



UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE - LILLE 2

**FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG**

Année : 2017

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT  
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**Applicabilité d'un modèle d'endoprothèse aortique branchée  
standardisée pour la prise en charge des lésions distales de la crosse  
aortique nécessitant une couverture de l'artère sous-clavière gauche**

Présentée et soutenue publiquement le 5 mai 2017 à 18h  
au Pôle Formation  
**Par Justine MOUGIN**

---

**JURY**

**Président :**

**Monsieur le Professeur Stéphan HAULON**

**Assesseurs :**

**Monsieur le Professeur Francis JUTHIER**

**Monsieur le Docteur Dominique FABRE**

**Directeur de Thèse :**

**Monsieur le Docteur Jonathan SOBOCINSKI**

**Travail du Service de Chirurgie Vasculaire, Hôpital Cardiologique, LILLE**

---

## **AVERTISSEMENT**

**La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises  
dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteur(e)s.**

## **Liste des abréviations**

ACCG : Artère Carotide Commune Gauche

ASCG : Artère Sous Clavière Gauche

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

HAS : Haute Autorité de Santé

EDP : Endoprothèse

TABC : Tronc Artériel Brachio-Céphalique

## **List of abrevations**

BCT : Brachio-Cephalic Trunk

CTA : Computed Tomography Angiogram = Angioscanner

CLF: CenterLine of Flow

DTA: Descending Thoracic Aorta

ESVS: European Society of Vascular Surgery

LCCA : Left Common Carotid Artery

LSA : Left Subclavian Artery

MPR: Multiplanar Reconstruction

OTS : « off-the-shelf »

SVS : Society of Vascular Surgery (Société américaine de chirurgie vasculaire)

TEVAR : Thoracic EndoVascular Aortic Repair

USBE : Unique Single Branch Endograft

## TABLE DES MATIERES

<b>RESUME .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>3</b>
<b>GENERALITES .....</b>	<b>3</b>
<b>ANATOMIE .....</b>	<b>3</b>
<b>POURQUOI UNE ENDOPROTHESE THORACIQUE BRANCHEE POUR L'ASCG ? .....</b>	<b>5</b>
<b>OBJECTIF .....</b>	<b>7</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIES .....</b>	<b>8</b>
<b>ARTICLE.....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>14</b>
<b>METHODS.....</b>	<b>15</b>
IMAGING ANALYSIS .....	15
TECHNICAL CHARACTERISTICS AND DESIGN OF THE STANDARDISED DEVICE .....	20
APPLICABILITY OF THE ENDOGRAFT.....	20
STATISTICAL ANALYSIS.....	21
<b>RESULTS.....</b>	<b>21</b>
CLINICAL DATA .....	21
ANATOMICAL DATA .....	22
ANALYSIS OF THE LSA POSITION.....	24
APPLICABILITY OF THE "OTS" ENDOGRAFT .....	25
<b>DISCUSSION.....</b>	<b>27</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>29</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>31</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>34</b>

## RESUME

**Objectif :** La couverture volontaire de l'artère sous-clavière gauche (ASCG) lors de l'implantation d'une endoprothèse thoracique aortique (TEVAR) pour le traitement des lésions distales de la crosse aortique exposerait le patient à un risque de complications neurologiques en l'absence de revascularisation préalable. Notre équipe participe au développement d'une endoprothèse (EDP) thoracique branchée standardisée qui permettrait au moyen d'une branche interne de maintenir la perfusion de l'ASCG ; cette EDP comporte une échancrure pour l'artère carotide commune gauche (ACCG, 30mm de largeur, 15mm de hauteur, positionnée à midi (12 :00)), ainsi qu'une branche interne rétrograde pour l'ASCG (20mm de longueur, dont l'origine est 24mm sous le bas de l'échancrure, positionnée à 12:15). L'étude présentée ici a évalué l'applicabilité de cette nouvelle EDP.

**Méthode :** A partir des données de l'angioscanner préopératoire, l'anatomie de la crosse aortique de l'ensemble des patients ayant bénéficié d'une EDP thoracique avec couverture de l'ASCG dans notre centre entre 2011 et 2016 a été étudiée : l'angulation de la crosse aortique, la position horaire de l'origine des troncs supra-aortiques et la distance les séparant ont été relevées. L'origine de l'ACCG a été définie comme point de référence (0°). La proportion de patients éligibles à une prise en charge par cette EDP standardisée a ainsi pu être déterminée.

**Résultats :** 80 patients ont été inclus. Neuf d'entre eux présentaient une naissance de l'artère vertébrale gauche sur la crosse nécessitant une transposition dans l'ASCG ou l'ACCG avant l'implantation de l'EDP. L'aorte thoracique avait un diamètre médian de 32mm [29-35] au pied de l'ACCG et de 32mm [29-37] au pied de l'ASCG. La longueur médiane de la zone d'étanchéité proximale (entre le talon de l'origine de l'ACCG et le haut

de la lésion aortique) était de 24mm [20-32] ; et de plus de 20mm chez 75% des patients. La distance médiane entre l'origine de l'ACCG et l'ASCG était de 22mm [18-28]. L'orientation médiane de l'ASCG par rapport à l'ACCG était de 7,5° [-7,5–15°] (soit 12:15). Au total, 65 patients (81%) de notre cohorte étaient éligibles à la mise en place d'une EDP branchée standardisée dans sa configuration actuelle.

**Conclusion :** La faible variabilité de la morphologie de la crosse aortique et de l'origine des troncs supra-aortiques rend pertinent le développement d'une EDP thoracique branchée standardisée. Environ 80% des patients concernés par une lésion distale de la crosse aortique pourraient en bénéficier, sans ainsi nécessiter de revascularisation sous-clavière par abord cervical.

## **INTRODUCTION GENERALE**

### **GENERALITES**

Depuis les années 1990 (1,2) et le développement de la chirurgie endovasculaire, la prise en charge des pathologies cardiovasculaires s'est nettement modifiée. L'amélioration constante des techniques et des dispositifs médicaux disponibles, permet de traiter des lésions de plus en plus complexes. Le segment de l'aorte thoracique descendante est tout particulièrement concerné. En effet, le traitement par endoprothèses (EDP) des pathologies de l'aorte thoracique descendante (TEVAR) a profondément modifié les pratiques (3,4). Il s'impose aujourd'hui comme le traitement de première intention pour la prise en charge des anévrysmes de l'aorte thoracique, des lésions traumatiques de l'aorte thoracique descendante, des dissections aiguës Stanford B (Annexe1), des hématomes intra-muraux et des ulcères aortiques pénétrants suivant les recommandations de l'ESVS (5) (Annexe 2) même en l'absence de données randomisées sur le long terme. Selon l'HAS environ 1600 patients par an en France bénéficieraient d'un TEVAR (6). Cette technique diminuerait la morbi-mortalité notamment à court terme (7–9), mais elle est limitée par des critères anatomiques qui conditionnent en grande partie l'éligibilité des patients à ce traitement (10–12).

### **ANATOMIE**

L'aorte thoracique peut être divisée en 3 portions : ascendante, de la racine aortique jusqu'à l'origine du tronc artériel brachio-céphalique (TABC), horizontale ou crosse aortique qui comprend les 3 troncs supra-aortiques (TABC, artère carotide commune gauche (ACCG) et artère sous-clavière gauche (ASCG)) et descendante qui s'étend de l'isthme aortique jusqu'au passage du diaphragme au niveau du hiatus aortique (en regard de la 9<sup>ème</sup> vertèbre thoracique). Faisant suite au développement des techniques

endovasculaires, une nouvelle classification anatomique de l'aorte thoracique a été imaginée par Mitchell et Ishimaru (13). Elle permet de standardiser l'approche anatomique et thérapeutique de ces pathologies (Annexe 3). L'aorte thoracique est ainsi divisée en 5 zones en fonction du site d'implantation de l'endoprothèse :

- zone 0 : des ostia coronaires à la portion distale du tronc artériel brachio-céphalique
- zone 1 : qui inclut l'ostium de l'artère carotide commune gauche
- zone 2 : qui inclut l'ostium de l'artère sous-clavière gauche
- zone 3 : qui s'étend en aval de l'artère sous-clavière jusqu'à l'isthme aortique (en regard du bord supérieur du corps de la 4<sup>ème</sup> vertèbre thoracique)
- zone 4 : entre la 4<sup>ème</sup> et 9<sup>ème</sup> vertèbre thoracique (passage du diaphragme)

Les critères anatomiques occupent une place primordiale dans la prise en charge endovasculaire, puisqu'ils conditionnent le succès technique primaire et secondaire. Initialement formulées pour la prise en charge endovasculaire des anévrismes thoraciques, les recommandations anatomiques, issues des recommandations des fabricants, pour proposer un TEVAR sont définies telles que :

- présence d'un collet (zone d'implantation) proximal et distal  $\geq$  20mm
- diamètre aortique proximal et distal maximal de 38mm à 42mm selon le type d'endoprothèse
- présence d'accès fémoro-iliaques compatibles avec le passage du lanceur contenant l'EDP

Au regard de ces critères et afin d'obtenir une zone d'étanchéité proximale satisfaisante, jusqu'à 40% des patients présentant une lésion de l'aorte thoracique descendante nécessitent l'implantation de l'EDP en zone 2 avec, par conséquence, une couverture de l'artère sous-clavière gauche (14,15).



La couverture de l'ASCG va barrer le flux antérograde perfusant l'artère vertébrale gauche, qui naît dans les premiers cm de l'ASCG ; cette artère vertébrale gauche domine l'artère vertébrale droite dans 70% des cas (16) pour la vascularisation de la partie postérieure du cerveau et la partie crâniale de la moelle spinale. L'ASCG vascularise également le membre supérieur gauche. La couverture de l'ASCG lors d'un TEVAR sans revascularisation au préalable peut s'associer ainsi à un risque d'ischémie du membre supérieur gauche, d'accident vasculaire cérébral (AVC) postérieur et d'ischémie médullaire responsable de paraplégie (17–19), néanmoins inconstant (20) au regard des réseaux de suppléance existants.

### **POURQUOI UNE ENDOPROTHESE THORACIQUE BRANCHEE POUR L'ASCG ?**

Il reste à ce jour difficile de prédire formellement le risque de complications ischémiques après couverture sans revascularisation de l'ASCG. Une association de critères anatomiques permet de déterminer un groupe de patient à haut risque pour lesquels la Society of Vascular Surgery (SVS) recommande fortement une revascularisation de l'ASCG lorsqu'une couverture endovasculaire est nécessaire (21) :

- présence d'un pontage coronaire avec un greffon mammaire interne gauche perméable
- présence d'une artère vertébrale de type PICA ou toute anomalie de système artériel vertébro-basilaire susceptible d'être responsable d'infarctus cérébral en cas d'interruption de l'artère vertébrale gauche
- absence ou occlusion de l'artère vertébrale droite
- présence d'une fistule artério-veineuse pour hémodialyse au niveau du membre supérieure gauche
- antécédent de traitement chirurgical d'un anévrysme de l'aorte abdominal infra-rénale avec ligature des artères lombaires et/ou moyennes sacrées

- nécessité d'une longue couverture de l'aorte thoracique descendante ( $\geq 20\text{cm}$ )
- occlusion des artères hypogastriques
- risque d'évolution anévrysmale distale faisant suspecter la nécessité à terme d'un traitement chirurgical de l'aorte thoracique distale

En dehors de ces critères et dans les situations d'urgence, la SVS suggère, à défaut de le recommander, de revasculariser l'ASCG lorsque sa couverture est nécessaire compte tenu des risques liés à la couverture sans revascularisation de l'ASCG, de leurs conséquences graves et de l'absence, à ce jour, de facteurs prédictifs fiables de complication. La revascularisation s'effectue au moyen d'un pontage carotido-sous-clavier ou d'une transposition carotido-sous-clavière, nécessitant un abord cervical avec ses risques propres : hématome, chylothorax, infection, lésions du plexus brachial ou du nerf phrénique (22).

Afin de prétendre à une efficacité de l'exclusion endovasculaire sur le long terme, aucun compromis sur la qualité de la zone aortique sur laquelle l'endoprothèse viendra faire l'étanchéité ne peut être accepté. Ainsi pour un certain nombre de patient, l'EDP doit être positionnée en zone 2 et ainsi couvrir volontairement l'origine de l'ASCG. Afin de maintenir un flux antégrade dans l'ASCG, des techniques endovasculaires de cheminée (23), fenestration (24) ou branche (25) ont été proposées. L'étude de la littérature semble mettre en évidence une préférence morphologique de la crosse aortique pour les endoprothèses branchées. L'utilisation d'endoprothèses munies de fenêtre à cet étage ne semble pas donner suffisamment de latitude lors du cathétérisme et expose à un risque d'échec technique plus élevé (26,27). Concernant les endoprothèses branchées, 2 types existent : branches externes ou internes. Inoue (28) le premier a présenté une endoprothèse avec une ou plusieurs branches externes, puis Chuter (29) a élaboré un modèle avec des branches internes. Si les deux types d'endoprothèses semblent donner

des résultats satisfaisant (25,30), il n'existe pas d'étude comparative. Par ailleurs, la standardisation de la prothèse Inoue avec une branche unique pour l'ASCG semble difficile (20 configurations différentes nécessaires pour traiter environ 55% des patients dans l'étude de Huang and al (31)).

## OBJECTIF

Afin de s'affranchir du délai de fabrication et de faciliter la prise en charge endovasculaire des lésions complexes de la crosse aortique distale, notre équipe participe au développement d'une endoprothèse (EDP) thoracique branchée standardisée qui permet au moyen d'une branche interne de maintenir la perfusion de l'ASCG. Cette EDP comporte une échancrure pour l'artère carotide commune gauche (ACCG, 30mm de largeur, 15mm de hauteur, positionnée à midi (12 :00)), ainsi qu'une branche interne rétrograde pour l'ASCG (20mm de longueur, dont l'origine est 24mm sous le bas de l'échancrure, positionnée à 12 :15). L'étude présentée ici a évalué l'applicabilité de cette nouvelle EDP chez les patients ayant bénéficié entre 2011 et 2016 d'un TEVAR avec couverture de l'ASCG, associée ou non à sa revascularisation, dans notre centre.

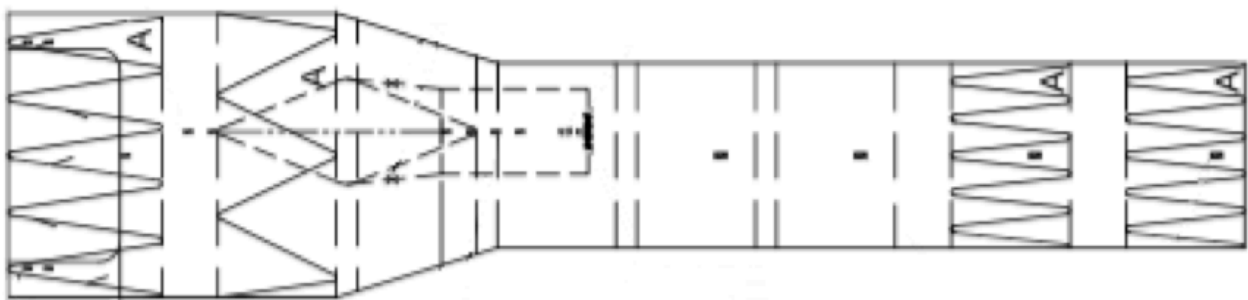


Image 1: Configuration de notre endoprothèse standardisée avec une branche pour l'ASCG positionnée à 24mm sous l'échancrure et à 12:15

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD. Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg.* nov 1991;5(6):491-9.
2. Dake MD, Kato N, Mitchell RS, Semba CP, Razavi MK, Shimono T, et al. Endovascular Stent–Graft Placement for the Treatment of Acute Aortic Dissection. *N Engl J Med.* 20 mai 1999;340(20):1546-52.
3. Scali ST, Goodney PP, Walsh DB, Travis LL, Nolan BW, Goodman DC, et al. National trends and regional variation of open and endovascular repair of thoracic and thoracoabdominal aneurysms in contemporary practice. *J Vasc Surg.* juin 2011;53(6):1499-505.
4. Jones DW, Goodney PP, Nolan BW, Brooke BS, Fillinger MF, Powell RJ, et al. National trends in utilization, mortality, and survival after repair of type B aortic dissection in the Medicare population. *J Vasc Surg.* juill 2014;60(1):11-19, 19.e1.
5. Schermerhorn ML, Jones DW. Management of Descending Thoracic Aorta Disease: Evolving Treatment Paradigms in the TEVAR Era. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* janv 2017;53(1):1-3.
6. HAS. Rapport CNEDIMTS - endoprothèse aortique thoracique [Internet]. [cité 6 mars 2017]. Disponible sur: [http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2013-06/zenith\\_tx2\\_\\_zenith\\_proform\\_tx2\\_11\\_juin\\_2013\\_4380\\_avis\\_2013-06-26\\_14-37-31\\_563.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2013-06/zenith_tx2__zenith_proform_tx2_11_juin_2013_4380_avis_2013-06-26_14-37-31_563.pdf)
7. Abraha I, Romagnoli C, Montedori A, Cirocchi R. Thoracic stent graft versus surgery for thoracic aneurysm. *Cochrane Database Syst Rev.* 6 juin 2016;(6):CD006796.
8. Zhang H, Wang Z-W, Zhou Z, Hu X-P, Wu H-B, Guo Y. Endovascular stent-graft placement or open surgery for the treatment of acute type B aortic dissection: a meta-analysis. *Ann Vasc Surg.* mai 2012;26(4):454-61.
9. Narayan P, Wong A, Davies I, Angelini GD, Bryan AJ, Wilde P, et al. Thoracic endovascular repair versus open surgical repair - which is the more cost-effective intervention for descending thoracic aortic pathologies? *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg.* oct 2011;40(4):869-74.
10. Resch T. Failure modes and secondary endovascular interventions after endovascular aortic repair. *J Cardiovasc Surg (Torino).* avr 2017;58(2):218-27.
11. Terzi F, Rocchi G, Fattori R. Current challenges in endovascular therapy for thoracic aneurysms. *Expert Rev Cardiovasc Ther.* 2016;14(5):599-607.
12. Sobocinski J, Patterson BO, Vidal-Diez A, Brownrigg JR, Thompson MM, Holt PJ. Preoperative morphology influences thoracic aortic aneurysm sac expansion after endovascular repair. *Br J Surg.* juin 2016;103(7):819-29.

13. Mitchell RS, Ishimaru S, Ehrlich MP, Iwase T, Lauterjung L, Shimono T, et al. First International Summit on Thoracic Aortic Endografting: roundtable on thoracic aortic dissection as an indication for endografting. *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec.* juin 2002;9 Suppl 2:1198-105.
14. Feezor RJ, Martin TD, Hess PJ, Klodell CT, Beaver TM, Huber TS, et al. Risk factors for perioperative stroke during thoracic endovascular aortic repairs (TEVAR). *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec.* août 2007;14(4):568-73.
15. Chung J, Kasirajan K, Veeraswamy RK, Dodson TF, Salam AA, Chaikof EL, et al. Left subclavian artery coverage during thoracic endovascular aortic repair and risk of perioperative stroke or death. *J Vasc Surg.* 1 oct 2011;54(4):979-84.
16. Nouh A, Remke J, Ruland S. Ischemic Posterior Circulation Stroke: A Review of Anatomy, Clinical Presentations, Diagnosis, and Current Management. *Front Neurol [Internet].* 7 avr 2014 [cité 21 avr 2017];5. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3985033/>
17. Patterson BO, Holt PJ, Nienaber C, Fairman RM, Heijmen RH, Thompson MM. Management of the left subclavian artery and neurologic complications after thoracic endovascular aortic repair. *J Vasc Surg.* déc 2014;60(6):1491-1497.e1.
18. Rizvi AZ, Murad MH, Fairman RM, Erwin PJ, Montori VM. The effect of left subclavian artery coverage on morbidity and mortality in patients undergoing endovascular thoracic aortic interventions: A systematic review and meta-analysis. *J Vasc Surg.* 1 nov 2009;50(5):1159-69.
19. Scali ST, Wang SK, Feezor RJ, Huber TS, Martin TD, Klodell CT, et al. Preoperative prediction of spinal cord ischemia after thoracic endovascular aortic repair. *J Vasc Surg.* décembre 2014;60(6):1481-1490.e1.
20. Sobocinski J, Patterson BO, Karthikesalingam A, Thompson MM. The Effect of Left Subclavian Artery Coverage in Thoracic Endovascular Aortic Repair. *Ann Thorac Surg.* févr 2016;101(2):810-7.
21. Matsumura JS, Lee WA, Mitchell RS, Farber MA, Murad MH, Lumsden AB, et al. The Society for Vascular Surgery Practice Guidelines: management of the left subclavian artery with thoracic endovascular aortic repair. *J Vasc Surg.* nov 2009;50(5):1155-8.
22. Cinà CS, Safar HA, Laganà A, Arena G, Clase CM. Subclavian carotid transposition and bypass grafting: Consecutive cohort study and systematic review. *J Vasc Surg.* mars 2002;35(3):422-9.
23. Yang J, Xiong J, Liu X, Jia X, Zhu Y, Guo W. Endovascular chimney technique of aortic arch pathologies: a systematic review. *Ann Vasc Surg.* oct 2012;26(7):1014-21.
24. Iwakoshi S, Ichihashi S, Itoh H, Tabayashi N, Sakaguchi S, Yoshida T, et al. Clinical outcomes of thoracic endovascular aneurysm repair using commercially available fenestrated stent graft (Najuta endograft). *J Vasc Surg.* déc 2015;62(6):1473-8.

25. Saito N, Kimura T, Odashiro K, Toma M, Nobuyoshi M, Ueno K, et al. Feasibility of the Inoue single-branched stent-graft implantation for thoracic aortic aneurysm or dissection involving the left subclavian artery: Short- to medium-term results in 17 patients. *J Vasc Surg.* 1 févr 2005;41(2):206-12.
26. Tsilimparis N, Debus ES, von Kodolitsch Y, Wipper S, Rohlfes F, Detter C, et al. Branched versus fenestrated endografts for endovascular repair of aortic arch lesions. *J Vasc Surg.* sept 2016;64(3):592-9.
27. Anthony Lee W. Status of Branched Grafts for Thoracic Aortic Arch Endovascular Repair. *Semin Vasc Surg.* mars 2016;29(1–2):84-9.
28. Inoue K, Hosokawa H, Iwase T, Sato M, Yoshida Y, Ueno K, et al. Aortic arch reconstruction by transluminally placed endovascular branched stent graft. *Circulation.* 9 nov 1999;100(19 Suppl):II316-321.
29. Chuter TAM, Buck DG, Schneider DB, Reilly LM, Messina LM. Development of a branched stent-graft for endovascular repair of aortic arch aneurysms. *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec.* oct 2003;10(5):940-5.
30. Haulon S, Greenberg RK, Spear R, Eagleton M, Abraham C, Lioupis C, et al. Global experience with an inner branched arch endograft. *J Thorac Cardiovasc Surg.* oct 2014;148(4):1709-16.
31. Huang C, Liu Z, Huang D, Qiao T, Zhou M, Liu C. Application of Unibody Single-Branch Endografts in Stanford Type B Dissections with Primary Entry Tear Adjacent to the Left Subclavian Artery: A Computed Tomography–Based Planning Study. *Ann Vasc Surg.* août 2015;29(6):1174-80.

## **ARTICLE**

**Anatomic applicability of a standardised thoracic endograft with a single branch for the left subclavian artery to treat aortic pathologies involving the distal arch**

*Projet de publication*

## ABSTRACT

**Objectives:** The coverage of the left subclavian artery (LSA) origin during TEVAR is associated with increase in neurological complications. Our group is involved in the development of an “off-the-shelf” (OTS) thoracic endograft incorporating a left common carotid (LCC) scallop (15mm-depth, 30mm-width at 12:00) and a retrograde inner branch for LSA perfusion (20mm-length at 12:15). This study aims at evaluating the arch morphology of patients treated by TEVAR and requiring LSA coverage to determine the applicability of this OTS device and to discuss if modifications in the current design are needed.

**Methods:** From 2011 to 2016, the preoperative anatomy of all patients consecutively treated in our center by TEVAR with LSA coverage was studied. High-quality pre-operative computed tomogram angiography was analysed on an imaging 3D-workstation: aortic arch morphologies, location of the supra-aortic trunks origin, and their anatomical relationship were depicted in all patients; the LCC origin was set as reference point. We determined the proportion of arch morphology in our cohort of patients eligible for this OTS device configuration.

**Results:** 80 patients were included in the study. Nine patients had a left vertebral artery origin located in the arch and would have required transposition of this artery into the LCC or LSA prior to TEVAR. The median aortic diameter was 32mm [29-35] at the LCC origin and 32mm [29-37] at the LSA origin. The median distance between the LCC origin and the top of the aortic lesion was 24mm [20-32], with 75% of our cohort presenting a proximal sealing zone length > 20mm. The median LCC-LSA distance was 22mm [18-28]. The median orientation of the LSA origin was 7.5° [-7.5° - 15°] (i.e. 12:15). In total, 65 patients (81%) could have been treated with the current OTS branched TEVAR configuration.



**Conclusion:** The low variability of LSA and LCC locations in patients with distal aortic arch disease offers more than 80% applicability of a new standardised thoracic branched endograft.

## INTRODUCTION

Since its beginning in the 90's (1), thoracic endovascular aortic repair (TEVAR) has never stopped evolving and offers now a safe alternative to open surgery in many pathologies of the descending thoracic aorta and aortic arch (2–4). However, to achieve an ideal proximal sealing zone, up to 40% of patients undergoing TEVAR require a coverage of left subclavian artery (LSA) (3,5,6). Despite heterogeneous results (7,8), the coverage of LSA without revascularisation tends to be associated with increase in the risk of arm ischemia, paraplegia and stroke (9,10). So, the Society for Vascular Surgery guidelines (11) strongly recommends preoperative LSA revascularization « in patients who have an anatomy that compromises perfusion to critical organs » or just suggested in other settings. Two main open surgical techniques are proposed to revascularise the LSA: subclavian carotid transposition and bypass but expose to specific risks: neuropraxia, hematoma, infections (10,12,13). Endovascular techniques can be also achieved, and are under clinical evaluation, to extend proximal landing zone and maintain direct inflow in the LSA : thus, chimney (14,15), endograft fenestration (16) or custom-made unibody single-branch endograft (USBE) (17) have been described.

The use of inner branch endograft seems to better apprehend the complexity of the aortic arch anatomy; limiting the risk of technical failure with outer branch or fenestration catheterism or preventing proximal type 1 endoleak frequently associated with chimney reconstruction (18,19). Fenestrations and outer branch require a higher degree of precision than inner branch during endograft deployment, which can be difficult to achieve in the aortic arch and descending thoracic aorta with major tortuosities added to the misalignment of the endograft itself, which can lead to primary technique failure. Our group is involved in the development of an “off-the-shelf” (OTS) thoracic endograft incorporating

a left common carotid (LCC) scallop (15mm-depth, 30mm-width at 12:00) and a retrograde inner branch for LSA perfusion (20mm-length at 12:15). Studies have established the feasibility for « off-the-shelf » (OTS) fenestrated endograft of up to 70% of patients presenting with juxtarenal and pararenal abdominal aortic aneurysms (20–22) or with thoracoabdominal aneurysms (21–23). Based on those work, this study aims at evaluating the aortic arch morphology of patients treated by TEVAR and requiring LSA coverage to determine the applicability of this OTS device.

## **METHODS**

We reviewed 80 consecutive patients who underwent TEVAR with LSA coverage associated or not with revascularisation in our center between January 2011 and October 2016. Medical records and imaging studies were collected retrospectively.

Only patients with available pre-operative computed tomography angiography (CTA) have been included. Patients were excluded if they had previous surgical debranching of the supra aortic trunks or required complex aortic arch endovascular treatment including branches to the brachio-cephalic trunk (BCT) and/or the LCC. Patients with vertebral artery that arise directly from the aortic arch need vertebral transposition prior to TEVAR. Patients with a short trunk of the LSA (<20mm) before the origin of the vertebral or with diameter below 6mm were not eligible for such endovascular reconstruction.

## **IMAGING ANALYSIS**

High-quality pre-operative CTA was analysed on a dedicated 3D imaging workstation (Aquarius, TERARECON Inc). The Aquarius software automatically provided a line following the centerline of flow (CLF) to make accurate calculation of lengths and diameter in an orthogonal plan as described by O'Neill and al (24); CLF adjusted to the external

curve of the thoracic aorta (Figure 1) was also calculated to better apprehend the length of the aorta effectively covered by the endograft (25) and distances between the origin of the supra-aortic trunks located on the greater curve of the aortic arch. Manual editing was completed if the centerline was not accurate enough. Aortic diameters at subsequent levels (aortic root, ascending, pre and post-BCT, pre and post-LCC, pre and post-LSA aorta and maximal lesion diameter) (CLF), diameters of the supra aortic trunks at their origin and 20mm after (CLF), length of the BCT and of the pre-vertebral LSA (CLF), distances between the centre of the LCC and the LSA (adjusted CLF and MPR (Figure 2)) were calculated. Multiplanar reconstructions (MPR) were used to determine the clock orientation of the BCT, LCC and LSA. Transversal and sagittal axes following the curve of the aortic arch were drawn manually; clock orientation of the supra aortic trunk was then established on the coronal plan (Figure 3). The LCC origin was set as reference point, i.e. 12:00.

The type of arch was determined according to the Casserly classification (26) (Annexe 4).

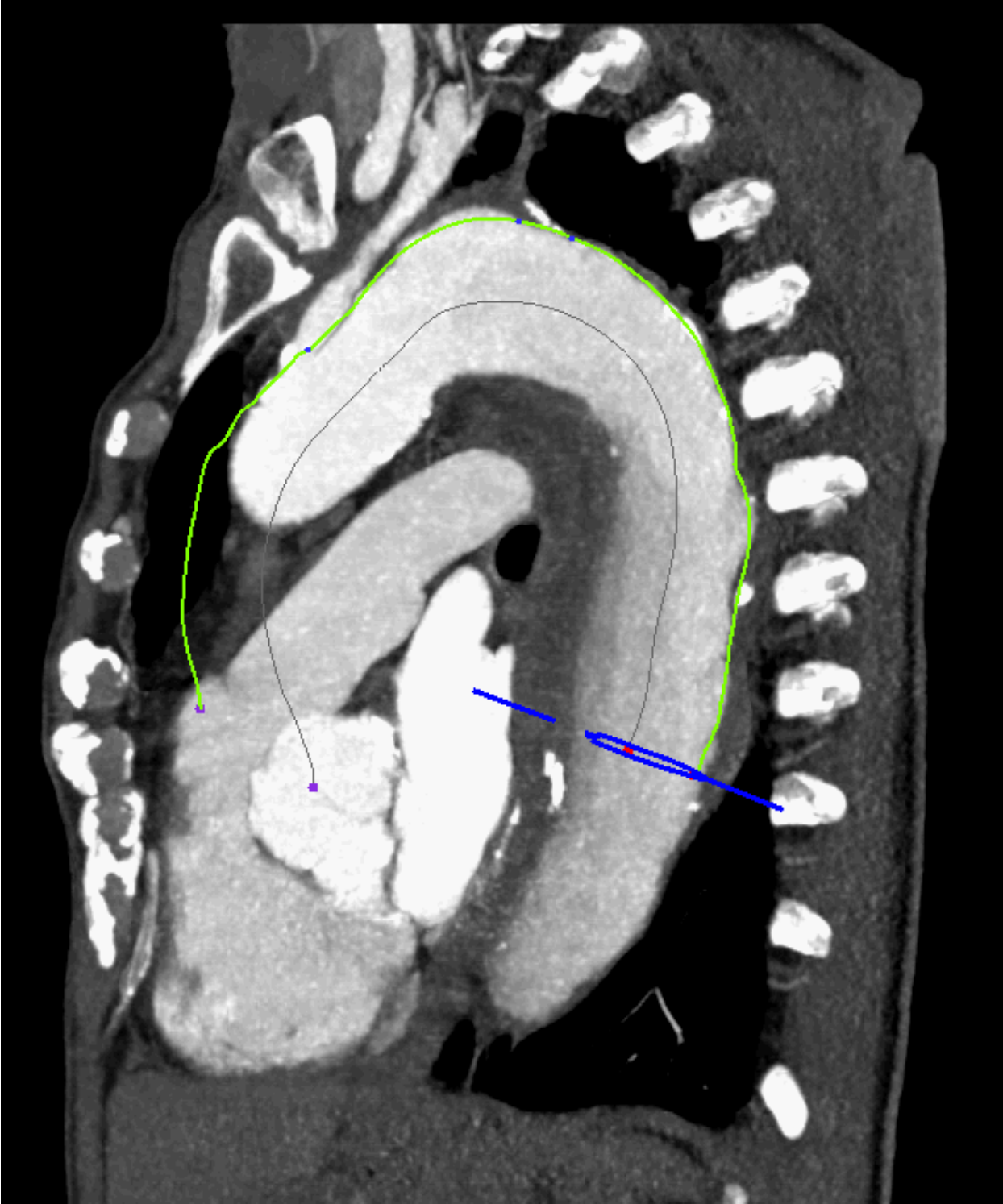


Figure 1: Centerline of flow (grey) as described by O'Neill and al (24) and adjusted centerline of flow (green)

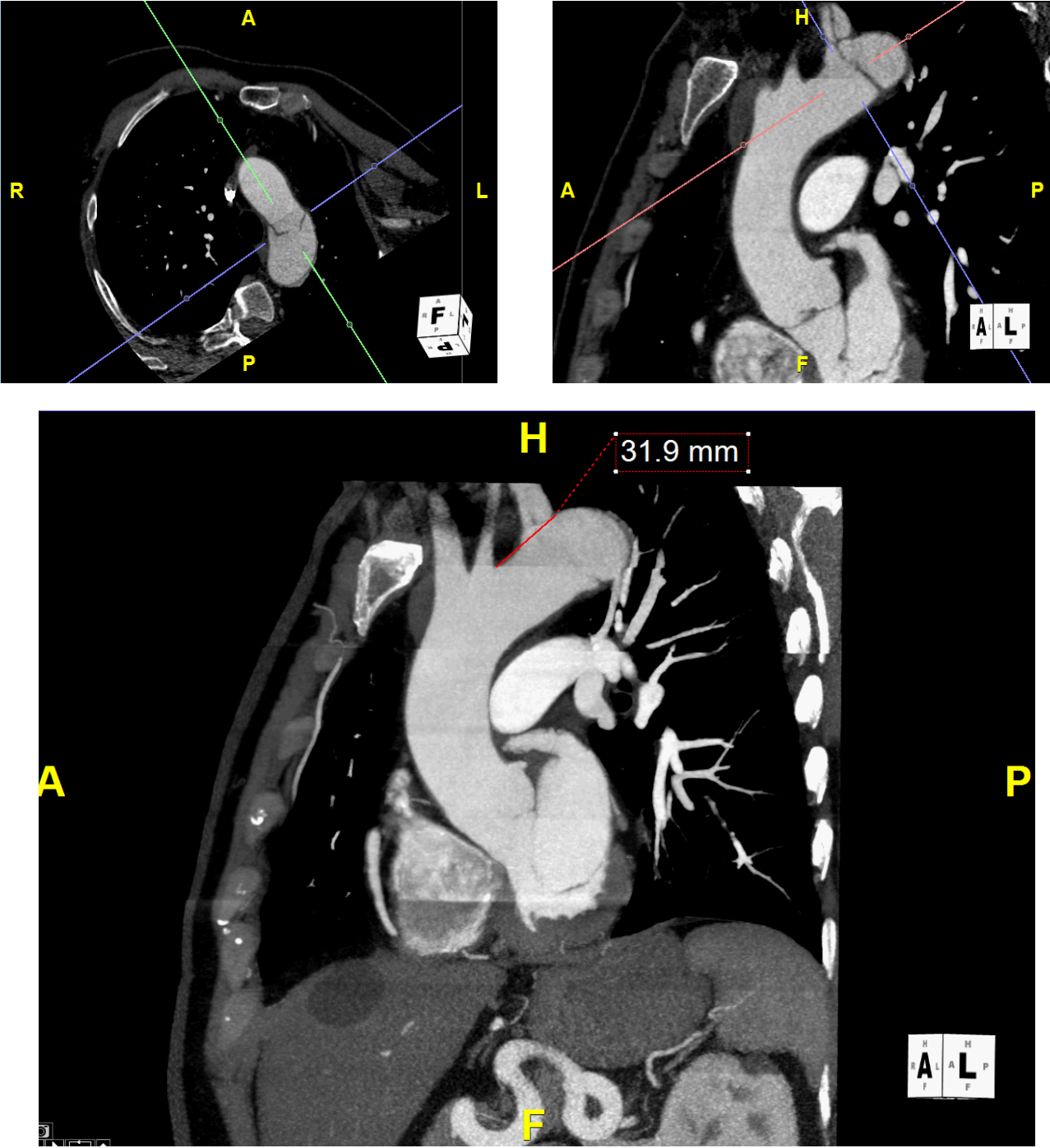


Figure 2: Measurement of the LCC-LSA distance on MPR

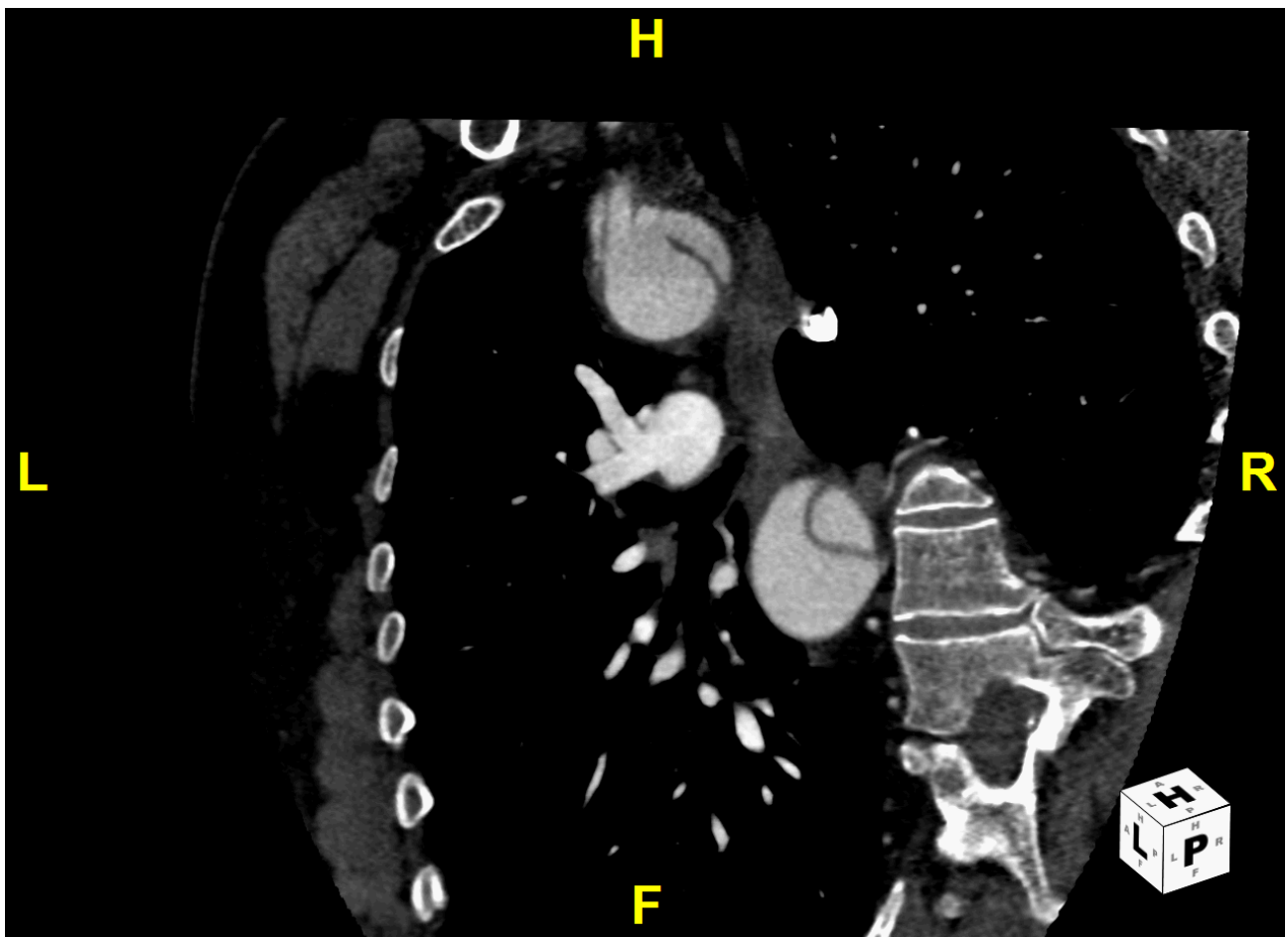
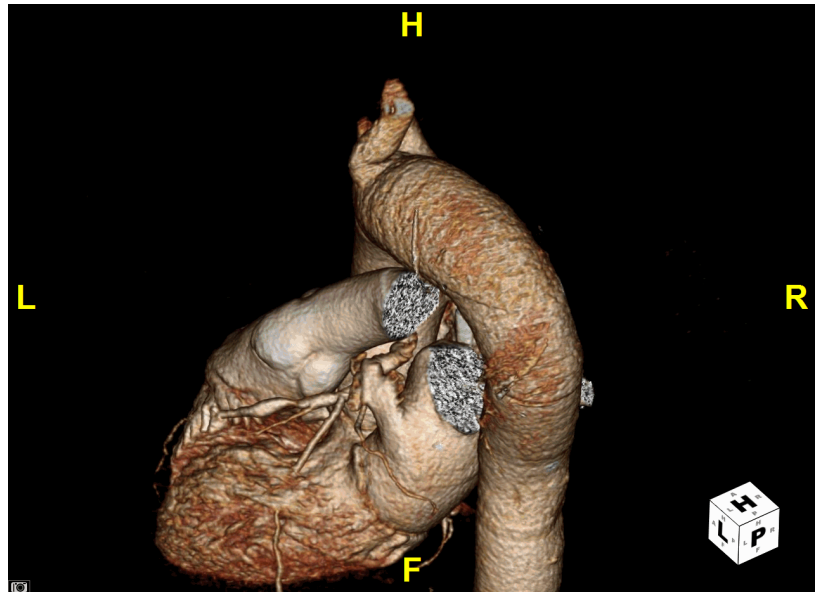
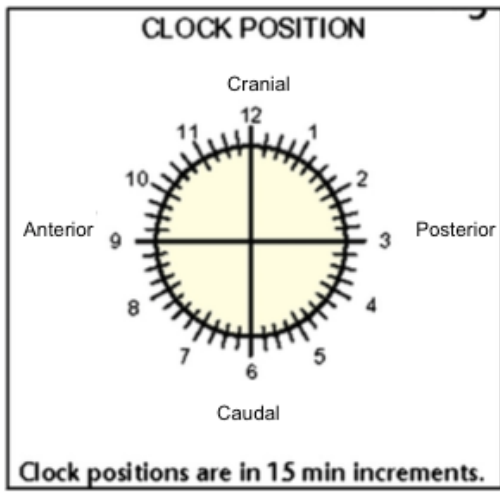


Figure 3: Localisation of a target vessel on the slice crossing the origin of this vessel perpendicularly after MPR

### TECHNICAL CHARACTERISTICS AND DESIGN OF THE STANDARDISED DEVICE

This “off-the-shelf” (OTS) thoracic endograft incorporated a scallop for the left common carotid (LCC) (15mm-depth and 30mm-width at 12:00) plus a retrograde inner branch for the LSA (20mm-length at 12:15) with an origin 24mm below the bottom of the scallop (Figure 4).

The diameter of the endograft is degressive with a wide range of diameters of the first 2 stents from 22mm to 46mm.

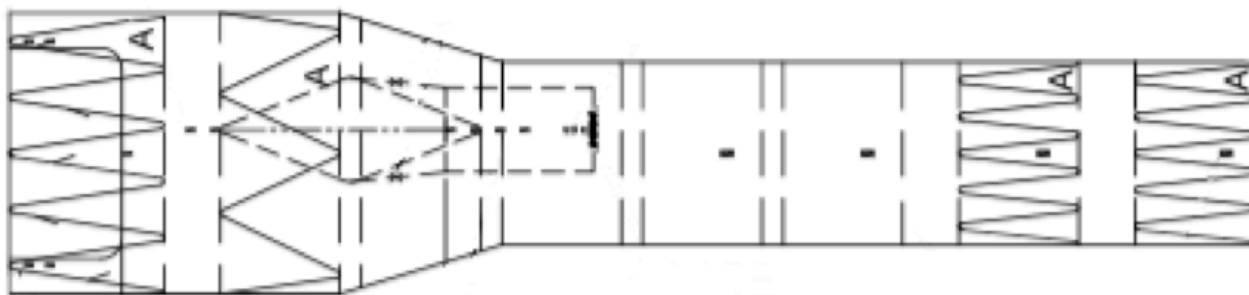


Figure 4: Graft of the OTS thoracic endograft

### APPLICABILITY OF THE ENDOGRAFT

Two main criteria were used to define the applicability of this endograft:

- the distance between the LSA and the LCCA
- the orientation (clock position) of the LSA related to the origin of the LCC

We considered patients eligible to be treated with such device when:

- The distance between the LCC and the LSA was  $\geq 10$ mm and so the distance between the bottom of LSA and the branch was  $< 15$ mm
- The orientation of the LSA, related to the origin of the LCC, was evaluated on the preoperative sizing between 11:45 and 12:45, i.e of  $15^\circ$  variability in the clock orientation of the LSA branch (12:15) (conservative criteria)



or

- The orientation of the LSA, related to the origin of the LCC, was evaluated on the preoperative sizing between 11:15 and 13:15, i.e of 30° variability in the clock orientation of the LSA branch (12:15) (liberal criteria)

## **STATISTICAL ANALYSIS**

Statistical analysis was performed using SPSS® version 2.0 (IBM, Armonk, New York, USA). Clinical data are reported with percentage for categorical variables and mean with standard deviation for continuous variables. Anatomical data are expressed with median value and 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentiles, and mean and standard deviation for continuous variables and percentage for categorical variables. Student test were used for comparison. Results were considered statistically significant with a value of  $p \leq 0,05$ .

## **RESULTS**

### **CLINICAL DATA**

From 2011 and 2016, 80 patients were treated with TEVAR that required concurrent LSA coverage. Among these 80 patients, 25 were treated for acute type B dissection (31.3%), 25 for chronic dissection (31.3%), 9 for transection (11.3%), 1 for penetrating aortic ulcer (1.3%), 1 for chronic isthmic aortic rupture (1.3%), 1 for aortic intramural haematoma (1.3%), 14 for thoracic aortic aneurysm (TAA) (17.5%) and 4 for thoraco-abdominal aortic aneurysm (TAAA) (5%) and 3 (3.6%) for proximal type I endoleak on previous TEVAR.

Clinical data are summarized in table I.

	N = 80
Men (n, %)	68 (85.0)
Age (y, SD)	58.0 (15.6)
Revascularisation of LSA (bypass or transposition) (n, %)	55 (68.8)
Emergencies (n,%)	37 (46.3)
Ascending aortic repair history (n, %)	16 (20)

Table I: details of the population of patients treated

#### **ANATOMICAL DATA**

Table II presents aortic diameters, and positions, diameters and lengths of supra aortic trunks with median [25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentils] and mean [standard deviation]. Using Casserly classification, 21 patients (26.3%) had a type 1 aortic arch, 33 (41.3%) a type 2 and 26 (32.5%) a type 3 (Annexe 4); 11 patients had a common origin of BCT and LCC either with a real common trunk or just a common origin from the aorta.

Median value for the expected proximal landing zone length, between the LCC origin and the top of the aortic lesion was 24mm; in 75% this length was  $\geq$  20mm.

Figure 5, represents the distribution of the LSA location related to the LCC, with clock position in x-axis and distance between the LCC and the LSA in y-axis.

	Median (25 <sup>th</sup> -75 <sup>th</sup> PC)	Mean (+/- SD)
<b>Aortic diameters:</b>		
Root (mm)	35 (32-39)	35.8 (4.8)
Ascending aorta (mm)	35 (32-39)	35.5 (5.4)
Pre BCT (mm)	36 (31-39)	35.3 (5.5)
Post BCT (mm)	34 (30-38)	33.6 (5.6)
Pre LCCA (mm)	35 (31-38)	34.0 (5.5)
Post LCCA (mm)	32 (29-35)	32.1 (5.2)
Pre LSA (mm)	32 (29-35)	31.3 (5.3)
Post LSA (mm)	32 (29-37)	32.8 (7.3)
<b>Maximum (mm)</b>		
Largest in the DTA	50 (40-60)	50.8 (15)
Largest in the DTA (in aneurismal and post dissection diseases)	57.5 (51.3-63)	58.7 (12.6)
BCT clock position (h:min)	12:15 (12:00-12:30)	12:16 (00:27)
BCT length (mm)	35.5 (29.5-40.25)	35.8 (9.1)
<b>BCT diameter (mm)</b>		
Ostium	18.5 (16-20.25)	18,8 (3.8)
20mm after the ostium	14 (12-16)	14.3 (2.7)
LCCA clock position (h:min)	11:45 (11:30-12:00)	11:46 (00:28)
<b>LCCA diameter (mm)</b>		
Ostium	11 (10-13.3)	12.4 (3.9)
20mm after the ostium	8 (7-9)	8.2 (1.8)
LSA clock position (h:min)	12:00 (11:30-12:11)	11:53 (00:31)
Pre vertebral LSA length (mm)	37 (30-45)	37.7 (9.9)
<b>LSA diameter (mm)</b>		
Ostium	13 (11-15)	13.5 (2.9)
20mm after the ostium	11 (10-12)	10.8 (1.9)

Table II: Anatomical data based on preoperative CTA analysis with 3D imaging workstation

### ANALYSIS OF THE LSA POSITION

The median orientation of LSA with LCC as the reference point was 12:15 (7,5°) with values ranging from 10:30 (-45°) to 13:30 (45°) (Table III). The median distance between LSA and LCC, using MPR for measurement, was 22mm with values ranging from 10mm to 47mm and was 21mm with values ranging from 12 to 47mm using adjusted CLF (Table III).

There was no significant difference between the mean distance LCC-LSA measured with MPR or adjusted CLF (23.3mm IC95% (21.6-25.04) vs. 23.5mm IC95%(21.7-25.4);  $p=0.28$ ).

	Centiles						
	5	10	25	50	75	90	95
LSA orientation (h:min)	11:00	11:30	11:45	12:15	12:30	12:45	13:00
LCC-LSA distance (mm)							
MPR	13	14	18	22	28	33	40
Adjusted CLF	13	14.9	18	21	28	38.2	43

Table III: Percentile repartition of the orientation and distance of the LSA in relation to LCC (LSA orientation is determined with the LCC origin as the reference point)

**APPLICABILITY OF THE “OTS” ENDOGRAFT**

Nine patients had a left vertebral artery origin located in the arch and would have required transposition of this artery into the LCC or LSA prior to TEVAR. One patient treated for chronic aortic dissection had a proximal sealing zone aortic diameter over 44mm (47mm) and, so, could not have been treated with this standardised endograft. None patient had a LSA diameter < 6mm or a pre vertebral LSA length < 20mm.

None patient had a LCCA-LSA distance inferior to 10mm; 53/79 (67.1%) patients had an optimal LCC-LSA distance between 10 and 24mm and 26/79 (32.9%) patients had a LCC-LSA distance superior to 28mm. For those patients, mean and median distances between the LSA and the LCC were respectively 32.4mm (+/- 5.8mm) and 30.5mm ranging from 25 to 47mm. Subsequently, the deployment of the top of the endograft below the bottom of the LCC (mean 8.3mm (+/-2,3mm)) seems acceptable and would have been required to ease the catheterism of the LSA from the branch and thus avoiding non acceptable kink of the bridging stent.

Those patients could benefit of another configuration of the OTS device with a longer distance between the bottom of the scallop and the inner branch  $\geq$  40mm. With those 2 configurations, we could have treated patient with LCC-LSA distance ranging from 10 to 40mm and conserve the maximal length of proximal sealing available for 78/79 (98.7%) patients.

In the population studied, 65/79 patients (81%) had a LSA orientation suitable for this current design of OTS endograft with conservative criteria (LSA position between 11:45 and 12:45).

We did not find any other branch orientation that could treat more patients with the same conservative criteria; with LSA branch at 12:00, 63/79 (79.8%) patients were eligible.

Moreover, with more liberal criteria, considering patients eligible with a wider range of

clock position from 11:15 and 13:15 (ie more or less 30° from the reference point), 74/79 (92.5%) patients could have been included for.

In total, considering conservative criteria in terms of clock position, 65/80 (80%) of our patients could have been treated with the OTS thoracic endograft in its current design. With liberal criteria up to 92.5% of our patient could have been considered eligible.

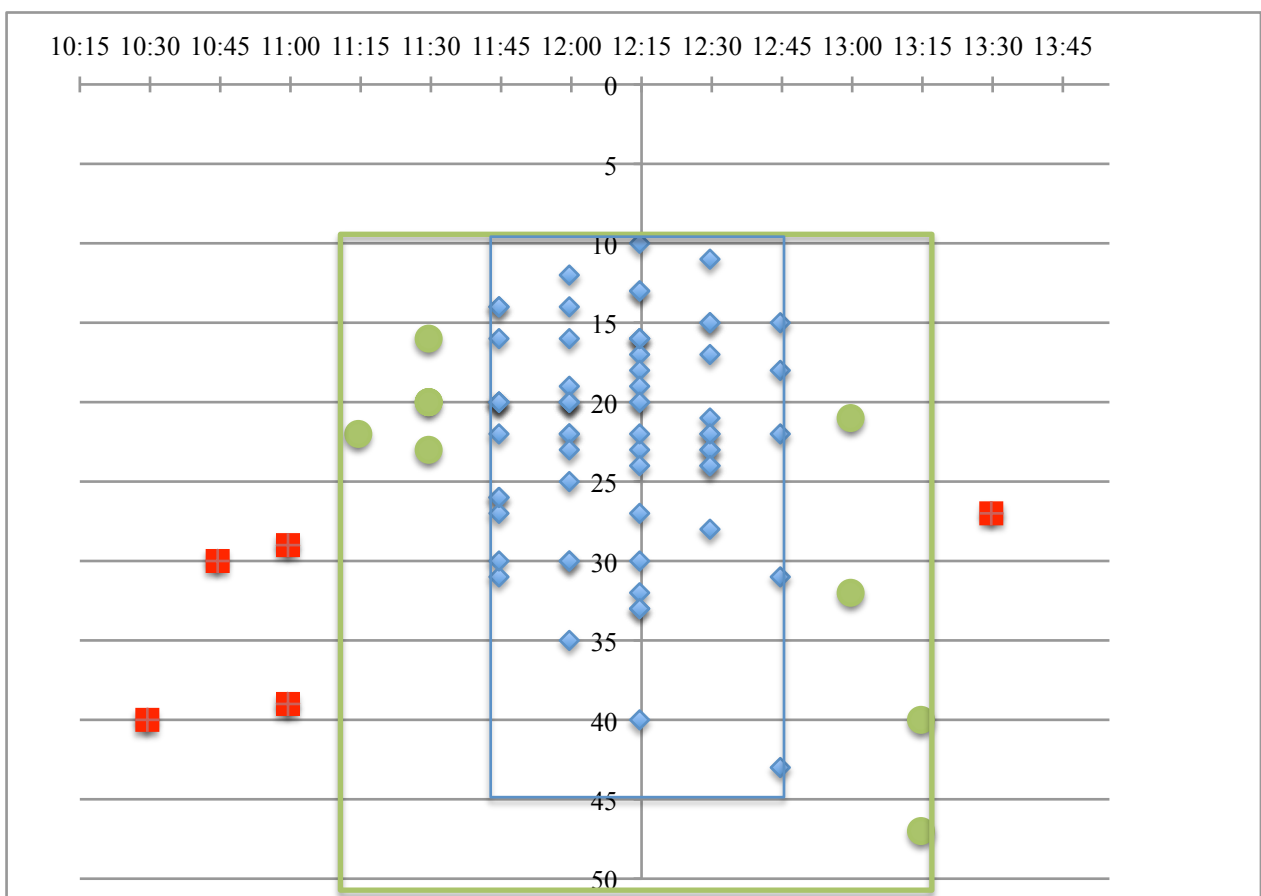


Figure 5: Forest plot representing the distribution of the LSA position in terms of orientation (clock position, x-axis) and distance from the bottom of the LCC (mm, y-axis): ◆ eligible patients with conservative criteria on LSA position, ● eligible patients with liberal criteria on LSA position and ■ non eligible patients

## DISCUSSION

TEVAR is a safe alternative to open surgery to treat pathologies of the descending thoracic aorta (27). The selection of the patients considered eligible for such treatment has to be meticulous and is based on dedicated high quality preoperative CTA. The presence of a long (> 20mm), non-angulated and healthy proximal segment of the aorta is required to provide effective sealing on the long term (28,29). Literature reports high frequency, about 40%, of very proximal lesion of the descending thoracic aorta, which required a landing zone in zone 2 (9) and LSA revascularisation.

Chuter and al (30) have first imagined branch endograft for aortic arch lesion, and based on his device, custom-made unique single branch endograft are now available and offer possibility to extend proximal landing zone although maintaining LSA perfusion (31). The choice of using an inner branch in this design has been made because it offers greater conformability to different arch anatomies, compared to fenestrated endograft. Degree of acceptable variability between the orientation of the branch and the orientation of the target vessel is currently not well known but our study here may suggest that goes up to 30° (1 hour) to treat more than 90% of patients.

We took only 2 variables into account in this study, the LCC-LSA distance and the LSA orientation. Proximal & distal diameters were those currently commercialised ranging from 22 to 46mm as length of the endograft ranging from 105 to 233mm.

These standardised devices are of great interest for surgeons in the setting of emergencies mainly, it represents 37 (46,3%) patients in our study, but also for elective cases when revascularisation of LSA cannot be planned before TEVAR. Some authors did not show any increasing neurological risks after LSA coverage without revascularisation, but no randomized controlled trial has yet confirm (8). The use of our OTS device allows maintaining LSA inflow for every patient and so decreases the risk of

neurological complications due to LSA coverage, avoiding cervical wound and its own complications (haematoma, chylothorax, nerves injuries). However further studies would be now necessary to compare branch and surgical bypass in terms of strokes.

Analysis of the aortic morphology performed with usual imaging software might be irrelevant due to the importance of tortuosities and angulations of this region. Here, MPR were preferred to calculate the distance between of the LCC and the LSA; the use of MPR offers the function of adjusting intuitive overviews on vascular peculiarities without distorting the anatomy (32). Others studies studying the arch morphology reported shorter LCC-LSA distance from 10 to 15mm (23,33) while the mean distance in our cohort was 23mm +/- 7.8. This result can be explained by the method of measurement: as explained MPR and adjusted CLF on outer curve were used where other authors used non adjusted centreline. All of our patients had TEVAR with proximal landing zone in zone 2, which necessitated a sufficient theoretic 20mm proximal neck while, in other studies, all patients with DTA were included not only patient who required LSA coverage. Nevertheless, most of main publications (23,33) agree to say that there is a low LCC-LSA distance's inter individual variability.

The determination of the orientation of supra aortic trunks is also a challenge. Today to our knowledge, there is no consensual method as for visceral arteries. Angulations of the thoracic aorta make impossible the determination of supra aortic trunk's clock position using a classic CLF as for the abdominal aorta. Using MPR, we determined arteries orientation for all our patients avoiding complicated calculations. Results were similar in available litterature: Boufi M (33) developed his own method, using 3 plans with 2 identical points located in the arch for each plan and the third point was either the position of BCT, LCC and LSA. BCT was considered as the reference. Angulations between the 3 plans determined the position of each supra aortic trunk. The LCC was located 20° +/- 10° more



anterior to BCT and the LSA  $11^{\circ} \pm 15^{\circ}$ . We had  $15^{\circ} \pm 10^{\circ}$  and  $11^{\circ} \pm 15^{\circ}$  respectively in our study. In Malkawi and al study (23), the supra-aortic branch takeoff angles were measured in relation to the center lumen line and the clock-face orientation was determined in reference to the IA. They found 37/49 patients (80%) of patients with clock-face positions of the LCCA and LSA ostia within  $15^{\circ}$  of each other. We had 64 patients (80%) in our study who had  $15^{\circ}$  or less between LCC and LSA orientations. Low variability and similar results in aortic arch morphology highlight the consistency of developing OTS endograft for the distal aortic arch diseases.

## **CONCLUSION**

The low variability of LSA and LCC locations in patients with distal aortic arch diseases offers more than 80% applicability of a new standardised thoracic branched endograft. Thoracic diseases that require landing zone of the endograft within zone 2 might be treated with this dedicated device in preserving direct inflow in the LSA. Further studies are required to assess the safety and efficacy of its use in daily practice.

## **CONCLUSION GENERALE**

La portion distale de la crosse aortique et en particulier les rapports entre ASCG et ACC semblent présenter une faible variabilité interindividuelle rendant possible la conception d'endoprothèse branchée standardisée pour le traitement des lésions distales de la crosse aortique. La configuration de l'endoprothèse évaluée dans cette étude, aurait pu permettre de traiter plus de 80% des patients de notre cohorte. Des modifications pourraient être apportées pour permettre une meilleure adaptabilité à certaines anatomies. Des études complémentaires seront néanmoins indispensables pour évaluer la sécurité de ce nouveau dispositif et son efficacité par rapport aux traitement actuellement proposé, TEVAR avec couverture de l'ASCG et associé ou non à un geste de revascularisation de cette dernière.

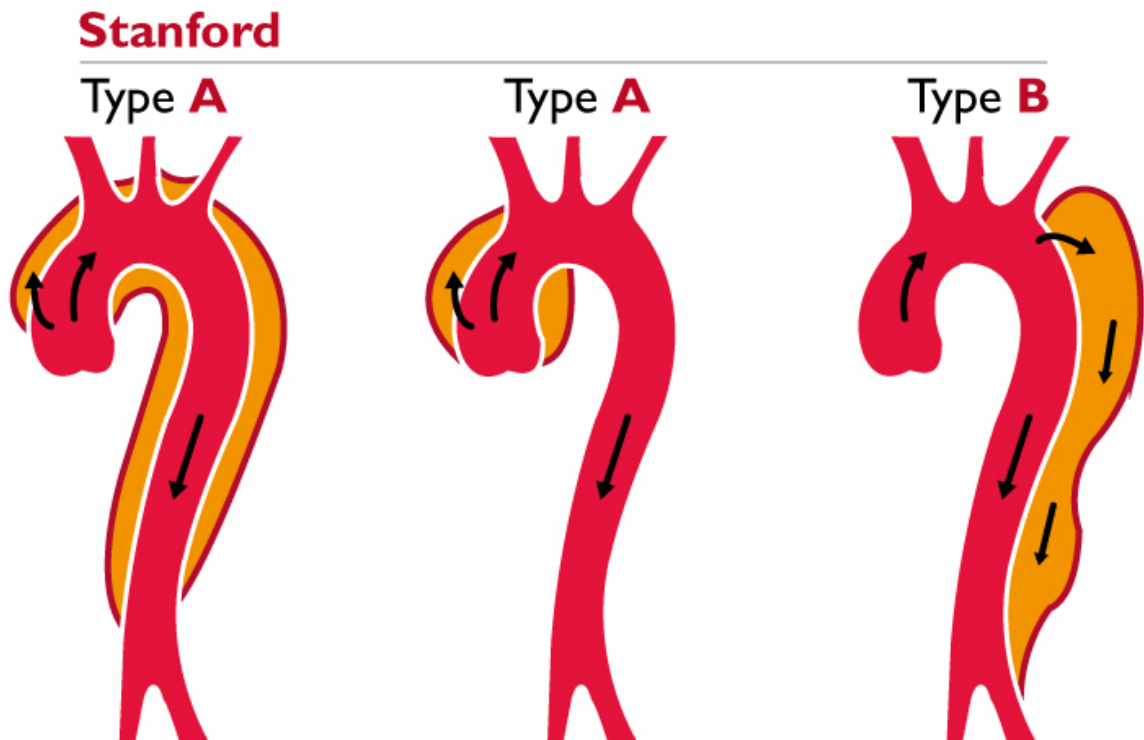
**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD. Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg.* nov 1991;5(6):491-9.
2. Dake MD, Kato N, Mitchell RS, Semba CP, Razavi MK, Shimono T, et al. Endovascular Stent–Graft Placement for the Treatment of Acute Aortic Dissection. *N Engl J Med.* 20 mai 1999;340(20):1546-52.
3. Leurs LJ, Bell R, Degrieck Y, Thomas S, Hobo R, Lundbom J. Endovascular treatment of thoracic aortic diseases: Combined experience from the EUROSTAR and United Kingdom Thoracic Endograft registries. *J Vasc Surg.* oct 2004;40(4):670-9.
4. Goodney PP, Travis L, Lucas FL, Fillinger MF, Goodman DC, Cronenwett JL, et al. Survival After Open Versus Endovascular Thoracic Aortic Aneurysm Repair in an Observational Study of the Medicare Population Clinical Perspective. *Circulation.* 13 déc 2011;124(24):2661-9.
5. Feezor RJ, Martin TD, Hess PJ, Klodell CT, Beaver TM, Huber TS, et al. Risk factors for perioperative stroke during thoracic endovascular aortic repairs (TEVAR). *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec.* août 2007;14(4):568-73.
6. Thurnher SA, Grabenwöger M. Endovascular treatment of thoracic aortic aneurysms: a review. *Eur Radiol.* 1 juin 2002;12(6):1370-87.
7. Sobocinski J, Patterson BO, Karthikesalingam A, Thompson MM. The Effect of Left Subclavian Artery Coverage in Thoracic Endovascular Aortic Repair. *Ann Thorac Surg.* févr 2016;101(2):810-7.
8. Hajibandeh S, Hajibandeh S, Antoniou SA, Torella F, Antoniou GA. Revascularisation of the left subclavian artery for thoracic endovascular aortic repair. *Cochrane Database Syst Rev.* 27 avr 2016;4:CD011738.
9. Chung J, Kasirajan K, Veeraswamy RK, Dodson TF, Salam AA, Chaikof EL, et al. Left subclavian artery coverage during thoracic endovascular aortic repair and risk of perioperative stroke or death. *J Vasc Surg.* 1 oct 2011;54(4):979-84.
10. Rizvi AZ, Murad MH, Fairman RM, Erwin PJ, Montori VM. The effect of left subclavian artery coverage on morbidity and mortality in patients undergoing endovascular thoracic aortic interventions: A systematic review and meta-analysis. *J Vasc Surg.* 1 nov 2009;50(5):1159-69.
11. Matsumura JS, Lee WA, Mitchell RS, Farber MA, Murad MH, Lumsden AB, et al. The Society for Vascular Surgery Practice Guidelines: management of the left subclavian artery with thoracic endovascular aortic repair. *J Vasc Surg.* nov 2009;50(5):1155-8.
12. Cinà CS, Safar HA, Laganà A, Arena G, Clase CM. Subclavian carotid transposition and bypass grafting: Consecutive cohort study and systematic review. *J Vasc Surg.* mars 2002;35(3):422-9.

13. Saouti N, Hindori V, Morshuis WJ, Heijmen RH. Left subclavian artery revascularization as part of thoracic stent grafting. *Eur J Cardiothorac Surg.* 1 janv 2015;47(1):120-5.
14. Yang J, Xiong J, Liu X, Jia X, Zhu Y, Guo W. Endovascular chimney technique of aortic arch pathologies: a systematic review. *Ann Vasc Surg.* oct 2012;26(7):1014-21.
15. Mangialardi N, Ronchey S, Malaj A, Fazzini S, Alberti V, Ardita V, et al. Value and limitations of chimney grafts to treat arch lesions. *J Cardiovasc Surg (Torino).* août 2015;56(4):503-11.
16. Redlinger RE, Ahanchi SS, Panneton JM. In situ laser fenestration during emergent thoracic endovascular aortic repair is an effective method for left subclavian artery revascularization. *J Vasc Surg.* nov 2013;58(5):1171-7.
17. Saito N, Kimura T, Odashiro K, Toma M, Nobuyoshi M, Ueno K, et al. Feasibility of the Inoue single-branched stent-graft implantation for thoracic aortic aneurysm or dissection involving the left subclavian artery: Short- to medium-term results in 17 patients. *J Vasc Surg.* 1 févr 2005;41(2):206-12.
18. Tsilimparis N, Debus ES, von Kodolitsch Y, Wipper S, Rohlfes F, Detter C, et al. Branched versus fenestrated endografts for endovascular repair of aortic arch lesions. *J Vasc Surg.* sept 2016;64(3):592-9.
19. Anthony Lee W. Status of Branched Grafts for Thoracic Aortic Arch Endovascular Repair. *Semin Vasc Surg.* mars 2016;29(1-2):84-9.
20. Mendes BC, Oderich GS, Macedo TA, Pereira AA, Cha S, Duncan AA, et al. Anatomic feasibility of off-the-shelf fenestrated stent grafts to treat juxtarenal and pararenal abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* oct 2014;60(4):839-847-848.
21. Nordon IM, Hinchliffe RJ, Manning B, Ivancev K, Holt PJ, Loftus IM, et al. Toward an « Off-the-Shelf » Fenestrated Endograft for Management of Short-Necked Abdominal Aortic Aneurysms: An Analysis of Current Graft Morphological Diversity. *J Endovasc Ther.* 1 févr 2010;17(1):78-85.
22. Manning BJ, Hinchliffe RJ, Ivancev K, Harris PL. Ready-to-Fenestrate Stent Grafts in the Treatment of Juxtarenal Aortic Aneurysms: Proposal for an Off-the-shelf Device. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* avr 2010;39(4):431-5.
23. Malkawi AH, Hinchliffe RJ, Yates M, Holt PJ, Loftus IM, Thompson MM. Morphology of Aortic Arch Pathology: Implications for Endovascular Repair. *J Endovasc Ther.* 1 août 2010;17(4):474-9.
24. O'Neill S, Greenberg RK, Resch T, Bathurst S, Fleming D, Kashyap V, et al. An evaluation of centerline of flow measurement techniques to assess migration after thoracic endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 1 juin 2006;43(6):1103-10.
25. Kaladji A, Spear R, Hertault A, Sobocinski J, Maurel B, Haulon S. Centerline is not as accurate as outer curvature length to estimate thoracic endograft length. *Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg.* juill 2013;46(1):82-6.

26. Casserly IP, Sachar R, Yadav JS. Manual of Peripheral Vascular Intervention. Lippincott Williams & Wilkins; 2005. 402 p.
27. Schermerhorn ML, Jones DW. Management of Descending Thoracic Aorta Disease: Evolving Treatment Paradigms in the TEVAR Era. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* janv 2017;53(1):1-3.
28. Boufi M, Aouini F, Guivier-Curien C, Dona B, Loundou AD, Deplano V, et al. Examination of factors in type I endoleak development after thoracic endovascular repair. *J Vasc Surg.* févr 2015;61(2):317-23.
29. Sweet MP. Anatomic features of the distal aortic arch that influence endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg.* oct 2016;64(4):891-5.
30. Chuter TAM, Buck DG, Schneider DB, Reilly LM, Messina LM. Development of a branched stent-graft for endovascular repair of aortic arch aneurysms. *J Endovasc Ther Off J Int Soc Endovasc Spec.* oct 2003;10(5):940-5.
31. Endovascular Today - Custom-Made Devices: Current State of the Art [Internet]. *Endovascular Today.* [cité 7 mars 2017]. Disponible sur: <http://evtoday.com/2016/03/custom-made-devices-current-state-of-the-art/>
32. Rengier F, Weber TF, Giesel FL, Böckler D, Kauczor H-U, von Tengg-Kobligk H. Centerline analysis of aortic CT angiographic examinations: benefits and limitations. *AJR Am J Roentgenol.* mai 2009;192(5):W255-263.
33. BOUFI M. Caractérisations morphométriques et mécaniques de l'aorte thoracique [Internet]. Faculté de Médecine- Aix Marseille Université; 2016. Disponible sur: [http://medecine.univ-amu.fr/sites/medecine.univ-amu.fr/files/avis\\_de\\_soutenance\\_et\\_resume\\_de\\_these\\_de\\_mr\\_boufi.pdf](http://medecine.univ-amu.fr/sites/medecine.univ-amu.fr/files/avis_de_soutenance_et_resume_de_these_de_mr_boufi.pdf)

ANNEXES



Annexe 1 : Classification de Stanford des dissections aortiques

**a- Dissection aortique type B aiguë**

Recommendation 16	Class	Level of evidence
In patients with complicated acute type B aortic dissection, endovascular repair with thoracic endografting should be the first line intervention	I	C

**b- Dissection aortique chronique type B chronique**

Recommendation 38	Class	Level of evidence
In patients with moderate to high surgical risk or with contraindications to open repair, endovascular repair of complicated chronic type B aortic dissections should be considered in dedicated centres	IIa	C

**c- Lésions traumatique**

Recommendation 27	Class	Level of evidence
Patients with free rupture of a blunt traumatic thoracic aortic injury or a large peri-aortic haematoma ( $\geq 15$ mm) should undergo emergency repair	I	C
<b>Recommendation 28</b>		
In cases of blunt traumatic thoracic aortic injury without large haematoma, delayed intervention should be considered to prioritize treatment of associated life threatening injuries	IIa	C

**d- Hématome pénétrant et ulcère aortique**

Recommendation 20	Class	Level of evidence
Uncomplicated <sup>a</sup> type B intramural haematoma and penetrating aortic ulcer should be treated medically, and followed by serial imaging surveillance	I	C
<b>Recommendation 21</b>		
Endovascular repair should be considered for complicated <sup>a</sup> type B intramural haematoma	IIa	C
<b>Recommendation 22</b>		
Endovascular repair should be considered for complicated <sup>b</sup> type B penetrating aortic ulcer	IIa	C

**e- Anévrisme de l'aorte thoracique non compliqué**

Recommendation 46a	Class	Level of evidence
In fit and unfit patients with favourable anatomy, endovascular repair may be considered for descending thoracic aorta aneurysms between 56 and 59 mm diameter	IIb	B
<b>Recommendation 46b</b>		
In fit and unfit patients with favourable anatomy, endovascular repair should be considered for descending thoracic aorta aneurysms >60 mm diameter	IIa	B

**f- Anévrisme de l'aorte thoracique rompu**

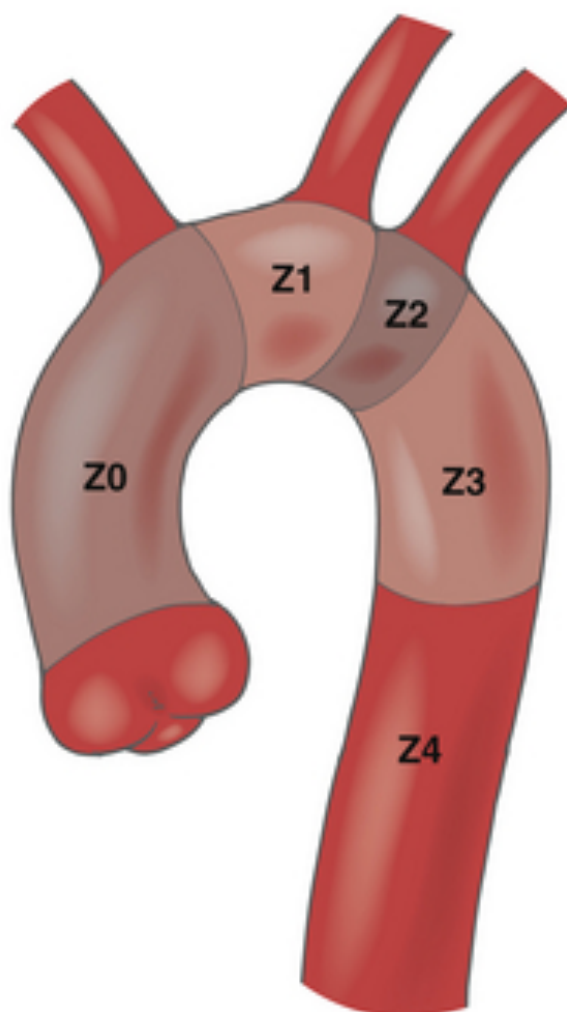
Recommendation 23	Class	Level of evidence
In patients with ruptured descending thoracic aortic aneurysm, endovascular repair should be the first treatment option when the anatomy is appropriate	I	B

**g- Anévrisme thoraco-abdominal non compliqué**

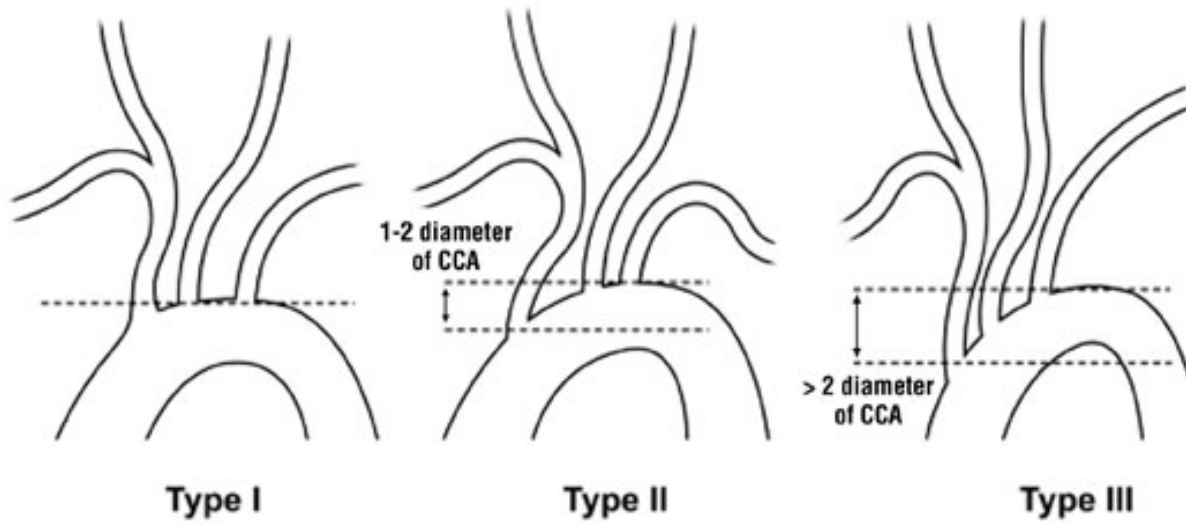
Recommendation 53	Class	Level of evidence
For thoraco-abdominal aneurysm repair, in patients unfit for open repair, an endovascular procedure should be considered	Ila	C

Annexe 2 : Niveau de recommandation et de preuve du traitement TEVAR selon le type de lésion aortique – Guidelines ESVS 2017 (5)





Annexe 3 : Classification de l'aorte thoracique adaptée aux zones de largage proximal lors des procédures endovasculaires proposée par Mitchell et Ishimaru (13)



Annexe 4 : Classification morphologique de la crosse aortique proposée par Casserly (Manual of peripheral vascular intervention)

**AUTEUR : Nom : MOUGIN**

**Prénom : JUSTINE**

**Date de Soutenance : 5 MAI 2017**

**Titre de la Thèse :**

**Applicabilité d'un modèle d'endoprothèse aortique branchée standardisée pour la prise en charge des lésions distales de la crosse aortique nécessitant une couverture de l'artère sous-clavière gauche**

**Thèse - Médecine - Lille 2017**

**Cadre de classement : *Chirurgie Vasculaire***

**DES + spécialité : *Chirurgie Générale + Chirurgie Vasculaire***

**Mots-clés : TEVAR. Couverture de l'artère sous-clavière gauche. Endoprothèse branchée. Anatomie. Standardisation.**

**Résumé :**

**Objectif :** La couverture volontaire sans revascularisation de l'artère sous-clavière gauche (ASCG) lors de l'implantation d'une endoprothèse thoracique aortique (TEVAR) pour le traitement des lésions distales de la crosse aortique exposerait le patient à un risque de complications neurologiques. Notre équipe participe au développement d'une endoprothèse (EDP) thoracique branchée standardisée qui permettrait au moyen d'une branche interne de maintenir la perfusion de l'ASCG ; cette EDP comporte une échancrure pour l'artère carotide commune gauche, ainsi qu'une branche interne rétrograde pour l'ASCG (20mm de longueur, origine à 24mm sous le bas de l'échancrure, positionnée à 12:15). Cette étude a évalué l'applicabilité de cette nouvelle EDP.

**Méthode :** A partir des données de l'angiographe préopératoire, l'anatomie de la crosse aortique de l'ensemble des patients ayant bénéficié d'une EDP thoracique avec couverture de l'ASCG dans notre centre entre 2011 et 2016 a été étudiée : l'angulation de la crosse aortique, la position horaire de l'origine des troncs supra-aortiques et la distance les séparant ont été relevées. L'origine de l'ACCG a été définie comme point de référence (0°). La proportion de patients éligibles à une prise en charge par cette EDP standardisée a pu être déterminée.

**Résultats :** 80 patients ont été inclus. Neuf présentaient une naissance de l'artère vertébrale gauche sur la crosse nécessitant une transposition dans l'ASCG ou l'ACCG avant l'implantation de l'EDP. L'aorte thoracique avait un diamètre médian de 32mm [29-35] au pied de l'ACCG et de 32mm [29-37] au pied de l'ASCG. La longueur médiane de la zone d'étanchéité proximale était de 24mm [20-32] ; et de plus de 20mm chez 75% des patients. La distance médiane entre l'origine de l'ACCG et l'ASCG était de 22mm [18-28]. L'orientation médiane de l'ASCG par rapport à l'ACCG était de 7,5° [-7,5-15°] (soit 12:15). Au total, 65 patients (81%) de notre cohorte étaient éligibles à la mise en place d'une EDP branchée standardisée dans sa configuration actuelle.

**Conclusion :** La faible variabilité de la morphologie de la crosse aortique et de l'origine des troncs supra-aortiques rend pertinent le développement d'une EDP thoracique branchée standardisée. Environ 80% des patients concernés par une lésion distale de la crosse aortique pourraient en bénéficier, sans ainsi nécessité de revascularisation sous-clavière par abord cervical.

**Composition du Jury :**

**Président : Professeur S. HAULON**

**Assesseurs : Professeur F. JUTHIER, Docteur D. FABRE, Docteur J.SOBOCINSKI**