class 1	None	None
10/11	Stenting + coiling	Class 1	Mild decompensated heart failure	None
11/12	Coiling	Class 1	None	None
12/13	Coiling	Class 1	None	None
13/14	Coiling	Class 1	None	None
14/15	Stenting + coiling	Class 1	None	None
15/16	Stenting + coiling	Class 1	None	None
16/17	Stenting + coiling	Class 2	Transient renal failure	None
17/18	Coiling	Class 1	None	None
18/19	Stenting + coiling	Class 1	None	None

RROC : Raymond–Roy Occlusion Classification.

Table 4. Short- and long-term follow-up results.

Patient/ Aneurysm	Short-Term Imaging Results	Long-Term Imaging Results	Duration of Follow-Up (months)
1/1	Incomplete	Complete occlusion after reintervention	99
2/2	Complete	Complete	79
3/3	Complete	Complete	78
4/4	Complete	Complete	59
5/5	Complete	Complete	53
6/6	Complete	Complete	40
6/7	Complete	Complete	40
7/8	Complete	Incomplete – complete occlusion after reintervention	25
8/9	Complete	Complete	24
9/10	Complete	Complete	21
10/11	Complete	Complete	21
11/12	Complete	Complete	20
12/13	Complete	Complete	15
13/14	Complete	Complete	93
14/15	Complete	Complete	31
15/16	Complete	Complete	36
16/17	Complete	Complete	42
17/18	Complete	-	1
18/19	Complete	-	3

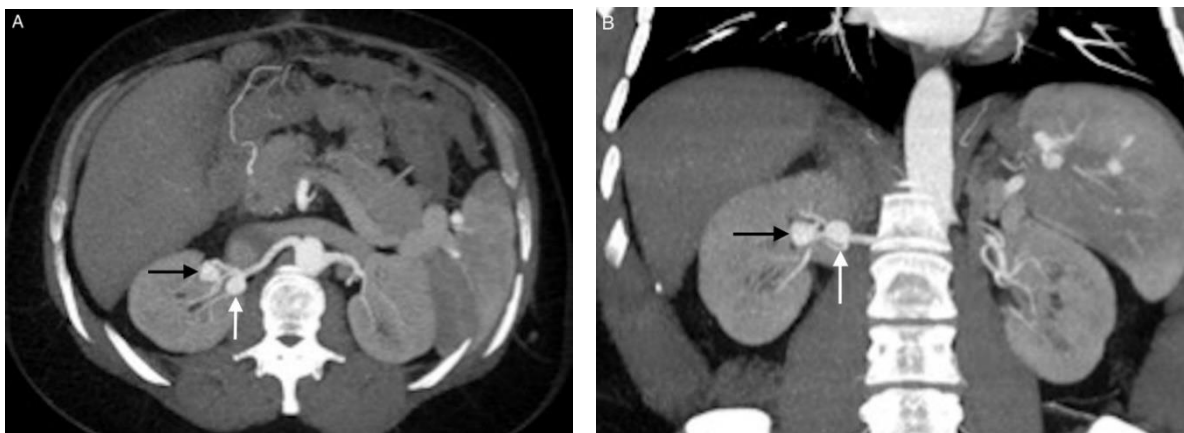


Figure 1. Images from patient 6. (A) and (B) CT angiography showing aneurysms 6 (white arrow) and 7 (black arrow) at the hilum of the right kidney. Aneurysm 6 is located at the initial trifurcation of the renal artery and has a wide neck. Aneurysm 7 is more distal, at a secondary bifurcation of the renal artery, and has a narrow neck.

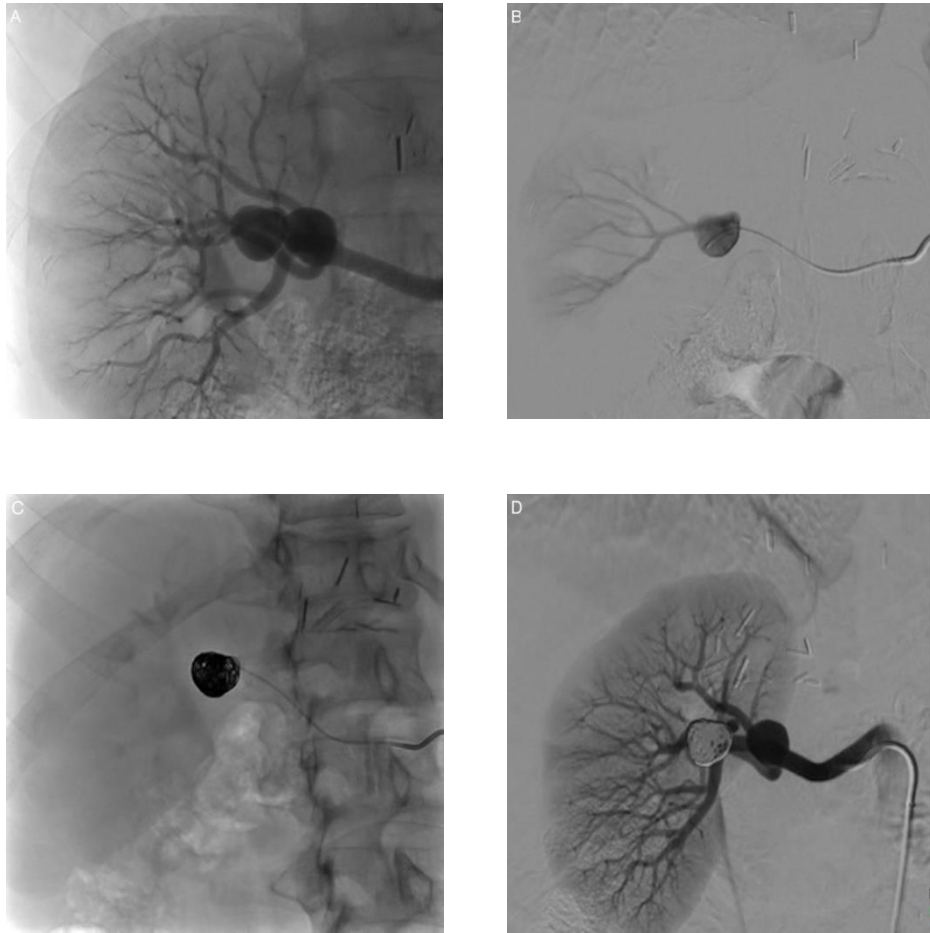


Figure 2. Exclusion of aneurysm 7 by packing embolization. **(A)** Angiogram revealing the two aneurysms. **(B)** Preliminary angiogram performed after selective aneurysm sac catheterization. **(C)** Coil embolization. The aneurysm is fully packed with detachable microcoils. **(D)** After coil embolization, renal artery angiogram shows complete obliteration of the sac with no residual flow or neck.



Figure 3. Exclusion of aneurysm 6 in a second session: stent-assisted coiling. **(A)** A guidewire is navigated beyond the aneurysm into an inferior segmental branch (arrow). **(B)** A bare stent (arrow) is deployed over the aneurysm neck, extending from the main renal artery to the inferior branch of the renal artery. **(C)** Catheterization of the aneurysm sac through the mesh of the stent using a microcatheter (arrow) and coiling of the sac. **(D)** Angiography performed at the end of the procedure showing complete exclusion of both aneurysms.

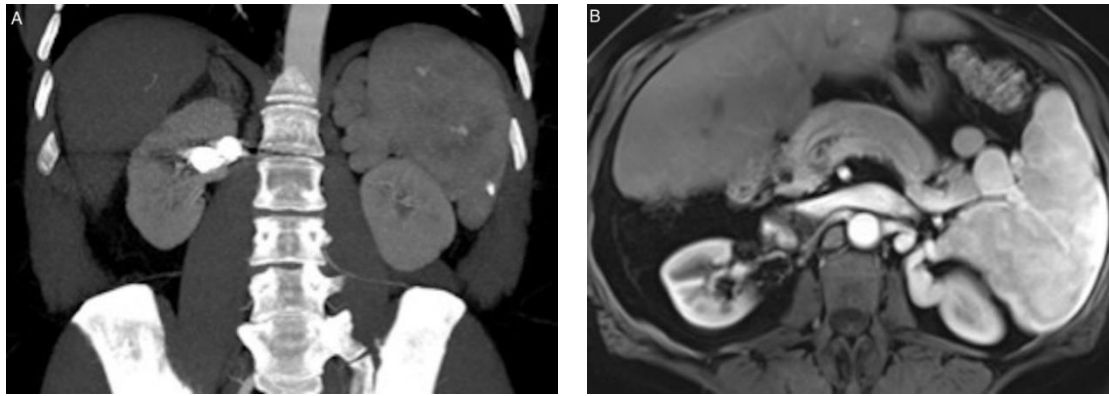


Figure 4. Follow-up CT angiography at 1 month (A) and MRI at 36 months (B) showing complete exclusion of both aneurysms, whose sizes remain unchanged.

TITRE DE LA THESE : EMBOLISATION ENDOVASCULAIRE DES ANÉVRISMES DES ARTÈRES RÉNALES PAR TECHNIQUE DE PACKING AVEC OU SANS REMODELING : SÉCURITÉ, EFFICACITÉ ET RÉSULTATS A MOYEN TERME

AUTEUR : GREGORY SECCO

RESUME :

Le traitement endovasculaire des anévrismes des artères rénales (AAR) présente une morbidité et une durée d'hospitalisation moindres que lors d'une prise en charge chirurgicale. Dans cet article, nous décrivons la technique d'embolisation par packing de coils dans le sac anévrisimal avec ou sans remodeling, et nous en évaluons les résultats et les complications. Nous avons identifié rétrospectivement dans notre centre 19 procédures consécutives d'embolisation préventive d'AAR par coils chez 18 patients entre 2010 et 2020. Les caractéristiques des patients et des anévrismes, le taux de réussite technique, les complications ainsi que les récurrences ont été recueillis. L'âge moyen était de 63 ± 13 ans. La taille de l'AAR était $>1,5$ cm chez 11 patients, et le ratio taille de l'anévrisme sur diamètre de l'artère porteuse >2 chez 4 patients. Un coiling simple a été réalisé sur 11 anévrismes (57,9%), un coiling assisté par stent sur 7 anévrismes (36,8%), et un coiling assisté par ballonnet sur un anévrisme (5,3%). Le taux de réussite technique était de 100%. Une exclusion complète et définitive de l'AAR a été obtenue au cours d'une seule procédure pour 17 anévrismes (89,5%), tandis que 2 anévrismes (10,5%) ont nécessité une réintervention. Quatre complications mineures sont survenues, de résolution simple, sans conséquence au long-terme. Aucune complication majeure n'est survenue au cours du suivi moyen de $41,1 \pm 29,7$ mois. L'embolisation par packing du sac anévrisimal avec ou sans remodeling a démontré sa sécurité et son efficacité. En addition avec une morbidité et une durée d'hospitalisation moindres que pour un traitement chirurgical classique, ces données suggèrent que les procédures endovasculaires deviennent le traitement préventif de référence des AAR.

MOTS-CLES : anévrisme ; embolisation ; traitement endovasculaire ; artère rénale