

**Computertomographie-basierte anatomische Eignung einer
Endo-Bentall-Prothese für Aneurysmen der Aorta ascendens**

**(Computed tomography-based anatomic suitability of an
Endo-Bentall prosthesis for ascending aortic aneurysms)**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Medizin (Dr. med.)

an der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von

Mustafa Aldag

aus

Adiyaman

Hamburg 2025

Betreuer: in / Gutachter: in der Dissertation: Prof. Dr. Tilo Kölbel

Gutachter: in der Dissertation: PD Dr. Isabel Molwitz

Vorsitz der Prüfungskommission: PD Dr. Isabel Molwitz

Mitglied der Prüfungskommission: PD Dr. Hanno Ehlken

Mitglied der Prüfungskommission: PD Dr. Katharina Harms-Effenberger

Datum der mündlichen Prüfung: 03.02.2026

Inhaltsverzeichnis

1. PUBLIKATION.....	4
2. DARSTELLUNG DER PUBLIKATION	12
2.1. EINLEITUNG	12
2.2. MATERIAL UND METHODEN	13
2.2.1. Studiendesign	13
2.2.2. Studienpopulation	13
2.2.3. CTA-Messungen.....	13
2.2.4. Auswahlkriterien für den Einsatz der Endo-Bentall-Prothese	14
2.2.5. Definitionen.....	16
2.2.6. Ziele	16
2.2.7. Statische Analyse.....	16
2.3. RESULTATE.....	17
2.3.1. Patientenkohorte	17
2.3.2. Vaskulärer Zugang	18
2.3.3. Proximale Landungszone.....	18
2.3.4. Distale Landungszone und Aorta ascendes	18
2.3.5. Zielgefäße	19
2.3.6. Anwendbarkeit für die Endo-Bentall-Prothese	19
2.4. DISKUSSION	20
2.5. LIMITATIONEN DER STUDIE	23
2.6. FAZIT.....	23
3. ZUSAMMENFASSUNG (AUF DEUTSCH)	24
4. ZUSAMMENFASSUNG (AUF ENGLISH)	25
5. LITERATURVERZEICHNIS.....	26
6. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	30
7. TABELLENVERZEICHNIS	31
8. ERKLÄRUNG DES EIGENANTEILS.....	32
9. EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG	33
10.DANKSAGUNG	34

1. Publikation – Originalarbeit mit Supplement

Journal Pre-proof

Computed tomography-based anatomic suitability of an Endo-Bentall prosthesis for ascending aortic aneurysms

Mustafa Aldag, MD, Petroula Nana, PhD, Giuseppe Panuccio, PhD, José I. Torrealba, MD, Niklas Schofer, MD, Konstantinos Spanos, PhD, Yskert von Kodolitsch, PhD, Jens Brickwedel, MD, Till Joscha Demal, MD, Christian Detter, PhD, Tilo Kölbel, PhD

PII: S0741-5214(24)02103-7

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2024.10.084>

Reference: YMVA 13881

To appear in: *Journal of Vascular Surgery*

Received Date: 1 September 2024

Revised Date: 18 October 2024

Accepted Date: 23 October 2024

Please cite this article as: Aldag M, Nana P, Panuccio G, Torrealba JI, Schofer N, Spanos K, von Kodolitsch Y, Brickwedel J, Demal TJ, Detter C, Kölbel T, Computed tomography-based anatomic suitability of an Endo-Bentall prosthesis for ascending aortic aneurysms, *Journal of Vascular Surgery* (2024), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2024.10.084>.

This is a PDF file of an article that has undergone enhancements after acceptance, such as the addition of a cover page and metadata, and formatting for readability, but it is not yet the definitive version of record. This version will undergo additional copyediting, typesetting and review before it is published in its final form, but we are providing this version to give early visibility of the article. Please note that, during the production process, errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Copyright © 2024 Published by Elsevier Inc. on behalf of the Society for Vascular Surgery.



Computed tomography-based anatomical suitability of an Endo-Bentall prosthesis for ascending aortic aneurysms

Mustafa Aldag, MD,^a Petroula Nana, PhD,^a Giuseppe Panuccio, PhD,^a José I. Torrealba, MD,^a Niklas Schofer, MD,^b Konstantinos Spanos, PhD,^a Yskert von Kodolitsch, PhD,^a Jens Brickwedel, MD,^c Till Joscha Demal, MD,^c Christian Detter, PhD,^c and Tilo Kölbel, PhD,^a Hamburg, Germany

ABSTRACT

Background: This study aimed to evaluate the suitability of a coronary-branched ascending aortic endograft, paired with aortic valve (AV) prosthesis (Endo-Bentall), for the endovascular repair of ascending aortic aneurysms.

Methods: Preoperative ≤ 1 mm computed tomography angiographies of consecutive patients managed with Bentall procedure or ascending aortic replacement and AV reconstruction/replacement, in a single institution (from January 1, 2008, to December 31, 2023), were retrospectively analyzed. Dedicated software was used to assess (1) vascular access, (2) proximal landing zone, (3) coronary artery anatomy, and (4) distal landing. Eligibility criteria for Endo-Bentall were ≥ 8 mm iliac arteries, without severe calcification/tortuosity, proximal landing with an 18- to 29-mm aortic annulus diameter, ≥ 10 mm annulus-coronary ostium distance, no mechanical AV, absence of coronary grafts in the ascending aorta, no left ventricle thrombus, coronary arteries ≥ 3 mm wide and ≥ 10 mm long, with no anatomical abnormalities, ostial stent or stenosis, and ≥ 20 mm long and ≤ 38 mm wide distal landing zone within the ascending aorta or applicability of branched endovascular arch repair.

Results: Twenty-nine patients (55.2% females) were included. All patients had adequate proximal landing zone in terms of annulus diameter (median, 25 mm; interquartile range [IQR], 5 mm). Two (6.8%) had inadequate iliac access (external iliac artery < 8 mm). Two patients (6.8%) had a mechanical AV. Twenty-six patients (89.6%) had adequate landing zone for stenting of the left main coronary artery (median diameter, 5.2 mm; IQR, 1.8 mm) and 28 (96.6%) had adequate right coronary artery landing (median diameter, 4.1 mm; IQR, 1 mm). The left main coronary artery and right coronary artery were located at 5:00 minute and 10:50 minute clock positions, respectively. Three patients (20.7%) had an adequate distal landing zone within the ascending aorta. The remaining were suitable for extension with a branched arch device. According to the predefined criteria, 75.9% of patients were anatomically suitable for Endo-Bentall.

Conclusions: Three out of four patients with ascending aortic aneurysms may be considered as anatomically eligible for endovascular treatment with an Endo-Bentall prosthesis. (J Vasc Surg 2024;■:1-7.)

Keywords: Ascending aorta aneurysm; Endovascular repair; Anatomy; Suitability; Endo-Bentall

Surgical repair of aortic root and ascending aortic aneurysms (AscAA) is indicated when the aneurysm diameter exceeds 50 to 55 mm, as well as in cases of fast growth and emergent setting.¹ AscAAs with root involvement have been treated using open surgical replacement with median sternotomy, valved conduits, and coronary artery reimplantation, as originally described by Bentall

et al.² Despite the good surgical outcomes and the durability of the repair, fragile elderly patients, as well as patients with multiple comorbidities or previous sternotomy, remain at significant risk for perioperative complications, including mortality (32%).³

Therefore, an endovascular approach represents a theoretical interesting alternative for patients with AscAA affecting the aortic root and excluded from open repair. A combined aortic valve (AV) and branched ascending aortic endograft (Endo-Bentall prosthesis), which would consist of two components and could be introduced and advanced through lower limb access, permitting landing within the aortic annulus, may allow endovascular AscAA management, in patients with compromised AV function. However, such a device represents for the moment rather a theoretical model; no clinical trials or other study protocols, not even in very early stages, are recorded or published. Limited experience has been reported since 2020, when the first-in-human Endo-Bentall procedure using a custom-made device (Braile Biomedica, São José do Rio Preto, Brazil) was performed.⁴⁻⁷

From the German Aortic Center, Department of Vascular Medicine,^a German Aortic Center, Department of Cardiology,^b and the German Aortic Center, Department of Cardiovascular Surgery,^c University Medical Center Eppendorf. Correspondence: Petroula Nana, PhD, German Aortic Center, Department of Vascular Medicine, University Heart and Vascular Center UKE Hamburg, Martinistraße 52, Hamburg, Germany 20251 (e-mail: petr.nana7@hotmail.com).

The editors and reviewers of this article have no relevant financial relationships to disclose per the JVS policy that requires reviewers to decline review of any manuscript for which they may have a conflict of interest.

0741-5214

Copyright © 2024 The Authors. Published by Elsevier Inc. on behalf of the Society for Vascular Surgery. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

<https://doi.org/10.1016/j.jvs.2024.10.084>

Thus, this study aimed to investigate the anatomical characteristics of patients managed with conventional open procedures of the ascending aorta and AV for AscAA and estimate the suitability of an Endo-Bentall prosthesis.

METHODS

Study design. A single-center retrospective analysis of consecutive patients with AscAA and paired AV disease, managed with conventional Bentall procedure or ascending aorta replacement with AV reconstruction/replacement, and available preoperative 1-mm slice-cut computed tomography angiographies (CTAs), from January 1, 2008, to December 31, 2023, was undertaken. The STROBE guidelines were followed.⁸ The study complied with the Declaration of Helsinki and was considered exempt from ethical approval, owing to its retrospective design and use of anonymized data, according to the current state laws.

Study population. Only patients who had an available preoperative ≤ 1 -mm slice-cut CTA and were managed with Bentall or ascending aorta replacement with AV reconstruction or replacement for AscAA, paired to AV disease, were eligible for this analysis. CTAs with a 1-mm slice-cut are considered appropriate for the accurate assessment of the coronary arteries. CTA scans, not including iliac arteries, were assessed for the proximal aortic anatomy and these patients were not a priori excluded. Patients with type I or II DeBakey acute or chronic aortic dissection, as well as patients with previous isolated ascending and/or aortic arch repair were excluded.

CTA measurements. All CTA measurements were performed in anonymized sequences using the Aquarius iNtuition workstation (Version 4.4.14; Tera Recon, Inc., Durham, NC). A central luminal line (CLL) was created semiautomatically from the left ventricle to the descending thoracic aorta. Diameters and perimeters were measured at perpendicular planes to the CLL, except for aortic length, where outer curve measurements were used. As a reference point for the clock positions of the coronary arteries and aortic arch branches (all referred later as target vessels), a posteroanterior view was used, with 12:00 located at the outer curve of the aortic arch, in the middle of the left common carotid artery ostium.⁹ Data were collected for four sections: (1) vascular access, (2) proximal landing zone, (3) distal landing zone, and (4) target vessels measurements. To minimize the interobserver bias, two independent cardiovascular surgeons (M.A., J.I.T.) assessed the available CTAs. After the completion of the measurements, all data were assessed by a third investigator (T.K.) and no difference of >1 mm for the aortic measurements and >0.5 mm for the coronary artery measurements was found.

ARTICLE HIGHLIGHTS

- **Type of Research:** Single-center, retrospective observational study
- **Key Findings:** The feasibility of an Endo-Bentall procedure was examined in 29 patients with ascending aortic aneurysm. All had adequate annulus diameter for proximal landing. Only two patients had inadequate vascular access (external iliac artery <8 mm). Appropriate landing into the left coronary artery was met in 89.6% and in 96.6% into the right coronary artery. Clock positions were located at 5:00 for the left and 10:00 for the right coronary artery. Three patients (20.7%) had adequate distal landing zone within the ascending aorta.
- **Take Home Message:** In terms of proximal aortic landing zone and coronary artery characteristics, 75.9% of 29 patients with ascending aortic aneurysm were anatomically suitable for an Endo-Bentall prosthesis.

Criteria of eligibility to Endo-Bentall prosthesis. A patient was considered suitable for Endo-Bentall prosthesis based on specific anatomical criteria (Table 1). An Endo-Bentall prosthesis would be a double-component device for the endovascular repair of AscAA, which would use the aortic annulus for proximal landing and would consist of a stent graft with two branches for coronary artery bridging, and a separate AV prosthesis, as used in transcatheter AV replacement (TAVR) procedures. The procedure would be initiated with the advancement and implantation of the ascending aortic endograft, followed by the implantation of the AV prosthesis. The system would require a 22F to 24F sheath, like those used in fenestrated/branched thoracoabdominal aneurysm repair. Therefore, iliac access should present no severe calcification or tortuosity, and iliac artery diameters should be ≥ 8 mm.¹⁰ In case of inadequate iliac access, the aortic device could be introduced using transapical access, while the AV prosthesis could be introduced using femoral or upper access, including a transaxillary or transapical approach.⁶ Both device deployments should be performed as fast as possible, under rapid pacing and further mechanical hemodynamic support (eg, temporary extracorporeal membrane oxygenation). Proximal landing zone eligibility criteria of the Endo-Bentall should meet the requirements for TAVR applicability.¹¹ The distal landing zone could be either within the ascending aorta or the aortic arch, potentially using a distal extension with a branched aortic arch device.

Definitions. The aortic annulus is the junction between the left ventricular outflow tract and the ascending aorta at the level of the attachment of the aortic leaflets to the

Table I. The theoretical suitability criteria for Endo-Bentall application applied in the current cohort

1. Vascular access site: Suitable iliac artery access to accommodate sheaths	
<ul style="list-style-type: none"> • ≥ 8 mm diameter of iliac arteries • No severe calcification and tortuosity 	
2. Proximal landing zone: Aortic annulus and root	
<ul style="list-style-type: none"> • Aortic annulus diameter between 18 and 29 mm • ≥ 10 mm distance between aortic annulus and coronary ostium • No mechanical AV • Absence of coronary bypass grafts originating from the ascending aorta • Absence of thrombus in left ventricle 	
3. Distal landing zone: Ascending aorta	
<ul style="list-style-type: none"> • No dissection of ascending aorta 	
a) Sealing ascending aorta	
<ul style="list-style-type: none"> • ≥ 20 mm length distal sealing zone • ≤ 38 mm landing zone diameter 	
b) Extension B-TEVAR	
<ul style="list-style-type: none"> • Diameter of IA ≤ 22 mm • Diameter of LCCA ≤ 12 mm • Absence of anatomical variants of arch (bovine arch, etc.) 	
4. Target vessels: for LMCA and RCA	
<ul style="list-style-type: none"> • ≥ 3-mm coronary diameter • ≥ 10-mm length • Absence of coronary anomalies^a/aneurysms/dissections • No previous ostial stent (either in LMCA or RCA) • Absence of ostial stenosis/severe calcification 	
<p><i>B-TEVAR</i>, Branched thoracic endovascular aortic repair; <i>IA</i>, innominate artery; <i>LCCA</i>, left common carotid artery; <i>LMCA</i>, left main coronary artery; <i>RCA</i>, right coronary artery.</p> <p>^aCoronary anomalies: 1. Multiple ostia: Separate origins of left anterior descending and circumflex arteries. 2. Single coronary artery/RCA can be intramyocardial. 3. Anomalous Origin from the pulmonary artery. 4. High take-off: Refers to the origin of LMCA or RCA at the point above the STJ.</p>	

aortic wall.¹² The sinotubular junction (STJ) is the location where the sinus of Valsalva transitions to the tubular ascending aorta. The proximal edge of the ostium of the brachiocephalic trunk (BCT) was taken as the reference for measuring the distance from the aortic annulus to the BCT on the outer curvature. Because the coronary artery length was defined as the distance between the coronary ostium to the first branch of the vessel, estimated using CLL. Multiple ostia with separate origins of the left anterior descending and circumflex coronary arteries, single coronary artery with intramyocardial right coronary artery (RCA), anomalous origin from the pulmonary artery and high take-off were considered as coronary anomalies. High-take-off coronary anomaly describes the origin of the left main coronary artery (LMCA) or RCA at the site above the STJ, which prevents successful stenting of the coronary arteries with a covered stent.¹³ Aortic arch type was defined according to Marrocco-Trischitta et al.¹⁴ Severe iliac calcification was reported as the presence of circumferential calcification in $>50\%$ in any segment of vessel length while

severe tortuosity was considered the presence of a tortuosity index of >1.6 .¹⁵

Outcomes. This analysis aimed to assess the anatomy of patients managed with conventional open procedures of the ascending aorta and AV for AscAA and evaluate the proportion that could be anatomically suitable for an Endo-Bentall prosthesis.

Statistical analysis. Categorical variables were presented as number and percentage. Continuous data were presented as median and interquartile range (IQR). The clock positions of coronary arteries were given as median values with the IQR. No comparisons were attempted. The sample size was allowed to vary based on the analysis and no imputation of missing data was performed, as for both categorical and continuous variables was infrequent ($<1\%$). Statistical analysis was performed by SPSS 22.0 for Windows software (IBM Corp, Armonk, NY).

RESULTS

Patient cohort. Twenty-nine patients with AscAA and adequate imaging were included. The median age of the patients was 62 years (IQR, 26 years) and 55.2% ($n = 16$) were females. In terms of aortic arch morphology, 24.1% were type I, 34.5% were type II, 27.5% were type III, and 13.8% ($n = 4$) had a bovine arch (Table II).

Vascular access. Twenty-three patients (79.3%) were included in the vascular access analysis. The median diameter of the external and common iliac artery were 8.5 mm (IQR, 1.2 mm) and 11 mm (IQR, 2.1 mm), respectively. None of the patients had severe calcification or tortuosity that prohibited endovascular treatment. All patients were considered eligible if a 22F introducer sheath would be used (external iliac artery >7 mm) while 93.1% for using a 24F introducer sheath (external iliac artery ≥ 8 mm).

Proximal landing zone. The median diameter of the aortic annulus was 25 mm (IQR, 5 mm). All patients had a favorable proximal landing zone for the Endo-Bentall prosthesis regarding the annulus diameter, although two (6.8%) had a prior mechanical AV. The median distance from the nadir of the corresponding annulus to the ostium of the more proximal coronary artery was 13 mm (IQR, 5 mm). No patient had a distance of <10 mm. The median aortic diameters at STJ and SV were 36.3 mm (IQR, 7.4 mm) and 38 mm (IQR, 8.1 mm), respectively.

Distal landing zone and ascending aorta. The median AscAA diameter was 57 mm (IQR, 10.5 mm). The median distance from the annulus to the BCT was 117 mm (IQR, 18.5 mm). Only six patients (20.7%) had a sufficient distal sealing zone at the distal ascending aorta (>20 mm length and ≤ 38 mm width).

Table II. Demographics and anatomical features, including anatomical measurements

Variables	Median	IQR
Age, years	62	26
Diameter of the external iliac artery, mm	8.5	1.2
Diameter of the common iliac artery, mm	11	2.1
Largest diameter of the ascending aneurysm, mm	57	10.5
Distance from the annulus to the BCT, mm	117	18.5
Diameter of BCT, mm	14.7	4
Diameter of LCCA, mm	8.6	2.1
Diameter of the aortic annulus, mm	25	5
Aortic diameters at STJ, mm	36.3	7.4
Aortic diameters at SV, mm	38	8.1
Diameter of LMCA, mm	5.2	1.8
Diameter of RCA, mm	4.1	1
Clock position of LMCA, minutes	300	60
Clock position of RCA, minutes	650	120
Time difference between LMCA and RCA, minutes	310	150
Variables	No. (%)	
Gender		
Female	16 (55.2)	
Male	13 (44.8)	
Aortic morphology		
Type I	7 (24.1)	
Type II	10 (34.5)	
Type III	8 (27.5)	
Bovine arch	4 (13.8)	
Presence of isolated vertebral artery	4 (13.8)	
Prior operations		
Presence of proximal anastomosis after CABG	0 (0)	
Presence of a mechanical AV	2 (6.8)	
Presence of ostial coronary stents	1 (3.4)	

AV, Aortic valve; BCT, brachiocephalic trunk; CABG, coronary artery bypass grafting; LCCA, left common carotid artery; IQR, interquartile range; LMCA, left main coronary artery; RCA, right coronary artery; STJ, sinotubular junction; SV, sinus of Valsalva.

The remaining 23 patients (79.3%) would have required an extension with branched aortic arch repair. Four patients (13.8%) had an isolated vertebral artery take-off from the aortic arch. The median diameter of the BCT and left common carotid artery were 14.7 mm (IQR, 4 mm) and 8.6 mm (IQR, 2.1 mm), respectively. None of the patients had a prior proximal anastomosis within the ascending aorta.

Target vessels. The median diameter of LMCA was 5.2 mm (IQR, 1.8 mm). Twenty-six patients (89.6%) had an adequate landing zone within the LMCA. Two patients had separate origins of the left anterior descending and circumflex arteries. Additionally, one patient had an early branch within the initial 10 mm of the LMCA. The

median LMCA angle was 85.5° (IQR, 26°) and the median clock position of LMCA was 300 minutes (IQR, 60 minutes; clock position, 5:00).

For the RCA, the median diameter was 4.1 mm (IQR, 1 mm). One patient (3.4%) had a previously implanted RCA ostial stent. The median RCA angle was 70° (IQR, 21°) and the median clock position of the RCA was 650 minutes (IQR, 120 minutes; clock position: 10:50). The median time difference between LMCA and RCA was 310 minutes (IQR, 150 minutes; clock position: 5:10).

Suitability for the Endo-Bentall prosthesis. Overall, 75.9% of patients with AscAA were eligible for an Endo-Bentall prosthesis. The feasibility of an Endo-Bentall procedure for AscAA, in terms of anatomy and measurements of proximal landing zone, target vessels, distal landing zone and vascular access is presented in Table III.

DISCUSSION

For decades, the Bentall procedure has been considered the cornerstone of treatment for patients presenting with diseases affecting both the aortic root and AV, although with a cost of 10% perioperative mortality, even in the most experienced centers.¹⁶⁻¹⁸ Since the initial experience of aortic root and AV replacement in 1968, significant evolutionary steps have been made in proximal aortic open repairs, decreasing the associated perioperative mortality risk to 2%.¹⁶ However, these invasive procedures in frail patients are still associated with a considerable risk of mortality.^{19,20} Theoretically, endovascular ascending aortic repair with branches for the coronary arteries, and concomitant AV implantation, could be a valuable alternative. This study showed that an Endo-Bentall device could be applied in almost 76% of patients with AscAA and AV stenosis. Previous studies on Endo-Bentall feasibility in type A aortic dissection cases showed rates ranging from 2% to 79%.²¹⁻²⁴

The most important limitation for the application of endovascular techniques in the aortic arch and ascending aorta is the presence of an adequate proximal sealing zone. In the current cohort, none of the patients had a contraindication for potential TAVR (Table IV), and further an Endo Bentall prosthesis, owing to aortic annulus diameter or coronary anatomy. No aortic annulus was >29 mm and no distance from the aortic annulus to the most proximal coronary artery ostium was <10 mm.²⁴ The current analysis showed that none of the patients with AscAA and AV stenosis presented a prohibiting proximal landing zone in terms of diameter, whereas the only parameter hampering the applicability of Endo-Bentall prosthesis was the presence of a mechanical AV.

In contrast, a distal landing within the ascending aorta was feasible only in 20.7% of patients, with the remaining cohort needing an extended aortic arch repair. According to these findings, patients with AscAA may have

Table III. Feasibility rate of an Endo-Bentall stent graft system for ascending aortic aneurysm (AscAA)

Criteria	No. of unsuitable patients (%)	Reason of unsuitability (n)	Suitability for Endo-Bentall (%)
Access site	2 (6.9)	External iliac diameter <8 mm	93.1
Proximal landing zone	2 (6.9)	Presence of a prior mechanical AV (n = 2) *One patient was unsuitable also owing to inadequate landing zone for LMCA	93.1
Distal landing zone	0		100
Target vessels	4 (13.8)	-Separate origin of LMCA (n = 2) -Presence of a prior ostial RCA Stent with stenosis and severe calcification (n = 1) - Inadequate landing zone for LMCA (<10 mm) (n = 1)	86.2
Total (n = 29)	7 (24.1)		75.9

AV, Aortic valve; LMCA, left main coronary artery; RCA, right coronary artery.

Table IV. Available transcatheter aortic valve (AV) implantation devices

TAVI device	Company	Bx/Sx	Valve size, mm	Use in AR	Delivery system diameter
Acurate Neo	Boston Scientific	Sx	N/A	No	18F
Portico Valve	Abbott Vascular	Sx	23, 25, 27, 29	N/A	18F-19F
Lotus	Boston Scientific	Sx	23, 25, 27	No	18F-20F
Corevalve Evolut R/Pro	Medtronic	Sx	23, 26, 29, 34	No	14F
Sapien 3	Edwards Lifesciences	Bx	20, 23, 26, 29	No	14 F
Jenavalve	Jenavalve Technology	Sx	N/A	Yes	N/A
J-Valve	JC Medical	Sx	N/A	Yes	N/A

AR, Aortic valve regurgitation; Bx, balloon-expandable; N/A, not applicable; Sx, self-expandable.

more extensive disease, affecting distal aortic segments while epidemiological data on degenerative AscAA extending distally are lacking.^{25,26} Although complete endovascular management, including the aortic arch, seems feasible, the potential increased complexity of the procedure should be acknowledged.²⁷ A staged approach, including an initial Endo-Bentall procedure, followed by the endovascular aortic arch repair may be an option. The aortic annulus seems to be a stable sealing zone, according to previous TAVR experience, with phenomena of migration being rare, making a staged approach a possible scenario.²⁸

Vascular access does not appear to be a major limitation for an Endo-Bentall procedure according to the current analysis, if a 22F to 24F delivery system would be used. Only two patients (6.9%) had an external iliac artery diameter of <8 mm, and no case of severe tortuosity or calcification was detected, leading to an Endo Bentall feasibility rate of 75.9%. The use of iliac conduits in patients with smaller external but adequate common iliac arteries represents a useful access alternative. A recent meta-analysis of 8697 TAVR procedures reported that iliofemoral predictors for access-site complications were related to vessel diameter, depth, calcification, and tortuosity.²⁹ However, sole femoral access seems

rather a wishful future advancement, because transapical access may be required for the procedures' completion.^{5,30} Undoubtedly transapical access increases the complexity of an Endo-Bentall procedure, questioning its minimal invasiveness.³¹

Coronary anatomical variations related to inadequate landing zones and the presence of previous stents excluded four cases of this cohort from a potential Endo-Bentall. Coronary arteries' diameters, angles and clock positions may justify the use of a double 5 mm retrograde branched device with clock positions for the branches at 10:00 and 5:00 o'clock.³² Branched devices permit higher flexibility in target vessel catheterization in aneurysmal disease.³³ Appropriate bridging stent selection is a field needing extensive investigation, because no dedicated device exist, not even for the widely used fenestrated and branched thoracoabdominal endovascular repair. In our opinion, a covered stent combining the characteristics of a balloon-expandable and self-expanding stent would be the best solution. Branched aortic devices combined to self-expanding covered stents perform with high patency rates in the renal arteries, which also represent target vessels prone to significant movement.³⁴ However, currently commercially available self-expanding covered stents exist in diameter

from 5 mm, setting an important limitation for use in smaller coronary arteries. In these cases, a combination of a balloon-expandable covered stent, extended with a self-expanding one could be a viable option.

The clinical application of the Endo-Bentall procedure is very limited at this time, and the procedure has only been applied in well-selected patients considered at excessively high risk for an open procedure.^{4,6,7} However, the current findings showed that Endo-Bentall is a demanding but technically feasible procedure, where individualized medicine and multidisciplinary teamwork can determine the clinical and technical outcomes. A dedicated Endo-Bentall prosthesis may currently seem far away. However, taking into mind the advancements on the endovascular field during the last three decades, the future may be closer than expected. Future studies providing anatomical details and characteristics, such as diameters, lengths and target vessel orientation, may support the evolution of the technique and devices.²⁴

Limitations. The retrospective design and the small sample size are main drawbacks of the current feasibility analysis. The retrospective nature introduces significant biases, in terms of patient selection and reporting bias. However, the use of lower quality CTAs would not permit the adequate detailed evaluation of the target vessels and aortas. All CTAs were assessed by two independent investigators, with experience of >5 years in cardiovascular surgery. The lack, however, of a core lab evaluation should be acknowledged. No intraobserver or interobserver variability was performed, introducing potentially reporting bias. However, after the completion of the measurements all data were assessed by a third investigator and no difference of >1 mm for the aortic measurements and 0.5 mm for the coronary artery measurements was found. Applicability of the Endo-Bentall prosthesis was made on a theoretical base, because the current experimental and clinical experience is extremely limited. Future studies are needed to establish both the anatomical criteria and the optimal device configuration.

CONCLUSIONS

Approximately three of four patients with AscAAs were considered anatomical candidates for endovascular treatment using an Endo-Bentall prosthesis. Using the current findings, future studies may provide additional details, which would improve the future design of such a device.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception and design: KS, YK, JB, TD, CD, TK
Analysis and interpretation: MA, PN, NS, KS, TK
Data collection: MA, GP, JT, NS
Writing the article: MA, PN
Critical revision of the article: MA, PN, GP, JT, NS, KS, YK, JB, TD, CD, TK

Final approval of the article: MA, PN, GP, JT, NS, KS, YK, JB, TD, CD, TK

Statistical analysis: MA, KS

Obtained funding: Not applicable

Overall responsibility: TK

FUNDING

None.

DISCLOSURES

T.K. is a consultant and proctor for and has intellectual property with Cook Medical, receiving royalties, speaking fees, and research, travel, and educational grants.

REFERENCES

- Isselbacher EM, Preventza O, Hamilton Black J III, et al. 2022 ACC/AHA guideline for the diagnosis and management of aortic disease: a report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on clinical practice guidelines. *Circulation*. 2022;146:e334–e482.
- Grimm JC, Ibrahim M, Szeto WY. Endo-Bentall: is this feasible? *Ann Cardiothorac Surg*. 2022;11:46–47.
- Mazine A, David TE, Lafreniere-Roula M, Feindel CM, Ouzounian M. Early outcomes of the Bentall procedure after previous cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2021;162:1063–1071.
- Gaia DF, Bernal O, Castilho E, et al. First-in-human Endo-Bentall procedure for simultaneous treatment of the ascending aorta and aortic valve. *J Am Coll Cardiol Case Rep*. 2020;2:480–485.
- Wang C, Regar E, Lachat M, von Segesser LK, Maisano F, Ferrari E. Endovascular treatment of non-dissected ascending aorta disease: a systematic review. *Eur J Cardio Thorac Surg*. 2018;53:317–324.
- Gandet T, Westermann D, Conradi L, et al. Modular Endo-Bentall procedure using a "Rendez-Vous access". *J Endovasc Ther*. 2022;29:711–716.
- Choreishi M, Chahal D, Shah A, et al. First-in-human endovascular aortic root repair (Endo-Bentall) for acute type A dissection. *Circ Cardiovasc Interv*. 2023;16:e013348.
- von Elm E, Altman DG, Egger M, et al. The strengthening of reporting of observational studies in epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *Int J Surg*. 2014;12:1495–1499.
- Spanos K, Haulon S, Tsilimparis N, Rohlfes F, Panuccio G, Kölbl T. Preoperative measurements and planning sheet for an endograft with 3 inner branches to repair aortic arch pathologies. *J Endovasc Ther*. 2019;26:378–384.
- Milne CP, Amako M, Spear R, et al. Inner-branched endografts for the treatment of aortic arch aneurysms after open ascending aortic replacement for type A dissection. *Ann Thorac Surg*. 2016;102:2028–2035.
- Cocchia R, D'Andrea A, Conte M, et al. Patient selection for transcatheter aortic valve replacement: a combined clinical and multimodality imaging approach. *World J Cardiol*. 2017;9:212–229.
- Moon MC, Greenberg RK, Morales JP, et al. Computed tomography-based anatomic characterization of proximal aortic dissection with consideration for endovascular candidacy. *J Vasc Surg*. 2011;53:942–949.
- Angelini P. Coronary artery anomalies: an entity in search of an identity. *Circulation*. 2007;115:1296–1305.
- Marrocco-Trischitta MM, Glauber M. Implications of different definitions for aortic arch classification provided by contemporary guidelines on thoracic aortic repair. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2021;32:950–952.
- Chaikof EL, Blankensteijn JD, Harris PL, et al. Reporting standards for endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg*. 2002;35:1048–1060.
- Iannacone EM, Lau C, Soletti G Jr, et al. Aortic valve-sparing root replacement or Bentall? *Ann Cardiothorac Surg*. 2023;12:168–178.
- Etz CD, Bischoff MS, Bodian C, et al. The Bentall procedure: is it the gold standard? A series of 597 consecutive patients. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2010;140:64–70.

18. Crawford ES, Svensson LC, Coselli JS, Safi HJ, Hess KR. Surgical treatment of aneurysm and/or dissection of the ascending aorta, transverse aortic arch, and ascending aorta and transverse aortic arch. Factors influencing survival in 717 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1989;98:659–673.
19. Vekstein AM, Chad Hughes G, Chen EP. Open arch surgery in the redo setting: contemporary outcomes. *J Cardiovasc Surg.* 2022;63:415–424.
20. Sandhu HK, Tanaka A, Zaidi ST, et al. Impact of redo sternotomy on proximal aortic repair: does previous aortic repair affect outcomes? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2020;159:1683–1691.
21. Kreibich M, Rylski B, Kondov S, et al. Endovascular treatment of acute Type A aortic dissection—the Endo Bentall approach. *J Vis Surg.* 2018;4:69.
22. Rong D, Chen X, Han J, et al. Anatomic feasibility of a modular Endo-Bentall stent graft system for type A aortic dissection. *J Vasc Surg.* 2023;78:1359–1366.e2.
23. Kern M, Hauck SR, Dachs TM, et al. Endovascular repair in type A aortic dissection: anatomical candidacy for currently manufactured stent grafts and conceptual valve-carrying devices for an Endo-Bentall procedure. *Eur J Cardio Thorac Surg.* 2023;63.ezad085.
24. Vallée A, Guimbretière C, Guihaire G, et al. Anatomical feasibility of Endobentall strategies for management of acute type A aortic dissection. *Ann Surg.* 2024. Online ahead of print.
25. Coady MA, Rizzo JA, Hammond GL, et al. What is the appropriate size criterion for resection of thoracic aortic aneurysms? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1997;113:476–491.
26. Nana P, Haulon S, Kölbl T. Evidence on aortic arch aneurysm diameter thresholds: standing on a wobbly steppingstone. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2024;67:869–871.
27. Tsilimparis N, Drewity S, Detter C, et al. Endovascular repair of ascending aortic pathologies with tubular endografts: a single-center experience. *J Endovasc Ther.* 2019;26:439–445.
28. Binder RK, Webb JG. Transcatheter heart valve migration and embolization: rare and preventable? *Eur Heart J.* 2019;40:3166–3168.
29. Androshchuk V, Chehab O, Prendergast B, Rajani R, Patterson T, Redwood S. Computed tomography derived anatomical predictors of vascular access complications following transfemoral transcatheter aortic valve implantation: a systematic review. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2024;103:169–185.
30. Mach M, Okutucu S, Kerbel T, et al. Vascular complications in TAVR: incidence, clinical impact, and management. *J Clin Med.* 2021;10:5046.
31. Rohlfes F, Nana P, Panuccio C, Torrealba JI, Tsilimparis N, Kölbl T. A retrospective analysis of 10-year experience on branched and fenestrated endovascular aortic arch repair. *Ann Surg.* 2024. Online ahead of print.
32. Oberhuber A, Simonte G, Isernia G, Schäfers J. The semibranch: a new tool for complex aortic pathologies. *J Endovasc Ther.* 2023;15266028231219661.
33. Gallitto E, Faggioli G, Pini R, et al. Renal artery orientation influences the renal outcome in endovascular thoraco-abdominal aortic aneurysm repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2018;56:382–390.
34. Cheng CP, Bondensson J, Bendavid J, Haulon S. Renovisceral artery alterations due to branched endovascular aortic repair and respiratory-induced deformations. *J Vasc Surg.* 2023;78:902–911.

Submitted Sep 1, 2024; accepted Oct 23, 2024.

2. Darstellung der Publikation

2.1 Einleitung

Die chirurgische Behandlung von Aneurysmen der Aortenwurzel und der ascendierenden Aorta (AscAA) ist indiziert, wenn das Aneurysma einen Durchmesser von 50 bis 55 mm erreicht, sowie in Fällen von raschem Wachstum und Notfallsituationen (Isselbacher et al. 2022). Wie bereits von Bentall et al. beschrieben, werden AscAAs mit Beteiligung der Aortenwurzel mittels eines offenen chirurgischen Eingriffs mit medianer Sternotomie, Conduits mit Klappen und Reimplantation von Koronararterien behandelt (Grimm et al. 2022). Trotz guter chirurgischer Ergebnisse und langer Haltbarkeit der Rekonstruktion, besteht bei fragilen älteren Patienten sowie bei Patienten mit multiplen Komorbiditäten oder einer vorangegangenen Sternotomie weiterhin ein erhebliches Risiko hinsichtlich perioperativer Komplikationen, einschließlich der Mortalität (32 %) (Mazine et al. 2021).

Infolgedessen bietet ein endovaskulärer Therapieansatz eine theoretisch interessante Alternative für Patienten, bei denen die Aortenwurzel von der AscAA betroffen ist und eine offene Rekonstruktion nicht indiziert ist. Eine Kombination aus Aortenklappe (AK) und branched ascending aortic Endograft (Endo-Bentall-Prothese), die aus zwei Komponenten besteht und über einen Zugang in die unteren Extremitäten eingeführt und platziert werden kann, um im Aortenanulus zu landen, könnte bei Patienten mit eingeschränkter AK-Funktion ein endovaskuläres AscAA-Management ermöglichen. Allerdings handelt es sich bei einem entsprechenden Produkt derzeit eher um ein theoretisches Modell; klinische Studien oder andere Studienprotokolle, auch in sehr frühen Stadien, sind weder erfasst noch veröffentlicht. Seit der erstmaligen Durchführung des Endo-Bentall-Verfahrens am Menschen unter Anwendung eines für den Patienten angefertigten Geräts (Braile Biomedica, São José do Rio Preto, Brasilien) im Jahre 2020 liegen nur sehr begrenzte Erkenntnisse vor (Gaia et al. 2020, Wang et al. 2018, Gandet et al. 2022 und Ghoreishi et al. 2023).

Die vorliegende Studie zielte demnach darauf ab, die anatomischen Merkmale von Patienten zu untersuchen, die mit konventionellen offenen Verfahren an der Aorta ascendens und der Aortenklappe für AscAA behandelt wurden, und die Eignung einer Endo-Bentall-Prothese zu evaluieren.

2.2 Material und Methoden

2.2.1 Studiendesign

Im Rahmen dieser retrospektiven Analyse wurden konsekutive Patienten mit AsCAA und gleichzeitig bestehender AK-Erkrankung untersucht, die entweder mit dem konventionellen Bentall-Verfahren oder dem Ersatz der Aorta ascendens mit AK-Rekonstruktion/Ersatz behandelt wurden. Die Untersuchung umfasste Patienten, bei denen präoperative 1-mm-Computertomographie-Angiographien (CTAs) vom 1. Januar 2008 bis zum 31. Dezember 2023 vorlagen. Die STROBE-Leitlinien wurden befolgt (von Elm et al. 2014). Die Studie wurde gemäß der Deklaration von Helsinki durchgeführt und aufgrund ihres retrospektiven Designs sowie der Verwendung anonymisierter Daten entsprechend den geltenden staatlichen Gesetzen als nicht ethisch genehmigungspflichtig eingestuft.

2.2.2 Studienpopulation

Für die vorliegende Studie wurden ausschließlich Patienten berücksichtigt, bei denen eine präoperative CTA mit einem Schnitt von ≤ 1 mm vorlag und die mit einem Bentall- oder Ascendens-Aortenersatz mit AK-Rekonstruktion oder einem Ersatz für AsCAA, kombiniert mit einer AK-Erkrankung, behandelt wurden. CTAs mit einem 1-mm-Schichtschnitt gelten als geeignet für die akkurate Auswertung der Koronararterien. CTA-Scans, die keine Beckenarterien einschließen, wurden für die Anatomie der proximalen Aorta analysiert, und diese Patienten wurden nicht exkludiert. Patienten mit akuter oder chronischer Aortendissektion vom Typ I oder II nach DeBakey sowie Patienten mit vorheriger isolierter Rekonstruktion der Aorta ascendens und/oder des Aortenbogens wurden nicht eingeschlossen.

2.2.3 CTA-Messungen

Alle CTA-Messverfahren wurden in anonymisierten Sequenzen mit der Aquarius iNtuition Workstation (Version 4.4.14; Tera Recon, Inc., Durham, NC) durchgeführt. Eine zentrale Lumenlinie (CLL) wurde semiautomatisch vom linken Ventrikel bis zur deszendierenden thorakalen Aorta erstellt. Durchmesser und Perimeter wurden in senkrecht zur CLL orientierten Ebenen gemessen, mit Ausnahme der Aortenlänge, für die Messungen an der Außenkurve verwendet wurden. Als Referenzpunkt für die Uhrpositionen der Koronararterien und der Äste des Aortenbogens (alle nachfolgend als Zielgefäße definiert) wurde eine posteroanteriore Darstellung verwendet, wobei 12:00 Uhr an der äußeren Kurve des Aortenbogens, in der Mitte des Ostiums der linken A. carotis communis, lag (Spanos et. Al 2019).

Die Daten wurden in vier Sektionen erhoben: (1) Gefäßzugang, (2) proximale Landungszone, (3) distale Landungszone und (4) Zielgefäße. Zur Minimierung des Interobserver Bias wurden die CTAs von zwei verschiedenen Herz- und Gefäßchirurgen (M.A., J.I.T.) analysiert. Nach Fertigstellung der Messungen wurden alle Daten von einem dritten Gefäßchirurg (T.K.) bewertet. Es wurde kein Unterschied von >1 mm für die Aortenmessungen und >0,5 mm für die Koronararterienmessungen festgestellt.

2.2.4 Auswahlkriterien für den Einsatz der Endo-Bentall-Prothese

Die Patienten wurden anhand spezifischer anatomischer Kriterien (Tabelle I) als geeignet für eine Endo-Bentall-Prothese definiert. Eine Endo-Bentall-Prothese stellt eine Zweikomponenten-Konstruktion dar, die für die endovaskuläre Reparatur von AscAA vorgesehen ist. Die Prothese verwendet den Aortenannulus als proximale Landestelle und besteht aus einem Stentgraft mit zwei Ästen zur Überbrückung der Koronararterien sowie einer separaten AK-Prothese, die dem TAVR-Verfahren (Transkatheter-Aortenklappenersatz) ähnelt. Das Verfahren wird mit der Implantation des ascendierenden Aorten-Endoprothesen-Systems eingeleitet. Im Anschluss erfolgt die Implantation der Aortenklappen-Prothese. Das System erfordert den Zugang über eine 22F- bis 24F-Schleuse, wie bei der Behandlung von fenestrated /branched thoracic endovascular aortic repair (f/b TEVAR). Aus diesem Grund sollte der iliakalen Zugang keine ausgeprägten Kalzifizierungen oder Tortuositäten aufweisen, und der Durchmesser der iliakalen Arterien sollte mindestens 8 mm betragen (Milne et al. 2016). Im Falle eines inadäquaten iliakalen Zugangs kann die Aortenprothese über einen transapikalen Zugang eingeführt werden, während die AK-Prothese über einen femoralen oder oberen Zugang, einschließlich eines transaxillären oder transapikalen Zugangs, eingeführt werden kann (Gandet et al. 2022). Beide Eingriffe sollten schnellstmöglich unter Anwendung einer Schnellstimulation und weiterer mechanischer hämodynamischer Unterstützungsmaßnahmen (z. B. temporäre extrakorporale Membran-Oxygenierung) durchgeführt werden. Die Kriterien für die Anwendbarkeit der proximalen Landungszone des Endo-Bentall sollten die Anforderungen für die Anwendbarkeit der TAVR erfüllen (Cocchia et al. 2017). Die distale Landungszone kann sich entweder in der ascendierenden Aorta oder im Aortenbogen befinden, wobei eine distale Extension mit einer gebranced Aortenbogensstentprothese erforderlich sein kann.

Tabelle I: Die theoretischen Eignungskriterien für die Applikation von Endo-Bentall in der aktuellen Kohorte

<p>1. Gefäßzugang: geeigneter Zugang der A. iliaca, um die Schleusen zu platzieren</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 8 mm Durchmesser der Arteria iliaca • Keine signifikanten Kalzifizierungen und Tortuositäten
<p>2. Proximale Landungszone: Aortenannulus und -wurzel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durchmesser des Aortenannulus zwischen 18-29 mm • ≥ 10 mm Mindestabstand zwischen Aortenannulus und Koronarostium • Keine mechanische Aortenklappe • Keine koronaren Bypass- Grafts, die von der ascendierenden Aorta stammen
<p>3. Distale Landungszone: Aorta ascendens</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine Dissektion der Aorta ascendens <p>a) Sealing Aorta ascendens</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 20 mm Länge der distalen Sealingsszone • ≤ 38 mm Durchmesser der Landungszone <p>b) Extension zur B-TEVAR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durchmesser der IA ≤ 22 mm • Durchmesser der LCC ≤ 12 mm • Keine anatomischen Variationen des Bogens („boviner Bogen“, usw.)
<p>4. Zielgefäße: für LMCA and RCA</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 3-mm Koronardurchmesser • ≥ 10-mm Länge • Keine koronaren Anomalien* / Aneurysmen / Dissektionen • Kein vorheriger ostialer Stent (entweder im LMCA oder RCA) • Keine Ostialstenose / ausgeprägte Kalzifizierung

*Koronaranomalien; 1. Multiple Ostien: Separate Ursprungsstellen von LAD und CX. 2. Einzelne Koronararterie: RCA kann intramyokardial verlaufen. 3. Anomaler Ursprung aus der Pulmonalarterie. 4. Hoher Abgang: Bedeutet, dass der Ursprung der LMCA oder RCA oberhalb der STJ liegt.

2.2.5 Definitionen

Aortenannulus beschreibt die Verbindung zwischen dem linksventrikulären Ausflusstrakt und der ascendierenden Aorta, welche sich in Höhe der Befestigung der Aortenklappen an der Aortenwand befindet (Moon et al. 2011). Die sinotubuläre Junktionsstelle (STJ) bezeichnet den Übergang des Sinus von Valsalva (SV) in die tubuläre ascendierende Aorta. Die proximale Kante des Ostiums des Truncus brachiocephalicus (BCT) wurde als Referenz für die Messung der Distanz zwischen dem Aortenannulus und dem BCT auf der Außenkrümmung verwendet. Die Messung der Koronararterienlänge, definiert als der Abstand zwischen dem Koronarostium und der ersten Gefäßverzweigung, erfolgte unter Verwendung der CLL. Multiple Ostien mit separaten Ursprungsstellen der linken anterioren descendierenden (LAD) und der zirkumflexen Koronararterie (CX), eine einzelne Koronararterie oder intramyokardiale rechte Koronararterie (RCA), anomaler Ursprung aus der Arteria Pulmonalis und hoher Abgang wurden als Koronaranomalien definiert. Die High-Take-off-Koronaranomalie ist definiert als der Ursprung der linken Hauptstammkoronararterie (LMCA) oder der RCA an der Stelle oberhalb der STJ, was ein erfolgreiches Stenting der Koronararterien mit einem gecoverten Stent verhindert (Angelini 2007). Der Typ des Aortenbogens wurde nach Marrocco-Trischitta et al. definiert (Marrocco-Trischitta et al. 2021). Als schwere iliakale Kalzifizierung wurde das Bestehen einer zirkumferentiellen Kalzifizierung von >50 % in einem beliebigen Gefäßsegment definiert, während als schwere Tortuosität das Vorhandensein eines Tortuositätsindex von >1,6 festgelegt wurde (Chaikof et al. 2002).

2.2.6 Ziele

Ziel der vorliegenden Analyse war die Beurteilung der Anatomie von Patienten, die mit konventionellen offenen Verfahren an der Aorta ascendens und der Aortenklappe behandelt wurden, sowie die Ermittlung des Anteils der Patienten, die anatomisch für eine Endo-Bentall-Prothese geeignet sein könnten.

2.2.7 Statische Analyse

Kategorische Variablen wurden als Anzahl und Prozentsatz dargestellt. Kontinuierliche Daten wurden als Median und Interquartilsbereich (IQR) dargestellt. Die Uhrpositionen der Koronararterien wurden als Medianwerte mit dem IQR angegeben. Es wurden keine Vergleichsanalysen angestellt. Der Umfang der Studie konnte je nach Analyse variieren, und es wurde keine Imputation fehlender Daten durchgeführt, da sowohl bei kategorialen als auch bei kontinuierlichen Variablen nur selten Daten fehlten (<1 %). Die statistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit der Software SPSS 22.0 für Windows (IBM Corp., Armonk, NY).

2.3 Resultate

2.3.1 Patientenkohorte

In die vorliegende Studie wurden insgesamt 29 Patienten mit der Diagnose AscAA sowie adäquater Bildgebung inkludiert. Das Durchschnittsalter der in die Studie einbezogenen Patienten betrug 62 Jahre (IQR 26 Jahre), und 55,2 % (n = 16) der Patienten waren weiblich. Bezüglich der Morphologie des Aortenbogens zeigte sich eine Verteilung von 24,1 % vom Typ I, 34,5 % vom Typ II, 27,5 % vom Typ III und 13,8 % (n = 4) mit einem bovinen Bogen (Tabelle II).

Tabelle II: Demografische und anatomische Daten, inklusive anatomischer Messdaten

Variablen	Median	Interquartile Range (IQR)
Alter (Jahre)	62	26
Durchmesser der A. iliaca externa (mm)	8.5	1.2
Durchmesser der A. iliaca communis (mm)	11	2.1
Maximale Durchmesser des ascendierenden Aneurysmas(mm)	57	10.5
Distanz vom Annulus zum BCT (mm)	117	18.5
Durchmesser des BCT (mm)	14.7	4
Durchmesser der LCCA (mm)	8.6	2.1
Durchmesser von Aortenannulus (mm)	25	5
Aortendurchmesser im Bereich des STJ (mm)	36.3	7.4
Aortendurchmesser im Bereich des SV (mm)	38	8.1
Durchmesser der LMCA (mm)	5.2	1.8
Durchmesser der RCA (mm)	4.1	1
Uhrposition der LMCA (min)	300	60
Uhrposition der RCA (min)	650	120
Zeitdifferenz zwischen der LMCA und der RCA (min)	310	150
Variablen	n (%)	
Gender		
Weiblich	16 (55.2)	
Männlich	13 (44.8)	
Morphologie der Aorta		
Typ I	7 (24.1)	
Typ II	10 (34.5)	
Typ III	8 (27.5)	
Bovine Aortenbogen	4 (13.8)	
Existenz isolierte Arteria Vertebralis	4 (13.8)	
Vorangegangene Operationen		
Existenz einer proximalen Anastomose nach CABG	0 (0)	
Existenz einer mechanischen Aortenklappe	2 (6.8)	
Existenz eines ostealen Koronarstents	1 (3.4)	

2.3.2 Vaskulärer Zugang

Dreiundzwanzig Patienten (79,3 %) wurden in die Analyse der Gefäßzugänge eingeschlossen. Der mediane Durchmesser der Arteria iliaca externa und communis betrug 8,5 mm (IQR, 1,2 mm) und 11 mm (IQR, 2,1 mm). Es wurde festgestellt, dass bei keinem der Patienten schwere Kalzifizierungen oder Tortuositäten vorlagen, welche eine endovaskuläre Behandlung unmöglich gemacht hätten. Alle Patienten wurden als geeignet definiert, bei denen eine 22F-Einführschleuse verwendet wurde (Arteria iliaca externa >7 mm), während 93,1 % für die Verwendung einer 24F-Einführschleuse (Arteria iliaca externa ≥8 mm) in Frage kamen.

2.3.3 Proximale Landungszone

Der mediane Durchmesser des Aortenannulus betrug 25 mm (IQR, 5 mm). Es konnte festgestellt werden, dass alle Patienten eine adäquate proximale Landungszone für die Endo-Bentall-Prothese in Bezug auf den Anulusdurchmesser aufwiesen, obwohl zwei (6,8 %) der Patienten zuvor eine mechanische AK hatten. Der mediane Mindestabstand zwischen dem Nadir des entsprechenden Anulus und dem Ostium der proximalen Koronararterie betrug 13 mm (IQR, 5 mm). Es wurde kein Patient registriert, dessen Mindestabstand 10 mm betrug. Die medianen Aortendurchmesser im Bereich des STJ und SV betragen 36,3 mm (IQR, 7,4 mm) und 38 mm (IQR, 8,1 mm).

2.3.4 Distale Landungszone und Aorta ascendes

Der mediane AscAA-Durchmesser war 57 mm (IQR, 10,5 mm). Der mediane Mindestabstand vom Anulus zum BCT betrug 117 mm (IQR, 18,5 mm). Nur sechs Patienten (20,7 %) hatten eine ausreichende distale Sealing-Zone an der distalen Aorta ascendens (>20 mm Länge und ≤38 mm Breite). Bei den übrigen 23 Patienten (79,3 %) war eine Extension mit gebranced Aortenbogenrekonstruktion erforderlich. Bei vier Patienten (13,8 %) wurde ein isolierter Abgang der Arteria vertebralis vom Aortenbogen diagnostiziert. Der mediane Durchmesser des BCT und der linken Arteria carotis communis betrug 14,7 mm (IQR, 4 mm) und 8,6 mm (IQR, 2,1 mm). Bei keinem der Patienten wurde eine proximale Anastomose in der aufsteigenden Aorta dokumentiert.

2.3.5 Zielgefäße

Der mediane Durchmesser der LMCA betrug 5,2 mm (IQR, 1,8 mm). Sechszwanzig Patienten (89,6 %) hatten eine adäquate Landungszone der LMCA. Bei zwei Patienten konnten separate Ursprünge der LAD und der Zirkumflexarterie diagnostiziert werden. Darüber hinaus zeigte sich bei einem Patienten ein früh einsetzender Ast innerhalb der ersten 10 mm der LMCA. Der mediane LMCA-Winkel betrug 85.5° (IQR, 26°) und die mediane Uhrposition der LMCA war 300 Minuten (IQR, 60 Minuten; Uhrposition, 5:00).

Der mediane Durchmesser der RCA betrug 4,1 mm (IQR, 1 mm). Ein Patient hatte einen ostealen RCA-Stent. Der mediane RCA-Winkel betrug 70° (Median, 21°) und die mediane Uhrposition der RCA lag bei 650 Minuten (Median, 120 Minuten; Uhrposition: 10:50). Die mediane Zeitdifferenz zwischen der LMCA und RCA betrug 310 Minuten (Median, 150 Minuten; Uhrposition: 5:10).

2.3.6 Anwendbarkeit für die Endo-Bentall-Prothese

Insgesamt erfüllten 75,9 % der Patienten mit AscAA die Kriterien für eine Endo-Bentall-Prothese. Die Anwendbarkeit des Endo-Bentall-Verfahrens bei AscAA im Hinblick auf die Anatomie und die Messungen der proximalen Landungszone, der Zielgefäße, der distalen Landungszone und des Gefäßzugangs ist in Tabelle III dargestellt.

Tabelle III: Die Wahrscheinlichkeit der Durchführbarkeit eines Endo-Bentall-Stentgraftsystems für das Aneurysma der Aorta ascendens

Kriterien	Zahl der ungeeigneten Patienten (%)	Grund der Ungeeignetheit (n)	Anwendbarkeit der Endo-Bentall (%)
Vaskulärer Zugang	2 (6.9%)	-Durchmesser der AIE<8mm	93.1
Proximale Landungszone	2 (6.9%)	-Existenz einer mechanischen AK (n=2) <i>*Ein Patient war zudem aufgrund einer inadäquaten Landungszone der LMCA ungeeignet</i>	93.1
Distale Landungszone	0	-	100
Zielgefäße	4 (13.8%)	-Separater Ursprung der LMCA (n=2) -Existenz eines ehemaligen ostealen RCA-Stents mit Stenose und starker Kalzifizierung (n=1) -Inadäquate Landungszone für die LMCA (<10 mm) (n=1)	86.2
Total (n =29)	7 (24.1%)		75.9

2.4 Diskussion

Obwohl das Bentall-Verfahren seit Jahrzehnten als Eckpfeiler der Behandlung von Patienten mit Erkrankungen sowohl der Aortenwurzel als auch der AK definiert wird, ist es auch in den erfahrensten Zentren mit einer perioperativen Mortalität von 10 % verbunden (Iannacone et al. 2023, Etz et al. 2010, und Crawford 1989). Seit den ersten Erfahrungen mit dem Aortenwurzel- und Aortenklappenersatz im Jahr 1968 wurden bedeutende Evolutionsschritte bei der offenen Versorgung der proximalen Aorta unternommen, wodurch das damit verbundene perioperative Mortalitätsrisiko auf 2 % gesenkt werden konnte (Iannacone et al. 2023). Allerdings sind diese invasiven Eingriffe bei fragilen Patienten weiterhin mit einem erheblichen Mortalitätsrisiko assoziiert (Vekstein et al. 2022, Sandhu et al. 2020). Daher kann eine endovaskuläre Behandlung der ascendierenden Aorta mit Abzweigungen zu den Koronararterien und gleichzeitiger Aortenklappen-Implantation eine sinnvolle Alternative darstellen. Diese Studie zeigte, dass ein Endo-Bentall-Gerät bei fast 76 % der Patienten mit AsCAA und AK-Stenose verwendet werden konnte. Die Ergebnisse früherer Studien zur Anwendbarkeit von Endo-Bentall bei Aortendissektion vom Typ A lagen zwischen 2 % und 79 % (Kreibich et al. 2018, Rong et al. 2023, und Kern et al. 2023).

Die wesentliche Limitierung der Applikation endovaskulärer Techniken im Aortenbogen und der ascendierenden Aorta ist die Inexistenz einer adäquaten proximalen Sealing Zone. In der aktuellen Kohorte hatte keiner der Patienten eine Kontraindikation für eine potenzielle TAVR (Tabelle IV) und außerdem eine Endo-Bentall-Prothese aufgrund des Aortenannulusdurchmessers oder der koronaren Anatomie. Es gab keinen Aortenannulus mit einem Durchmesser von mehr als 29 mm und keinen Mindestabstand zwischen dem Aortenannulus und dem proximalsten Koronararterienostium von 10 mm (Vallee et al. 2024). Unsere vorliegende Analyse ergab, dass bei den Patienten mit AsCAA- und AK-Stenose keine prohibitive proximale Landungszone in Bezug auf den Durchmesser vorlag. Der einzige Parameter, der die Anwendbarkeit der Endo-Bentall-Prothese behinderte, war die Existenz einer mechanischen Aortenklappe.

Demgegenüber war eine distale Landung in der ascendierenden Aorta lediglich in 20,7 Prozent der Fälle realisierbar. In der restlichen Kohorte wurde eine Erweiterung des Aortenbogens erforderlich. Gemäß den gewonnenen Erkenntnissen kann die Erkrankung bei Patienten mit AsCAA umfassender sein und distale Aortensegmente betreffen. Für die genannte Erkrankung liegen jedoch keine epidemiologischen Daten über degenerative AsCAA vor, die sich nach distal manifestieren (Coady et al. 1997, Nana et al. 2024). Obwohl ein komplettes endovaskuläres Vorgehen, einschließlich des Aortenbogens, machbar erscheint, sollte die potenziell höhere Komplexität des Verfahrens berücksichtigt werden (Tsilimparis et al. 2019). Ein möglicher Behandlungsplan könnte darin bestehen,

zunächst ein Endo-Bentall-Verfahren durchzuführen, gefolgt von einer endovaskulären Behandlung des Aortenbogens. Die bisherigen Erfahrungen mit TAVR legen nahe, dass der Aortenannulus eine stabile Sealingsszone darstellt und Migrationsphänomene selten sind. Dies deutet darauf hin, dass ein schrittweises Vorgehen eine mögliche Strategie ist (Binder und Webb 2019).

Tabelle IV: Erhältliche Geräte für die Transkatheter-Aortenklappen Implantation (TAVR)

Gerät	Firma	Bx/Sx	Durchmesser der Klappe (mm)	Verwendung bei Aorteninsuffizienz	Durchmesser des Trägersystems
Acurate Neo	Boston Scientific	Sx	N/A	Nein	18 F
Portico Valve	Abbott Vascular	Sx	23,25,27,29	N/A	18 F-19 F
Lotus	Boston Scientific	Sx	23,25,27	Nein	18 F-20 F
Corevalve Evolut R/Pro	Medtronic	Sx	23,26,29,34	Nein	14 F
Sapien 3	Edwards Lifesciences	Bx	20, 23, 26, 29	Nein	14 F
Jenavalve	Jenavalve Technology	Sx	N/A	Ja	N/A
J-Valve	JC Medical	Sx	N/A	Ja	N/A

Die vorliegende Analyse kommt zu dem Schluss, dass der Gefäßzugang keine signifikante Einschränkung für ein Endo-Bentall-Verfahren darstellt, sofern ein 22F- bis 24F-Einführsystem verwendet wird. Lediglich zwei Patienten (6,9 %) wiesen einen Durchmesser der Arteria iliaca externa von <8 mm auf, und es wurde in keinem Fall eine schwere Tortuosität oder Kalzifizierung festgestellt. Folglich ergab sich eine Durchführbarkeitsrate von 75,9 % für Endo Bentall. Die Verwendung von iliakalen Conduits bei Patienten mit kleineren externen, aber adäquaten common iliakalen Arterien stellt eine sinnvolle Zugangsalternative dar. Eine kürzlich durchgeführte Meta-Analyse von 8.697 TAVR-Eingriffen ergab, dass iliofemorale Prädiktoren für Komplikationen an der Zugangsstelle mit dem Gefäßdurchmesser, der Tiefe, der Kalzifizierung und der Tortuosität in Zusammenhang stehen (Androshchuk et al. 2024). Ein alleiniger femoraler Zugang scheint jedoch eine gewünschte zukünftige Entwicklung zu sein, wobei ein transapikaler Zugang für die Durchführung der Verfahren erforderlich sein könnte (Wang et al. 2018 und Mach et al. 2021). Zweifellos erhöht der transapikale Zugang die

Komplexität eines Endo-Bentall-Verfahrens und stellt dessen minimale Invasivität in Frage (Rohlfes et al. 2024).

Vier Patienten dieser Kohorte wurden aufgrund koronaranatomischer Variationen im Zusammenhang mit inadäquaten Landungszonen und dem Vorhandensein früherer Stents von einem potenziellen Endo-Bentall ausgeschlossen. Der Durchmesser, der Winkel und die Uhrposition der Koronararterien können die Verwendung eines doppelten 5 mm retrograden gebranced Geräts mit Uhrpositionen für die Äste bei 10:00 und 5:00 Uhr rechtfertigen (Oberhuber et al. 2023). Verzweigte Systeme (gebranced Geräte) ermöglichen eine höhere Flexibilität bei der Zielgefäßkatheterisierung bei aneurysmatischen Erkrankungen (Gallitto et al. 2018). Die Auswahl eines geeigneten Brückenstents muss noch eingehend untersucht werden, da es kein spezielles Gerät gibt, nicht einmal für die weit verbreitete fenestrierte und verzweigte thorakoabdominale endovaskuläre Behandlung. Aus unserer Sicht bietet ein gecoverter Stent, der die Fähigkeiten eines ballonexpandierbaren und eines selbstexpandierenden Stents kombiniert, die optimale Lösung. Gebranced Aortenprothesen in Kombination mit selbstexpandierenden gecoverten Stents weisen hohe Durchgängigkeitsraten in den Nierenarterien auf, die ebenfalls Zielgefäße für erhebliche Bewegungen darstellen (Cheng et al. 2023). Gegenwärtig sind kommerziell erhältliche selbstexpandierende gecoverte Stents mit einem Durchmesser ab 5 mm verfügbar. Dies stellt eine signifikante Einschränkung für den Einsatz in kleinere Koronararterien dar. In solchen Fällen könnte eine Kombination aus einem ballonexpandierbaren gecoverten Stent, der mit einem selbstexpandierenden Stent erweitert wird, eine praktikable Option darstellen.

Die klinische Einsatzbarkeit des Endo-Bentall-Verfahrens ist derzeit sehr begrenzt. Das Verfahren wurde nur bei einer ausgewählten Patientengruppe angewandt, bei der das Risiko eines offenen Eingriffs als zu hoch definiert wurde (Gaia et al. 2020, Gandet et al. 2022, und Ghoreishi et al. 2023). Die aktuellen Ergebnisse zeigen jedoch, dass Endo-Bentall ein anspruchsvolles, aber technisch durchführbares Verfahren ist, bei dem individuelle Medizin und multidisziplinäre Teamarbeit die klinischen und technischen Ergebnisse maßgeblich beeinflussen können. Die Entwicklung einer spezialisierten Endo-Bentall-Prothese ist derzeit nicht möglich, jedoch in Zukunft durchführbar. Unter Berücksichtigung der signifikanten Fortschritte, die in den letzten drei Jahrzehnten auf dem Gebiet der Endovaskulär-Technik erzielt wurden, könnte diese Entwicklung jedoch früher als erwartet eintreten. Künftige Studien, die anatomische Details und Merkmale wie Durchmesser, Länge und Ausrichtung des Zielgefäßes liefern, können einen wesentlichen Beitrag zur Weiterentwicklung der Technik und der Geräte leisten (Vallee et al. 2024).

2.5 Limitationen der Studie

Die vorliegende Durchführbarkeitsanalyse weist in retrospektiver Ausrichtung und mit einer relativen geringen Fallzahl. Der retrospektive Charakter der Analyse bedingt eine erhebliche Disparität hinsichtlich der Patientenauswahl und der Berichterstattung. Dennoch erlaubt die Auswertung von CTAs geringer Qualität keine angemessene detaillierte Beurteilung der Zielgefäße und Aorten. Die Bewertung der CTAs wurde von zwei erfahrenen Forschern vorgenommen, von denen jeder über mehr als fünf Jahre Erfahrung in der kardiovaskulären Chirurgie verfügt. Eine Kernlaborauswertung ist jedoch nicht vorgenommen worden. Da keine Intraobserver- oder Interobserver-Variabilität durchgeführt wurde, besteht die Möglichkeit, dass die Berichterstattung verzerrt ist. Nach Abschluss der Messungen wurden die Daten jedoch von einem dritten Forscher bewertet. Dabei wurden keine Unterschiede von mehr als 1 mm bei den Aortenmessungen und 0,5 mm bei den Koronararterienmessungen festgestellt. Die Applikation der Endo-Bentall-Prothese erfolgte auf theoretischer Basis, da die derzeitigen experimentellen und klinischen Erfahrungen äußerst begrenzt sind. Künftige Studien sind erforderlich, um sowohl die anatomischen Kriterien als auch die optimale Gerätekonfiguration zu ermitteln.

2.6 Fazit

In der vorliegenden Studie wurde festgestellt, dass etwa drei von vier Patienten mit AscAAs die anatomischen Voraussetzungen für eine endovaskuläre Behandlung mit einer Endo-Bentall-Prothese erfüllen. Die aktuellen Ergebnisse legen nahe, dass künftige Studien zusätzliche Details liefern könnten, die das künftige Design eines solchen Geräts verbessern würden.

3. Zusammenfassung der gesamten Arbeit: Deutsch

Die Studie ist eine einzelzentrische, retrospektive Observationsstudie. Ziel dieser Studie war es, die Evaluation der Machbarkeit einer koronar verzweigten Prothese in Verbindung mit einer Aortenklappenprothese (Endo-Bentall) für die endovaskuläre Behandlung von Aortenaneurysmen der Aorta ascendens zu untersuchen.

In dieser Studie wurden die präoperativen Computertomographie-Angiographien von Patienten untersucht, die mit dem Bentall-Eingriff oder dem Ersatz der Aorta ascendens und der Aortenklappen-Rekonstruktion/dem Aortenklappen-Ersatz behandelt wurden. Die Eligabilität der Patienten für eine endovaskuläre Behandlung mit einer Endo-Bentall-Prothese wurde anhand verschiedener Kriterien bestimmt.

Die Ergebnisse zeigten, dass 75,9% der Patienten anatomisch für Endo-Bentall geeignet waren. Alle Patienten hatten eine ausreichende proximale Landezone um den Anulusdurchmesser. Einige Patienten hatten jedoch einen unzureichenden iliakalen Zugang oder eine mechanische Aortenklappe. Die meisten Patienten hatten ebenso adäquate Landezonen für das Stenting des Hauptstammes der linken Koronararterie und der rechten Koronararterie. Einige Patienten hatten auch eine adäquate distale Landezone in der Aorta ascendens, während andere für eine Extension mit einem verzweigten Aortenbogengerät geeignet waren. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die endovaskuläre Behandlung mit einer Endo-Bentall-Prothese für zahlreiche Patienten eine geeignete Option sein kann.

4. Zusammenfassung der gesamten Arbeit: Englisch

The study is a single-center, retrospective observational study. The aim of this study was to evaluate the suitability of a coronary-branched ascending aortic endograft, paired with aortic valve (AV) prosthesis (Endo-Bentall), for the endovascular repair of ascending aortic aneurysms.

In this study, the preoperative computed tomography angiographies of patients who underwent the Bentall procedure or replacement of the ascending aorta and aortic valve reconstruction/replacement were examined. The eligibility of patients for endovascular treatment with an endo-Bentall prosthesis was determined based on various criteria.

The results showed that 75.9% of the patients were anatomically suitable for Endo-Bentall. All patients had an adequate proximal landing zone regarding the annulus diameter. However, some patients had inadequate iliac access or a mechanical aortic valve. Most patients also had adequate landing zones for left coronary artery main stem and right coronary artery stenting. Some patients also had an adequate distal landing zone in the ascending aorta, while others were suitable for extension with a branched aortic arch device. These results demonstrate that endovascular treatment with an endo-Bentall prosthesis may be a suitable option for many patients.

5. Literaturverzeichnis

- Isselbacher EM, Preventza O, Hamilton Black J 3rd, Augoustides JG, Beck AW, Bolen MA, et al. 2022 ACC/AHA Guideline for the Diagnosis and Management of Aortic Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2022; 146: e334-e482.
- Grimm JC, Ibrahim M, Szeto WY. Endo-Bentall: is this feasible? *Ann Cardiothorac Surg*. 2022; 11:46-7.
- Mazine A, David TE, Lafreniere-Roula M, Feindel CM, Ouzounian M. Early outcomes of the Bentall procedure after previous cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2021; 162:1063-71.
- Gaia DF, Bernal O, Castilho E, Ferreira CB, Dvir D, Simonato M, et al. First-in-Human Endo-Bentall Procedure for Simultaneous Treatment of the Ascending Aorta and Aortic Valve. *J Am Coll Cardiol Case Rep*. 2020;2:480-5.
- Wang C, Regar E, Lachat M, von Segesser LK, Maisano F, Ferrari E. Endovascular treatment of non-dissected ascending aorta disease: a systematic review. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2018; 53:317-24.
- Gandet T, Westermann D, Conradi L, Panuccio G, Heidemann F, Rohlffs F, Kölbel T. Modular Endo-Bentall Procedure Using a "Rendez-Vous Access". *J Endovasc Ther*. 2022; 29:711-716.
- Ghoreishi M, Chahal D, Shah A, Kang J, Hirsch J, Tran D, et al. First-in-Human Endovascular Aortic Root Repair (Endo-Bentall) for Acute Type A Dissection. *Circ Cardiovasc Interv*. 2023;16: e013348.
- von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vanderbroucke JP, et al. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) Statement: guidelines for reporting observational studies. *Int J Surg*. 2014; 12:1495-99.
- Spanos K, Haulon S, Tsilimparis N, Rohlffs F, Panuccio G, Kölbel T. Preoperative Measurements and Planning Sheet for an Endograft With 3 Inner Branches to Repair Aortic Arch Pathologies. *J Endovasc Ther*. 2019; 26:378-84.

Milne CP, Amako M, Spear R, Clough RE, Hertault A, Sobocinski J, et al. Inner-Branched Endografts for the Treatment of Aortic Arch Aneurysms After Open Ascending Aortic Replacement for Type A Dissection. *Ann Thorac Surg.* 2016; 102:2028-35.

Cocchia R, D'Andrea A, Conte M, Cavallaro M, Riegler L, Citro R, et al. Patient selection for transcatheter aortic valve replacement: A combined clinical and multimodality imaging approach. *World J Cardiol.* 2017; 9:212-29.

Moon MC, Greenberg RK, Morales JP, Martin Z, Lu Q, Dowdall JF, et al. Computed tomography-based anatomic characterization of proximal aortic dissection with consideration for endovascular candidacy. *J Vasc Surg.* 2011; 53:942-9.

Angelini P. Coronary artery anomalies: an entity in search of an identity. *Circulation.* 2007; 115:1296-305.

Marrocco-Trischitta MM, Glauber M. Implications of different definitions for aortic arch classification provided by contemporary guidelines on thoracic aortic repair. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2021; 32:950-2.

Chaikof EL, Blankensteijn JD, Harris PL, White GH, Zarins CK, Bernhard VM, et al. Reporting standards for endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2002; 35:1048-60.

Iannacone EM, Lau C, Soletti 1 G Jr, Perezgrovas O, Harik L, Dimagli A, et al. Aortic valve sparing root replacement or Bentall? *Ann Cardiothorac Surg.* 2023; 12:168-78

Etz CD, Bischoff MS, Bodian C, Roder F, Brenner R, Griep RB, et al. The Bentall procedure: is it the gold standard? A series of 597 consecutive patients. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010; 140:64-70.

Crawford ES, Svensson LG, Coselli JS, Safi HJ, Hess KR. Surgical treatment of aneurysm and/or dissection of the ascending aorta, transverse aortic arch, and ascending aorta and transverse aortic arch. Factors influencing survival in 717 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1989;98:659-73.

Vekstein AM, Chad Hughes G, Chen EP. Open arch surgery in the redo setting: contemporary outcomes. *J Cardiovasc Surg (Torino).* 2022; 63:415-24.

- Sandhu HK, Tanaka A, Zaidi ST, Perlick A, Miller CC 3rd, Safi HJ, et al. Impact of redo sternotomy on proximal aortic repair: Does previous aortic repair affect outcomes? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2020; 159:1683-91.
- Kreibich M, Rylski B, Kondov S, Morlock J, Scheumann J, Kari FA, et al. Endovascular treatment of acute Type A aortic dissection-the Endo Bentall approach. *J Vis Surg* 2018; 4:69.
- Rong D, Chen X, Han J, Yin J, Ge Y, Liu F, et al. Anatomic feasibility of a modular Endo-Bentall stent graft system for type A aortic dissection. *J Vasc Surg.* 2023; 78:1359-66.e2.
- Kern M, Hauck SR, Dachs TM, Haider L, Stelzmüller ME, Ehrlich M, et al. Endovascular repair in type A aortic dissection: Anatomical candidacy for currently manufactured stent grafts and conceptual valve-carrying devices for an Endo-Bentall procedure. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2023;63: ezad085.
- Vallée A, Guimbretière G, Guihaire G, Guery A, Gaillard M, Le Houerou T, et al. Anatomical feasibility of Endobentall strategies for management of acute type A aortic dissection. *Ann Surg.* 2024. Online ahead of print.
- Coady MA, Rizzo JA, Hammond GL, Mandapati D, Darr U, Kopf GS, et al. What is the appropriate size criterion for resection of thoracic aortic aneurysms? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1997; 113:476-91.
- Nana P, Haulon S, Kölbel T. Evidence on Aortic Arch Aneurysm Diameter Thresholds: Standing on a Wobbly Steppingstone. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2024; 67:869-71.
- Tsilimparis N, Drewity S, Detter C, Spanos K, von Kodolitsch Y, Rohlfes F, et al. Endovascular Repair of Ascending Aortic Pathologies with Tubular Endografts: A Single-Center Experience. *J Endovasc Ther.* 2019; 26:439-45.
- Binder RK, Webb JG. Transcatheter heart valve migration and embolization: rare and preventable? *Eur Heart J.* 2019; 40:3166-8.

Androshchuk V, Chehab O, Prendergast B, Rajani R, Patterson T, Redwood S. Computed tomography derived anatomical predictors of vascular access complications following transfemoral transcatheter aortic valve implantation: A systematic review. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2024; 103:169-85.

Mach M, Okutucu S, Kerbel T, Arjomand A, Fatihoglu SG, Werner P, et al. Vascular Complications in TAVR: Incidence, Clinical Impact, and Management. *J Clin Med.* 2021; 10:5046.

Rohlffs F, Nana P, Panuccio G, Torrealba JI, Tsilimparis N, Kölbel T. A Retrospective Analysis of 10-year Experience on Branched and Fenestrated Endovascular Aortic Arch Repair. *Ann Surg.* 2024. Online ahead of print.

Oberhuber A, Simonte G, Isernia G, Schäfers J. The Semibranch: A New Tool for Complex Aortic Pathologies. *J Endovasc Ther.* 2023:15266028231219661.

Gallitto E, Faggioli G, Pini R, Mascoli C, Ancetti S, Abualhin M, Stella A, et al. Renal Artery Orientation Influences the Renal Outcome in Endovascular Thoraco-abdominal Aortic Aneurysm Repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2018; 56:382-90.

Cheng CP, Bondensson J, Bendavid J, Haulon S. Renovisceral artery alterations due to branched endovascular aortic repair and respiratory-induced deformations. *J Vasc Surg.* 2023; 78:902-11.

6. Abkürzungsverzeichnis

AR	Aortic valve regurgitation
AscAA	Aneurysma der Aorta ascendes
AK	Aortenklappe
BCT	Brachiocephalic trunk
Bx	Balloon-expandable
B-TEVAR	Branched thoracic endovascular aortic repair
CABG	Coronary artery bypass grafting
CLL	Central luminal line
CTA	computertomographische Angiographie
Cx	Circumflex coronary artery
f/bTEVAR	Fenestrated /branched thoracic endovascular aortic repair
Fr	French
IA	Innominate artery
IQR	Interquartile range
LAD	Left anterior descending coronary artery
LCCA	Left common carotid artery
LMCA	Left main coronary artery
N/A	Not applicable
RCA	Right coronary artery
STJ	Sinotubular junction
STROBE	The STrengthening the Reporting of OBservational studies in Epidemiology
SV	Sinus of Valsalva
Sx	Self-expandable
TAVR	Transcatheter aortic valve replacement

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle I: Die theoretischen Eignungskriterien für die Applikation von Endo-Bentall in der aktuellen Kohorte

Tabelle II: Demografische und anatomische Daten, inklusive anatomischer Messdaten

Tabelle III: Die Wahrscheinlichkeit der Durchführbarkeit eines Endo-Bentall-Stentgraftsystems für das Aneurysma der Aorta ascendens

Tabelle IV: Erhältliche Geräte für die Transkatheter-Aortenklappenimplantation (TAVR)

8. Erklärung des Eigenanteils

Die Entwicklung der Fragestellung sowie die Idee dieser Arbeit basieren auf den konzeptionellen Überlegungen meines Doktorvaters, Herrn Prof. Dr. med. Tilo Kölbel. Die Erstellung des Messprotokolls mittels Aquaris iNtution-Software erfolgte durch mich und Herr Priv.-Doz. Dr. Giuseppe Panuccio.

Die grundlegenden Daten der Patienten, auf denen diese Arbeit basiert, wurden von den Kollegen der Herzchirurgie aus dem UKE als Excel-Tabelle erhoben. Dabei handelt es sich um diejenigen Patienten, die sich einer Bentall-Operation unterzogen haben.

Die Erhebung der erforderlichen Daten, d.h. das Beschaffen der entsprechenden Patientenakten, das Durchsuchen der medizinischen Datenbank Soarian und das Erheben dieser Daten sowie die Analyse der Daten wurde durch mich durchgeführt. Zudem ein kleiner Teil an komplizierten Daten erfolgte durch Co-Autoren aus der Herzchirurgie Abteilung. Für die Erstellung einer Excel-Tabelle, die 31 Parameter umfasste, war ich verantwortlich. Die Auswertung der Daten sowie Analysis der CT-Angiographien in Terrarecon erfolgte durch mich in enger Zusammenarbeit und die Hilfe von Herrn Jose I. Torrealba.

Die statistische Auswertung, sowie die tabellarische Darstellung führte ich selbständig durch. Das Schreiben der Manuskripte erfolgte mit Hilfe von Frau Petroula Nana. Die Erstellung der Publikation erfolgte in Zusammenarbeit mit den Mitautoren. Alle Co-Autoren steuerten ergänzende Anregungen bei, führten eine kritische Analyse des Manuskriptes durch und unterstützten somit das Projekt bis zur erfolgreichen Publikation in der Journal of Vascular Surgery.

9. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe, insbesondere ohne entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten, verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Das gilt insbesondere auch für alle Informationen aus Internetquellen.

Soweit beim Verfassen der Dissertation KI-basierte Tools („Chatbots“) verwendet wurden, versichere ich ausdrücklich, den daraus generierten Anteil deutlich kenntlich gemacht zu haben. Die „Stellungnahme des Präsidiums der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum Einfluss generativer Modelle für die Text- und Bilderstellung auf die Wissenschaften und das Förderhandeln der DFG“ aus September 2023 wurde dabei beachtet.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Datum : 16.02.2026

Unterschrift



10. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen beteiligten Personen meinen großen Dank aussprechen, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Besonders danken möchte ich meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. Tilo Kölbel, da er durch ihre innovative chirurgische Arbeit dieses Forschungsvorhaben überhaupt erst ermöglicht haben. Ich danke für die exzellente Betreuung und für die enorme Unterstützung bei der Durchführung der gesamten Arbeit. Die Gespräche mit ihm waren jederzeit inspirierend und erkenntnisreich.

Auch möchte ich Herrn Priv.-Doz. Dr. Giuseppe Panuccio, Herrn Jose I. Torrealba und Frau Petroula Nana meinen Dank aussprechen, die meine Arbeit durch ihre Unterstützung geprägt haben und standen mir allzeit für fachliche Fragen zu Verfügung, wofür ich wieder sehr dankbar bin.

Des Weiteren möchte ich meinen Dank an meinen Chefärzten Frau Dr. Nicoline Jochmann-Schiek und Herrn Dr. Simon Stohn sowie an Herrn PD Dr. med. habil. Ernst Thies richten, der mir wesentliche Impulse vermittelt hat und mich sowie meine Familie stets unterstützte.

Außerdem muss ich mich auch bei meiner alten Chef Herrn Prof. Dr.med. Axel Larena-Avellaneda für all seine Beiträge zu meiner Karriere, meine chirurgische und klinische Tätigkeit in Deutschland bedanken.

Des Vollen Umfangs möchte ich meinen Mentoren Herrn Dr. Ufuk Çiloğlu und Herrn Prof. Dr. Şahin Şenay für ihre hervorragende Betreuung meinen großen Dank aussprechen.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie und allen voran meiner Frau Dr. Belgin Aldağ für ihre bedingungslose Liebe und Unterstützung, sowie meinen Kindern Kerem Aldag und Ipek Aldag.