

UNIVERSITE DE LILLE  
**FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG**  
Année : 2019

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT  
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**Impact de la tomographie volumétrique par faisceau conique (CBCT) sur les réinterventions tardives et les évènements tardifs liés à l'aorte après EVAR**

Présentée et soutenue publiquement le 8 novembre 2019  
au Pôle Recherche  
**Par Erol LERISSON**

---

**JURY**

**Président :**

**Monsieur le Professeur Jonathan SOBOCINSKI**

**Assesseurs :**

**Madame la Professeure Claire MOUNIER-VEHIER**

**Monsieur le Docteur François PONTANA**

**Directeur de Thèse :**

**Monsieur le Docteur Adrien HERTAULT**

**Travail du Service de Chirurgie Vasculaire,  
Hôpital Cardiologique, Institut Cœur-Poumon, LILLE**

---



« La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs. »

**LISTE DES ABRÉVIATIONS : INTRODUCTION GÉNÉRALE**

*3DVR : Three dimension volume rendering*

AAA : anévrisme de l'aorte abdominale

AOMI : Artériopathie oblitérante des membres inférieurs

ATA : Anévrisme thoraco-abdominal

*CBCT : Cone beam computed tomography*

*ceCBCT : Contrast enhanced cone beam computed tomography*

*CTA : Computed angiographic tomography*

*DALYs : Disability-adjusted life-years*

*EVAR : Endovascular aneurysm repair*

*ESVS : European society for vascular surgery*

*HU : Hounsfield unit*

*MIP : maximum intensity projection*

*minIP : Minimum intensity projection*

*MPR : multiplanar reconstruction*

*SVS : Society for vascular surgery*

TDM : Tomodensitométrie



**LISTE DES ABRÉVIATIONS : ARTICLE**

3DVR : Three dimension volume rendering

ALARA : As low as reasonably achievable

AP : Uniplanar angiography

BEVAR : Branched endovascular aneurysm repair

CBCT : Cone beam computed tomography

ceCBCT : contrast enhanced cone beam computed tomography

CEUS : Contrast enhanced ultrasonography

CI : Confidence interval

CT : Computed tomography

CTA : Computed tomography angiography

DUS : Duplex ultrasonography

EVAR : Endovascular aneurysm repair

FEVAR : Fenestrated endovascular aneurysm repair

FU : Follow up

HR : Hazard ratio

IQR : Interquartile range

MIP : maximum intensity projection

MPR : multiplanar reconstruction

US : Ultrasonography



## TABLE DES MATIÈRES

<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>7</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>9</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>11</b>
GÉNÉRALITÉS .....	11
ÉPIDÉMIOLOGIE .....	12
DIAGNOSTIC .....	13
PRISE EN CHARGE DES AAA.....	14
RÔLE DE LA TOMOGRAPHIE VOLUMETRIQUE À FAISCEAU CONIQUE (CBCT) DANS LA PRISE EN CHARGE DES AAA. ....	21
POURQUOI REALISER UNE TOMOGRAPHIE VOLUMETRIQUE A FAISCEAU CONIQUE APRES EVAR ? .....	25
OBJECTIF .....	28
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>29</b>
<b>ARTICLE</b> .....	<b>35</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>39</b>
<b>MATERIAL AND METHODS</b> .....	<b>41</b>
<b>RESULTS</b> .....	<b>48</b>
<b>DISCUSSION</b> .....	<b>63</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>69</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>71</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>72</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>79</b>



## RÉSUMÉ

### **Impact de la tomographie volumétrique par faisceau conique (CBCT) sur les résultats à moyen terme après exclusion endovasculaire des anévrysmes de l'aorte abdominale**

Contexte :

Lors d'une précédente étude, il était constaté que le CBCT permettait de diagnostiquer plus d'anomalies techniques sur les endoprothèses aortiques (plicature, endofuite distale) en fin de procédure que l'angiographie 2D conventionnelle. Ceci entraînait plus de gestes complémentaires non planifiés pour corriger ces anomalies, mais les bénéfices à long terme de cette prise en charge plus « agressive » restaient débattus. Le but de cette étude est d'évaluer si le traitement per-opératoire des anomalies détectées par le CBCT améliore les résultats à long terme après EVAR.

Méthode:

Il s'agit d'une étude monocentrique rétrospective, incluant tous les patients traités par endoprothèses bifurquées, fenêtrées et branchées en salle hybride sur deux périodes. De décembre 2012 à juillet 2013, le succès technique était contrôlé par une angiographie 2D en fin d'intervention, puis par un angioTDM (CTA) avant la sortie (groupe 1). D'octobre 2013 à avril 2014, un CBCT peropératoire (40°/sec - 35cc d'iode dilué dans 35 cc de sérum physiologique) était réalisé, suivi d'une échographie doppler de contraste (CEUS) avant la sortie (groupe 2). Si une anomalie technique était détectée sur l'angiographie ou le CBCT elle était traitée dans le

même temps opératoire. Le taux de réinterventions liées à l'endoprothèse (EDP) et la survenue de complications tardives liées à l'EDP (définies par la mortalité liée à l'aorte, endofuites de type 1 ou 3 secondaires, les plicatures ou thromboses de vaisseaux cibles ou de jambage et l'accroissement >5mm du sac anévrysmal) étaient étudiés.

#### Résultats :

133 patients étaient inclus dans l'étude (79 dans le groupe 1 et 54 dans le groupe 2) avec un suivi médian de 48 [36-59] mois. Les diamètres aortiques initiaux étaient respectivement de 55 (51-60) mm et 53 (51-58) mm. 40 complications tardives liées à l'EDP survenaient chez 25 patients (31.7%) dans le groupe 1 et 12 évènements chez 9 patients (16.7%) dans le groupe 2 ( $p=0.05$ ). Les taux de réinterventions liées à l'EDP étaient respectivement de 18.9% ( $n=15$ ) et de 14.8% ( $n=8$ ) ( $p=0.46$ ). En analyse multivariée, le CBCT ne réduisait pas significativement le taux de réintervention ou de complications tardives liés à l'EDP, mais prévenait la majoration du diamètre au cours du suivi (OR=0.25, IC95% 0.07-0.91,  $p=0.035$ ).

#### Conclusion :

Cette étude est la première à étudier l'impact à moyen terme d'un CBCT réalisé en routine après EVAR. Nos résultats montrent que la correction per-opératoire d'anomalies constatées sur le CBCT réalisé en fin de procédure protège d'une expansion du sac anévrysmal, et suggèrent une tendance à la réduction du taux de complications tardives liées à l'endoprothèse et de réinterventions liées à l'endoprothèse.

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

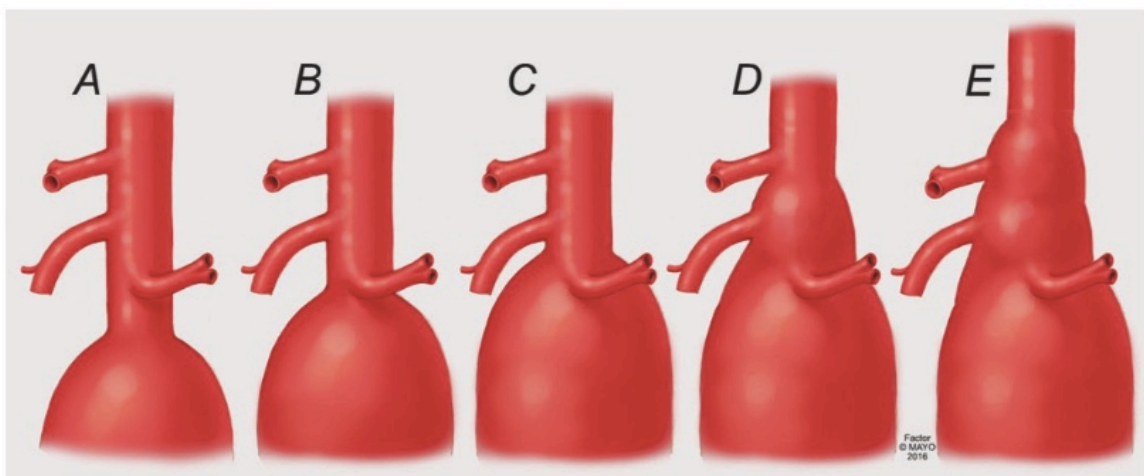
### GÉNÉRALITÉS

Un anévrisme artériel est défini par une dilation focale et permanente d'une artère avec perte de parallélisme, et dont le diamètre est supérieur de 50% au diamètre sain d'amont (1). Les anévrismes artériels peuvent se manifester sur l'ensemble de l'arbre artériel, la localisation extracrânienne la plus fréquente étant la localisation aortique.

Bien que les anévrismes aortiques puissent survenir sur n'importe quel segment de l'aorte ; de son origine, la racine aortique, jusqu'à sa terminaison, la bifurcation aortique, la localisation la plus fréquemment observée est sous rénale (30% de cas).

(2) Un anévrisme de l'aorte abdominale sous rénale (AAA) est défini par un diamètre supérieur à 30 mm. A l'étage abdominal, lorsque le sac anévrysmal englobe l'origine d'une ou plusieurs artères à destinée rénale ou viscérale, on parle d'anévrisme aortique complexe. Cette définition est anatomique et englobe les entités suivantes

(Figure 1) :



**Figure 1 A-E:** Classification anatomique des anévrismes aortiques complexes (© Mayo Clinic)

- A : Les AAA sous rénaux à collet court, dont le collet proximal ; défini par la longueur d'aorte saine entre l'artère rénale la plus basse et l'origine du sac anévrysmal ; est compris entre 4 et 10 mm,
- B : les AAA juxta-rénaux, dont le collet proximal est compris entre 0 et 4 mm,
- C : les AAA para-rénaux, englobant l'origine des artères rénales,
- D : les AAA para-viscéraux, englobant l'origine de l'artère mésentérique supérieure et du tronc coéliquaïque,
- E : et les Anévrysmes thoraco-abdominaux de type 4 (ATA 4) selon la classification de Crawford, défini par une extension de l'anévrysmal jusqu'au hiatus diaphragmatique (classification des ATA selon Crawford en **annexe 1**).

La pathologie anévrysmale aortique est le plus souvent d'origine dégénérative, athérosclérotique (3) (4). Dans 5 à 10 % des cas, l'étiologie est plus rare : anévrysmal septique, dystrophies héréditaires du tissu conjonctif (maladie de Marfan, maladie d'Ehlers Danlos), lésions inflammatoires (maladie de Takayasu, maladie de Behçet) et traumatique. L'origine syphilitique est désormais exceptionnelle dans les pays développés.

## ÉPIDÉMIOLOGIE

L'incidence de la maladie anévrysmale augmente avec l'âge et est plus importante dans les pays développés, ainsi en 2010 l'incidence des anévrysmes de l'aorte abdominale (AAA) chez les patients âgés de 40 à 44 ans était de 0.96 nouveau cas pour 100.000 habitants dans les pays développés (IC 95 % : 0.65 à 1.41) contre 175.12 (IC 95 % : 159.43 à 191.64) chez les patients âgés de 75 et 79



ans (5). La prévalence des AAA de plus de 4 cm chez les hommes entre 55 et 64 ans est estimée à 1 % dans les pays développés, puis augmente de 2 à 4% par décennie. (6)

Les facteurs de risque fortement associés au développement d'une maladie anévrysmale sont le sexe masculin OR = 5.93 (4.26–8.25), le tabagisme actif OR = 2.97 (1.20–7.30), une histoire familiale d'anévrysme aortique OR = 9.64 (1.72–53.98) (6)(7)(8), une artériopathie oblitérante des membres inférieurs (AOMI) OR=2.50 (2.12–2.95), une histoire de cardiopathie ischémique préexistante OR=2.28 (1.90–2.74) et une hypertension artérielle essentielle OR=1.33 (1.14–1.55). (9).

L'histoire naturelle est l'augmentation progressive du diamètre du sac anévrysmal, puis la rupture de l'anévrysme conduisant à une hémorragie massive et au décès du patient avant la possibilité d'une prise en charge chirurgicale dans près de 80 % des cas (10)(11). Le risque de rupture est proportionnel à la taille de l'anévrysme, le taux de rupture annuel pour les petits anévrysmes (entre 30 et 39 mm) étant inférieur à 0.3%, il s'élève à 2.3% pour les AAA mesurant entre 50 et 54 mm qui représentent la grande majorité des AAA au moment du diagnostic (12). Le risque de rupture augmente ensuite de manière exponentielle pour atteindre 32.5% lorsque l'AAA dépasse les 70 mm (13)(12)(14).

## DIAGNOSTIC

Les AAA sont le plus souvent asymptomatiques et découverts fortuitement par un examen d'imagerie (radiographie de l'abdomen, scanner, IRM, ou échographie) réalisé dans le contexte d'une autre pathologie. La découverte d'une masse battante pulsatile abdominale à l'examen clinique est devenue rare et doit faire suspecter un AAA. En cas de rupture, la clinique est bruyante et associe douleur abdominale

d'apparition brutale et choc hémorragique. Il s'agit d'une urgence thérapeutique qui nécessite le transfert immédiat du patient au bloc opératoire en cas d'instabilité hémodynamique. Si l'état hémodynamique du patient le permet, un angioscanner est réalisé en urgence afin de confirmer le diagnostic et de préciser la localisation de l'anévrisme par rapport aux artères rénales et digestives afin d'orienter le nature du geste chirurgicale.

## **PRISE EN CHARGE DES AAA**

Afin de prévenir le risque de rupture, un traitement chirurgical préventif électif est retenu selon une balance bénéfice (prévention de la rupture) risque (morbi/mortalité liée à l'intervention). Le seuil thérapeutique retenu par les sociétés savantes européennes (ESVS) et américaine (SVS) pour un traitement électif d'un AAA sous rénal est de 55 mm chez l'homme et 50 mm chez la femme, ou un anévrisme évolutif (croissance annuelle > 10 mm). (15) (16) (**Annexes 2-3**).

Un anévrisme devenu symptomatique est une indication au transfert du patient en urgence dans une structure adaptée comprenant une équipe de chirurgie vasculaire (12).

## **TRAITEMENT CHIRURGICAL OUVERT DES AAA**

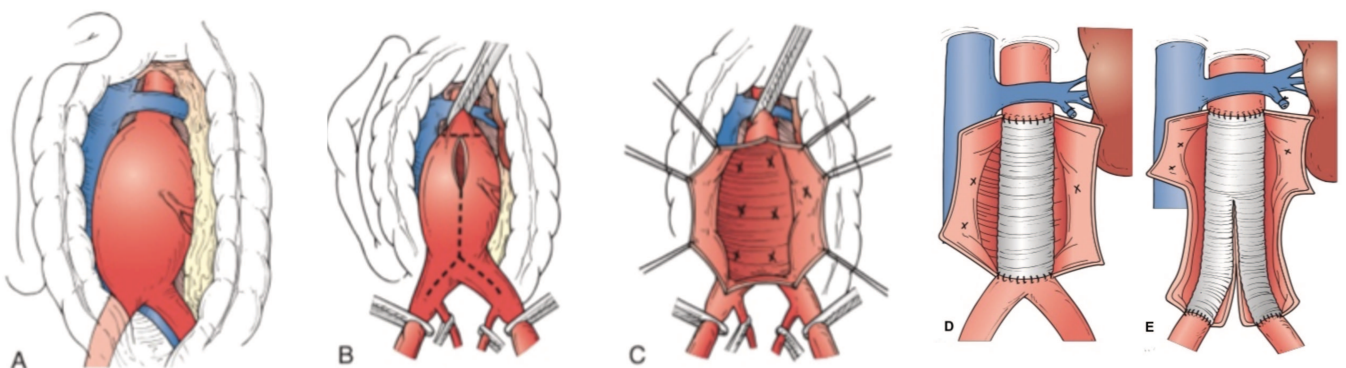
### **Technique**

Les principes de la chirurgie moderne des AAA par mise à plat et reconstruction *in situ* on été posés par A. Carrel (première mise à plat et reconstruction *in situ* par tissu autologue en 1948). La technique a été modifiée durant la seconde moitié du XXème siècle avec l'introduction des prothèses en

polyester tissé (Voorhees, 1952) et l'amélioration des techniques opératoires (Dubost, Debaquey, Cooley)(17)(18).

Le traitement chirurgical ouvert consiste à la mise à plat de l'anévrysme puis au remplacement du segment d'aorte malade par un tube prothétique en polyester (DACRON®). Ce traitement nécessite l'ouverture de la cavité abdominale par une laparotomie médiane le plus souvent, ainsi que le clampage de l'aorte durant la suture de la prothèse (**figure 2**). Ce geste est réalisé sous couverture d'héparine (50 à 100UI/kg en bolus) administrée par voie intraveineuse avant clampage(19).

L'extension proximale de l'AAA complique la nature du geste chirurgical. Lorsque l'anévrysme englobe les artères à destination rénale ou viscérale, il s'agit d'un AAA complexe ; il est nécessaire d'opter pour un clampage supra-rénal ou supra-coeliaque et de réaliser des pontages séquentiels ou des réimplantations successives des vaisseaux naissant du segment d'aorte malade. Ces gestes complémentaires s'accompagnent d'une durée opératoire et d'anesthésie majorée, d'un risque d'ischémie rénale ou digestive et donc de morbi-mortalité surajouté pour le patient.



**Figure 2A-1C** Technique de mise à plat d'un AAA sous rénal. **D** Reconstruction in situ par tube aorto-aortique simple. **E** Reconstruction in situ par tube bifurqué aorto bi-iliaque. *D'après Rutherford et al.*

### **Résultats de la chirurgie conventionnelle**

La mortalité post opératoire précoce associée au traitement chirurgical ouvert des AAA sous rénaux (s'étendant de l'intervention chirurgicale jusqu'à J30) est de 1% à 4.6% lorsque l'on observe le bras chirurgical des quatre grands essais randomisés comparant le traitement chirurgical conventionnel au traitement endovasculaire (EVAR 1, DREAM, OVER, ACE) (20)(21)(22)(23). Le clampage aortique est responsable de modifications importantes de l'hémodynamique qui entraînent une surcharge pour le système cardio-pulmonaire. La morbidité périopératoire est ainsi dominée par les complications respiratoires qui touchent jusqu'à 17% des patients, les complications cardiaques chez 10 à 15 % des malades, puis les complications rénales chez 10% des malades (24). Au cours du suivi, près de 20% de ces patients seront également exposés à des complications liées à la voie d'abord chirurgicale nécessitant une réintervention (occlusion, éventration) (25).

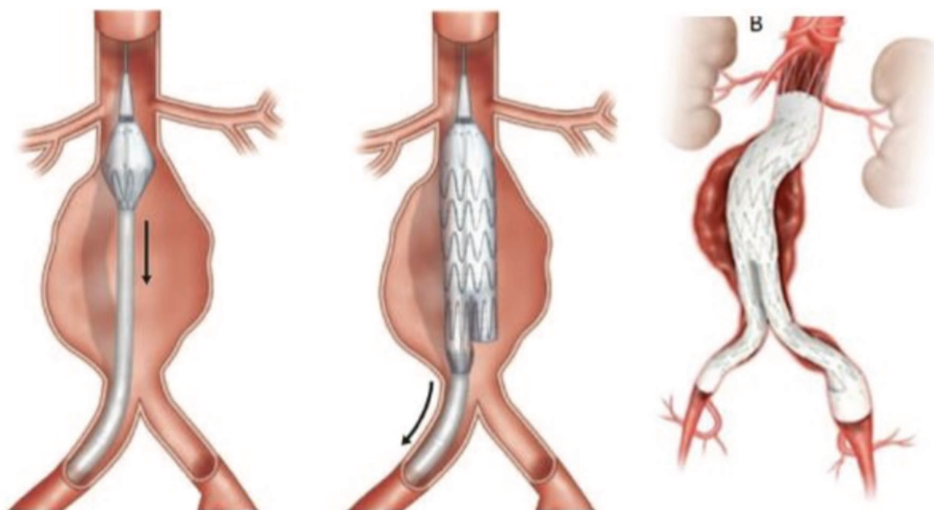
Les grandes séries traitant des AAA complexes (AAA juxta-rénaux, AAA supra-rénaux et ATA IV) objectivent une mortalité post-opératoire précoce allant de 0.8% à 6.8 % en cas de clampage supra-rénal (26)(27)(28), et de 2.8 à 11% en cas de clampage supra-coélique (29)(30). La nécessité d'un clampage supra-rénal, ou supra-coélique s'accompagne d'un risque d'altération de la fonction rénale, de l'ordre de 12 à 20%, avec un risque de dialyse permanente de 1 à 3 % (31).

## TRAITEMENT ENDOVASCULAIRE DES AAA

### Technique

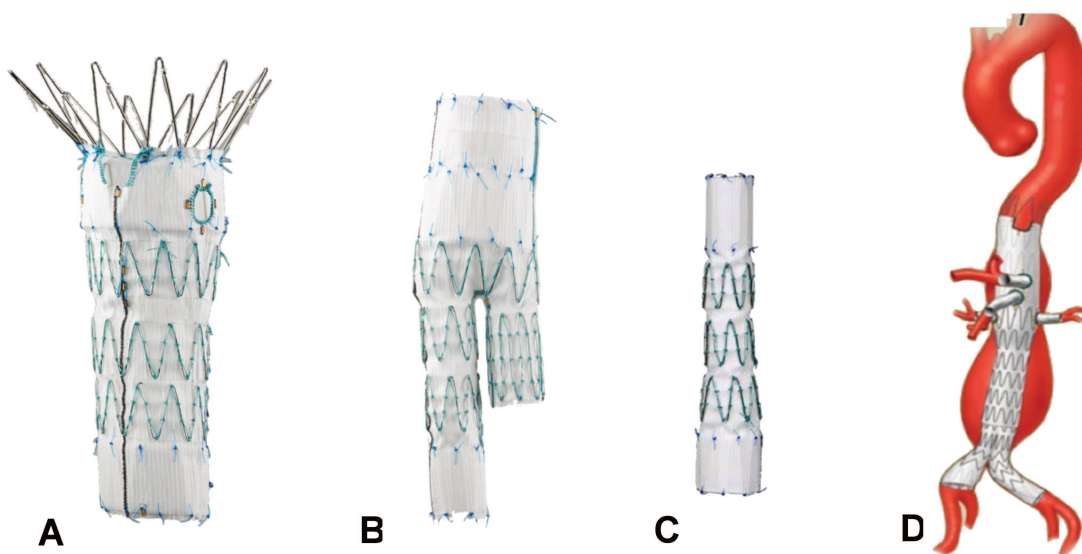
En juin 1990, Juan Parodi réalisa l'implantation de la première endoprothèse aortique à Buenos Aires (32). Depuis, le design des endoprothèses a largement progressé, et l'usage des endoprothèses aortiques dans le traitement des AAA simples s'est démocratisé. Ainsi le traitement endovasculaire est devenu le traitement de première intention des AAA sous rénaux simples et en cas d'anatomie favorable pour sociétés savantes européennes (ESVS) et américaines (SVS) (15) (16) (**Annexes 2-3**). Le principe général du traitement endovasculaire repose sur l'exclusion de l'anévrisme de la circulation générale par la mise en place d'une endoprothèse au sein du sac anévrysmal. L'anévrisme n'est donc pas retiré comme lors d'une chirurgie ouverte conventionnelle.

L'endoprothèse est constituée d'une armature en alliage métallique auto-expansible (stent) à l'intérieur de laquelle est cousue une membrane étanche en tissu synthétique (polyester ou polytétrafluoroéthylène microporeux). Précontrainte dans une gaine de faible diamètre, elle est déployée dans l'anévrisme après abord d'une artère fémorale commune (par ponction ou abord mini-invasif), insertion du dispositif puis navigation dans le réseau iliaque (**Figure 3**). L'étanchéité du montage repose sur la parfaite coaptation entre l'endoprothèse et la paroi artérielle sur des segments de vaisseau sain en amont et en aval de l'anévrisme appelés zone d'étanchéité. Différentes plateformes commerciales et *designs* existent, la plateforme utilisée dans notre institution est la Zenith © (Cook, Bloomington, UK). Elle repose sur endoprothèse modulaire en trois parties constituées d'un corps principal bifurqué, et de deux jambages, qui viennent assurer l'étanchéité au sein des artères iliaques.



**Figure 3** Technique d'exclusion endovasculaire des anévrysmes sous-rénaux.  
D'après EMC (*Encyclopédie Médico-Chirurgicale*)

Les anévrysmes aortiques complexes ont la possibilité d'être traités par des endoprothèses fenêtrées ou multibranches, qui comportent des ouvertures ou des branches directionnelles qui permettent de perfuser sélectivement les artères à destinées rénales et viscérales tout en excluant l'anévrysme. Ces dispositifs sont réalisés sur-mesure, à la demande, après une analyse précise de l'imagerie préopératoire et une procédure de relevé de mesures appelée « sizing ». (**Figure 4, Annexe 4**).

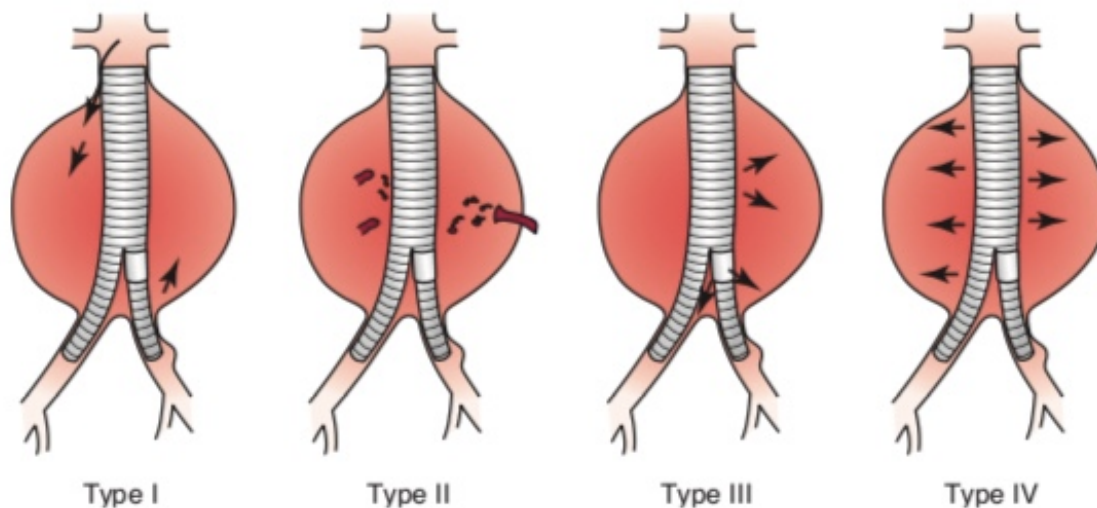


**Figure 4 A-D:** Plateforme *Cook Zenith fenestrated* d'endoprothèse fenêtrée sur mesure © *Cook Medical*. **A** Segment proximal fenêtré. **B** Corps bifurqué. **C** Jambage controlatéral. **D** Illustration d'une endoprothèse fenêtrée (4 fenêtres) après mise en place au sein d'un ATA IV © *Mayo Clinic*.

### Résultats

Quatre grands essais randomisés ont comparé les résultats du traitement chirurgical conventionnel au traitement endovasculaire des anévrysmes sous rénaux (EVAR 1, DREAM, OVER, ACE) (22)(23)(24)(25). Ces essais ont montré que le traitement endovasculaire conférait un avantage durant la période post-opératoire précoce avec des taux de mortalité allant de 0.5% à 1.7%. Cependant, ce bénéfice est perdu au cours du suivi avec une mortalité similaire au traitement conventionnel à deux à trois ans de l'intervention initiale. Le traitement endovasculaire des anévrysmes complexe donne des bons résultats également, le taux de mortalité post-opératoire précoce étant de 4% (31).

L'inconvénient majeur du traitement endovasculaire est la survenue de complications spécifiques, liées à l'endoprothèse au cours du suivi. Les premières générations d'EDP étaient responsables d'un taux important de réinterventions secondaires, jusqu'à 15 % des patients nécessitaient au moins une réintervention au cours du suivi (33). Ces réinterventions sont la conséquence de complications mécaniques survenant sur la structure de l'endoprothèse. Les complications les plus fréquemment observées après EVAR sont les endofuites qui correspondent à un flux sanguin artériel persistant au sein de l'anévrysmes (figure 5), les migrations d'endoprothèse, les plicatures et thromboses de jambage et la couverture accidentelle d'une artère rénale (34)(35).



**Figure 5 : Illustration des types d'endofuites (EF) rencontrés après EVAR.** Les EF de **type 1** sont des fuites proximales ou distales au niveau des zones d'étanchéité de l'endoprothèse. Avec les EF de **type 3**, qui correspondent à une mauvaise étanchéité entre les composants de l'EDP, elles constituent des endofuites à haut débit. Les EF de **type 2**, proviennent du reflux d'artères collatérales au sac anévrysmal. Les EF de **type 4**, plus rares, proviennent d'une porosité de l'EDP. *D'après White GH, May J, Waugh RC, Chaufour X, Yu W. Type III and type IV endoleak: toward a complete definition of blood flow in the sac after endoluminal AAA repair. J Endovasc Surg. nov 1998;5(4):305-9.*

L'utilisation des endoprothèses fenêtrées et branchées s'est accompagnée de nouvelles sources potentielles de complications liées à l'EDP (au niveau des fenêtres ou des branches). Dans une série de 166 patients ayant bénéficiés de la mise en place d'une endoprothèse fenêtrée (FEVAR) ou branchée (BEVAR), Verhoeven et al. ont objectivé un taux de réinterventions liées à l'EDP de 17% à 3 ans de l'intervention initiale, une majorité de ces interventions étant due à des endofuites à haut débit.(36)



## **RÔLE DE LA TOMOGRAPHIE VOLUMETRIQUE À FAISCEAU CONIQUE (CBCT) DANS LA PRISE EN CHARGE DES AAA.**

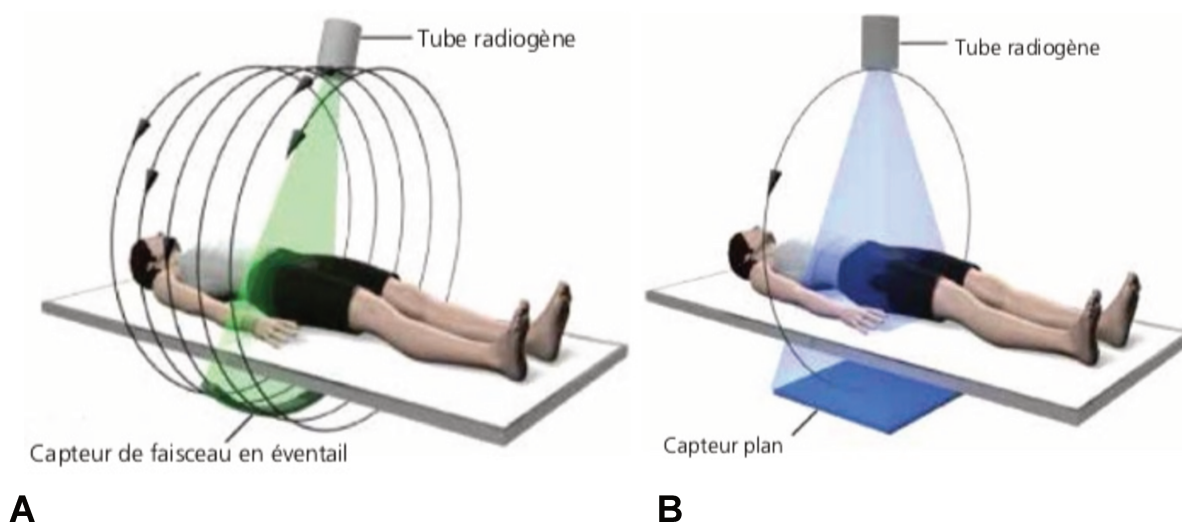
Le développement rapide des techniques endovasculaires et l'apparition des endoprothèses fenêtrées et multibranches se sont accompagnés de l'avancée des technologies d'imagerie ; de guidage pendant l'intervention et, de contrôle post-opératoire. La prise en charge des AAA est réalisée dans des salles de chirurgie dites « hybrides » qui combinent un équipement d'imagerie, et d'angiographie très performants dans un environnement stérile et contrôlé. Ces salles hybrides permettent de réaliser des procédures très complexes avec une dose de rayonnement ainsi qu'une quantité de produit de contraste nettement plus faibles qu'auparavant (37)(38)(39)(40).

### **Généralités**

En Imagerie médicale nous désignons par le terme tomographie l'ensemble des techniques d'imagerie qui permettent de reconstruire le volume d'un objet d'intérêt.

Lors d'une acquisition scannographique classique (TDM), un générateur de rayons X émet un faisceau qui est projeté est continu, en éventail (*fan beam*), puis traverse le patient placé sur une table mobile qui avance dans le plan de coupe. En face, se trouve une couronne de détecteurs, dont le nombre peut atteindre 128 sur les systèmes les plus récents (on parle alors de scanner multibarrettes). Le faisceau de rayon X est analysé après atténuation par le volume anatomique d'intérêt. La rotation du couple émetteur-détecteur ainsi que l'avancée de la table d'imagerie dans le plan de coupe permettent d'acquérir un grand nombre d'images qui sont ensuite reconstruites afin de représenter le volume anatomique d'intérêt en trois dimensions (**figure 6**).

Le CBCT se distingue du TDM par sa technique d'acquisition par capteur plan. Il est basé sur l'émission d'un faisceau conique (et non linéaire) de rayons X, pulsés, et l'obtention d'un nombre fini d'images planes (en deux dimensions) qui se répartissent selon la trajectoire de rotation circulaire du système. L'acquisition est réalisée en une seule rotation sans translation du patient. Le volume acquis correspond à un cylindre, dont les dimensions vont être déterminées par la taille du faisceau conique de rayons X et la surface du capteur plan. (41). Tout comme le scanner, le volume acquis est traité et peut être représentés sous différentes formes de reconstructions : reconstructions axiales, reconstruction multiplanaire (MPR), reconstruction volumique (3D), reconstruction projective de type projection d'intensité maximale (MIP), projection d'intensité minimale (minIP).



**Figure 6 : A :** Illustration d'une acquisition TDM spiralée **B :** en comparaison d'une acquisition CBCT.

Les avantages principaux du CBCT sont sa résolution spatiale très importante et le caractère isotrope du volume acquis. Chaque voxel, sous-unité élémentaire du volume acquis est de forme cubique, avec une résolution identique dans les trois

plans de l'espace. Les voxels produits par un scanner hélicoïdal classique sont de forme parallélépipédique rectangle, le volume est dit anisotrope avec une résolution qui diffère dans les trois plans de l'espace.

La limite principale du CBCT est un niveau de contraste plus faible que le TDM, et ce surtout pour les tissus mous. La plage dynamique permise par un scanner conventionnel est de 4096 niveaux de gris (soit 12 bits), tandis que le CBCT permet de mettre en évidence des différences d'atténuation de l'ordre de 10 UH(42)(43). Sa seconde limite est la taille du volume acquis, limité par la surface du capteur plan.

En salle hybride, le capteur plan associé à l'arceau mobile et la suite logicielle intégrée permettent de réaliser des CBCT. L'injection de produit de contraste iodé via un injecteur automatisé couplé au système d'imagerie permet de réaliser une angiographie 3D rotationnelle (ceCBCT). Les différents paramètres que l'on peut modifier et qui vont impacter la qualité d'image sont :

- Le nombre de projections (200 à 400 images planes)
- Le degré de rotation (180 à 250 degrés)
- La vitesse de rotation, le temps de rotation
- Les paramètres de l'injecteur (volume, débit et pression d'injection)
- La collimation du capteur plan

Dans notre institution, le système implanté en salle hybride est le système Innova CT (GE Healthcare, Waukesha, Wisconsin, USA).

Le contrôle final après l'exclusion endovasculaire d'un AAA en salle de chirurgie hybride repose sur CBCT avec injection de produit de contraste.

<b>Degré rotation (°)</b>	200°
<b>Temps de rotation (secondes)</b>	5 secondes
<b>Nombre de projections</b>	150
<b>Délai entre l'injection et le début de l'acquisition (secondes)</b>	3 secondes
<b>Volume injecté (mL)</b>	35 mL de PDC dilué dans 35 mL de SSI
<b>Débit d'injection (mL/s)</b>	10 mL/s
<b>Taille du capteur (cm)</b>	31 x 31

**Table 1** : Protocole de CBCT injecté. Innova CT (GE Healthcare, Waukesha, Wisconsin, USA).

## **POURQUOI REALISER UNE TOMOGRAPHIE VOLUMETRIQUE A FAISCEAU CONIQUE APRES EVAR ?**

L'inconvénient majeur du traitement endovasculaire des AAA est la survenue de complications secondaires liée à l'endoprothèse et la nécessité de réinterventions au cours du suivi. Au total, jusqu'à 15 % des patients nécessitent une reprise chirurgicale au cours de leur suivi après EVAR (33). La plupart des complications surviennent dans la période post-opératoire précoce (jusqu'à 10% des malades à J30 (20). Les anomalies précoces les plus fréquentes après EVAR sont des endofuites à haut débit (type 1 et 3), des thromboses et plicatures de jambage, ou la couverture accidentelle d'une artère rénale (34)(35). Avec l'introduction des endoprothèses fenêtrées et multibranches, les sources d'anomalies techniques sont encore plus nombreuses, ainsi jusqu'à un tiers des patients nécessitent une réintervention au cours de leur suivi, les endofuites à haut débit et les compressions de stent en représentant la moitié (44)(45).

Ces anomalies nécessitent le plus souvent une reprise chirurgicale rapide afin de prémunir les patients de complications plus graves comme la rupture aortique en cas d'endofuites à haut débit, l'ischémie aigue de membre en cas de plicature de jambage et la défaillance rénale en cas de thrombose ou de plicature de stent à destinée rénale.

L'angiographie 2D est l'examen de référence pour évaluer le succès technique après EVAR. Cependant, cet examen présente une limite majeure puisqu'il s'agit d'un examen en deux dimensions. Il est ainsi souvent difficile d'évaluer l'origine d'une endofuite ou la présence d'une plicature dans la structure métallique de l'endoprothèse et il est fréquemment nécessaire de réaliser des acquisitions répétées sous plusieurs incidences(46), ce qui augmente la dose de produit de contraste

potentiellement néphrotoxique injecté au patient, ainsi que l'exposition aux radiations ionisantes. La sensibilité et la spécificité de l'angiographie 2D pour détecter les endofuites ont été estimées à respectivement 63 % IC95 [60-70] et 77% IC95 [58-100]. La plupart des équipes réalisent donc un angioscanner avant la sortie du patient ou lors du premier mois après l'intervention ; pour pallier aux limitations de l'angiographie 2D et pour évaluer convenablement l'intégrité de l'endoprothèse et l'absence de complications mécaniques. La sensibilité et la spécificité de l'angioscanner à détecter les endofuites à haut débit sont nettement meilleures que l'angiographie 2D et ont été estimées à respectivement 92 % IC95[80-100] et 90% IC95[85-92]. (47)

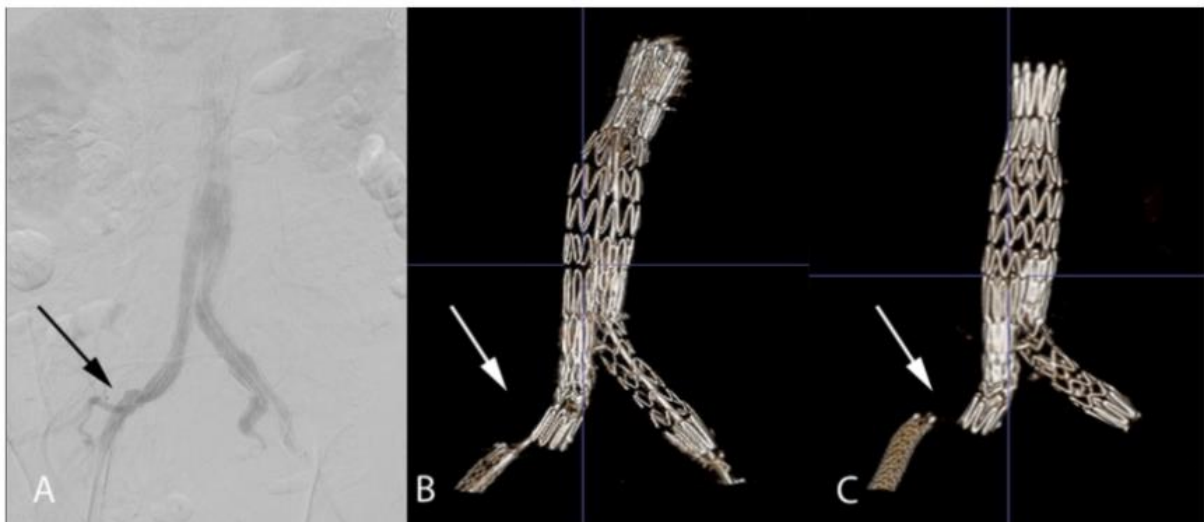
Cependant il s'agit d'un compromis non satisfaisant. En effet les complications détectées relèvent d'une reprise chirurgicale afin d'être corrigées ce qui représente une morbidité supplémentaire pour les patients. De plus, certaines anomalies comme les endofuites à haut débit nécessitent une prise en charge rapide pour éviter la rupture. La détection de ces anomalies trop tardivement au cours du suivi pourrait mettre les patients en danger.

L'angiographie 3D rotationnelle (ceCBCT), permet de répondre à plusieurs de ces problématiques. il s'agit d'un examen volumétrique, réalisable en salle hybride et permettant de réaliser des reconstructions de qualité proche d'un angioscanner(48).

Le CBCT a montré dans plusieurs études qu'il réduisait le taux de réintervention précoce après EVAR, en permettant une meilleure évaluation de l'intégrité de l'endoprothèse et des anomalies techniques par rapport à l'angiographie 2D.

Biasi et al. (49)ont démontré que le ceCBCT était plus performant que l'angiographie 2D pour évaluer le succès technique après EVAR. Chez les 80 patients qui ont

bénéficié du ceCBCT, L'angioscanner réalisé avant la sortie n'avait diagnostiqué aucune complication liée à l'endoprothèse qui n'avait pas été décrite sur le ceCBCT. Schultz et ses collaborateurs (50) ont montré que le CBCT pouvait détecter de façon fiable les complications liées à l'endoprothèse et qu'il était meilleur que l'angiographie 2 pour détecter les kinks et thromboses de jambage (**figure 7**), ce qui permettait d'améliorer les résultats opératoires et de réduire les taux de réintervention précoce. Törnqvist et al (51) ont démontré que le CBCT était supérieur dans la détection des problèmes structurels.



**Figure 7 A-C: Comparaison d'un contrôle final par angiographie uniplanaire et CBCT. A, Plicature en sortie de jambage iliaque droit non vu par l'angiographie 2D B-C, Plicature de jambage visible sur le CBCT après reconstruction. (*Intra-operative Cone Beam Computed Tomography can Help Avoid Reinterventions and Reduce CT Follow up after Infra-renal EVAR* P. Törnqvist \*, N. Dias, B. Sonesson, T. Kristmundsson, T. Resch°**

Dans une étude récente, Tenorio et al. ont évalué les bienfaits du CBCT dans une large cohorte de 386 F/BEVAR. Ils ont démontré que le taux d'interventions secondaires précoces (à 30 jours) était significativement plus faible chez les patients

ayant bénéficié d'un CBCT que chez ceux qui avaient subi des interventions sans TCCB (4 % vs 10 %,  $p=0,022$ )(39).

Dans une étude précédente (52), nous avons montré que le ceCBCT permettait de diagnostiquer un plus grand nombre d'anomalies techniques sur les endoprothèses aortiques en fin de procédure que l'angiographie 2D conventionnelle. Ceci entraînait plus de gestes complémentaires (nouvelle dilatation, extension de jambage, etc...) non planifiés pour corriger ces anomalies, mais les bénéfices à long terme de cette prise en charge plus « agressive » restaient débattus.

## **OBJECTIF**

L'objectif de ce travail est d'évaluer si la réalisation d'un ceCBCT et la correction peropératoire des anomalies détectées par le ceCBCT améliorent les résultats à moyen terme après EVAR.



## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Johnston KW, Rutherford RB, Tilson MD, Shah DM, Hollier L, Stanley JC. Suggested standards for reporting on arterial aneurysms. Subcommittee on Reporting Standards for Arterial Aneurysms, Ad Hoc Committee on Reporting Standards, Society for Vascular Surgery and North American Chapter, International Society for Cardiovascular Surgery. *J Vasc Surg.* mars 1991;13(3):452-8.
2. Gloviczki P, Pairolero P, Welch T, Cherry K, Hallett J, Toomey B, et al. Multiple aortic aneurysms: the results of surgical management. *J Vasc Surg.* janv 1990;11(1):19-27; discussion 27-28.
3. Sierevogel MJ, Pasterkamp G, Strauss DPV de K and BH. Matrix Metalloproteinases: A Therapeutic Target in Cardiovascular Disease [Internet]. *Current Pharmaceutical Design.* 2003 [cité 23 oct 2019]. Disponible sur: <http://www.eurekaselect.com/63986/article>
4. Brophy CM, Marks WH, Reilly JM, Tilson MD. Decreased tissue inhibitor of metalloproteinases (TIMP) in abdominal aortic aneurysm tissue: a preliminary report. *J Surg Res.* juin 1991;50(6):653-7.
5. Sampson UKA, Norman PE, Fowkes FGR, Aboyans V, Song Y, Harrell FE, et al. Estimation of Global and Regional Incidence and Prevalence of Abdominal Aortic Aneurysms 1990 to 2010. *Global Heart.* 1 mars 2014;9(1):159-70.
6. Singh K, Bønaa KH, Jacobsen BK, Bjørk L, Solberg S. Prevalence of and risk factors for abdominal aortic aneurysms in a population-based study: The Tromsø Study. *Am J Epidemiol.* 1 août 2001;154(3):236-44.
7. Lederle FA, Johnson GR, Wilson SE, Aneurysm Detection and Management Veterans Affairs Cooperative Study. Abdominal aortic aneurysm in women. *J Vasc Surg.* juill 2001;34(1):122-6.
8. Lederle FA, Johnson GR, Wilson SE, Chute EP, Littooy FN, Bandyk D, et al. Prevalence and associations of abdominal aortic aneurysm detected through

screening. Aneurysm Detection and Management (ADAM) Veterans Affairs Cooperative Study Group. *Ann Intern Med.* 15 mars 1997;126(6):441-9.

9. Cornuz J, Sidoti Pinto C, Tevaearai H, Egger M. Risk factors for asymptomatic abdominal aortic aneurysm: systematic review and meta-analysis of population-based screening studies. *Eur J Public Health.* déc 2004;14(4):343-9.

10. Adam DJ, Mohan IV, Stuart WP, Bain M, Bradbury AW. Community and hospital outcome from ruptured abdominal aortic aneurysm within the catchment area of a regional vascular surgical service. *J Vasc Surg.* nov 1999;30(5):922-8.

11. Huber TS, Harward TR, Flynn TC, Albright JL, Seeger JM. Operative mortality rates after elective infrarenal aortic reconstructions. *J Vasc Surg.* sept 1995;22(3):287-93; discussion 293-294.

12. Greenhalgh RM, Forbes JF, Fowkes FG, Powel JT, Ruckley CV, Brady AR, et al. Early elective open surgical repair of small abdominal aortic aneurysms is not recommended: results of the UK Small Aneurysm Trial. Steering Committee. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* déc 1998;16(6):462-4.

13. Gorham TJ, Taylor J, Raptis S. Endovascular treatment of abdominal aortic aneurysm. *Br J Surg.* juill 2004;91(7):815-27.

14. Badger SA, Harkin DW, Blair PH, Ellis PK, Kee F, Forster R. Endovascular repair or open repair for ruptured abdominal aortic aneurysm: a Cochrane systematic review. *BMJ Open.* 1 févr 2016;6(2):e008391.

15. Wanhainen A, Verzini F, Van Herzelee I, Allaire E, Bown M, Cohnert T, et al. Editor's Choice - European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* janv 2019;57(1):8-93.

16. Chaikof EL, Dalman RL, Eskandari MK, Jackson BM, Lee WA, Mansour MA, et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm. *Journal of Vascular Surgery.* 1 janv 2018;67(1):2-77.e2.

17. Dubost C, Allary M, Oeconomos N. Resection of an aneurysm of the abdominal aorta: reestablishment of the continuity by a preserved human arterial

graft, with result after five months. *AMA Arch Surg.* mars 1952;64(3):405-8.

18. Matas R. Surgery of the vascular system. *AMA Arch Surg.* 1 janv 1956;72(1):1-19.

19. Wiersema AM, Jongkind V, Bruijninx CMA, Reijnen MMPJ, Vos JA, van Delden OM, et al. Prophylactic perioperative anti-thrombotics in open and endovascular abdominal aortic aneurysm (AAA) surgery: a systematic review. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* oct 2012;44(4):359-67.

20. Greenhalgh RM, Brown LC, Kwong GPS, 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.* 4 sept 2004;364(9437):843-8.

21. Blankensteijn JD, de Jong SECA, Prinssen M, van der Ham AC, Buth J, van Sterkenburg SMM, et al. Two-year outcomes after conventional or endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. *N Engl J Med.* 9 juin 2005;352(23):2398-405.

22. Lederle FA, Freischlag JA, Kyriakides TC, Padberg FT, Matsumura JS, Kohler TR, et al. Outcomes following endovascular vs open repair of abdominal aortic aneurysm: a randomized trial. *JAMA.* 14 oct 2009;302(14):1535-42.

23. Becquemin J-P, Pillet J-C, Lescalie F, Sapoval M, Goueffic Y, Lermusiaux P, et al. A randomized controlled trial of endovascular aneurysm repair versus open surgery for abdominal aortic aneurysms in low- to moderate-risk patients. *J Vasc Surg.* mai 2011;53(5):1167-1173.e1.

24. Schermerhorn ML, O'Malley AJ, Jhaveri A, Cotterill P, Pomposelli F, Landon BE. Endovascular vs. open repair of abdominal aortic aneurysms in the Medicare population. *N Engl J Med.* 31 janv 2008;358(5):464-74.

25. De Bruin JL, Baas AF, Buth J, Prinssen M, Verhoeven ELG, Cuypers PWM, et al. Long-term outcome of open or endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *N Engl J Med.* 20 mai 2010;362(20):1881-9.

26. Knott AW, Kalra M, Duncan AA, Reed NR, Bower TC, Hoskin TL, et al. Open repair of juxtarenal aortic aneurysms (JAA) remains a safe option in the era of fenestrated endografts. *J Vasc Surg.* avr 2008;47(4):695-701.

27. Chong T, Nguyen L, Owens CD, Conte MS, Belkin M. Suprarenal aortic cross-clamp position: a reappraisal of its effects on outcomes for open abdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* avr 2009;49(4):873-80.
28. Landry G, Lau I, Liem T, Mitchell E, Moneta G. Open abdominal aortic aneurysm repair in the endovascular era: effect of clamp site on outcomes. *Arch Surg.* sept 2009;144(9):811-6.
29. Patel VI, Ergul E, Conrad MF, Cambria M, LaMuraglia GM, Kwolek CJ, et al. Continued favorable results with open surgical repair of type IV thoracoabdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* juin 2011;53(6):1492-8.
30. Martin GH, O'Hara PJ, Hertzner NR, Mascha EJ, Krajewski LP, Beven EG, et al. Surgical repair of aneurysms involving the suprarenal, visceral, and lower thoracic aortic segments: early results and late outcome. *J Vasc Surg.* mai 2000;31(5):851-62.
31. Rao R, Lane TRA, Franklin IJ, Davies AH. Open repair versus fenestrated endovascular aneurysm repair of juxtarenal aneurysms. *J Vasc Surg.* janv 2015;61(1):242-55.
32. Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD. Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg.* nov 1991;5(6):491-9.
33. Sampram ESK, Karafa MT, Mascha EJ, Clair DG, Greenberg RK, Lyden SP, et al. Nature, frequency, and predictors of secondary procedures after endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg.* mai 2003;37(5):930-7.
34. Hobo R, Buth J, EUROSTAR collaborators. Secondary interventions following endovascular abdominal aortic aneurysm repair using current endografts. A EUROSTAR report. *J Vasc Surg.* mai 2006;43(5):896-902.
35. Stather PW, Sidloff D, Dattani N, Choke E, Bown MJ, Sayers RD. Systematic review and meta-analysis of the early and late outcomes of open and endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *Br J Surg.* juin 2013;100(7):863-72.
36. Verhoeven ELG, Katsargyris A, Bekkema F, Oikonomou K, Zeebregts CJ a. M, Ritter W, et al. Editor's Choice - Ten-year Experience with Endovascular Repair of Thoracoabdominal Aortic Aneurysms: Results from 166 Consecutive Patients. *Eur J*

Vasc Endovasc Surg. mai 2015;49(5):524-31.

37. Hertault A, Maurel B, Midulla M, Bordier C, Desponds L, Kilani MS, et al. Editor's Choice – Minimizing Radiation Exposure During Endovascular Procedures: Basic Knowledge, Literature Review, and Reporting Standards. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 1 juill 2015;50(1):21-36.

38. Steuwe A, Geisbüsch P, Schulz CJ, Böckler D, Kauczor H-U, Stiller W. Comparison of Radiation Exposure Associated With Intraoperative Cone-Beam Computed Tomography and Follow-up Multidetector Computed Tomography Angiography for Evaluating Endovascular Aneurysm Repairs. *J Endovasc Ther*. août 2016;23(4):583-92.

39. Tenorio ER, Oderich GS, Sandri GA, Ozbek P, Kärkkäinen JM, Macedo TA, et al. Impact of onlay fusion and cone beam computed tomography on radiation exposure and technical assessment of fenestrated-branched endovascular aortic repair. *J Vasc Surg*. 4 déc 2018;

40. Rolls AE, Rosen S, Constantinou J, Davis M, Cole J, Desai M, et al. Introduction of a Team Based Approach to Radiation Dose Reduction in the Enhancement of the Overall Radiation Safety Profile of FEVAR. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 1 oct 2016;52(4):451-7.

41. Scarfe WC, Farman AG. What is cone-beam CT and how does it work? *Dent Clin North Am*. oct 2008;52(4):707-30, v.

42. Gupta R, Cheung AC, Bartling SH, Lisauskas J, Grasruck M, Leidecker C, et al. Flat-panel volume CT: fundamental principles, technology, and applications. *Radiographics*. déc 2008;28(7):2009-22.

43. Gupta R, Grasruck M, Suess C, Bartling SH, Schmidt B, Stierstorfer K, et al. Ultra-high resolution flat-panel volume CT: fundamental principles, design architecture, and system characterization. *Eur Radiol*. juin 2006;16(6):1191-205.

44. Mastracci TM, Eagleton MJ, Kuramochi Y, Bathurst S, Wolski K. Twelve-year results of fenestrated endografts for juxtarenal and group IV thoracoabdominal aneurysms. *J Vasc Surg*. févr 2015;61(2):355-64.

45. Amiot S, Haulon S, Becquemin J-P, Magnan P-E, Lermusiaux P, Goueffic Y,

et al. Fenestrated endovascular grafting: the French multicentre experience. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* mai 2010;39(5):537-44.

46. Bianchini Massoni C, Gargiulo M, Giovanetti F, Freyrie A, Faggioli G, Gallitto E, et al. Adjunctive stenting of endograft limbs during endovascular treatment of infrarenal aortic and iliac aneurysms according to 3-projection completion angiography. *J Endovasc Ther.* août 2011;18(4):585-90.

47. Armerding MD, Rubin GD, Beaulieu CF, Slonim SM, Olcott EW, Samuels SL, et al. Aortic aneurysmal disease: assessment of stent-graft treatment-CT versus conventional angiography. *Radiology.* avr 2000;215(1):138-46.

48. al TP et. Optimizing imaging for aortic repair. - PubMed - NCBI [Internet]. [cité 5 mars 2019]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25644824>

49. Biasi L, Ali T, Ratnam LA, Morgan R, Loftus I, Thompson M. Intra-operative DynaCT improves technical success of endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* févr 2009;49(2):288-95.

50. Schulz CJ, Schmitt M, Böckler D, Geisbüsch P. Intraoperative contrast-enhanced cone beam computed tomography to assess technical success during endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg.* sept 2016;64(3):577-84.

51. Törnqvist P, Dias N, Sonesson B, Kristmundsson T, Resch T. Intra-operative cone beam computed tomography can help avoid reinterventions and reduce CT follow up after infrarenal EVAR. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* avr 2015;49(4):390-5.

52. Hertault H, Maurel B, Pontana F, Martin-Gonzalez T, Spear R, Sobocinski J, et al. Benefits of Completion 3D Angiography Associated with Contrast Enhanced Ultrasound to Assess Technical Success after EVAR. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* mai 2015;49(5):541-8.

## ARTICLE

### **Intraoperative cone beam computed tomography to improve outcomes after endovascular aortic repairs.**

#### ABSTRACT

##### Background:

This study aims at evaluating if combining intraoperative contrast-enhanced cone beam computed tomography (ceCBCT) and postoperative contrast enhanced ultrasound (CEUS) to assess technical success after standard and complex endovascular aortic repair (EVAR & F/B-EVAR) could reduce late stentgraft-related complications, and/or stentgraft-related reinterventions. In a previous study, higher rates of early high-flow endoleak and limb kink were detected with ceCBCT, and conducted to immediate correction during the initial procedure. However, the long-term benefits of a better detection resulting in a more "aggressive" intra-operative attitude would remain debatable. We here report long-term outcomes of the same cohort of patients.

##### Methods:

All consecutive patients treated with infrarenal bifurcated or custom-made fenestrated/branched stentgrafts in our hybrid room (IGS 730, GE Healthcare) over the study period were included. From December 2012 to July 2013, final 2D completion angiogram (25cc of iodine at 15cc/sec) was performed at the end of the

procedure for each patient, and then a computed tomography angiography (CTA) before discharge (group 1). From October 2013 to April 2014, an intraoperative ceCBCT was performed, followed by CEUS during the 30-day post-operative period (group 2). Comparative analyses of late outcomes were undertaken.

The primary endpoint included late stentgraft-related complications, a composite factor defined by aneurysm-related death, type 1 or 3 endoleaks, kink or occlusion of target vessels, kink or occlusion of iliac limb and aortic sac enlargement. The secondary endpoint was stentgraft-related reinterventions.

Death from any cause and related to stentgraft were also depicted.

#### Results:

A total of 134 patients (79 in group 1 and 55 in group 2) were enrolled with a median follow up of 48 months [IQR 36-59]. 40 late stentgraft-related complications occurred in 25 patients in group 1 (31.7%), 12 events occurred in 9 patients in group 2 (16.7%)  $p=0.05$ , with a median time from index procedure at 24 [IQR 12-38] months and 24 [IQR 12-38] months respectively ( $p=0.80$ ).

Reintervention rates were respectively of 18.9% ( $n=15$ ) in group 1 and 14.8% ( $n=8$ ) in group 2 ( $p=0.5$ ), with a median time from the index procedure at 14 months [IQR 4.0-28.0] and 26 [IQR 4,3-45.8] months respectively ( $p=0.58$ ) in group 1 and in group 2. In multivariate analysis, CBCT did not significantly reduce the rate of late reintervention or stent-graft related adverse events but appears to protect from aortic sac enlargement OR=0.25, IC95% 0.07-0.91,  $p=0.035$ .



At the end of follow-up, there was no significant difference between the two groups in terms of death from any cause and aortic-related mortality.

Conclusion:

This study is the first to report the influence of routine ceCBCT on mid-term outcomes after standard and complex EVAR. Our results show that ceCBCT would protect from aortic sac enlargement and suggest a trend to reduce late stentgraft related reinterventions and late stentgraft related events. A randomized prospective study is



## INTRODUCTION

Endovascular aortic repair (EVAR) has become the 1<sup>st</sup> treatment option in aortic aneurysms following specific anatomical conditions. The first generations of infrarenal stentgrafts were associated with high rates of complications and secondary procedures. It has been reported that 15 % of patients underwent  $\geq 1$  secondary procedure during follow-up (128/10/y 13:18), with up to 1/3 of them occurring within 30 postop days (2). Type 1 and 3 endoleaks, stent migration, graft and limb thrombosis, accidental renal artery coverage are the most common reasons for secondary procedure (3)(4) (5)(6).

Most of stentgraft-related complications might be explained by technical issues during the index procedure not identified on the final 2D-angiogram. Completion uniplanar angiography (usually anteroposterior) is recommended for evaluating technical success after EVAR, although it has been shown as insufficient to detect all technical procedural issues especially high-flow endoleaks. Both sensitivity and specificity of uniplanar angiography to detect endoleaks have been estimated respectively at 63% [IC95=60-70%] and 77% [IC95=58-100%]; while for CTA (Computed Tomography Angiogram) it is 92% [IC95=80-100%] and 90% [IC95=85-92%] (7)(8)(9).

As a consequence, potential technical failures are missed with 2D angiogram and secondary detected with early postoperative CTA; those latter would conduct to early reinterventions which represent additional cost and additional morbidity.

The introduction of complex endovascular aneurysm repairs including branched and/or fenestrated stentgrafts with additional bridging stent(s) increases the potential sources of technical failure and requires final 3D reconstructions (10)(11).

Additionally, the cost-effectiveness of EVAR remains debatable mostly due to the rate of secondary interventions. This emphasizes the need for completion imaging strategies with improved sensitivity for endoleaks or kinks. (12)(13)(14)(15).

Final contrast-enhanced CBCT (ceCBCT) has the potential to improve outcome after EVAR with better depicting of technical failure. CBCT is an intraoperative 3D-imaging modality, offering high-spatial resolution and produce volumetric data able to be reconstructed and processed in a workstation during procedure. Several studies have established the short-term benefits of ceCBCT (16)(17)(18)(19).

In a previous study, ceCBCT has shown reduction in both radiation exposure and contrast media volume injection after infrarenal endovascular aortic repair (EVAR) and complex endovascular aortic repair (F/BEVAR) compared to a strategy including 2D angiogram and postoperative CTA (20). Moreover, higher rates of high flow endoleaks and limb kinks were detected with ceCBCT enabling immediate correction during the initial procedure.

The present study reports late outcomes of this initial cohort where ceCBCT has been completed during the index procedure (EVAR, F/B-EVAR).

## MATERIAL AND METHODS

### *Patient selection*

Patient selection and groups constitution have been described previously (20), and are briefly reviewed here. All consecutive patients treated with infrarenal bifurcated stentgraft (EVAR) or fenestrated (FEVAR) and branched (BEVAR) stentgrafts in our hybrid room (IGS 730, GE Healthcare, France) over the study period were included. Patients with renal insufficiency (DFG < 60 mL/min) or requiring emergency treatment were not included. Arch and isolated thoracic endovascular procedures were excluded.

Population was divided in 2 groups:

Group 1: From December 2012 to July 2013, a **2D completion angiogram** (25cc of iodine, at 15cc/sec, (Omnipaque 350, GE Healthcare)) was performed at the end of the procedure for each patient to assess technical success; a **computed tomography angiography** (CTA) was then performed before discharge (**group 1**).

Group 2: From October 2013 to April 2014, an intraoperative **ceCBCT** (40°/sec – 70cc of iodine (Omnipaque 350, GE Healthcare) diluted by half with saline at 10cc/sec with 3s of delay between the iodine injection and CBCT acquisition) was performed to assess technical success, followed by **CEUS** within the 30-day post-operative period (**group 2**).

### *Procedures*

All procedures were performed under fusion imaging guidance, according to the ALARA principles(21) (22). All patients underwent repair with Zenith platform devices (Cook Medical, IN, USA).

Primary technical success of the procedure was defined according to the reporting standards and including: the successful introduction and deployment of the stentgraft in the aneurysm with secure proximal and distal fixation without open surgical conversion and/or death, the absence of stentgraft-related complication (including high-flow endoleaks (type 1 and 3)), patent stentgraft without significant kink (> 30% of luminal stenosis) of iliac limb extensions and/or bridging stents, and no access complications (23).

### **Technical details**

#### **ceCBCT**

ceCBCT acquisition (40°/sec) was performed at the end of the procedure. A spin test was run before the acquisition to ensure the absence of collision between the patient, the table and the gantry, and to check whether the acquisition volume is properly centered on the stentgraft.

A power injector was used for contrast media injection with the following parameters: injection of 35 mL of iodine (Omnipaque 350, GE Healthcare), diluted with 35 mL of saline at a flow rate of 10 mL/second, the delay between the contrast injection and the acquisition was set at 3 seconds.

The 31x31 cm flat panel robotic gantry was rotated over 200 degrees, 150 angiographic projections were acquired during 5 seconds with 1.33 degrees increment. The projections images were automatically transferred to a dedicated workstation and automatically reconstructed (Advantage Window; GE Healthcare, Milwaukee, USA). The resulting volume was an 18.3 cm diameter cylinder, reconstructed data were displayed using cross-sectional axial reconstruction,

multiplanar (MPR), maximum intensity projection (MIP) and 3D volume rendering (3DVR) views.

### ***2D completion Angiography***

Completion angiography was performed using a power injector with the following parameters: injection of 25 mL of contrast medium (Omnipaque 350, GE Healthcare), diluted by half with saline with a flow rate at 10 mL/second.

Two experienced endovascular therapists reviewed final control imaging, aiming at depicting high flow endoleaks (type I or III), limb kinks and evaluating the integrity and good positioning of bridging stents through fenestrations.

When above-mentioned issues were detected, immediate correction was attempted. It is referred later in the manuscript as additional unplanned procedures at the index surgery.

### ***Contrast-Enhanced Ultra-Sound (CEUS)***

CEUS is an imaging modality used routinely in our center after endovascular aortic repairs. It is performed by three experienced vascular therapists. (24)(25)

US examinations include a standard morphological investigation in B-mode followed by a blood flow analysis in pulse wave modality. CEUS was performed after the administration of an intravenous bolus of 2.5 mL of SonoVue (Bracco, Milan, Italy), flushed with a 5 mL bolus of isotonic saline solution. Endoleak detection was performed at a low mechanical index (0.2e0.3) and with the focus positioned behind the aorta to delay bubble destruction.

**CTA**

In group 1, the postoperative three-phase CTA was performed within 7 days of the procedure on a 64-slice multi-detector CT system (Brilliance 64, Philips Healthcare, Best, The Netherlands). The injection protocol includes the administration of 120 mL of a contrast agent with 350 mg of iodine per milliliter (Ioversol, Optiject; Guerbet, Roissy, France) at a flow rate of 4 mL/second. The acquisition was initiated by bolus tracking within the aorta at the level of the thoraco-abdominal junction. The triphasic acquisitions (unenhanced, arterial, and delayed phases) were systematically obtained with a maximum tube current of 150-250 mAs, dependent on automatic selection, and a longitudinal dose modulation (ACS & Z-DOM; Philips Healthcare)

**Data collection**

Data were collected in a prospective database with retrospective analyses. Demographic characteristics, medical history, anatomical measurements and surgical data of the population were collected.

**Follow up**

Follow-up visits were scheduled at 6, 12, 18 months after the procedure and yearly thereafter. All patients underwent a physical examination at each follow-up visit, and abdominal color duplex ultrasonography. A reference three-phase CTA was performed during the first 12 months period after the procedure and patient's risk was stratified accordingly.



Thereafter, follow up CTA were realized yearly. All available CTA completed over the FU period were analyzed on a dedicated 3D-workstation (Aquarius, Terarecon). Aortic sac diameter was measured and collected after centerline reconstruction, endoleaks, stengraft/bridging stents integrity and/or patency were reported.

All post-operative complications and reinterventions were collected, and the delays between the index procedure and the post-operative complications were noted.

### **Objectives**

The primary endpoint was late stentgraft-related complications, a composite criterion defined as aneurysm-related deaths, secondary high flow endoleaks including type 1 and 3 endoleaks, secondary kink or occlusion of bridging stent, secondary kink or occlusion of iliac limb, and aortic sac enlargement.

The secondary endpoint was stentgraft-related reinterventions defined as all device related procedures occurring after the index procedure. Additional outcome included death from any cause.

Outcomes were assessed in accordance with SVS reporting standards for EVAR (23). An endoleak observed after the perioperative period (>30 days) was considered as a secondary endoleak (26). In the same way, any bridging stent or iliac limb kink or thrombosis depicted after the perioperative period was considered as secondary. Aortic sac enlargement was considered as significant if  $\geq 5$ mm. Aneurysm-related mortality was defined as all deaths within 30 days of the primary procedure, within 30 days of any re-intervention attributable to the aneurysm, from other aneurysm-related causes (including graft infection), or from secondary aneurysm rupture after repair (23). Stentgraft-related reinterventions occurring within the 30-day postoperative

period or during the initial hospitalization (if >30 days) were deemed as early-reinterventions.

### **Statistical Analysis**

All statistical analysis were performed using SAS advanced statistics 2.0 (IBM, New York, USA). Descriptive study of the cohort was performed. Continuous variables were expressed as median with inter-quartile range (IQR=[Q1-Q3]), or mean with standard deviation. Categorical variables are presented as a percentage and 95% confidence interval.

Comparisons between categorical variables were performed with the chi-square test (or Fisher exact test) and between continuous variables with the Student t test, or with the Mann-Whitney test.

A composite criterion defined as late stentgraft-related complications and including aortic-related deaths, secondary high flow endoleaks including type 1 and 3 endoleaks, secondary kink or occlusion of bridging stent, secondary kink or occlusion of iliac limb, and aortic sac enlargement (defined by an enlargement >5mm) was created. Survival analyses were performed according to the Kaplan- Meier model. Curves were compared with a log-rank test, and then results were adjusted with a hazard ratio model according to non-comparable preoperative variables.

Relationships between ceCBCT, reinterventions, late stentgraft-related complications and sac enlargement were analyzed in binary logistic regression or hazard ratio models (when duration between the index procedure and the event was available).

When relationship between the composite criterion and a quantitative covariate was not linear, the covariate was recoded into a binary variable. Recoding threshold was determined by minimizing the Bayesian information criterion of the model. Multivariate models were constructed by including all variables with p-value <0.10 in univariate analyses or considered clinically relevant. Selection of covariates was done manually until a relevant and meaningful model was obtained and then refined according to different automatic selection procedures (ascending, descending or stepwise).

Sub-analyses were performed according to the type of endograft (standard EVAR versus F/BEVAR). A p value <.05 was considered significant.

## RESULTS

79 consecutive patients were included in group 1 and 54 patients in group 2. Baseline characteristics were previously described(20) and presented in table 1. Briefly, mean age of our cohort was 70.6 years and 95.5% were male. The mean maximum diameter of the aneurysm sac at initial procedure was 54 mm. 72 patients were treated with a bifurcated stentgraft, and 61 with F/BEVAR. In the F/BEVAR subgroup, devices with fenestrations only, branches only, and a combination of both were used. The average number of target vessel included per patient was 3.5+/-0.2 and 34 patients (25.6%) had four targeted vessels or more.

The two groups were similar in terms of comorbidities. The mean time of follow-up was higher in group 1, 54 months [IC95%: 37-61] and 47.5 months [IC95%: 35-50] respectively (p=0.005).

Early outcomes were also previously reported (20). Peri-operative event detection rates were 8.9%(n=7) and 33.3% (n=18) in group 1 and 2 (p<.001). Additional procedures at the index surgery were performed in 7 patients (8.9%) in group 1 versus 17 (31.5%) in group 2 (p=0.001).

**Table I. Baseline characteristics of the patients**

<i>Characteristics</i>	Total (n = 133)	AP + CTA (n = 79)	CBCT + CEUS (n = 54)	<i>P</i> value
<b>Male sex</b>	127 (95.5%)	75 (94.9%)	52 (96.3%)	0.71
<b>Age, years</b>	70.6 (+/-8.2)	71.1 (+/-8.1)	69.9 (+/-8.4)	0.45
<b>Body mass index, kg/m<sup>2</sup></b>	27.7 (+/-5.3)	27.1 (+/-4.6)	28.7 (+/-6.1)	0.11
<b>Tobacco use</b>	40 (30.1%)	26 (32.9%)	14 (25.9%)	0.35
<b>Hypertension</b>	116 (87.2%)	69 (87.3%)	47 (87.0%)	0.96
<b>Coronary artery disease</b>	58 (43.6%)	32 (40.5%)	26 (48.2%)	0.38
<b>Cerebrovascular disease</b>	23 (17.3%)	13 (16.5%)	10 (18.5%)	0.76
<b>DFG (ml/min)</b>	82.5 (+/-23.3)	78.5 (+/-23.6)	88.3 (+/-21.7)	0.02
<b>Diabetes mellitus</b>	28 (21.1%)	17 (21.5%)	11 (20.4%)	0.87
<b>COPD</b>	45 (35.9%)	30 (37.9%)	17 (32.7%)	0.54
<b>Aneurysm Sac maximum diameter</b>	54 (51-59)	55 (51-60)	53 (51-58)	0.52
<i>Procedure type</i>				
<b>-Bifurcated</b>	54.9% (72)	54.4% (43)	53.7% (29)	
<b>-Fenestrated</b>	37.6% (50)	38.0% (30)	37.0% (20)	
<b>-Branched</b>	8.3% (11)	7.6% (6)	11.1% (5)	

**Late stent-graft related complications**

40 late complications occurred in 25 patients in group 1 (31.7%), 12 complications occurred in 9 patients in group 2 (16.7%), with a median time from index procedure at 24 [IQR 12-38] months and 24 [IQR 12-38] months in both groups Late complications are reported in **table II**.

At 48 months from the index procedure, freedom from late stent-graft related complications probabilities were 72.4% (95 % CI [62.7-83.6]) for the AP+CTA group and 82% (95 % CI [71.2-94.4]) for the CBCT+CEUS group (logrank  $P=0.36$ ). Freedom from stent-graft related late complications estimates by Kaplan Meier method are reported in **Figure 1**.

Table II. Follow up

<b><i>Follow Up</i></b>	<b>Total (n = 133)</b>	<b>AP + CTA (n = 79)</b>	<b>CBCT + CEUS (n = 54)</b>
<b>Mean follow up, months</b>	48 (36-59)	54 (37-61)	47.5 (35-50)
<b>High Flow Endoleaks</b>	12 (9 %)	10 (12.7%)	2 (3.7%)
<b>Ia</b>	6 (5.5%)	5 (6.3%)	1 (1.9%)
<b>Ib</b>	5 (3.8%)	5 (6.3%)	-
<b>III</b>	1 (0.8%)	-	1 (1.9%)
<b>Target vessel/Bridging stent kink</b>	1 (0.8%)	1 (1.3%)	-
<b>Bridging stent fracture</b>	-	-	-
<b>Bridging stent thrombosis</b>	4 (3%)	2 (2.5%)	2 (3.7%)
<b>Limb kink</b>	2 (1.6%)	1 (1.3%)	1 (1.9%)
<b>Limb thrombosis</b>	7 (5.3%)	5 (6.3%)	2 (3.7%)
<b>Aortic sac enlargement &gt;5mm</b>	18 (13.5%)	15 (18.9%)	3 (5.6%)
<b>Accidental renal artery coverage</b>	1 (0.8%)	-	1 (1.9%)
<b>Mean Maximum sac diameter at end of FU (mm)</b>	45 (38.3-55)	45 (38-55)	46 (40-54)
<b>Aortic sac evolution (mm)</b>	-6 (-14;-0)	-7.5 (-15;0)	-5 (-13;-1)

High flow endoleaks rates were respectively 12.7% in group 1 (n=10/79) and 3.7% in the group 2 (n=2/54). Five type 1A endoleaks were detected in group 1 (6.3%), whereas only 1 type 1A endoleak was detected in group 2 (1.9%). Five Type 1B endoleaks were detected in group 1 whereas none occurred in group 2. One Type III endoleaks was detected in group 2.

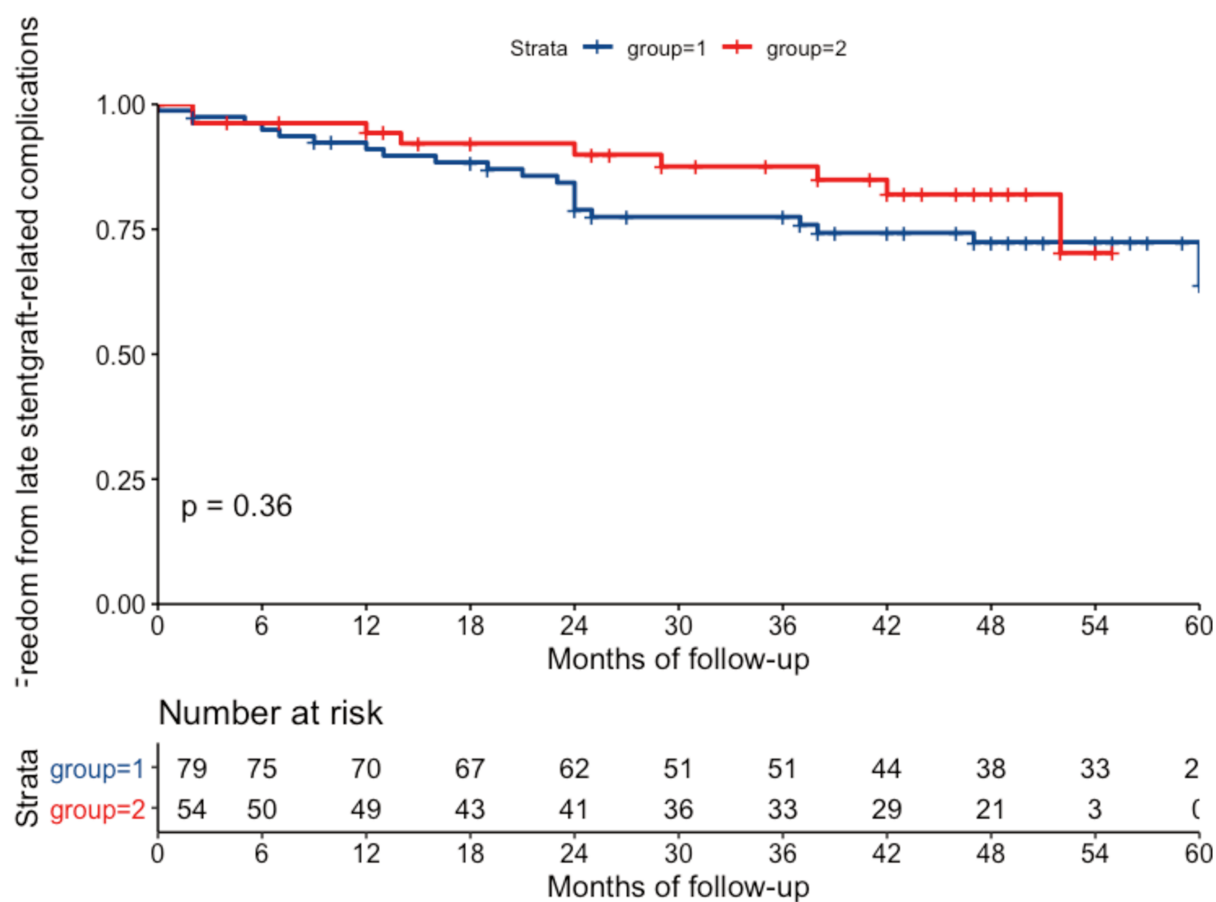
At some point of the follow up, 15 (18.9%) patients experienced an aortic sac enlargement in the group 1 and 3 patients (5.6%) in the group 2. Freedom from aortic sac enlargement is reported in Figure 2b. In multivariate analysis, ceCBCT appears to independently protect from aortic sac enlargement (OR=0.25, IC95% [0.07-0.91], p=0.035). In our serie, age >70 was also associated with a increased risk of aortic sac enlargement OR=4.06, IC95%[1.24-13.32], p=0.021.

Stentgraft type was not predictive of late stentgraft related complication OR=1.02, (95% CI, [0.51-2.01]), p=0.966

In multivariate analysis, CBCT was not protective from the onset of late stentgraft related event HR=1.733, 95% CI [0.758-3.959], p=0.192. The diagnosis of a high flow endoleak during initial procedure in both groups was predictive of the onset of late stent-graft event during follow up HR=2.844, 95% CI[1.028-7.864], p=0.044.



**Figure I: Kaplan Meier estimates of late stentgraft-related complications probabilities**



Delay (months)	12	24	36	48
<b>AP + CTA</b>				
Survival (%)	91.0%	78.9%	77.5%	72.4%
[CI95%]	[84.9-97.6]	[70.2-88.7]	[68.6-87.5]	[62.7-83.6]
Late complications (n)	7	16	17	21
Patients at risk (n)	70	62	51	38
<b>CBCT + CEUS</b>				
Survival %	94.3%	89.9%	87.6%	82.0%
[CI95%]	[88.2-100.0]	[81.9-98.7]	[78.7-97.5]	[71.2-94.4]
Late complications (n)	3	5	6	8
Patients at risk (n)	49	41	33	21

CI : confidence interval

**Stentgraft related reinterventions**

A total of 19 reinterventions were performed in 15 patients in group 1 (18.9 %), and 9 reinterventions were performed in 8 patients in group 2 (14.8%). with a median time from index procedure at 14 months (IQR [4.0-28.0]) months and 26 months (IQR [4.3-45.8]) months respectively,  $p=0.58$ .

Three early reinterventions (within 30 days of initial EVAR or within first hospitalization) were performed in group 1 (3.8%), and 2 (3.7%) in group 2 ( $p=.978$ ).

Early reinterventions are reported in **Table IIIA**.

**Table IIIA. Indications for early stentgraft-related reinterventions ( $\leq 30$  day)**

	Delay (days)	Indication for early reintervention
<b>Group 1</b>	<b>8</b>	<b>Left renal stent fracture</b>
	7	Left limb kink
	30	Type III endoleak
<b>Group 2</b>	30	Left renal stent thrombosis
	26	Stentgraft infection

Forty-eight months after the initial procedure, the freedom from reintervention rates were 80.9% (95% CI, 72.2-90.5) in group 1 (AP+CTA) and 82.5% (95 % CI, 70.9-96.1) in group 2 (CBCT+CEUS) ( $p=0.86$ ). Freedom from reintervention estimates by Kaplan Meier method are reported in Figure 2.

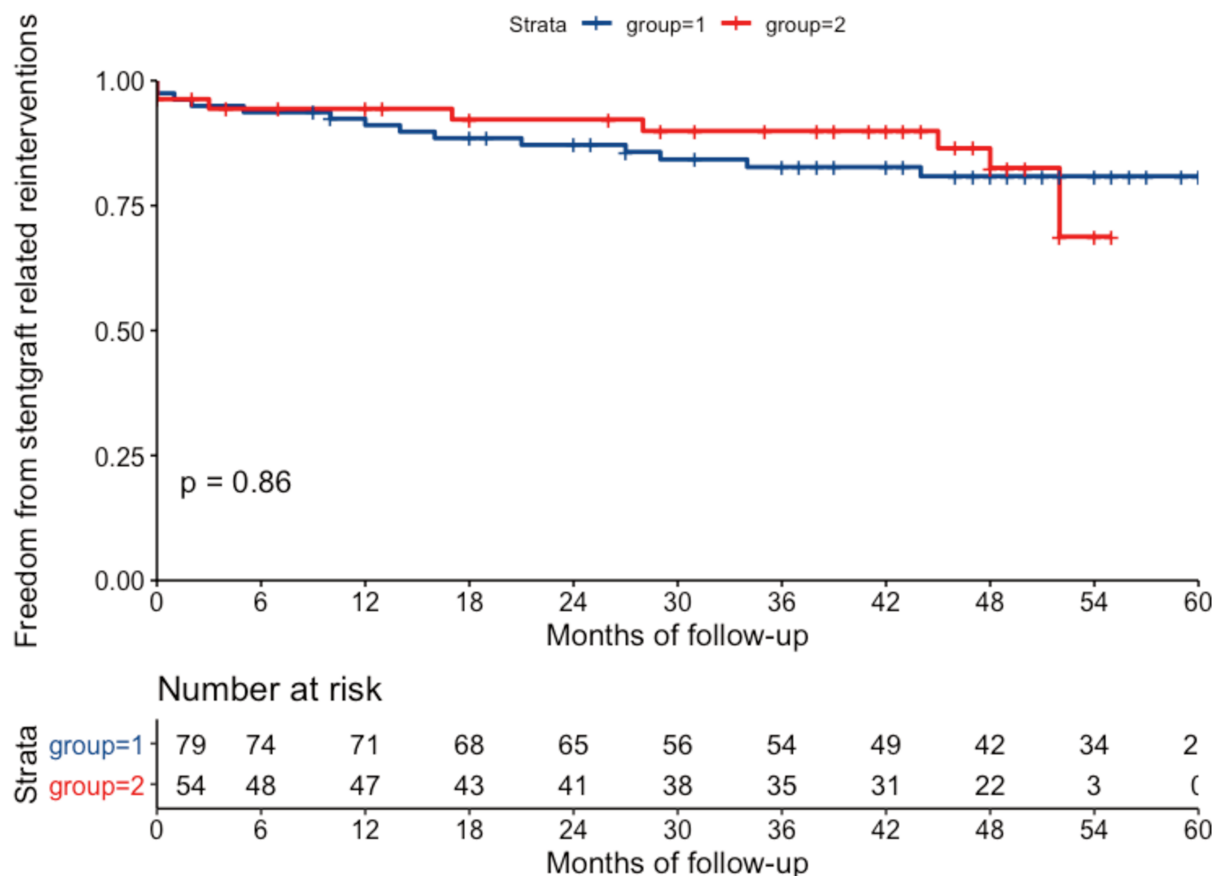
The main indication for reintervention in group 1 was high flow endoleaks (n=10/19, 52.6%).

In group 2 (CBCT + CEUS), main causes for reintervention were high-flow endoleaks (n=2/9, 22.2%), limb graft thrombosis (n=2/9, 22.2%) and limb graft kink (n=2/9, 22.2%). No patient required a secondary procedure for type 1B endoleaks, and one patient required a proximal fenestrated cuff to correct a type 1A endoleak. Indications for stentgraft-related reinterventions occurring after early follow-up (>30 days) are listed in **table IIIb**.

**Table IIIb: Indications for stentgraft-related reinterventions (>30 days)**

	Total (n = 133)	AP + CTA (n = 79)	CBCT + CEUS (n = 54)	P value
<b>Any</b>	<b>n=24</b>	<b>n=16</b>	<b>n=8</b>	0.42
<b>High-flow endoleak</b>	45.8% (n=11/24)	56.3% (n=9/16)	25% (n=2/8)	<b>0.11</b>
<b>- Type 1A</b>	20.8% (n=5/24)	25% (n=4/16)	12.5% (n=1/8)	0.33
<b>- Type 1B</b>	20.8% (n=5/24)	31.3% (n=5/16)	-	<b>0.05</b>
<b>- Type 3</b>	4.2% (n=1/24)	-	12.5% (n=1/8)	0.22
<b>Type 2 Endoleak</b>	8.3% (n=2/24)	6.25% (n=1/16)	12.5% (n=1/8)	0.78
<b>Limb thrombosis</b>	20.8% (n=5/24)	18.8% (n=3/16)	25% (n=2/8)	0.98
<b>Limb kink</b>	4.2%(n=1/24)	-	12.5% (n=1/8)	0.22
<b>Bridging stent thrombosis</b>	8.3% (n=2/24)	6.25% (n=1/16)	12.5% (n=1/8)	0.78
<b>Bridging stent kink</b>	4.2% (n=1/24)	6.25% (n=1/16)	-	0.41
<b>Accidental renal artery coverage</b>	4.2% (n=1/24)	-	12.5% (n=1/8)	0.22
<b>Bowel resection</b>	4.2% (n=1/24)	6.25% (n=1/16)	-	0.41

**Figure II: Kaplan Meier estimates of reintervention probabilities**



Delay (months)	12	24	36	48
<b>AP + CTA</b>				
Survival (%)	91.1%	89.51%	85.03%	83.18%
[CI95%]	[85.0-97.6]	[80.0-94.9]	[74.5-91.8]	[72.2-90.5]
Reinterventions (n)	7	10	13	11
Patients at risk (n)	71	65	54	42
<b>CBCT + CEUS</b>				
Survival %	98.0%	95.94%	91.2%	82.5%
[CI95%]	[88.4-100.0]	[85.2-99.9]	[81.9-98.8]	[70.9-96.1]
Reinterventions (n)	3	4	5	7
Patients at risk (n)	47	41	35	22

CI : confidence interval

## Survival

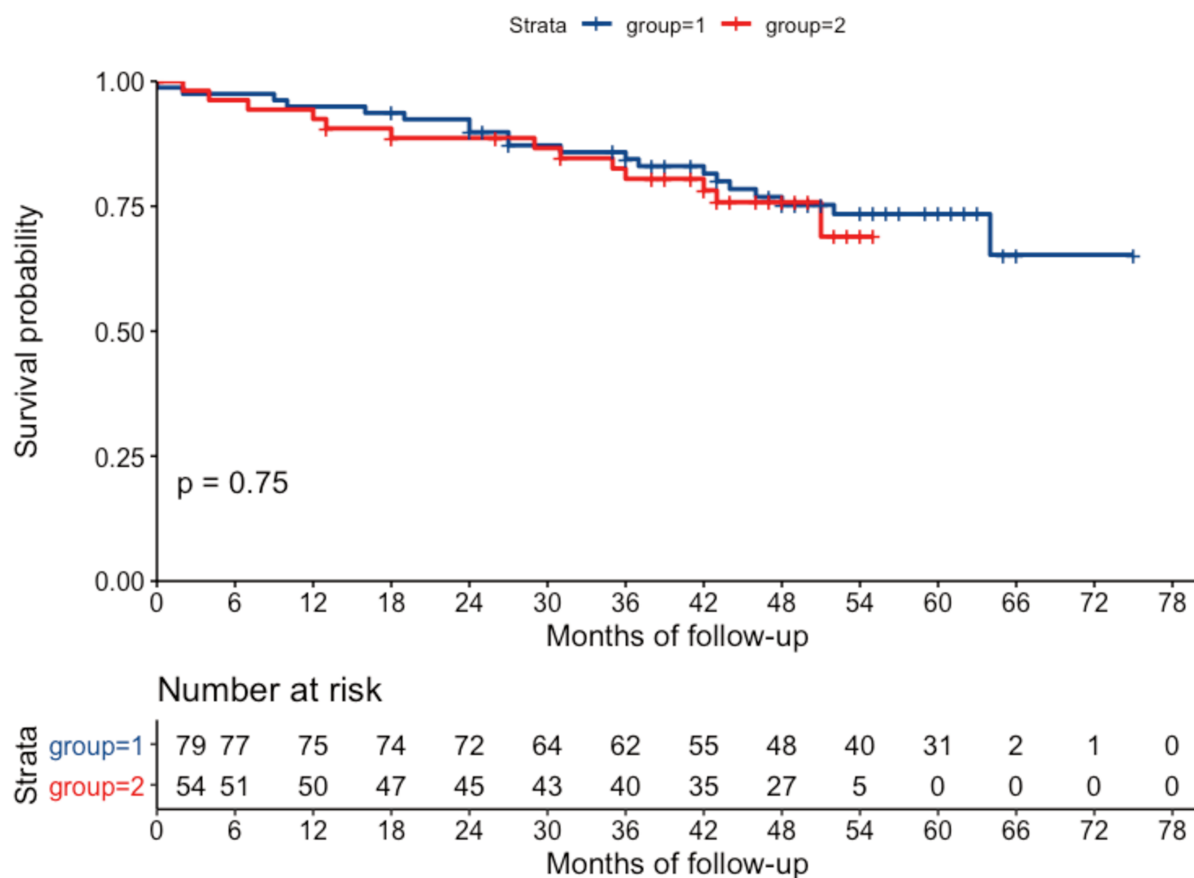
A total of 33 deaths were reported during the study period. At 48 months, the estimated survival rates were 76.9 % (95% CI, 65.3-85.0) for the AP+CTA group and 75.8 % (95% CI, 61.2-85.5) for the CBCT+CEUS group. There was no significant difference between the two groups in terms of death from any cause ( $p=0.75$ ). Aneurysm related mortality was reported in 5 patients in group 1 (6.3%) including 1 death due to late aortic rupture after the onset of a type 1a endoleak. Aneurysm related mortality was reported in 1 patient in group 2 (1.9%), and no late rupture was documented in this group. Aortic related deaths are reported in Table IV. Overall estimated survival is reported in Table IV.

**Table IV. Aortic related deaths**

	Delay (months)	Cause of death
AP+CTA	0	Early postop cardiac arrest
	16	Mesenteric ischemia
	1	MO failure after pneumonia
	24	MO failure after acute limb Ischemia
	64	Late Rupture
CBCT	2	MO failure and ACS

*ACS : Abdominal compartment syndrome, MO: Multiple organ*

**Figure III: Kaplan Meier estimates of global survival**



Delay (months)	12	24	36	48
<b>AP + CTA</b>				
Survival (%)	94.94%	92.39%	85.82%	76.87%
[CI95%]	[87.07-98.07]	[83.84-96.51]	[75.84-91.89]	[65.34-84.99]
deaths (n)	4	6	11	17
Patients at risk (n)	75	72	62	48
<b>CBCT + CEUS</b>				
Survival %	94.3%	88.64%	82.55%	75.81%
[CI95%]	[83.47-98.14]	[76.44-94.73]	[69.10-90.52]	[61.20-85.54]
deaths (n)	3	6	9	12

---

Patients at risk (n)	50	45	40	27
----------------------	----	----	----	----

---

*CI : confidence interval*



### Subgroup analysis

In the sub-group analysis, there was no statistical difference, between EVAR and F/BEVAR concerning both reinterventions and late stent-graft related complications.

At some point during follow up and among the F/BEVAR subgroup, 6 (16.7%) patients needed a least one reintervention in the group 1 and 2 patients in group 2 (8%).

Among the patients who had F/BEVAR, the diagnosis of a high flow endoleak during initial procedure was predictive of the onset of late stent-graft event during follow up HR=5.076, IC 95%[1.091-23.626], p=0.038.

**Table Va. Sub group analysis – Primary endpoints**

F/BEVAR	Total (61 patients)	AP + CTA (n = 36)	CBCT + CEUS (n =25)	P value
Stentgraft-related	13.1% (n=8)	16.7% (n=6)	8% (n=2)	0.32
Reinterventions				
Late Stentgraft-related complications	24.6% (n=15)	30.6% (n=11)	16% (n=4)	0.19
<hr/>				
EVAR	Total (72)	AP + CTA (n=43)	CBCT + CEUS (n=29)	P value
Stentgraft-related	20.8% (n=15)	20.9% (n=9)	20.7% (n=6)	0.98
Reinterventions				
Late Stentgraft-related complications	26.4% (n=19)	32.6% (n=14)	17.2% (n=5)	0.15

**Table Vb. F/BEVAR specific late stentgraft related complications**

F/BEVAR	Total (61)	AP + CTA (n = 36)	CBCT + CEUS (n =25)	P value
<b>Bridging stent kink</b>	1,6% (n=1)	2,8% (n=1)	-	.40
<b>Bridging stent fracture</b>	-	-	-	-
<b>Bridging stent thrombosis</b>	6,6% (n=4)	5,6% (n=2)	8% (n=2)	.70

## DISCUSSION

This study is the first to report the influence of routine ceCBCT on mid-term outcomes after standard and complex EVAR. Our results suggest a trend to reduce late aortic related procedures and late stentgraft related events with a completion protocol including ceCBCT.

### **Impact on late stent-graft related complications**

High-flow endoleaks have been reported to be the main late complication after EVAR and occur in up to 20–25% of patients (3). They are frequently depicted late in the follow up, are responsible of late reinterventions, can result in device failure or rupture (27) and justify a prolonged if not a lifelong follow-up (28).

In this study, late stentgraft related complications were observed two times more in the traditional completion angiogram group. We reported a trend to reduce late aortic related events at midterm, especially high flow endoleaks, when ceCBCT was performed. Indeed, several secondary high flow endoleaks were detected in group 1 during follow up especially type 1b endoleaks (6.3%, n=5) and type 1a endoleaks (6.3%, n=5), whereas no type 1B and only one type A endoleak occurred in the ceCBCT group. Interestingly, the rate of high flow endoleaks reported after CBCT and treated in the same operating time in this serie was originally surprisingly high (n=10, 18.5%). (20)

Moreover, patients presenting with aortic sac expansion during follow up were more frequent when only a 2D completion angiogram was performed and ceCBCT appeared to be an independent protective factor from aneurysm sac expansion (OR=0.25, IC95%[0.07-0.91], p=0.035) during follow-up in logistic regression. This

suggests that more patient in group 1 could suffer from underdiagnosed endoleaks during follow-up, responsible for sac enlargement and worse outcomes. Recent data demonstrated that aneurysm sac behavior was predictive of late aortic events (including new endoleaks, reinterventions and rupture). For example, Deer and al. (29) suggested that aortic sac expansion was associated with higher long term mortality rates HR=1.5; 95% CI, 1.1-2.0;  $P = .01$  while Donell and al. demonstrated that not only sac expansion but any failure of the sac to regress was associated with worse outcomes. (30). Routine completion CBCT might then have the potential to impact long-term morbi-mortality after EVAR.

### **Impact on late aortic related reinterventions**

Late events and secondary procedures after EVAR are still an issue, and the risk for late reinterventions is persistent even after five years of the initial procedure (31). Longer term follow up of EVAR 1 trial reported secondary reinterventions rate approaching 20% at 5 years (32). In recent literature, a meta-analysis of 14 trials, estimated combined re-intervention-free survival after EVAR at 94%, 89.9%, 86.9%, 84.9% at 1, 2, 3 and 4 years respectively.(33) Freedom from secondary interventions at 1 year, 3 years, and 5 years after fenestrated and branched endovascular repair has been previously evaluated at 88.2%, 78.8%, and 70.2% in our institution(34). Mastracci and al. (10) reported a cohort of 650 group IV TAAA and juxtarenal aneurysm, 5 years freedom from secondary reintervention was 84 % (CI, 78–90 %). In the cohort presented here, 17,2% (n=23) of the patients needed at least one reintervention during a median follow up of 48 months, which is in line with the current literature (considering that this cohort included both EVAR and F/BEVAR).

Average mean time to reintervention in current literature is 12 months for EVAR cases (3)(35) and ranges from 7 months to 10 months for F/BEVAR (36)(37)(11).

This study showed that after 48 months of follow up, patients of this cohort continued to be submitted to device related secondary procedures. On the whole cohort, a total of 28 reinterventions were performed in 23 patients. Reinterventions rates between patients undergoing a CA as a final control image modality and patients undergoing ceCBCT were similar (15 patients (18.9%) needed at least one late reinterventions in group 1 whereas 8 (14.8%) patients required a least one late procedure in group 2). However, two main differences can be underlined.

Firstly, the most common indication for reintervention in group 1 was high flow endoleaks (10/19, 52.6%) when only two high flow endoleaks required secondary intervention in group 2 (2/9, 22.2%). Moreover, no type Ib endoleaks were depicted in group 2 (versus n=5/79, 6.3% in group 1). Interestingly, in our early report (20), this was the most commonly detected cause of technical failure with ceCBCT, and the main reason for additional unplanned gesture during the index procedure. None of those patients presented a sac enlargement or a high flow endoleak during follow-up. Our hypothesis is that prompt correction of all type 1 endoleaks depicted with ceCBCT in the initial stage prevent from a higher rate of late high flow endoleaks and sac enlargement at mid-term outcomes.

Secondly, the median time from index procedure to reintervention was doubled when ceCBCT was performed (26 months in group 2 compared to 14 months in

group 1), which could suggest that late reinterventions in group 1 would be related to small technical failures not depicted by standard 2D completion angiogram during the index procedure, responsible for earlier adverse outcomes.

### **Impact on Mortality**

At 4 years, the estimated survival rate approximated 75% in both groups, in line with previous reported studies (38)(39)(40). The majority of late deaths were non-aorta and non-device related, 5 (6.3%) aorta and device related deaths were reported in group 1, including 1 late aortic rupture, and only 1 (1.9%) aortic related death occurred in the ceCBCT group without rupture.

### **Follow up Scheme**

Uniplanar angiography has long been the gold standard for evaluating immediate technical success after EVAR. There are situations where the two-dimensional nature of the completion angiography does not allow for proper visualization of the origin of an endoleak, and multiple projections are often required to properly evaluate an endoleak.(8) The sensitivity and specificity of completion angiography to detect endoleaks have been estimated respectively at 63% IC 95 [ 60-70%] and 77% IC95 [58-100%], while it is 92% IC95 [ 80-100%] and 90% IC95 [85-92%] for CTA (9). Recently, Schulz and al. showed a sensitivity of 100% for ceCBCT compared with both DSA and CTA and a specificity of 78.8% (95% CI, 67.7%-86.0%) compared with DSA and 82.9% (95% CI, 74.4%-91.4%) compared with CTA, consequently ceCBCT could replace both DSA and pre-discharge CTA after EVAR.(17) Several other retrospective small cohorts have demonstrated the early benefits of ceCBCT after standard EVAR and It's ability to better detect high-flow endoleaks and stentgraft

structural problems, thus permitting immediate correction (18)(16). In a recent large review of 396 F/BEVAR cases, Tenorio and al. (19) confirmed the impact of ceCBCT and fusion overlay guidance in the treatment of TAAA and PRAAA with a significant reduction of early reintervention rate (4% vs 10%,  $p=.022$ ). They demonstrated that DSA did not properly detected 25 structural anomalies (11%) including 10 high flow endoleaks, which have been detected in predismisal CTA and prompted reinterventions in 22 patients. Among F/BEVAR cases with CBCT/onlay fusion, only 4 patients (2%) with normal findings on DSA and CBCT had CTA findings prompting secondary interventions.

In our institution, technical success after standard and complex EVAR is evaluated with a plain routine CBCT in the hybrid room and a CEUS is performed before discharge. A reference CTA is then performed within the first year. CEUS performs well at detecting endoleaks presenting 91% (95% CI 0.68 to 0.98) for sensitivity and 89% (95% CI 0.71 to 0.96) for specificity(41). In the early report of this cohort we showed that CEUS did not diagnose any technical problems (including endoleaks) that had not been diagnosed using ceCBCT. This suggests that ceCBCT alone can assess technical success following EVAR. The new study presented here underlines the potential benefits of ceCBCT at midterm.

Most recent ESVS guidelines still recommend a follow up scheme with repeated aortic imaging over the 5 years period after standard EVAR. Success should be assessed by an early CTA imaging when a completion angiogram is performed and FU scheme should be stratified accordingly to risk of late aortic related complications

(42). If ceCBCT is performed after EVAR, it could replace both DSA and predismittal CTA. First FU CTA could be consequently performed within the first year.

### **Limitations**

- This is a non randomized small retrospective Cohort, with a lack of statistical power.
- Bifurcated and complex procedures were pooled and cohort was too small to perform complex sub-group analyses
- Since it is a consecutive cohort, median follow up from index procedure were significantly different between the two groups, 54 vs 47.5 months ( $p=.009$ ), which can lead to bias.
- As expressed in our initial report, our hybrid room gantry is equipped with a 31x31 cm flat panel detector. The resulting volume was sufficient to assess technical success and sealing zones after standard bifurcated or fenestrated cases, but more proximal sealing zone in the thoracic aorta or branched endografting could not be assessed with a single acquisition. Most recent systems, which are equipped with a large field of view (41x41cm), could solve this issue.



## **CONCLUSION**

This Study is the first to report the impact of ceCBCT on midterm outcomes after EVAR and F/BEVAR. Our findings suggest that a workflow combining contrast enhanced CBCT and CEUS to assess technical success after standard and complex EVAR could reduce late stent-graft related complications and stentgraft-related reinterventions compared to previous protocols combining Completion 2D angiography and CTA.

A prospective randomized study is needed to confirm long-term impact of ceCBCT after standard and complex EVAR.



## **CONCLUSION GENERALE**

Cette étude est la première à évaluer l'impact du ceCBCT sur les résultats à moyen terme après EVAR. Nos résultats montrent qu'une stratégie de contrôle comportant un ceCBCT protège d'une majoration significative du sac anévrysmal OR=0.25, IC95% 0.07-0.91, p=0.035 et suggèrent une tendance à la réduction du taux de complications tardives liées à l'endoprothèse et de réinterventions liées à l'endoprothèse.

Un essai contrôlé randomisé est nécessaire afin d'étayer ces résultats.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Sampram ESK, Karafa MT, Mascha EJ, Clair DG, Greenberg RK, Lyden SP, et al. Nature, frequency, and predictors of secondary procedures after endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg.* mai 2003;37(5):930-7.
2. Greenhalgh RM, Brown LC, Kwong GPS, 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.* 4 sept 2004;364(9437):843-8.
3. Hobo R, Buth J, EUROSTAR collaborators. Secondary interventions following endovascular abdominal aortic aneurysm repair using current endografts. A EUROSTAR report. *J Vasc Surg.* mai 2006;43(5):896-902.
4. Stather PW, Sidloff D, Dattani N, Choke E, Bown MJ, Sayers RD. Systematic review and meta-analysis of the early and late outcomes of open and endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *Br J Surg.* juin 2013;100(7):863-72.
5. Lederle FA, Freischlag JA, Kyriakides TC, Matsumura JS, Padberg FT, Kohler TR, et al. Long-term comparison of endovascular and open repair of abdominal aortic aneurysm. *N Engl J Med.* 22 nov 2012;367(21):1988-97.
6. Brewster DC, Jones JE, Chung TK, Lamuraglia GM, Kwolek CJ, Watkins MT, et al. Long-term outcomes after endovascular abdominal aortic aneurysm repair: the first decade. *Ann Surg.* sept 2006;244(3):426-38.
7. Sandford RM, Batchelder AJ, Bown MJ, Sayers RD. Pre-discharge duplex ultrasound scans detect endoleaks not seen on completion angiography after

endovascular aneurysm repair. *J Endovasc Ther.* juin 2010;17(3):349-53.

8. AbuRahma AF. Fate of endoleaks detected by CT angiography and missed by color duplex ultrasound in endovascular grafts for abdominal aortic aneurysms. *J Endovasc Ther.* août 2006;13(4):490-5.

9. Armerding MD, Rubin GD, Beaulieu CF, Slonim SM, Olcott EW, Samuels SL, et al. Aortic aneurysmal disease: assessment of stent-graft treatment-CT versus conventional angiography. *Radiology.* avr 2000;215(1):138-46.

10. Mastracci TM, Eagleton MJ, Kuramochi Y, Bathurst S, Wolski K. Twelve-year results of fenestrated endografts for juxtarenal and group IV thoracoabdominal aneurysms. *J Vasc Surg.* févr 2015;61(2):355-64.

11. Amiot S, Haulon S, Becquemin J-P, Magnan P-E, Lermusiaux P, Goueffic Y, et al. Fenestrated endovascular grafting: the French multicentre experience. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* mai 2010;39(5):537-44.

12. van Bochove CA, Burgers LT, Vahl AC, Birnie E, van Schothorst MG, Redekop WK. Cost-effectiveness of open versus endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg.* mars 2016;63(3):827-838.e2.

13. Stone DH, Horvath AJ, Goodney PP, Rzucidlo EM, Nolan BW, Walsh DB, et al. The financial implications of endovascular aneurysm repair in the cost containment era. *J Vasc Surg.* févr 2014;59(2):283-90, 290.e1.

14. Epstein D, Sculpher MJ, Powell JT, Thompson SG, Brown LC, Greenhalgh RM. Long-term cost-effectiveness analysis of endovascular versus open repair for abdominal aortic aneurysm based on four randomized clinical trials. *Br J Surg.* mai 2014;101(6):623-31.

15. Burgers LT, Vahl AC, Severens JL, Wiersema AM, Cuypers PWM, Verhagen HJM, et al. Cost-effectiveness of Elective Endovascular Aneurysm Repair Versus Open Surgical Repair of Abdominal Aortic Aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* juill 2016;52(1):29-40.
16. Biasi L, Ali T, Ratnam LA, Morgan R, Loftus I, Thompson M. Intra-operative DynaCT improves technical success of endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* févr 2009;49(2):288-95.
17. Schulz CJ, Schmitt M, Böckler D, Geisbüsch P. Intraoperative contrast-enhanced cone beam computed tomography to assess technical success during endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg.* sept 2016;64(3):577-84.
18. Törnqvist P, Dias N, Sonesson B, Kristmundsson T, Resch T. Intra-operative cone beam computed tomography can help avoid reinterventions and reduce CT follow up after infrarenal EVAR. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* avr 2015;49(4):390-5.
19. Tenorio ER, Oderich GS, Sandri GA, Ozbek P, Kärkkäinen JM, Macedo TA, et al. Impact of onlay fusion and cone beam computed tomography on radiation exposure and technical assessment of fenestrated-branched endovascular aortic repair. *J Vasc Surg.* 4 déc 2018;
20. Hertault A, Maurel B, Pontana F, Martin-Gonzalez T, Spear R, Sobocinski J, et al. Benefits of Completion 3D Angiography Associated with Contrast Enhanced Ultrasound to Assess Technical Success after EVAR. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* mai 2015;49(5):541-8.
21. Bevelacqua JJ. Practical and Effective ALARA. *Health Physics* [Internet]. mai 2010 [cité 4 août 2019];98(2). Disponible sur: [insights.ovid.com](https://www.ovid.com)

22. Hertault A, Maurel B, Midulla M, Bordier C, Desponds L, Kilani MS, et al. Editor's Choice – Minimizing Radiation Exposure During Endovascular Procedures: Basic Knowledge, Literature Review, and Reporting Standards. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 1 juill 2015;50(1):21-36.
23. Chaikof EL, Blankensteijn JD, Harris PL, White GH, Zarins CK, Bernhard VM, et al. Reporting standards for endovascular aortic aneurysm repair. *Journal of Vascular Surgery*. 1 mai 2002;35(5):1048-60.
24. Perini P, Sediri I, Midulla M, Delsart P, Gautier C, Haulon S. Contrast-enhanced ultrasound vs. CT angiography in fenestrated EVAR surveillance: a single-center comparison. *J Endovasc Ther*. oct 2012;19(5):648-55.
25. Perini P, Sediri I, Midulla M, Delsart P, Mouton S, Gautier C, et al. Single-centre prospective comparison between contrast-enhanced ultrasound and computed tomography angiography after EVAR. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. déc 2011;42(6):797-802.
26. White GH, Yu W, May J, Chaufour X, Stephen MS. Endoleak as a complication of endoluminal grafting of abdominal aortic aneurysms: classification, incidence, diagnosis, and management. *J Endovasc Surg*. mai 1997;4(2):152-68.
27. Schlösser FJV, Gusberg RJ, Dardik A, Lin PH, Verhagen HJM, Moll FL, et al. Aneurysm Rupture after EVAR: Can the Ultimate Failure be Predicted? *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 1 janv 2009;37(1):15-22.
28. Chaikof EL, Dalman RL, Eskandari MK, Jackson BM, Lee WA, Mansour MA, et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm. *Journal of Vascular Surgery*. 1 janv 2018;67(1):2-77.e2.

29. Deery SE, Ergul EA, Schermerhorn ML, Siracuse JJ, Schanzer A, Goodney PP, et al. Aneurysm sac expansion is independently associated with late mortality in patients treated with endovascular aneurysm repair. *Journal of Vascular Surgery*. 1 janv 2018;67(1):157-64.
30. O'Donnell TFX, Deery SE, Boitano LT, Siracuse JJ, Schermerhorn ML, Scali ST, et al. Aneurysm sac failure to regress after endovascular aneurysm repair is associated with lower long-term survival. *Journal of Vascular Surgery*. 1 févr 2019;69(2):414-22.
31. Zaiem F, Almasri J, Tello M, Prokop LJ, Chaikof EL, Murad MH. A systematic review of surveillance after endovascular aortic repair. *Journal of Vascular Surgery*. 1 janv 2018;67(1):320-331.e37.
32. EVAR trial participants. Endovascular aneurysm repair versus open repair in patients with abdominal aortic aneurysm (EVAR trial 1): randomised controlled trial. *Lancet*. 25 juill 2005;365(9478):2179-86.
33. Nordon IM, Karthikesalingam A, Hinchliffe RJ, Holt PJ, Loftus IM, Thompson MM. Secondary Interventions Following Endovascular Aneurysm Repair (EVAR) and the Enduring Value of Graft Surveillance. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 1 mai 2010;39(5):547-54.
34. Calster KV, Bianchini A, Elias F, Hertault A, Azzaoui R, Fabre D, et al. Risk factors for early and late mortality after fenestrated and branched endovascular repair of complex aneurysms. *Journal of Vascular Surgery*. 1 mai 2019;69(5):1342-55.
35. Laheij RJF, Buth J, Harris PL, Moll FL, Stelter WJ, Verhoeven ELG. Need for secondary interventions after endovascular repair of abdominal aortic aneurysms.



Intermediate-term follow-up results of a European collaborative registry (EUROSTAR). *BJS*. 2000;87(12):1666-73.

36. Mastracci TM, Greenberg RK, Eagleton MJ, Hernandez AV. Durability of branches in branched and fenestrated endografts. *J Vasc Surg*. avr 2013;57(4):926-33; discussion 933.

37. Tambyraja AL, Fishwick NG, Bown MJ, Nasim A, McCarthy MJ, Sayers RD. Fenestrated Aortic Endografts for Juxtarenal Aortic Aneurysm: Medium Term Outcomes. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 1 juill 2011;42(1):54-8.

38. Oderich GS, Ribeiro M, Hofer J, Wigham J, Cha S, Chini J, et al. Prospective, nonrandomized study to evaluate endovascular repair of pararenal and thoracoabdominal aortic aneurysms using fenestrated-branched endografts based on supraceliac sealing zones. *J Vasc Surg*. 2017;65(5):1249-1259.e10.

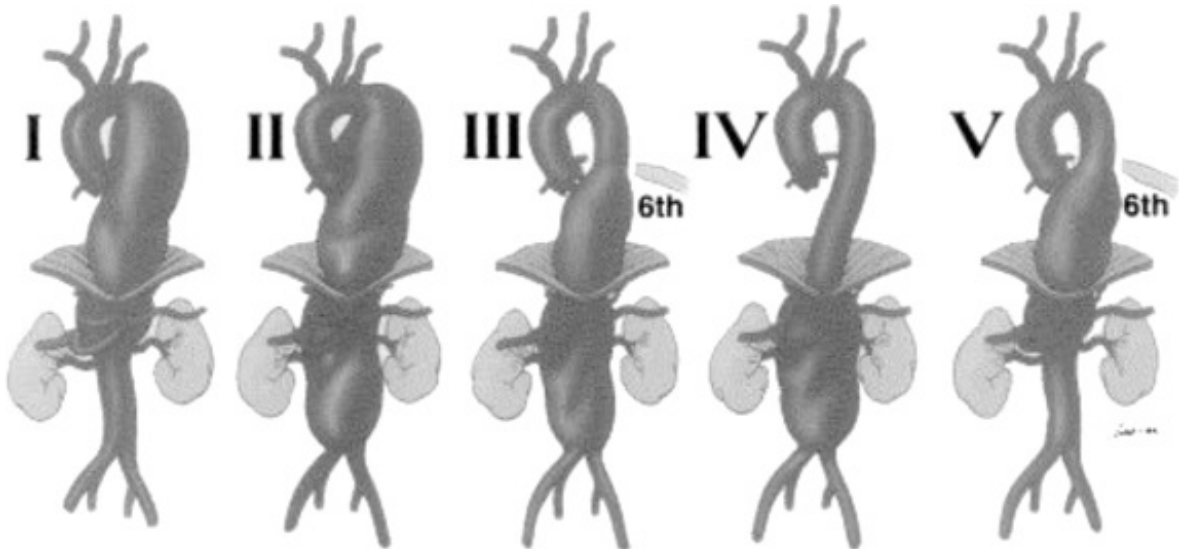
39. Patel R, Sweeting MJ, Powell JT, Greenhalgh RM. Endovascular versus open repair of abdominal aortic aneurysm in 15-years' follow-up of the UK endovascular aneurysm repair trial 1 (EVAR trial 1): a randomised controlled trial. *The Lancet*. 12 nov 2016;388(10058):2366-74.

40. Powell JT, Sweeting MJ, Ulug P, Blankensteijn JD, Lederle FA, Becquemin J-P, et al. 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(3):166-78.

41. Abraha I, Luchetta ML, De Florio R, Cozzolino F, Casazza G, Duca P, et al. Ultrasonography for endoleak detection after endoluminal abdominal aortic aneurysm repair. *Cochrane Database Syst Rev*. 09 2017;6:CD010296.

42. Wanhainen A, Verzini F, Van Herzele I, Allaire E, Bown M, Cohnert T, et al. Editor's Choice - European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* janv 2019;57(1):8-93.

## ANNEXES



**Annexe 1: Classification des anévrysmes thoraco-abdominaux selon Crawford, modifiée par Safi.**

Type I: Après l'origine de l'ASCG jusqu'à l'origine des artères rénales, sans toucher l'aorte infrarénale.

Type II: Après l'origine de l'ASCG jusqu'à la bifurcation aortique

Type III: Allant du 6<sup>ème</sup> espace intercostal jusqu'à la bifurcation aortique

Type IV: Allant du hiatus diaphragmatique jusqu'à la bifurcation aortique.

Type V: Allant du 6<sup>ème</sup> espace intercostal jusqu'à l'aorte supra-rénale.

*Safi HJ, Winnerkvist A, Miller CC, Iliopoulos DC, Reardon MJ, Espada R, et al. Effect of extended cross-clamp time during thoracoabdominal aortic aneurysm repair. Ann Thorac Surg. oct 1998;66(4):1204-9.*

<b>Recommendation 24</b>		
<b>When rapid abdominal aortic aneurysm growth is observed (<math>\geq 1</math> cm/year), fast track referral to a vascular surgeon with additional imaging should be considered</b>		
Class	Level	References
<b>IIa</b>	<b>C</b>	[194,195]

<b>Recommendation 22</b>		
<b>In men, the threshold for considering elective abdominal aortic aneurysm repair is recommended to be <math>\geq 5.5</math> cm diameter</b>		
Class	Level	References
<b>I</b>	<b>A</b>	[189]

<b>Recommendation 23</b>		
<b>In women with acceptable surgical risk the threshold for considering elective abdominal aortic aneurysm repair may be considered to be <math>\geq 5.0</math> cm diameter</b>		
Class	Level	References
<b>IIb</b>	<b>C</b>	[199,171,91,198,200]

**Annexe 2 : Recommandations de l'ESVS sur la prise en charge des anévrysmes de l'aorte abdominale.**

*Wanhainen A, Verzini F, Van Herzele I, Allaire E, Bown M, Cohnert T, et al. Editor's Choice - European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms. Eur J Vasc Endovasc Surg. janv 2019;57(1):8-93.*

We recommend elective repair for the patient at low or acceptable surgical risk with a fusiform AAA that is  $\geq 5.5$  cm.

Level of recommendation	1 (Strong)
Quality of evidence	A (High)

We suggest repair in women with AAA between 5.0 cm and 5.4 cm in maximum diameter.

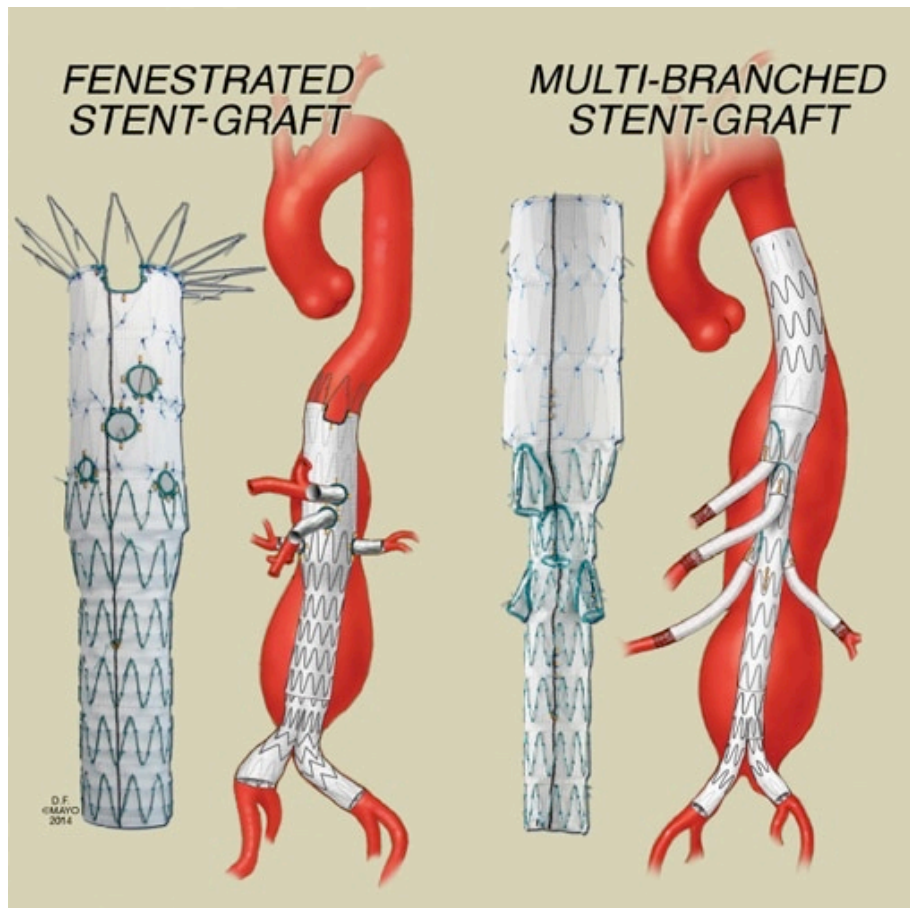
Level of recommendation	2 (Weak)
Quality of evidence	B (Moderate)

We recommend repair for the patient who presents with an AAA and abdominal or back pain that is likely to be attributed to the aneurysm.

Level of recommendation	1 (Strong)
Quality of evidence	C (Low)

### **Annexe 3 : Recommandations de la SVS sur la prise en charge des anévrysmes de l'aorte abdominale**

*Chaikof EL, Dalman RL, Eskandari MK, Jackson BM, Lee WA, Mansour MA, et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm. Journal of Vascular Surgery. 1 janv 2018;67(1):2-77.e2.*



**Annexe 4 : Exemples d'endoprothèse aortiques sur mesures A. Fenêtrée B. Multibranches.** *Mayo Foundation for Medical Education and Research 2017 ©*



**AUTEUR : Nom : LERISSON**

**Prénom : EROL**

**Date de Soutenance : 8 novembre 2019**

**Titre de la Thèse : Impact de la tomographie volumétrique par faisceau conique (CBCT) sur les réinterventions tardives et les événements tardifs liés à l'aorte après EVAR**

**Thèse - Médecine - Lille 2019**

**Cadre de classement : Chirurgie vasculaire**

**DES + DESC : DES Chirurgie générale, DESC Chirurgie vasculaire**

**Mots-clés : ceCBCT, EVAR, F/BEVAR**

**Résumé : Contexte :** Lors d'une précédente étude, il était constaté que le CBCT permettait de diagnostiquer plus d'anomalies techniques sur les endoprothèses aortiques (plicature, endofuite distale) en fin de procédure que l'angiographie 2D conventionnelle. Ceci entraînait plus de gestes complémentaires non planifiés pour corriger ces anomalies, mais les bénéfices à long terme de cette prise en charge plus « agressive » restaient débattus. Le but de cette étude est d'évaluer si le traitement per-opératoire des anomalies détectées par le CBCT améliore les résultats à long terme après EVAR.

**Méthode :** Il s'agit d'une étude monocentrique rétrospective, incluant tous les patients traités par endoprothèses bifurquées, fenêtrées et branchées en salle hybride sur deux périodes. De décembre 2012 à juillet 2013, le succès technique était contrôlé par une angiographie 2D en fin d'intervention, puis par un angioTDM (CTA) avant la sortie (groupe 1). D'octobre 2013 à avril 2014, un CBCT peropératoire (40°/sec - 35cc d'iode dilué dans 35 cc de sérum physiologique) était réalisé, suivi d'un CEUS avant la sortie (groupe 2). Si une anomalie technique était détectée sur l'angiographie ou le CBCT elle était traitée dans le même temps opératoire. Le taux de réintervention liée à l'endoprothèse (EDP) et la survenue de complications tardives liées à l'EDP (définies par la mortalité liée à l'aorte, endofuites de type 1 ou 3 secondaires, les plicatures ou thromboses de vaisseaux cibles ou de jambage et l'accroissement >5mm du sac anévrysmal) étaient étudiés.

**Résultats :** 133 patients étaient inclus dans l'étude (79 dans le groupe 1 et 54 dans le groupe 2) avec un suivi médian de 48 [36-59] mois. Les diamètres aortiques initiaux étaient respectivement de 55 (51-60) mm et 53 (51-58) mm. 40 complications tardives liées à l'EDP survenaient chez 25 patients (31.7%) dans le groupe 1 et 12 événements chez 9 patients (16.7%) dans le groupe 2 (p=0.05). Les taux de réinterventions liées à l'EDP étaient respectivement de 18.9% (n=15) et de 14.8% (n=8) (p=0.46). En analyse multivariée, le CBCT ne réduisait pas significativement le taux de réintervention ou de complications tardives liés à l'EDP, mais prévenait la majoration du diamètre au cours du suivi (OR=0.25, IC95% 0.07-0.91, p=0.035).

**Conclusion :** Cette étude est la première à évaluer l'impact du ceCBCT sur les résultats à moyen terme après EVAR. Nos résultats montrent qu'une stratégie de contrôle comportant un ceCBCT protège d'une majoration significative du sac anévrysmal OR=0.25, IC95% 0.07-0.91, p=0.035 et suggèrent une tendance à la réduction du taux de complications tardives liées à l'endoprothèse et de réinterventions liées à l'endoprothèse.

**Composition du Jury :**

**Président : Monsieur le Professeur Jonathan SOBOCINSKI**

**Assesseurs : Madame la Professeure Claire MOUNIER-VEHIER, Monsieur le Docteur François PONTANA, Monsieur le Docteur Adrien HERTAULT**