Innovations en chirurgie vasculaire. Comment les endoprothèses ont bouleversé le traitement des anévrysmes aortiques

J.-B. Ricco, J. Sobocinski

▶ **To cite this version:**

J.-B. Ricco, J. Sobocinski. Innovations en chirurgie vasculaire. Comment les endoprothèses ont bouleversé le traitement des anévrysmes aortiques. Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine, 2019, 203, pp.575 - 586. 10.1016/j.banm.2019.06.012 . hal-03488357

HAL Id: hal-03488357
https://hal.science/hal-03488357

Submitted on 21 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Version of Record: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001407919350137
Manuscript_35a8fbcdc4e8b20e06661fce7a1dd46c

Innovations en chirurgie vasculaire. Comment les endoprothèses ont bouleversé le traitement des anévrysmes aortiques*

Innovation in Vascular Surgery: How endograft have revolutionized the treatment of aortic aneurysms

Jean-Baptiste Ricco, MD, PhD [1], Jonathan Sobocinski, MD, PhD [2]

1 Direction de la recherche clinique et pôle cardiovasculaire et thoracique, CHU de Poitiers, 2 rue de la Milétrie, Poitiers, 86 021, cedex, France.
2 Service de chirurgie vasculaire, Institut Cœur-Poumons, centre hospitalier universitaire de Lille, boulevard du professeur Jules-Leclercq, 59037 Lille cedex, France.

Auteur correspondant :
Jean-Baptiste Ricco, MD, PhD
CHU de Poitiers, 86 021, Cedex
Mail : jean.baptiste.ricco@univ-poitiers.fr
Téléphone portable : 06 07 15 57 26

Mots clés : Anévrysme aortique; endoprothèse aortique; Anévrysme thoracique; anévrysme thoracoabdominal; Crosse aortique

Keywords: Abdominal aortic aneurysm; endograft; stent-graft; Thoracic aortic aneurysm; thoracoabdominal aneurysm; aortic arch aneurysm; aortic aneurysm

Conflits d'intérêt :
Jean-Baptiste Ricco : aucun conflit d'intérêt
Jonathan Sobocinski : Consultant pour Cook Medical ® et WL Gore ®

* Séance du 4 juin 2019

© 2019 published by Elsevier. This manuscript is made available under the CC BY NC user license
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

RÉSUMÉ :

L'anévrisme de l'aorte abdominale est une pathologie redoutable. Sans intervention, l'anévrisme augmente de volume et finit par se rompre, avec une issue fatale dans la majorité des cas.

La mise à plat-greffe chirurgicale fut le traitement de choix pendant plusieurs années, mais depuis une quinzaine d'années, le traitement endovasculaire par endoprothèse a gagné du terrain de façon spectaculaire et a été validé par plusieurs études randomisées. Moins invasif et associé à une moindre morbidité postopératoire, ce traitement a fait d'énormes progrès ces dernières années et a bouleversé la pratique chirurgicale.

Au risque de disparaître, tout chirurgien vasculaire actif en 2000 et pratiquant la chirurgie aortique a dû réapprendre sa spécialité. Comme pour toutes les innovations, il y a eu des excès, car la pose des endoprothèses aortiques (EA) sous-rénales répond à des critères anatomiques stricts.

Pour les EA intéressant l'aorte thoracique et thoracoabdominale, une expertise spécifique est indispensable. De plus, ces centres doivent avoir le recrutement nécessaire pour maintenir cette expertise, d'où la notion de centralisation qui est venue compléter la sophistication de ces techniques. Cet article présente les différentes innovations endovasculaires du traitement des anévrysmes aortiques en décrivant les étapes nécessaires à la formation endovasculaire des chirurgiens et aussi les limites de ces techniques.

ABSTRACT:

Aneurysm of the abdominal aorta is a serious illness. Without intervention, the aneurysm grows and eventually ruptures, with a fatal outcome in the majority of cases.

Open aortic surgery has been the treatment of choice for many years, but over the last fifteen years aortic endografts has gained ground dramatically and has been validated by several randomized controlled studies. Less invasive and associated with a lower postoperative morbidity, the endovascular treatment has made enormous progress in the recent years and has disrupted our surgical practice.

At the risk of disappearing, any active vascular surgeon in 2000 practicing aortic surgery had to relearn his specialty. As with all innovations, there have been excesses because aortic endografts meet strict anatomical criteria that must be respected, which has not always been the case. For the most sophisticated techniques involving the thoracoabdominal aorta and the aortic arch, specific learning and the provision of a hybrid room are essential. In addition, these centers must have the necessary recruitment to maintain this expertise, hence the notion of centralization has complemented the sophistication of these techniques. This article presents the different endovascular innovations concerning the treatment of aortic aneurysms by describing the necessary steps for the endovascular training of the surgeons and also the limits of these innovative techniques.

I- INTRODUCTION

L'introduction dans les années 1990 du traitement endovasculaire des anévrysmes aortiques (AAA) a bouleversé l'apprentissage et la pratique des chirurgiens vasculaires. D'une technique expérimentale réservée initialement aux patients à haut risque chirurgical, le traitement endovasculaire des AAA sous-rénaux par endoprothèse aortique (EA) est devenu la technique de référence chez les patients ayant une anatomie favorable pour la pose d'une endoprothèse.

Partant de l'expérience acquise avec les AAA sous-rénaux, l'utilisation des EA a été progressivement étendue aux anévrysmes de l'aorte thoracique et thoracoabdominale et plus récemment à quelques anévrysmes de la crosse aortique.

Nous décrirons les étapes successives de cette innovation technologique majeure. Nous montrerons aussi l'impact de ces techniques sur la formation chirurgicale et l'apprentissage par simulation qui a accompagné son développement.

II- LES PIONNIERS

Le concept d'endoprothèse couverte pour le traitement des anévrysmes aortiques a une double paternité puisque les premiers cas ont été publiés en 1986 par Volodos **[1]** et en 1991 par Parodi **[2]**. Le prototype expérimental développé par Parodi comportait une prothèse tubulaire étanche suturée à un stent de Palmaz introduit par l'artère fémorale. Les expérimentations sur des modèles animaux et quelques cas réalisés chez des patients à haut risque chirurgical avaient confirmé la validité du concept. La démarche des pionniers s'explique par le risque opératoire de la chirurgie ouverte des anévrysmes aortiques avec des patients de plus en plus âgés et à risque chirurgical élevé. Les stents avaient fait leur apparition pour le traitement des lésions artérielles occlusives 15 ans auparavant et l'idée originale était de recouvrir ces stents d'une membrane prothétique imperméable pour exclure le sac anévrysmal en s'appuyant sur l'aorte saine en amont et en aval de l'anévrysme. Le stade artisanal a été suivi par la fabrication industrielle des premières endoprothèses aortiques (EA) destinées au traitement des AAA sous-rénaux. En 1993 sont apparues les premières EA bifurquées. Une étape majeure a été franchie avec les EA bifurquées modulaires. L'approche endovasculaire a connu une constante évolution au point qu'on estime en 2019 que 60 à 80 % des AAA sous-rénaux sont traités par cette méthode.

III- LES PRÉ-REQUIS POUR LE TRAITEMENT ENDOVASCULAIRE DES AAA

Le concept d'exclusion anévrysmale repose sur deux principes : la fixation et l'étanchéité de l'EA. La fixation est assurée par la force radiale exercée par les stents sur la paroi aortique et par la présence de crochets qui s'insèrent dans la paroi et évitent la migration de la prothèse.

De ce fait, un collet proximal et un collet distal (zones d'application de l'endoprothèse sur la paroi aortique) sont nécessaires pour assurer l'exclusion anévrysmale. D'une façon générale, le collet doit être assez long (> 10 mm), d'un diamètre < 32 mm, sans thrombus et sans calcification majeure. En plus de ces conditions anatomiques, les accès vasculaires iliaques par où l'on introduit l'EA doivent avoir un calibre compatible avec le système de largage (>7 mm) et sans tortuosités excessives.

Ces limitations imposent la réalisation au préalable d'un bilan morphologique précis fait par le chirurgien à partir de l'angioscanner préopératoire. Ainsi avant de mettre en place une EA, le chirurgien vasculaire a appris à travailler sur des consoles de reconstruction radiologique et

à utiliser les logiciels de traitement d'images permettant de réaliser ces mesures indispensables à la sélection du patient, et au choix de l'EA.

• le premier temps comprend l'analyse des collets et des angulations. Le MIP (maximum intensity projection) permet de visualiser les sinuosités de la lumière artérielle, de détecter un thrombus et des calcifications pariétales.

• le second temps porte sur les mesures. Le formatage multiplanaire (MPR) permet des reconstructions des vaisseaux afin de calculer la longueur et le diamètre des composants de l'endoprothèse. **[3]**

IV- CARACTÉRISTIQUES DES ENDOPROTHÈSES AORTIQUES

L'anévrysme aortique sous-rénal représentant 90 % des AAA, les premières endoprothèses ont été développées pour cette localisation. Elles sont composées d'une structure métallique sertie d'un tissu prothétique étanche (Polyester ou PTFE). Les EA sont modulaires et comportent un corps principal qui se divise en deux jambages iliaques pour s'adapter à l'anatomie de l'anévrysme, Les EA sont contenues dans un introducteur et positionnées sous contrôle radioscopique au niveau du collet proximal de l'AAA et au ras de l'artère rénale la plus distale. En aval, l'endoprothèse se termine de chaque côté au niveau de l'artère iliaque commune (collet distal) ou de l'iliaque externe si l'artère commune est anévrismale. Étant donné que l'anévrisme est toujours présent après la mise en place de l'EA, une surveillance régulière est nécessaire afin de s'assurer de l'absence d'endofuites qui peuvent suivant leur type **(Figure 1)**, remettre l'AAA sous pression et exposer au risque de rupture.

V- LA NAVIGATION ENDOVASCULAIRE ET L'IMAGERIE PEROPÉRATOIRE

Le chirurgien vasculaire a dû ensuite apprendre la navigation endovasculaire, l'utilisation des cathéters, des guides, à se former à la radioprotection et à l'utilisation de l'imagerie sophistiquée en salle d'opération.

Une imagerie d'excellente qualité est essentielle pour la pose des EA. Dans les cas simples, au début de notre expérience, un arceau mobile associé à une table flottante radio-transparente était suffisant. Mais comme les techniques endovasculaires, les techniques d'imagerie ont fait d'énormes progrès. Actuellement, il n'est plus concevable d'effectuer des interventions endovasculaires aortiques complexes avec un arceau mobile. Le développement des techniques endovasculaires de plus en plus sophistiquées a rendu nécessaire le recours à des salles hybrides associant un système d'imagerie fixe très performant à un environnement chirurgical classique incluant une asepsie et une radioprotection rigoureuses.

Depuis quelques années, deux nouvelles technologies ; la fusion d'images et la tomodensitométrie à faisceaux coniques ont pris de plus en plus de place dans ce domaine.

Avec la fusion d'images, des éléments importants au déroulement de l'intervention comme la position des artères viscérales, des artères iliaques internes, et le site de déploiement de l'endoprothèse sont importés préalablement à partir du scanner préopératoire et projetés pendant l'intervention sur l'image directe de scopie. L'opérateur peut ainsi connaitre la zone anatomique sous le faisceau sans avoir besoin d'activer la scopie. Ceci permet de réduire considérablement la dose de produit de contraste injectée et de rayons X.

La tomodensitométrie à faisceaux coniques incluse dans le système d'imagerie des salles hybrides permet de contrôler le geste opératoire et de mettre en évidence des défauts potentiels qui ne sont pas toujours visibles sur l'angiographie en 2 plans. Des plicatures de jambages peuvent ainsi être détectées et immédiatement corrigées. De plus ce scanner

peropératoire permet, dans les reconstructions complexes, de vérifier l'intégrité et la bonne expansion des différents modules ou stents implantés. **[4]**

VI- LA MISE EN PLACE DE L'ENDOPROTHÈSE AORTIQUE SOUS-RÉNALE

Ainsi après l'acquisition des connaissances nécessaires au traitement des images tomodensitométriques, la génération des chirurgiens vasculaires en activité dans les années 1990 a appris par compagnonnage les techniques de pose des endoprothèses. Aujourd'hui, l'apprenant apprend les techniques endovasculaires dans des ateliers de simulation organisés par les enseignants et comme aide en salle hybride.

Technique de pose d'une EA pour un anévrysme aortique sous-rénal

Cette technique est résumée sur la **figure 1**. Brièvement, la procédure commence par la ponction des deux artères fémorales communes, et la mise en place d'introducteurs et de guides souples. Du côté choisi pour l'introduction du corps principal de l'EA, on échange le guide souple pour un long guide *rigide*, puis on introduit le corps principal de la prothèse sur ce guide rigide. Les marqueurs proximaux radio-opaques de la prothèse sont placés juste en aval de la naissance de l'artère rénale la plus basse.

L'EA est ensuite déployée après avoir repéré, par angiographie, l'artère rénale la plus basse. Le déploiement est réalisé par un retrait progressif de la gaine externe de l'introducteur. À ce stade, le jambage court controlatéral s'ouvre dans l'anévrysme. Une fois que le cathétérisme du jambage controlatéral est réalisé, le corps principal de l'EA est entièrement libéré.

On procède alors au largage des segments iliaques et l'on termine par un modelage de l'endoprothèse à l'aide d'un ballon compliant suivi d'un contrôle radiologique par scanner (salle hybride) ou par angiographie.

VII- L'ÉVALUATION DES RÉSULTATS DES ENDOPROTHÈSES AORTIQUES POUR LES ANÉVRYSMES DE L'AORTE SOUS-RÉNALE

Les registres

Afin d'évaluer les premiers résultats des EA, et avant la réalisation d'essais randomisés, plusieurs registres multicentriques avaient été mis en place, EUROSTAR, RETA en Grande-Bretagne, Lifeline Registry aux États-Unis et le French Aneurx Trial. **[5]** Les données accumulées dans ces registres à partir plusieurs milliers de patients traités ont permis de mieux comprendre les échecs et de détecter les défauts des EA de première génération.

Les essais randomisés

Plusieurs études randomisées, portant sur un total de 2790 patients traités pour un AAA sous-rénal, ont comparé les résultats de la technique endovasculaire à la chirurgie classique (EVAR 1 **[6]**, DREAM **[7]**, ACE **[8]**, OVER **[9]**). Ces études **(Tableau 1)** ont mis en évidence la supériorité de l'EA par rapport à la chirurgie ouverte en termes de mortalité à court terme (1,4 vs 4,2 % ; $p < 0,0001$), mais cette différence de mortalité en faveur des EA n'est plus significative après 4 ans (15,8 vs 17 % ; $p = 0,4$). **[10]** L'étude (EVAR1) après un suivi de 15 ans a même retrouvé un taux de mortalité plus élevé dans le groupe endovasculaire (9,3 décès par 100 personnes / année) par rapport au groupe chirurgical (8,9 décès par 100 personnes / année).**[11]** Une des critiques de ces études randomisées est que les EA utilisées alors n'existent plus sur le marché et ont été remplacées par des modèles plus performants.

Enfin, un dernier essai randomisé EVAR 2 **[11]** avait comparé le traitement endovasculaire de l'AAA et la surveillance médicale chez des patients à haut risque chirurgical non opérables.

Cet essai avait conclu que les EA n'amélioraient pas la survie de ces patients, dont les décès étaient majoritairement liés aux pathologies associées et non à la rupture anévrismale. Malgré certains problèmes méthodologiques, on peut néanmoins retenir de cette étude que chez les patients à haut risque chirurgical, la décision de pose d'une EA doit tenir compte de l'espérance de vie du patient liée aux pathologies associées.

Les réinterventions après EA

Le traitement endovasculaire des AAA ne supprime pas l'AAA qui reste souvent perfusé à contre-courant par les artères lombaires et par l'artère mésentérique inférieure, source d'endofuites de type II qui ne semblent pas entraîner un risque de rupture tant que le diamètre de l'AAA diminue ou reste stable **(Fig.2)**. Dans l'étude EVAR 1, le suivi des patients ayant une EA a mis en évidence un taux élevé de réinterventions et de ruptures anévrysmales dues à l'apparition d'endofuites de type I ou de type III, d'où la nécessité d'un suivi tomodensitométrique à vie chez les patients ayant une EA. **[6]**

Taux de conversion après EA

Dans une méta-analyse récente **[12]**, le taux de conversion après EA était compris entre 0,8 et 1,2 %. Le taux de mortalité à 30 jours pour les conversions électives tardives était de 2,8 % (IC à 95 %, 1,6 % à 4,1 %). Pour les conversions tardives urgentes, essentiellement des ruptures, le taux de mortalité cumulé estimé à 30 jours était de 28,3 % (IC à 95 %, 20,4 % à 36,2 %). La différence entre les taux de mortalité à 30 jours des conversions non urgentes et des conversions urgentes était significative ($p < 0,001$).

Taux de rupture de l'AAA après EA

Dans une autre méta-analyse **[13]**, concernant la survenue des ruptures après EA, on retrouvait 152 ruptures sur 16 974 EA. Soit une incidence de 0,9 % [intervalle de confiance à 95 % (IC) : 0,77 à 1,05]. Le délai moyen de survenue de la rupture après la pose de l'EA était de 37 mois. Parmi ces ruptures, 29 % [IC 95 % : 20-39] des patients avaient déjà eu au moins une réintervention endovasculaire après la pose initiale de l'EA et 37 % des patients n'avaient pas été suivis selon les protocoles recommandés. Les endofuites de type I et III étaient les principales causes de rupture anévrysmale après EA. La mortalité périopératoire des conversions pour rupture était de 32 % [IC à 95 % :24 - 41].

Modalités de surveillance après EA

Ces constatations ont conduit les sociétés savantes **[14,15]** à préciser les modalités de surveillance après EA. Cette surveillance commence pendant la période postopératoire (<30 jours) par la réalisation systématique d'un angioscanner afin de s'assurer de l'exclusion anévrysmale et de l'absence de sténose ou de plicature des jambages de l'endoprothèse.

Les modalités du suivi à moyen et à long terme dépendent des résultats de cet angioscanner et des caractéristiques anatomiques de l'AAA, on distingue trois groupes :

A : Groupe à faible risque de complications évolutives : Absence d'endofuite sur l'angioscanner postopératoire, respect des indications anatomiques pour la pose de l'endoprothèse, longueur du collet anévrysmal >10 mm. Dans ce groupe un angioscanner tous les 5 ans est recommandé.

B : Groupe intermédiaire : Présence d'une endofuite de type II, respect des indications anatomiques, longueur du collet anévrysmal >10 mm : Dans ce groupe il est recommandé un suivi annuel par échodoppler ou par angioscanner pour suivre l'évolution du diamètre

anévrysmal, si le diamètre augmente de plus de 10 mm en un an, une réintervention endovasculaire ou une conversion chirurgicale doit être envisagée.

C : Groupe à risque élevé : collet court <10 mm, sans endofuite. Dans ce groupe il est recommandé un suivi annuel systématique par angioscanner. En cas de découverte d'une endofuite de type I ou de type III, une réintervention endovasculaire ou une conversion chirurgicale doit être rapidement programmée.

Ces recommandations sont importantes, car il est apparu qu'un nombre important de réinterventions et de ruptures anévrysmales étaient dues au non-respect des critères anatomiques stricts entourant la pose des EA. **[16]**

Les résultats de ces études avaient conduit l'AFSSAPS à limiter en 2000 l'indication des EA aux patients à risque chirurgical en respectant scrupuleusement les critères anatomiques précisés par le fabricant. Progressivement, du fait des bons résultats obtenus avec les EA, l'AFSSAPS a élargi en 2004 l'indication des EA aux patients à risque chirurgical modéré en tenant compte surtout du risque de rupture anévrysmale (diamètre de l'anévrysme) et de l'anatomie de l'anévrysme aortique, donc du respect des instructions du fabricant. Enfin, un rapport de l'HAS portant sur l'évaluation médico-économique des endoprothèses aortiques abdominales publié en 2012 avait conclu que l'EA abdominale n'était pas coût-efficace pour les patients, tous risques confondus, quand on la comparait au traitement chirurgical.

Cout de la surveillance des patients après traitement endovasculaire (EA)

Le cout spécifique de la surveillance des patients ayant bénéficié d'une endoprothèse est difficile à extraire des études médico-économiques, car le cout du suivi comprend aussi celui des réinterventions. Une seule étude a analysé les couts séparés de la surveillance et des réinterventions chez les patients traités par EA et par chirurgie ouverte sur une période de 14 ans. Le cout de la surveillance **(Tableau 2)**, sans inclure les réinterventions est de 1622 € après EA et de 1147 € après chirurgie ouverte, soit une différence de 475 € (95 % IC : 430-521 €) en faveur de la chirurgie ouverte. Si l'on inclut le cout des prothèses et des réinterventions, la différence en faveur de la chirurgie est de 3798 € (95 % IC : 2338-5258 €). Le cout du traitement endovasculaire est donc significativement plus élevé que celui du traitement chirurgical ouvert. **[17]**

Le prix du dispositif est évidemment un paramètre clé dans cette analyse. Dans la mesure où l'utilisation des EA chez des patients à faible risque n'était pas efficiente, l'HAS avait alors recommandé d'agir sur deux leviers: une meilleure définition de la population cible et une baisse du prix des EA. **[18]** Mais cette évaluation médico-économique, aussi pertinente qu'elle soit, ne tenait pas compte des complications non vasculaires de la chirurgie ouverte liées à l'abord chirurgical (éventrations, occlusions intestinales) retrouvées chez 15 à 25 % des patients suivis plus de 10 ans. **[19]**

Indications actuelles des endoprothèses aortiques (EA)

La pose des endoprothèses aortiques est aujourd'hui la technique la plus utilisée pour le traitement des anévrysmes de l'aorte abdominale sous-rénale. Elle devient de fait la technique de référence du fait de sa moindre mortalité postopératoire malgré l'absence d'amélioration de la survie après deux ans et un taux plus élevé de réinterventions. Cette préférence endovasculaire a été confirmée par les sociétés savantes **[14,15]** qui reconnaissent aussi l'importance de la chirurgie ouverte qui continue à avoir des indications dans 40 % à 60 % des AAA sous-rénaux du fait des limites des techniques endovasculaires.

VIII- LES ANÉVRISMES AORTIQUES SUPRARÉNAUX ET THORACO-ABDOMINAUX

Dans 10 % des cas, l'anévrisme est situé à moins de 10 mm des artères rénales, et l'aorte viscérale elle-même peut être anévrismale. Cette zone ne constitue pas une zone d'ancrage satisfaisante pour l'implantation d'une EA standard. Le traitement endovasculaire de ce groupe de patients devient complexe, car le collet proximal est situé soit au niveau des artères viscérales, soit en amont et il est évidemment primordial de les préserver. La recherche menée par l'industrie a permis de concevoir des EA qui comprennent des fenêtres et/ou des branches afin de perfuser les artères rénales/viscérales dont l'ostium est couvert par l'endoprothèse. Dans ces cas, un stent couvert sert de pont entre la fenêtre ou la branche de l'EA et le tronc de l'artère rénale/viscérale. Les fenêtres sont renforcées par un anneau en nitinol. Les branches sont constituées d'un stent recouvert de polyester. L'origine des fenêtres et des branches est repérable grâce à des marqueurs radio-opaques.

Ces EA fenêtrées ou branchées sont fabriquées sur-mesure à partir de la cartographie tomodensitométrique fournie par le chirurgien en s'aidant de reconstructions multiplanaires. Le délai de fabrication des EA fenêtrées ou branchées est de 6 à 8 semaines et leur coût est élevé. En règle générale, les fenêtres sont utilisées lorsque la distance entre l'endoprothèse et l'origine de l'artère rénale/viscérale est inférieure à 10 mm et les branches sont utilisées quand cette distance est supérieure à 10 mm. En cas d'extension vers l'aorte thoracique d'un anévrisme aortique abdominal, le module comportant les fenêtres et/ou les branches est habituellement connecté à un module proximal implanté au niveau de l'aorte thoracique descendante et à un module distal abdominal bifurqué.

Apprentissage de la pose des EA thoracoabdominales

L'apprentissage de la pose des EA fenêtrées et multibranches nécessite une compétence de base acquise par la pose régulière des EA sous-rénales, puis un apprentissage spécifique des EA fenêtrées et/ou multibranches sur des modèles de simulation et enfin l'aide d'un expert déjà formé guidant tous les gestes de l'apprenant pendant les dix premières poses. En pratique seuls quelques centres universitaires ont le recrutement suffisant pour maintenir le niveau de compétence requis aussi bien pour la chirurgie ouverte que pour la chirurgie endovasculaire des anévrysmes thoracoabdominaux. Cette constatation est un argument en faveur de la centralisation de ces procédures complexes dans des centres de référence. **[20]**

Nous ne décrirons pas la technique complexe de pose de ces EA qui sort du cadre de cette revue. Dans tous les cas, à la fin de l'intervention, une angiographie de contrôle ou une acquisition rotationnelle (salle hybride) est réalisée à la recherche d'une endofuite de type 1 ou 3 qui peut être immédiatement corrigée **(Figure 3)**.

Les résultats à moyen terme de ces techniques complexes réalisées dans les centres experts ont été rapportés par Guillou et al **[21]** sur une série consécutive de 89 patients contre-indiqués pour une chirurgie ouverte. Le taux de mortalité hospitalière était de 10 %. Le taux de réussite technique était de 96,6 %. Le taux de paraplégie était de 7,8 %. Six patients (6,7 %) avaient nécessité une hémodialyse temporaire. La durée médiane de la procédure était de 203 minutes. La survie actuarielle était de 74,7 % ± 6 % à 2 ans.

À ce jour, il n'existe pas d'étude randomisée comparant les techniques endovasculaires avec fenêtres et branches à la chirurgie ouverte classique. En effet, ces techniques endovasculaires sont réservées aux patients à haut risque chirurgical, potentiellement contre-indiqués pour une chirurgie ouverte, ce qui rend difficile la réalisation d'études randomisées.

IX- ANÉVRYSMES DE L'AORTE THORACIQUE DESCENDANTE

Depuis les publications de De Bakey et Cooley en 1953 **[22]** et malgré l'amélioration des techniques chirurgicales et de la réanimation, le remplacement chirurgical conventionnel de l'aorte thoracique descendante reste associé à un taux élevé de mortalité (5,7 à 15,1 %) chez des patients souvent âgés ou à haut risque chirurgical. **[23]**

Le traitement endovasculaire des anévrysmes de l'aorte thoracique a été rapporté pour la première fois en 1994 par Dake et al. **[24]** Une cohorte consécutive de patients atteints d'anévrismes thoraciques et thoracoabdominaux traités électivement avec des techniques endovasculaires (EA) ou chirurgicales (CH) a été analysée en 2008 par Greenberg et al. **[23]** Dans cette étude, 724 patients (352 EA, 372 CH) avaient été traités. Les taux de mortalité à 30 jours (5,7 % EA vs 8,3 % CH, p = 0,2) et à 12 mois (15,6 % EA vs 15,9 % CH, p = 0,9) n'étaient pas significativement différents. Une différence non significative du taux de paraplégie en faveur des EA avait aussi été constatée entre les deux groupes : EA :4,3 % vs CH : 7,5 % (p = 0,08). Dans cette étude, l'analyse multivariée avait montré que l'étendue de la réparation aortique requise (type I, II, III ou IV) et non la technique utilisée (EA ou CH) était le facteur associé à la survenue d'une complication médullaire.

La Haute Autorité de Santé (HAS) avait publié en 2008 une revue de la littérature **[25]** en concluant que malgré le faible niveau des preuves scientifiques, le traitement par EA des anévrysmes de l'aorte thoracique descendante (AAT) était probablement bénéfique en termes de mortalité opératoire et de morbidité sévère, à condition que les facteurs anatomiques soient favorables à la pose d'une endoprothèse (collet proximal et distal d'au moins 20 mm de longueur et diamètre < 38 mm). Sobocinski et al **[26]** avaient mis en évidence l'importance de ces paramètres dans une série de 899 patients en montrant que le risque d'augmentation du diamètre de l'AAT traité par EA était significativement plus élevé quand le collet proximal ou distal avait un diamètre >38 mm ou une longueur inférieure à 20 mm avec comme conséquence possible une moins bonne prévention du risque de rupture anévrysmale. Par ailleurs la HAS avait aussi insisté sur la nécessité d'une surveillance annuelle par tomodensitométrie ou IRM à la recherche d'une possible détérioration de l'EA.

X- COMPLICATIONS SPÉCIFIQUES DES ENDOPROTHÈSES DE L'AORTE THORACIQUE ET DE L'AORTE THORACOABDOMINALE

Elles sont dominées par le risque de paraplégie et de dissection rétrograde.

Risque médullaire

Dans ces deux localisations, la supériorité modeste des EA vis-à-vis du risque de paraplégie est expliquée par l'absence de clampage aortique et d'hypovolémie peropératoire.

Il est prouvé que le risque de paraplégie après EA augmente pour les anévrysmes intéressant la région T8 à T12 et lorsque la longueur de la couverture aortique est supérieure à 20 cm. Ce risque est lié à la couverture des artères intercostales, des artères lombaires, éventuellement de l'artère sous-clavière gauche voire des artères iliaques internes. Afin de limiter ce risque, il est recommandé dans les anévrysmes thoraciques étendus ou thoracoabdominaux de revasculariser systématiquement l'artère sous-clavière gauche et les artères iliaques internes, qui jouent un rôle essentiel dans la vascularisation médullaire et d'y associer un monitorage strict de l'hémodynamique du patient. **[23]** Certaines équipes proposent aussi un drainage préventif du LCR. Il apparait aussi préférable en cas de couverture étendue de l'aorte

thoracique, de réaliser une réparation endovasculaire en deux temps afin de réduire le risque d'ischémie médullaire.

Dissection rétrograde de l'aorte thoracique

La survenue d'une dissection rétrograde de l'aorte thoracique est une complication grave des EA de l'aorte thoracique. Son incidence est de 2,5 % et le taux de mortalité est de l'ordre de 37 %. **[27]** La fréquence de cette complication augmente en cas de dissection et quand la zone d'ancrage proximale de l'endoprothèse se situe dans la crosse aortique.

XI- ANÉVRYSMES DE LA CROSSE AORTIQUE

Technique hybride

Depuis quelques années, le traitement endovasculaire est apparu comme une alternative à la chirurgie ouverte dans certains cas d'anévrysmes de la crosse aortique. Mais la proximité des troncs supra-aortiques (TSA) a limité l'utilisation exclusive des EA dans cette localisation et a conduit à proposer dans un premier temps un traitement hybride associant la transposition d'un ou de plusieurs TSA au déploiement de l'EA **[28]** selon la localisation de l'anévrysme précisée selon la classification de Ishimaru **[29] (Fig.4)**.

En zone 0 **(Fig.4)**, la voie d'abord est une sternotomie éventuellement complétée par une cervicotomie. Le pontage prothétique entre l'aorte ascendante et les TSA revascularise de façon séquentielle le tronc artériel brachiocéphalique, l'artère carotide primitive gauche et l'artère sous-clavière gauche (ASCG) **(Fig.5a)**.

En zone 1 **(Fig.4)**, la revascularisation de la carotide primitive gauche et de l'ASCG est assurée par un pontage extra-anatomique intercarotidien associé à une transposition sous-clavio-carotidienne gauche réalisée par voie cervicale pure **(Fig.5b)**. En zone 2, la revascularisation de l'ASCG est réalisée par une transposition sous-clavio-carotidienne gauche **(Fig.5c)**.

Aujourd'hui, ces techniques hybrides sont réservées aux patients à haut risque chirurgical. Les patients à risque chirurgical moyen bénéficiant d'un remplacement chirurgical conventionnel de l'aorte ascendante.

Une revue de la littérature concernant le traitement hybride de la crosse aortique publiée en 2012 incluait 1886 patients **[30]**. La mortalité hospitalière était de 10,8 %. Les taux moyens d'AVC et d'ischémie médullaire étaient respectivement de 6,9 et de 6,8 %.

Technique endovasculaire intégrale

Récemment, des EA fenêtrées et/ou branchées ont été conçues spécifiquement dans cette indication. Le cas de figure le plus fréquent et le moins risqué étant le patient ayant un antécédent de remplacement prothétique long de l'aorte ascendante sans remplacement valvulaire mécanique aortique pour une dissection Stanford A. Ce montage offre en effet une longue zone d'ancrage proximal pour l'EA. Un modèle sur mesure à 2 branches internes pour le tronc artériel brachiocéphalique, et la carotide commune gauche et plus récemment un modèle à 3 branches incluant l'ASCG **(Fig.7)** ont été proposés par l'industrie. Des études préliminaires ont été publiées avec un suivi limité à 30 jours, sans décès, mais avec un taux d'AVC de 11 %.**[31]** Dans une autre étude multicentrique, on retrouvait 7 % de mortalité hospitalière et 7 % d'AVC invalidants. **[32]** La faisabilité de ces procédures est donc confirmée, mais le risque élevé d'AVC lié à ces procédures est un défi majeur à relever dans les années à venir.

XII- CONCLUSIONS

La chirurgie aortique a été bouleversée par les techniques endovasculaires. Les endoprothèses sont devenues la référence pour les anévrysmes de l'aorte abdominale sous-rénale et de l'aorte thoracique ayant une anatomie favorable. Le traitement endovasculaire des anévrysmes thoracoabdominaux est une option chez les patients à risque chirurgical et entre des mains expertes, le traitement endovasculaire des anévrysmes de la crosse aortique reste du domaine des études contrôlées. Il aussi souligner que ces avancées technologiques ont permis le développement des blocs opératoires hybrides dotés de capacités d'imagerie supérieures permettant la réalisation d'autres techniques vasculaires veineuses ou artérielles moins invasives.

RÉFÉRENCES

[1] Volodos NL, Shekhanin VE, Karpovich IP, Troian VI, Gur'ev IA. A self-fixing synthetic blood vessel endoprosthesis (Russian). Vestn Khir Im I I Grek 1986;137:123-5.

[2] Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD. Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms. Ann Vasc Surg 1991;5:491-9.

[3] Tinelli G, Hertault A, Martin Gonzalez T, Spear R, Azzaoui R, Sobocinski J et al. Evaluation of a new imaging software for aortic endograft planning. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2017;21:2717-2724.

[4] Hertault A, Overbeck K, Sobocinski J, Azzaoui R, Fabre D, Haulon S. Recent developments in intraoperative imaging and navigation during aortic interventions. J Cardiovasc Surg (Torino)2017;58:883-888.

[5] Ricco JB, Letort M, Magnan PE, Pacchioni R; French AneuRx Study Group. Endovascular repair of abdominal aortic aneurysm: one-year results of the French AneuRx trial. Ann Vasc Surg. 2002;16:685-92.

[6] Greenhalgh RM, Brown LC, Kwong GP, Powell JT, Thompson SG; EVAR trial participants. Comparison of endovascular aneurysm repair with open repair in patients with abdominal aortic aneurysm (EVAR trial 1), 30-day operative mortality results: randomised controlled trial. Lancet. 2004;364:843-8.

[7] Prinssen M, Verhoeven EL, Buth J, Cuypers PW, van Sambeek MR, Balm R et al. Dutch Randomized Endovascular Aneurysm Management (DREAM)Trial Group. A randomized trial comparing conventional and endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. N Engl J Med.2004;351:1607-18.

[8] Becquemin JP, Pillet JC, Lescalie F, Sapoval M, Goueffic Y, Lermusiaux P et al. ACE trialists. A randomized controlled trial of endovascular aneurysm repair versus open surgery for abdominal aortic aneurysms in low-to moderate-risk patients. J Vasc Surg. 2011;53:1167-1173.

[9] Lederle FA, Freischlag JA, Kyriakides TC, Matsumura JS, Padberg FT Jr, Kohler TR et al. OVER Veterans Affairs Cooperative Study Group. Long-term comparison of endovascular and open repair of abdominal aortic aneurysm. N Engl J Med. 2012;367:1988-97.

[10] Powell JT, Sweeting MJ, Ulug P, Blankensteijn JD, Lederle FA, Becquemin JP et al. EVAR-1, DREAM, OVER and ACE Trialists. Meta-analysis of individual-patient data from EVAR-1, DREAM, OVER and ACE trials comparing outcomes of endovascular or open repair for abdominal aortic aneurysm over 5 years. Br J Surg. 2017;104:166-178.

[11] EVAR Trial Participants. Endovascular aneurysm repair and outcome in patients unfit for open repair of abdominal aortic aneurysm (EVAR trial 2): randomised controlled trial. Lancet, 2005;365:2187-2192.

[12] Goudeketting SR, Fung Kon Jin PHP, Ünlü Ç, de Vries JPM. Systematic review and meta-analysis of elective and urgent late open conversion after failed endovascular aneurysm repair. J Vasc Surg. 2019. doi: 10.1016/j.jvs.2018.11.022. [Epub ahead of print]

[13] Antoniou GA, Georgiadis GS, Antoniou SA, Neequaye S, Brennan JA, Torella F et al. Late Rupture of Abdominal Aortic Aneurysm After Previous Endovascular Repair: A Systematic Review and Meta-analysis. J Endovasc Ther 2015;22:734-44.

[14] Wanhainen A, Verzini F, Van Herzeele I, Allaire E, Bown M, Cohnert T et al. European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms. Eur J Vasc Endovasc Surg 2019, doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.09.020, Published ahead of print.

[15] Chaikof EL, Dalman RL, Eskandari MK, Jackson BM, WA Lee, Mansour A et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm. J Vasc Surg 2019, https://doi.org/10.1016/j.jvs.2017.10.044, published ahead of print.

[16] Schanzer A, Greenberg RK, Hevelone N, Robinson WP, Eslami MH, Goldberg et al. Predictors of abdominal aortic aneurysm sac enlargement after endovascular repair. Circulation. 2011;123:2848-55.

[17] Patel R, Powell JT, Sweeting MJ, Epstein DM, Barrett JK, Greenhalgh RM. The UK Endovascular Aneurysm Repair (EVAR) randomised controlled trials: long-term follow-up and cost-effectiveness analysis. Health Technol Assess. 2018;22:1-132.

[18] Haute Autorité de Santé (HAS), évaluation médico-économique des endoprothèses aortiques abdominales, 2012 : Service documentation – information des publics, 2 avenue du Stade de France - F 93218 Saint-Denis La Plaine CEDEX.

[19] Patel R, Sweeting MJ, Powell JT, Greenhalgh RM, EVAR trial investigators. Endovascular versus open repair of abdominal aortic aneurysm in 15-years'follow-up of the UK endovascular aneurysm repair trial 1 (EVAR trial 1): a randomised controlled trial. Lancet 2016;388:2366-74.

[20] Keschenau PR, Ketting S, Mees B, Barbati ME, Grommes J, Gombert A et al. Open Thoracic and Thoraco-abdominal Aortic Repair After Prior Endovascular Therapy. Eur J Vasc Endovasc Surg. 2018;56:57-67.

[21] Guillou M, Bianchini A, Sobocinski J, Maurel B, D'elia P, Tyrrell M et al. Endovascular treatment of thoracoabdominal aortic aneurysms. J Vasc Surg. 2012;56:65-73.

[22] De Bakey ME, Cooley DA. Successful resection of aneurysm of thoracic aorta and replacement by graft. J Am Med Assoc. 1953.20;152:673-6.

[23] Greenberg RK, Lu Q, Roselli EE, Svensson LG, Moon MC, Hernandez AV et al. Contemporary analysis of descending thoracic and thoracoabdominal aneurysm repair: a comparison of endovascular and open techniques. Circulation. 2008;118:808-17.

[24] Dake MD, Miller DC, Semba CP, Mitchell RS, Walker PJ, Liddell RP. Transluminal placement of endovascular stent-grafts for the treatment of descending thoracic aortic aneurysms. N Engl J Med. 1994;331:1729-34.

[25] Corbillon E, Bergeron P, Poullié AI, Primus C, Ojasoo T, Gay J. The French National Authority for Health reports on thoracic stent grafts. J Vasc Surg. 2008;47:1099-107.

[26] Sobocinski J, Patterson BO, Vidal-Diez A, Brownrigg JR, Thompson MM, Holt PJ. Preoperative morphology influences thoracic aortic aneurysm sac expansion after endovascular repair. Br J Surg. 2016;103:819-29.

[27] Chen Y, Zhang S, Liu L, Lu Q, Zhang T, Jing Z. Retrograde Type A Aortic Dissection After Thoracic Endovascular Aortic Repair: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Am Heart Assoc.2017;6:1-11.

[28] Faure EM, Canaud L, Marty-Ané C, Alric P. Hybrid aortic arch repair for dissecting aneurysm. J Thorac Cardiovasc Surg. 2016;152:162-8.

[29] shimaru S. Endografting of the aortic arch. J Endovasc Ther 2004;11:62-71.

[30] Cao P, De Rango P, Czerny M, Evangelista A, Fattori R, Nienaber C et al. Systematic review of clinical outcomes in hybrid procedures for aortic arch dissections and other arch diseases. J Thorac Cardiovasc Surg. 2012;144:1286-300.

[31] Spear R, Haulon S, Ohki T, Tsilimparis N, Kanaoka Y, Milne CP et al. Subsequent Results for Arch Aneurysm Repair with Inner Branched Endografts. Eur J Vasc Endovasc Surg 2016;51:380-5.

[32] Czerny M, Rylski B, Morlock J, Schröfel H, Beyersdorf F, Saint Lebes B et al. Orthotopic branched endovascular aortic arch repair in patients who cannot undergo classical surgery. Eur J Cardiothorac Surg 2018; 53:1007-1012.

LÉGENDES DES FIGURES

Figure 1. Technique pose d'une endoprothèse pour un anévrysme de l'aorte abdominale sous-rénale (endoprothèse Zenith ®)

A : Cathétérisme iliaque droit et montée du corps de l'endoprothèse aortique.

B : Positionnement du corps de l'endoprothèse en plaçant les marqueurs de la partie couverte de l'endoprothèse au ras des artères rénales et en repérant le marqueur distal du jambage controlatéral.

C : Largage proximal du corps de l'endoprothèse et libération des stents proximaux non couverts. Cathétérisme du jambage iliaque controlatéral en vérifiant la position du cathéter à l'intérieur de l'endoprothèse.

D : Montée de l'extension controlatérale

E : Largage de l'extension controlatérale qui sera suivie du largage distal du corps de l'endoprothèse. Ce temps sera suivi par le modelage au ballon du corps et des branches de l'endoprothèse

Figure 2. Types d'endofuites après mise en place d'une endoprothèse de l'aorte abdominale sous-rénale

Type 1 : zones d'ancrage proximale ou distale insuffisante, l'anévrysme continue à être perfusé avec un risque de rupture.

Type 2 : reflux des artères collatérales (Artère mésentérique inférieure et artères lombaires) dans le sac anévrysmal.

Type 3 : fuite entre deux composants de l'endoprothèse en rapport avec un chevauchement insuffisant des modules de l'endoprothèse.

Type 4 : porosité du revêtement prothétique de l'endoprothèse.

Figure 3. Endoprothèse branchée ou fenêtrée pour un anévrysme aortique juxtarénal ou thoracoabdominal

A : Anévrysme aortique juxtarénal avec un collet sous-rénal <10 mm nécessitant la mise en place d'une endoprothèse fenêtrée sur mesure pour assurer l'exclusion de l'anévrysme et revasculariser les artères rénales. Chaque fenêtre rénale est cathétérisée avec mise en place d'un stent couvert. Une échancrure à la partie haute de l'endoprothèse permet d'assurer la vascularisation de l'artère mésentérique supérieure.

B : Anévrysme thoracoabdominal nécessitant la mise en place d'une endoprothèse multibranches (4 branches) sur mesure pour assurer l'exclusion de l'anévrysme aortique et revasculariser les artères viscérales et les deux artères rénales. Les marqueurs radio-opaques au niveau des branches permettent l'orientation de l'endoprothèse. Le cathétérisme des branches nécessite un abord brachial pour récupérer avec un lasso, le guide prépositionné dans la branche de l'endoprothèse. Un stent couvert sert de pont entre chaque jambage et l'artère viscérale correspondante.

Figure 4. Localisation des anévrysmes de la crosse aortique selon la classification d'Ishimaru [26]

La localisation des anévrysmes de la crosse aortique selon la classification d'Ishimaru permet d'adapter la stratégie endovasculaire en fonction de la zone d'implantation proximale de l'endoprothèse et de prévoir la technique hybride de revascularisation des troncs supra-aortiques la plus appropriée.

Figure 5. Endoprothèse de la crosse aortique avec revascularisation chirurgicale des troncs supra-aortiques : Techniques hybrides.

A : zone 0 : Transposition chirurgicale des trois troncs supra-aortiques à partir de l'aorte ascendante par une prothèse aortique bifurquée et des revascularisations séquentielles.

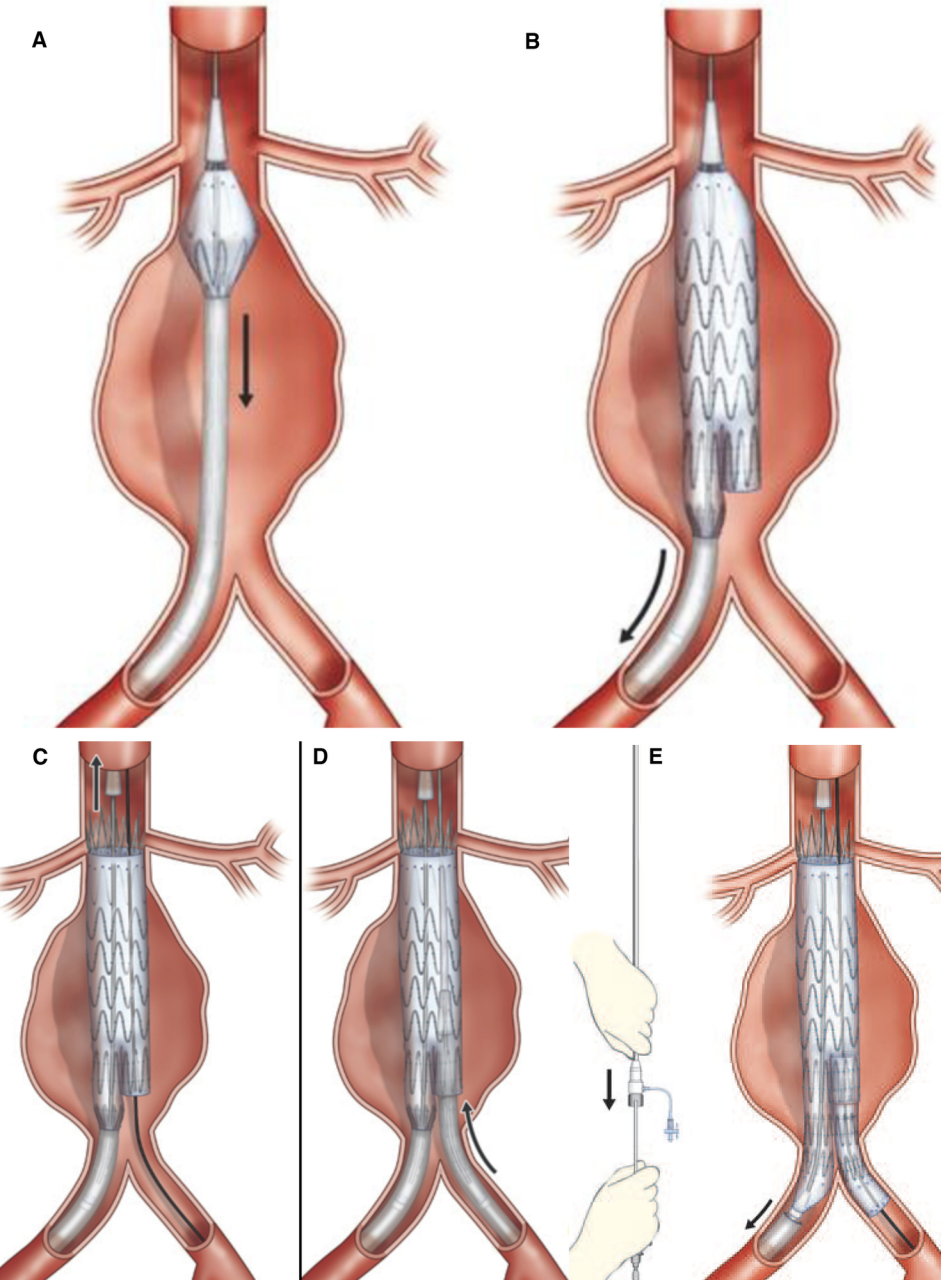
B : zone 1 : Pontage intercarotidien associé à une transposition sous-clavio-carotidienne gauche.

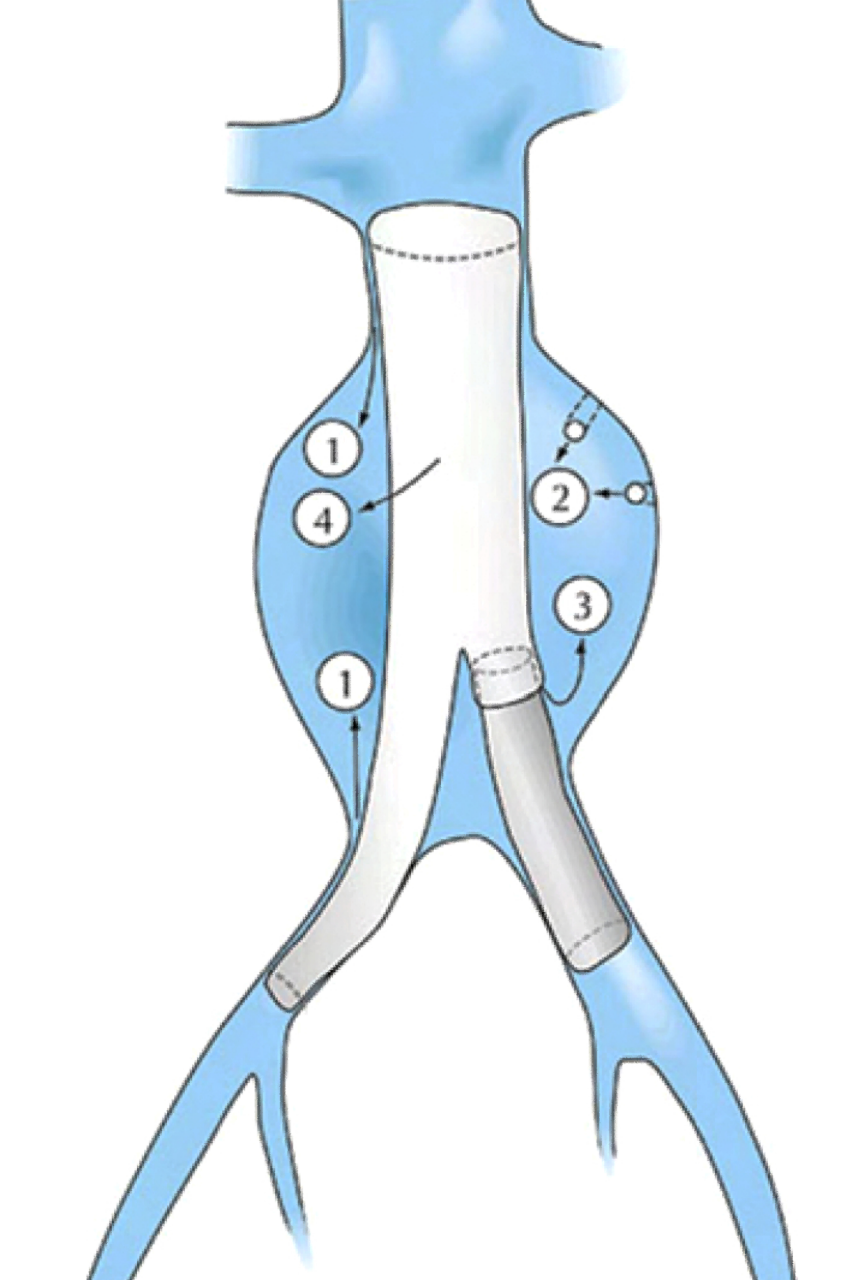
C : zone 2/3 : Transposition sous-clavio-carotidienne gauche afin de préserver un collet aortique suffisamment long pour assurer l'étanchéité de l'endoprothèse.

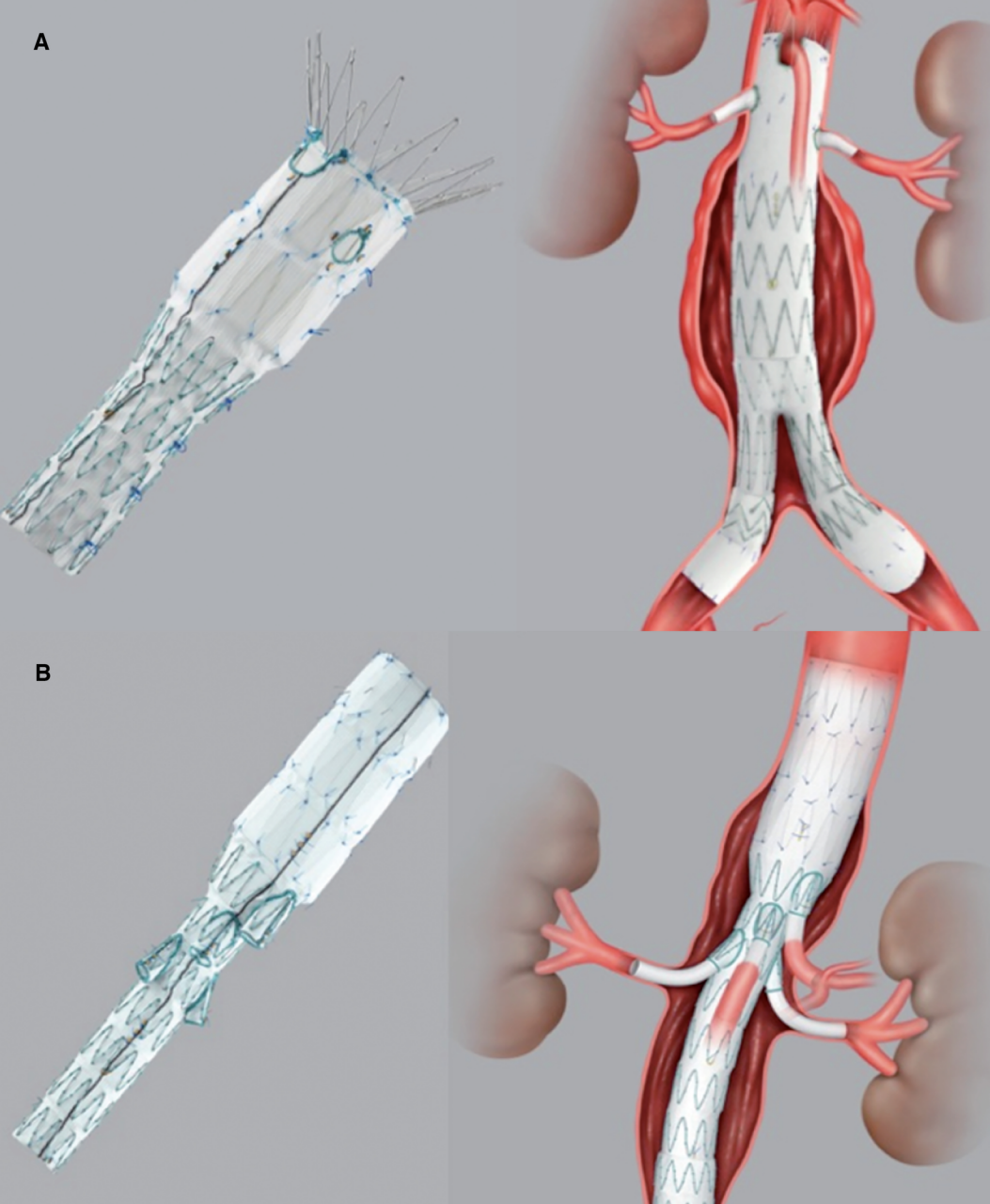
Figure 6. Endoprothèse branchée de la crosse aortique

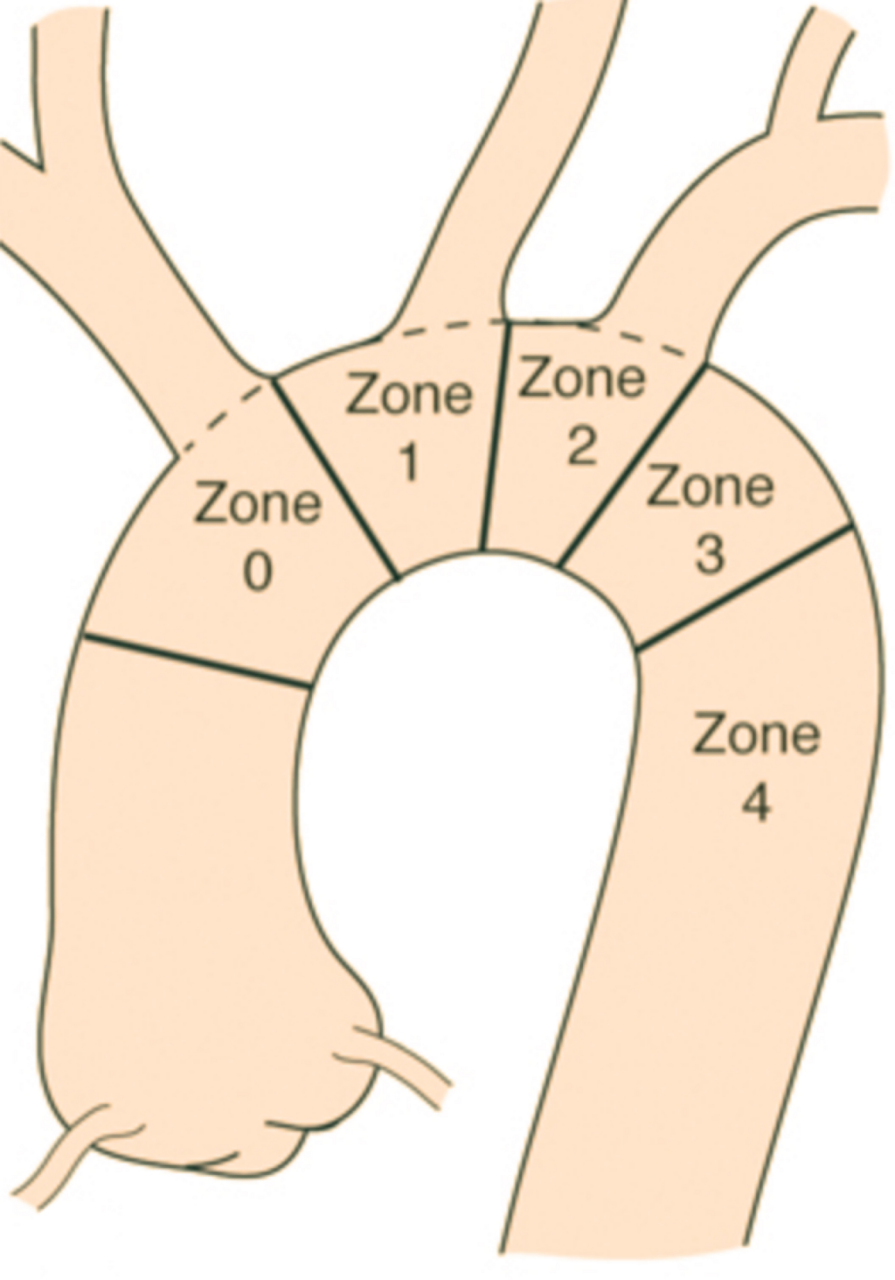
A : Les modèles d'endoprothèses branchées disponibles pour la crosse aortique utilisent deux branches internes antérogrades à connecter au tronc artériel brachiocéphalique (2,3) et à la carotide commune gauche (6) tandis que l'artère sous-clavière gauche (5) est généralement débranchée dans une procédure en deux étapes. Une sonde d'entraînement électrosystolique est mise en place par voie veineuse (1,4) dans les cavités cardiaques droites.

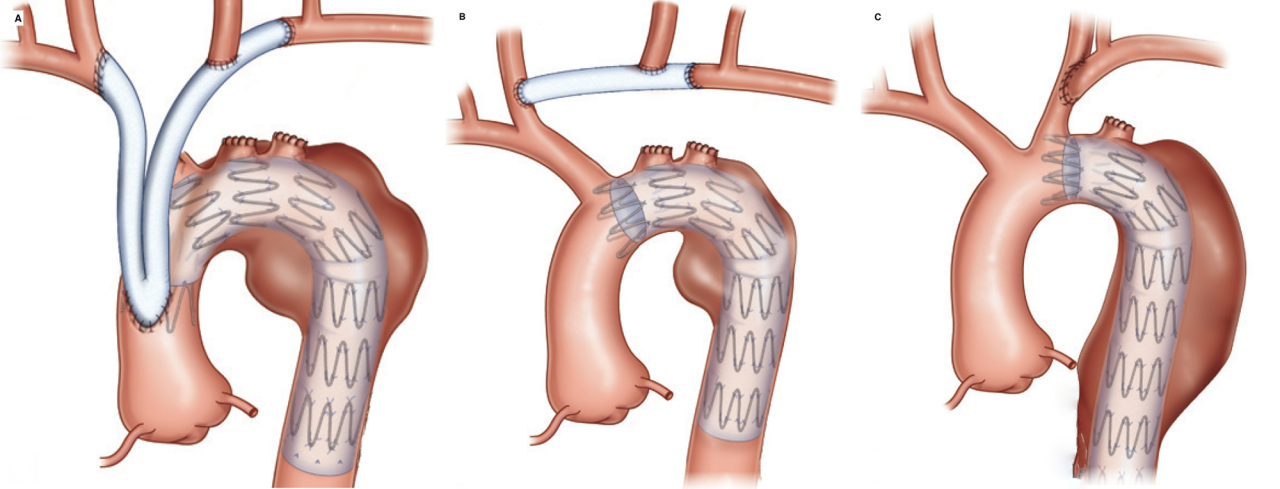
B : Angiographie peropératoire montrant l'endoprothèse et les branches revascularisant le tronc artériel brachiocéphalique et la carotide commune gauche.

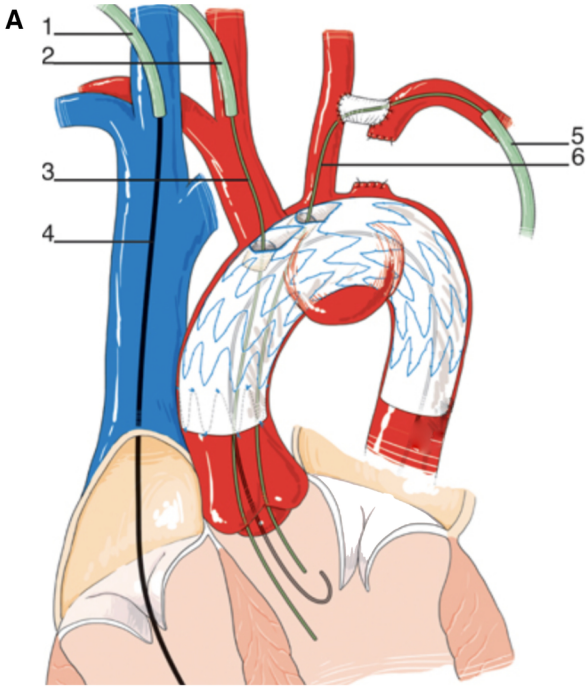

A
B
C
D
E

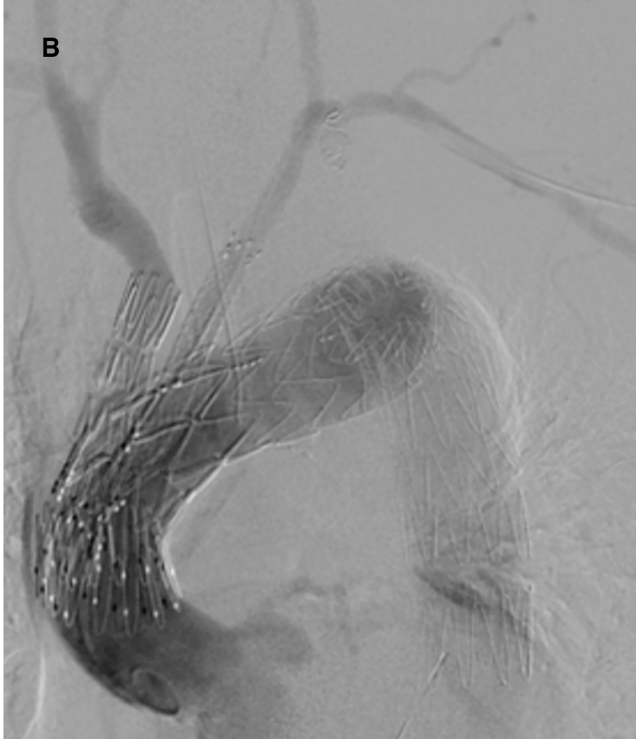

1
4
2
3
1


A
B


Zone
0
Zone
1
Zone
2
Zone
3
Zone
4


A
B
C


A
1
2
3
4
5
6


B

Tableau

Tableau 1 : Résumé des principaux résultats des essais randomisés comparant le traitement endovasculaire et la chirurgie ouverte des anévrysmes de l'aorte abdominale sous-rénale

Études	Pays	Périodes	Patients	Résultats
EVAR 1	GB	1999-2003	1082	Mortalité postopératoire (30 jours) inférieure après EVAR (1,7% vs 4,7%). Ce bénéfice précoce est perdu à deux ans. Après 8 ans, augmentation de la mortalité liée à l'anévrysme traité (réintervention, rupture). Taux de réintervention plus élevé après EVAR.
DREAM	Pays-Bas	2000-2003	351	Mortalité postopératoire (30 jours) inférieure après EVAR (1,2% vs 4,6%). Ce bénéfice précoce est perdu après un an. Survie à long terme comparable. Taux de réintervention plus élevé après EVAR.
OVER	USA	2002-2008	881	Mortalité postopératoire (30 jours) inférieure après EVAR (0,5% vs 3%). Ce bénéfice précoce est perdu à trois ans. Taux de réintervention comparable, pas de différence de qualité de vie, cout global comparable.
ACE	France	2003-2008	316	Mortalité postopératoire (30 jours) comparable (1,3% vs 0,6%). Pas de différence de survie à 3 ans. Taux de réintervention plus élevé après EVAR.

GB : Grande Bretagne, USA : États-Unis d'Amérique, EVAR : Traitement endovasculaire des anévrysmes aortiques

Tableau 2 : Cout moyen par patient des procédures et de la surveillance dans l'étude randomisée EVAR1 entre chirurgie ouverte et chirurgie endovasculaire (EVAR)

	Cout des procédures et des réinterventions (€)			Cout de la surveillance incluant l'imagerie			Cout total (€)		
Années	Chirurgie	EVAR	Différence *	Chirurgie	EVAR	Différence *	Chirurgie	EVAR	Différence *
1	13 725	15 660	1935	218	405	187	13 857	16 051	2194
2 à 14	1206	2511	1305	929	1217	288	2019	3623	1604
Total	14 931	18 171	3240	1147	1622	475	15 876	19 674	3798
95%CI †			[1934-4546]			[430-521]			[2338-5258]

* Différence entre EVAR et chirurgie ouverte, † Intervalle de confiance à 95%