ДРУЖЕСТВО НА КАРДИОЛОЗИТЕ В БЪЛГАРИЯ

Българска кардиология
том XXXII, 2026, № 2

АВТОРСКИ СТАТИИ
ORIGINAL ARTICLES

doi: 10.3897/bgcardio.32.e189472

ПРОТЕЗИРАНЕ НА ВЪЗХОДЯЩАТА АОРТА И АОРТНА ДЪГА ПО МЕТОДА FROZEN ELEPHANT TRUNK: ПЪРВОНАЧАЛЕН ОПИТ В ACIBADEM CITY CLINIC УМБАЛ ВИТОША

А. Келчев, С. Казаков, М. Гаралова

Аджибадем Сити Клиник УМБАЛ Витоша – София

FROZEN ELEPHANT TRUNK PROCEDURE WITH E-VITA OPEN NEO: INITIAL EXPERIENCE AT ACIBADEM CITY CLINIC HOSPITAL VITOSHA

A. Keltchev, S. Kazakov, M. Garalova

Acibadem City Clinic UMBAL Vitosha - Sofia

Резюме.

Въведение: Обширните патологични изменения на аортната дъга и проксималната низходяща гръдна аорта традиционно изискват многоетапен хирургичен подход. Техниката Frozen Elephant Trunk (FET) позволява едноетапна тотална замяна на аортната дъга с антеградно имплантиране на стент-графт в низходящата аорта, осигурявайки радикална корекция на патологията и възможност за последващи ендоваскуларни интервенции при необходимост. Хибридната съдова протеза E-vita Open NEO включва конструктивни подобрения, които улесняват имплантацията, скъсяват исхемичното време и намаляват риска от неврологични усложнения. **Цел:** Да се представи първоначалният клиничен опит с техниката FET и протезата E-vita Open NEO в Acibadem City Clinic УМБАЛ Витоша, с оценка на приложимостта, безопасността и ранните резултати. **Материал и методи**: В представената серия клинични случаи са включени четирима пациенти, подложени на планова хирургична интервенция по повод комплексна патология на гръдната аорта (дегенеративни аневризми и хронични постдисекционни аневризми). Извършена е тотална замяна на възходящата аорта и аортната дъга чрез FET с имплантация на протеза E-vita Open NEO. Операциите са проведени чрез срединна стернотомия, в условията на екстракорпорално кръвообращение, хипотермичен циркулаторен арест и селективна антеградна церебрална перфузия. Трифуркационни или разклонени графтове бяха избирани съобразно анатомията на аортната дъга. **Резултати**: При всички пациенти е отчетена 100% преживяемост без вътреболнична смъртност, мозъчен инсулт или спинална исхемия. Продължителността на циркулаторния арест варира между 45 и 60 min. Следоперативно проведената образна диагностика потвърди правилна позиция на стент-графта, проходимост на супрааортните клонове и благоприятно аортно ремоделиране, включително тромбоза на фалшивия лумен при пациентите с дисекация. Имплантираната протеза позволява прецизно дистално позициониране и улеснява реконструкцията на аортната дъга, без регистрирани протезносвързани усложнения. **Заключение**: Приложението на техниката Frozen Elephant Trunk с протеза E-vita Open NEO е осъществимо и безопасно в условията на добре функциониращ център за аортна хирургия. Едноетапният подход осигурява пълна анатомична корекция, елиминира необходимостта от многоетапно лечение и подпомага ранното аортно ремоделиране. Получените ранни резултати съответстват на публикуваните международни данни и подкрепят утвърждаването на FET като стандартен хирургичен метод при обширна патология на гръдната аорта.

Ключови думи: Frozen Elephant Trunk, заболявания на аортата, аортни аневризми, E-vita Open NEO протеза

Адрес за кореспонденция: Д-р Мария Гаралова, e-mail: mariya.garalova@acibademcityclinic.bg

Abstract.

Background: Extensive aortic arch and proximal descending aortic pathologies traditionally require multi-stage repair. The Frozen Elephant Trunk (FET) technique allows one-stage ascending aorta and total arch replacement with antegrade stent-graft deployment, enabling complete repair and a platform for future endovascular interventions. The E-vita Open NEO hybrid prosthesis incorporates design improvements that facilitate deployment, shorten ischemic times, and reduce the risk of neurological complications. Objective: The main objective of this case series is to present the initial experience with FET using the E-vita Open NEO graft at Acibadem City Clinic Hospital Vitosha, illustrating feasibility, safety, and early outcomes.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Methods: Four elective patients with complex thoracic aortic disease (degenerative aneurysms and chronic post-dissection aneurysms) underwent ascending aorta and total arch replacement with FET using the E-vita Open NEO prosthesis. Procedures were performed via median sternotomy with cardiopulmonary bypass, hypothermic circulatory arrest, and selective antegrade cerebral perfusion. Trifurcated or branched grafts were selected according to arch anatomy. **Results**: All patients survived with no in-hospital mortality, stroke, or spinal cord injury. Circulatory arrest times ranged 45–60 minutes. Postoperative imaging confirmed correct stent deployment, patent arch branches, and favorable aortic remodeling, including false lumen thrombosis in dissection cases. The device facilitated precise distal deployment and simplified arch reconstruction without graft-related complications. **Conclusions**: FET with the E-vita Open NEO is feasible and safe in a newly established aortic program. One-stage repair achieved complete anatomical correction, avoided staged procedures, and promoted early aortic remodeling. Early outcomes are consistent with international experience, supporting FET as a standard approach for extensive thoracic aortic disease.

Key words: Frozen Elephant Trunk, aortic disease, aortic aneurysms, E-vita Open NEO graft

Address for correspondence: Maria Garalova, MD; e-mail: mariya.garalova@acibademcityclinic.bg

Въведение

Заболяванията на аортната дъга и низходящата аорта са сериозно хирургично предизвикателство, които в миналото са изисквали многоетапни оперативни интервенции. Техниката Frozen Elephant Trunk (FET) е съществена промяна в подхода за лечението на тези сложни случаи. Въведена за първи път от Kato и сътр. в средата на 90-те години на XX век, FET е едноетапен метод, който комбинира пълна замяна на аортната дъга с антеградно имплантиране на стент-графт в низходящата аорта. Тази хибридна процедура създава стабилна проксимална зона за фиксиране при бъдещи ендоваскуларни интервенции и позволява едновременно лечение на заболяванията на аортната дъга и проксималната част на низходящата аорта.

През последните десетилетия FET се прилага широко при остра аортна дисекация (за възстановяване на кръвотока в истинския лумен, затваряне на дисталните интимални разкъсвания и стимулиране на тромбозата на фалшивия лумен), както и при хронични дегенеративни аневризми на аортната дъга. Две специализирани хибридни графт-системи се използват в световен мащаб: Thoraflex™ Hybrid и E-vita Open (Artivion, Inc.).

Показания

Техниката Frozen Elephant Trunk (FET) е показана при редица комплексни заболявания на аортата, при които в противен случай би била необходима традиционна двуетапна хирургична реконструкция [1, 2]. Според съвременните клинични ръководства основните показания за приложение на FET включват:

• Остра аортна дисекация тип А с ангажиране на аортната дъга или низходящата аорта – особено когато първичното интимално разкъсване е локализирано в областта на аортната дъга или проксималната част на низходящата аорта, или когато е налице синдром на малперфузия.

Introduction

Extensive aortic arch and descending aortic pathologies present a formidable surgical challenge, historically requiring multi-stage operations. The Frozen Elephant Trunk (FET) technique represents a paradigm shift in managing these complex cases. First introduced by Kato et al. in the mid-1990s, FET is a one-stage approach combining total arch replacement with antegrade deployment of a stented graft into the descending aorta. This hybrid procedure creates a stable proximal landing zone for future endovascular interventions and allows simultaneous treatment of arch and proximal descending disease. Over recent decades, FET has been applied extensively in acute aortic dissection (to restore true lumen flow, seal distal intimal tears, and promote false lumen thrombosis) as well as in chronic degenerative arch aneurysms. Two dedicated hybrid graft systems have dominated FET use worldwide: the Thoraflex™ Hybrid and the E-vita Open platform.

Indications

The FET technique is indicated in a range of complex aortic conditions where a traditional two-stage repair would otherwise be needed [1, 2]. According to contemporary guidelines and expert consensus, key indications for FET include:

• Acute type A aortic dissection with arch or descending involvement – especially if a primary intimal tear is in the arch/proximal descending aorta or there is malperfusion syndrome.

• Хронична постдисекционна аневризма след предходна операция по повод аортна дисекация тип А – остатъчната дисекация или персистиращият фалшив лумен в низходящата аорта често водят до аневризмална дегенерация.

• Усложнена остра аортна дисекация тип В, неподходяща за TEVAR (*Thoracic Endovascular Aortic Repair*)

• Обширна аневризма на гръдната аорта, ангажираща аортната дъга и проксималната част на низходящата аорта.

• Пенетрираща аортна язва или интрамурален хематом, обхващащи аортната дъга и низходящата аорта.

Чрез едновременното третиране на аортната дъга и проксималната част на низходящата аорта техниката Frozen Elephant Trunk (FET) осигурява по-пълна реконструкция на аортата и благоприятства последващото аортно ремоделиране. Това предимство обаче е свързано с по-голяма сложност на първичната оперативна интервенция. Поради тази причина внимателният подбор на пациентите е от съществено значение. Съвременните препоръки подчертават необходимостта от прецизна оценка на непосредствения оперативен риск, свързан с FET, спрямо дългосрочните ползи, вкл. възможността за избягване на втора хирургична процедура [2].

Цел

Представяме първоначалния си опит с процедурата Frozen Elephant Trunk (FET), използвайки графт-протезата E-vita Open NEO.

В поредица от четири планово оперирани клинични случая илюстрираме показанията за приложение на метода, хирургичната техника и ранните следоперативни резултати. Освен това обсъждаме нашите резултати в контекста на натрупващите се данни в научната литература и съвременните клинични препоръки.

Целта на настоящата статия е да споделим придобития опит и извлечените практически поуки, както и да се подчертае възможността за успешно внедряване на тази съвременна аортна технология в рамките на програмата за лечение на заболяванията на аортата [3, 4].

Методи

Пациенти

В периода 2025-2026 г. четирима пациенти със сложна патология на гръдната аорта бяха подложени на планова пълна замяна на възходящата аорта и аортната дъга чрез техниката Frozen Elephant Trunk (FET) в *Acibadem City Clinic Hospital Vitosha*. При всички случаи бе използвана хибридната стент-графт протеза E-vita Open NEO.

Показанията за оперативно лечение бяха съобразени с изложените критерии. Двама от пациентите имаха големи дегенеративни аневризми на

• Chronic post-dissection aneurysm after prior Type A repair – a residual dissection or false lumen in the descending aorta often leads to aneurysmal degeneration.

• Complicated acute Type B aortic dissection not amenable to TEVAR

• Extensive thoracic aortic aneurysm involving the arch and proximal descending aorta

• Penetrating aortic ulcer or intramural hematoma spanning the arch/descending aorta

By addressing both the arch and proximal descending aorta concurrently, FET offers more complete repair and promotes downstream aortic remodeling. This advantage comes at the cost of a more complex initial operation. Therefore, careful patient selection is critical – guidelines emphasize weighing the immediate operative risk of FET against the long-term benefits of potentially avoiding a second surgery [2].

Objective

Here we report the initial experience with the Frozen Elephant Trunk procedure using the E-vita Open NEO graft at Acibadem City Clinic Hospital Vitosha. We present a series of four elective cases to illustrate the indications, surgical technique, and early outcomes. We also discuss our results in the context of the emerging literature and current guidelines. The goal is to share lessons learned and to highlight the feasibility of adopting this advanced aortic technology in a developing aortic program [3, 4].

Methods

Patients

Between 2025 and 2026, four patients with complex thoracic aortic pathology underwent elective total arch replacement with the frozen elephant trunk technique at *Acibadem City Clinic Hospital Vitosha*. All cases utilized the E-vita Open NEO hybrid stent-graft prosthesis. Indications for surgery were as outlined above: two patients had large degenerative aneurysms of the ascending aorta extending into the arch, and two had chronic dissecting aneurysms involving the arch and proximal descending aorta

възходящата аорта с разпространение към аортната дъга, а останалите двама страдаха от хронични дисекиращи аневризми, обхващащи аортната дъга и проксималната част на низходящата аорта. При единия пациент аневризмата бе вследствие на предходна операция по повод аортна дисекация тип А, а при другия – на хронична аортна дисекация тип В.

Всички пациенти бяха обсъдени от мултидисциплинарния Heart Team, който прецени, че техниката FET е оптималната терапевтична стратегия предвид обхвата и сложността на заболяването. Всички интервенции бяха извършени в планов порядък (без наличие на остра дисекация), което позволи подробно предоперативно планиране и прецизно оразмеряване на използваните протези.

Събиране на данни

Събрани бяха периоперативни данни, вкл. продължителност на операцията, необходимост от кръвопреливане и интра- и следоперативни усложнения. Анализирани бяха основните следоперативни показатели: болнична смъртност, неврологични усложнения (мозъчен инсулт или увреждане на гръбначния мозък), остра бъбречна недостатъчност, повторна ревизия по повод кървене, както и продължителността на механичната вентилация, престоя в интензивно отделение и общия болничен престой. Контролна КТ ангиография бе извършвана при изписване и след 3-6 месеца за оценка на аортното ремоделиране и състоянието на протезата. Поради ограничения брой пациенти анализът е предимно описателен и представлява ретроспективен преглед на опита на нашия център. Всички пациенти са предоставили информирано съгласие, а публикуването на анонимизирани данни е одобрено от Болничната комисия по етика и научен контрол.

Серия от случаи

Представяме четири случая (Пациент 1-4), които илюстрират нашия първоначален опит с процедурата Frozen Elephant Trunk (FET) с използване на графт-протезата E-vita Open NEO. Всички операции бяха извършени в планов порядък и от един и същ хирургичен екип, като при първите два случая бе осигурена прокторска помощ от опитен аортен хирург.

По-долу е представено обобщение на профилите на пациентите и интраоперативното протичане на случаите.

Случай 1: Комплексна аортна патология при 75-годишна жена с аневризма на възходящата аорта и аортната дъга

Информация за пациента

75-годишна жена, диагностицирана инцидентно с аневризма на възходящата аорта и аортната

(one following a remote Type A dissection repair, and another following chronic Type B dissection). All patients were evaluated by our multidisciplinary Heart Team, and FET was selected as the optimal strategy given the extent of disease. The cases were elective (no acute dissections), allowing for preoperative planning and device sizing.

Data Collection

Perioperative data were collected, including operative times, need for transfusion, and any complications. Postoperative outcomes of interest were in-hospital mortality, neurologic outcomes (stroke or spinal cord injury), renal failure, re-exploration for bleeding, and lengths of ventilation, ICU, and hospital stay. Follow-up imaging (CT angiography) was planned at discharge and 3-6 months to assess aortic remodeling and graft status. Given the small number of cases, our analysis is primarily descriptive. The study was conducted as a retrospective review of our institutional experience; all patients provided informed consent for the procedure, and publication of anonymized data was approved by the hospital review board.

Case Series

We report four cases (Patient 1-4) that exemplify our initial experience with the FET procedure using the E-vita Open NEO graft. All surgeries were elective and performed by the same surgical team, with proctoring assistance from an experienced aortic surgeon for the first two cases. Below we summarize the patient profiles and operative courses.

Case 1: Complex Aortic Pathology in a 75-Year-Old Woman with an Ascending Aortic and Aortic Arch Aneurysm

Patient Information

A 75-year-old woman incidentally diagnosed with an ascending aortic and aortic arch aneurysm on computed tomography (CT); asymptomatic at the time of diagnosis, with no cardiovascular or systemic complaints.

Preoperative Data

Computed Tomography Angiography (CTA): The ascending aorta measured 30 × 26.5 mm at the level of the sinuses of Valsalva and 29 × 26.5 mm at the sinotubular junction, with mural thrombosis along the left aortic wall and linear intraluminal components. Above the sinotubular junction, the aorta was aneurysmally dilat-

дъга при компютър-томографско (КТ) изследване; асимптоматична към момента на диагнозата, без кардиоваскуларни или системни оплаквания.

Предоперативни данни:

Компютър-томографска ангиография (КТА). Възходящата аорта се измерва 30 × 26,5 mm на ниво синусите на Валсалва и 29 × 26,5 mm на синотубуларната връзка. Над синотубуларната връзка аортата е аневризмално дилатирана, достигайки максимални размери 75 × 66 mm, с пристенни тромботични компоненти, проминиращи към лумена, и периферни калцификати. Налице е компресия върху трункус пулмоналис и дясната пулмонална артерия. Аортната дъга е дилатирана до 56 × 50 mm на ниво трункус брахиоцефаликус и до 36 × 31 mm преди отделянето на лявата подключична артерия. Супрааорталните съдове са контрастирани, с нормална топика и плаки, без значими стенози. Низходящата аорта се измерва 27 × 25 mm в проксималния и 21 × 19 mm в дисталния сегмент.

Ехокардиография: Фракцията на изтласкване е на лява камера е 56%, без сегментни нарушения в кинетиката. Аортната клапа е с три платна, без стеноза и регургитация, със среден градиент 7 mmHg; митралната клапа е без стеноза и регургитация; трикуспидалната клапа е с ринг 30 мм и трикуспидална инсуфициенция II степен (vena contracta 4 mm), при TAPSE 22 мм.

ЕКГ: синусов ритъм. СЧ: 62 уд./min, хоризонтална ел. ос, ЛК хипертрофия.

Предоперативна СКАГ: Коронарни артерии с плаки, без значими стенози.

Клинично значение

Въпреки липсата на клинични симптоми, пациентката демонстрира значима аневризма на възходящата аорта и аортната дъга с интралуминални тромботични компоненти и екстрамурална компресия върху жизненоважни съдови структури, което представлява висок риск от руптура и други животозастрашаващи усложнения.

Предвид обхвата (от аортния корен до дъгата) и размера на аневризмата беше взето решение да се извърши супракоронарна замяна на възходящата аорта със запазване на нативната аортна клапа, комбинирана с пълна реконструкция на аортната дъга чрез техниката Frozen Elephant Trunk (FET).

Хирургично лечение

След експониране и канюлация на дясната подключична артерия бе извършена срединна стернотомия и перикардиотомия. След директна канюлация на артерия субклавия синистра по метода на Seldinger и дясно предсърдие се премина към екстракорпорално кръвообращение и системно охлаждане на пациента. Осъществена бе дисекция на

ed, reaching maximum dimensions of 75 × 66 mm, with mural thrombotic components protruding into the lumen and peripheral calcifications; compression of the pulmonary trunk and the right pulmonary artery was noted. The aortic arch was dilated to 56 × 50 mm at the level of the brachiocephalic trunk and to 36 × 31 mm before the origin of the left subclavian artery. The supra-aortic vessels were opacified, with normal anatomical configuration and atherosclerotic plaques but without significant stenoses. The descending aorta measured 27 × 25 mm in the proximal segment and 21 × 19 mm distally.

Echocardiography: The left ventricle ejection fraction was 56%, with no regional wall motion abnormalities. The aortic valve was tricuspid, without stenosis or regurgitation (gradient 7 mmHg); the mitral valve showed no stenosis or regurgitation; and the tricuspid valve had a 30-mm ring with grade II regurgitation (vena contracta 4 mm) and a TAPSE of 22 mm.

ECG: Sinus rhythm. Heart rate: 62 bpm. Horizontal electrical axis. Left ventricular hypertrophy.

Preoperative Coronary Angiography: Coronary arteries with atherosclerotic plaques, without significant stenoses.

Clinical Significance

Despite the absence of clinical symptoms, the patient presented with a significant aneurysm of the ascending aorta and aortic arch, associated with intraluminal thrombotic components and extramural compression of vital vascular structures, representing a high risk of rupture and other life-threatening complications.

Considering the extent of the pathology (from the aortic root to the arch) and the aneurysm size, a decision was made to perform supracoronary replacement of the ascending aorta while preserving the native aortic valve, combined with complete reconstruction of the aortic arch using the Frozen Elephant Trunk (FET) technique.

Surgical Treatment

Following dissection of the right subclavian artery, median sternotomy and pericardiotomy were performed. After direct arterial cannulation of right subclavian artery using Seldinger technique and cannulation of the right atrium for venous return, extracorporeal circulation and systemic cooling of the patient were started. The ascending aorta, aortic arch, and supra-aortic vessels were dissected. The innominate vein was ligated and divided. The left subclavian artery was mobilized, transected, and revascularized using an 8-mm vascular graft interposition (Uni-Graft).

възходящата аорта, аортната дъга и супрааортните съдове. Вена анонима бе лигирана и прекъсната. Лявата подключична артерия бе мобилизирана, прекъсната и реваскуларизирана посредством интерпозиция на 8 mm съдова протеза (Uni-Graft).

При телесна температура 25°C бе проведен хипотермичен циркулаторен арест със селективна антеградна мозъчна перфузия. След клампиране на трункус брахиоцефаликус, лявата обща каротидна артерия и лявата подключична артерия, без директен клампаж на аортата бе извършена напречна аортотомия и приложена комбинирана ретроградна и селективна антеградна кръвна кардиоплегия. Аортната дъга бе резецирана след мобилизация на трункус брахиоцефаликус и лявата обща каротидна артерия.

В низходящата гръдна аорта бе имплантирана хибридна протеза E-vita Open Neo по техниката frozen elephant trunk, като дисталната анастомоза бе изпълнена в зона 2 на аортната дъга. Последователно бе извършена реимплантация на лявата обща каротидна артерия и трункус брахиоцефаликус към съответните браншове на протезата. След възстановяване на системната перфузия и започване на затопляне до нормотермия бе осъществена реимплантация на лявата подключична артерия към третия бранш на съдовата протеза по типа край в край.

Проведена бе клапносъхраняваща реконструкция на аортната клапа чрез укрепване на комисурите с полипропиленов шев 5/0. Проксималната анастомоза бе изпълнена с полипропиленов шев и подсилена с филцови ленти. След щателно обезвъздушаване на сърдечните кухини бе възстановена коронарната перфузия и сърдечната дейност, като след дефибрилация се установи синусов ритъм.

След съответното време за реперфузия пациентката бе изведена от екстракорпорално кръвообращение при стабилна хемодинамика. Постигната беше адекватна хемостаза и гръдният кош беше затворен по стандартен хирургичен протокол.

Общо време за ЕКК – 185 min, време в клампаж на аортата – 104 min. Циркулаторен арест – 63 min.

Следоперативен ход

Следоперативният период протече без усложнения. Пациентката беше екстубирана на първия следоперативен ден (POD 1) и изписана от интензивното отделение на четвъртия следоперативен ден (POD 4). Не се наблюдаваха неврологични дефицити. Следоперативната компютър-томографска ангиография потвърди правилно позициониране на стент-графта FET и пълно изключване на аневризматичния сак.

Пациентката беше изписана в добро общо състояние на десетия следоперативен ден (POD 10).

Следоперативна компютър томографска торакална аортография (2-месечен контрол)

Налице е състояние след протезиране на възходящата аорта и аортната дъга с реимплантация на

At a body temperature of 25° C, hypothermic circulatory arrest with selective antegrade cerebral perfusion was instituted. Following clamping of the brachiocephalic trunk, left common carotid artery, and left subclavian artery without direct aortic cross clamping because of mural thrombosis, a transverse aortotomy was performed, and combined retrograde and selective antegrade blood cardioplegia was administered. The aortic arch was resected after mobilization of the brachiocephalic trunk and the left common carotid artery.

A hybrid E-vita Open Neo prosthesis was implanted into the descending thoracic aorta using the Frozen Elephant Trunk technique, with the distal anastomosis performed in zone 2 of the aortic arch. Sequential reimplantation of the left common carotid artery and brachiocephalic trunk into the corresponding branches of the prosthesis was then carried out. Following restoration of systemic perfusion and initiation of rewarming to normothermia, the left subclavian artery was reimplanted into the third branch of the vascular graft using an end-to-end anastomosis.

A reconstruction of the aortic valve was performed by reinforcing the commissures with a 5-0 polypropylene suture. The proximal anastomosis was completed using polypropylene suture and reinforced with felt strips. After meticulous de-airing of the cardiac chambers, coronary perfusion and cardiac activity were restored. Sinus rhythm was achieved following defibrillation.

After corresponding reperfusion period, the patient was weaned from cardiopulmonary bypass with stable hemodynamics. Adequate hemostasis was achieved, and the chest was closed according to standard surgical protocol.

Total cardiopulmonary bypass time: 185 min, Aortic cross-clamp time: 104 min, Circulatory arrest time: 63 min.

Postoperative Course

The postoperative period was uneventful. The patient was extubated on postoperative day 1 (POD 1) and discharged from the intensive care unit on postoperative day 4 (POD 4). No neurological deficits were observed.

Postoperative computed tomography angiography confirmed correct positioning of the FET stent graft and complete exclusion of the aneurysmal sac.

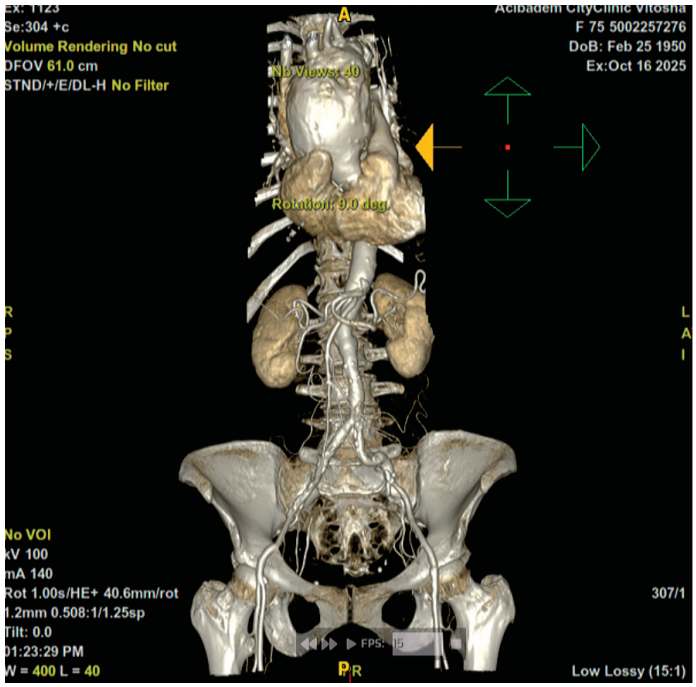
The patient was discharged in good general condition on postoperative day 10 (POD 10).

Postoperative Computed Tomography Thoracic Aortography (2-Month Follow-Up)

The thoracic aorta showed status post replacement of the ascending aorta and aortic arch with reimplantation of the supra-aortic vessels, which currently orig-

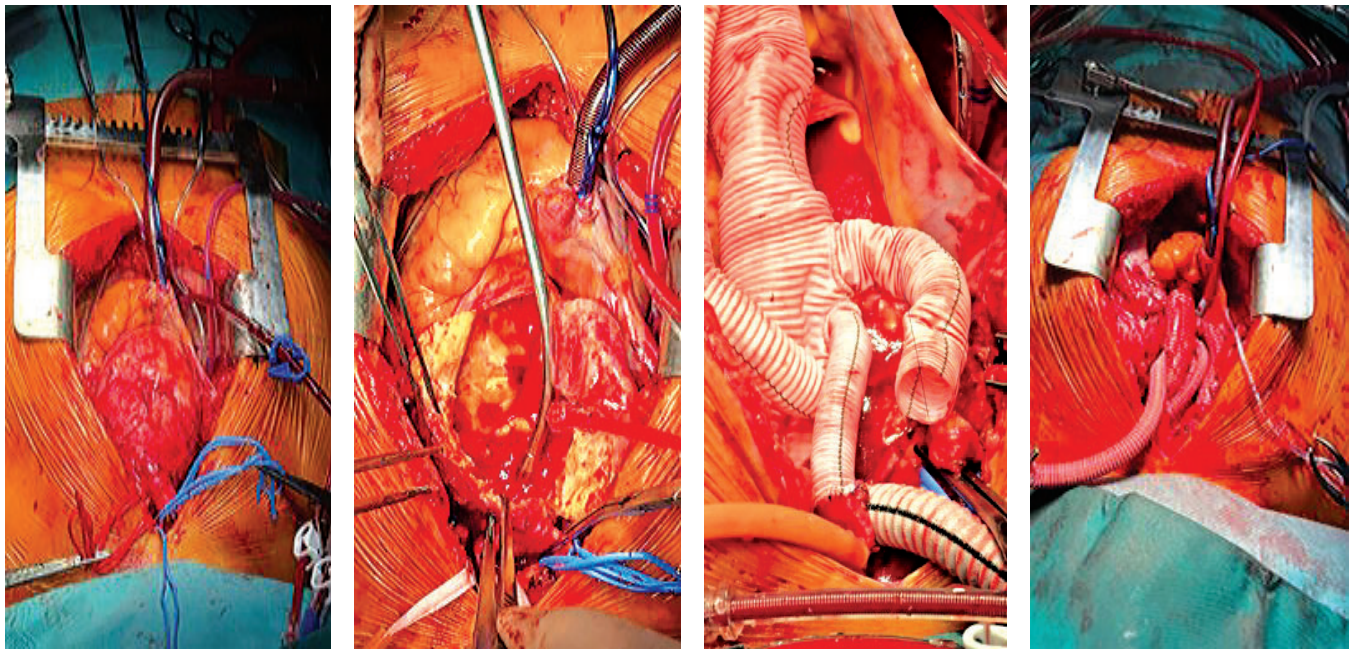
супрааорталните съдове, които понастоящем имат остиуми от протезата на възходящата аорта по десните очертания; размерите в протезата са 27,5 × 25,5 mm. Дистално от протезата е имплантиран стент с начало от средната трета на аортната дъга, продължаващ до проксималната десцендентна аорта – контрастиран, без значима ин-стент пролиферация, с размери на контрастирания лумен 24 × 25 mm проксимално, 18 × 21 mm на прехода аортна дъга/десцендентна аорта и 20 × 22 mm дистално.

inated from the ascending aortic prosthesis along its right contour (prosthetic graft dimensions 27.5 × 25.5 mm). Distal to the prosthesis, a stent graft originating from the middle third of the aortic arch extended into the proximal descending thoracic aorta; it was well opacified, without significant in-stent neointimal proliferation, and the contrast-filled lumen measured 24 × 25 mm proximally, 18 × 21 mm at the transition between the aortic arch and descending aorta, and 20 × 22 mm distally.



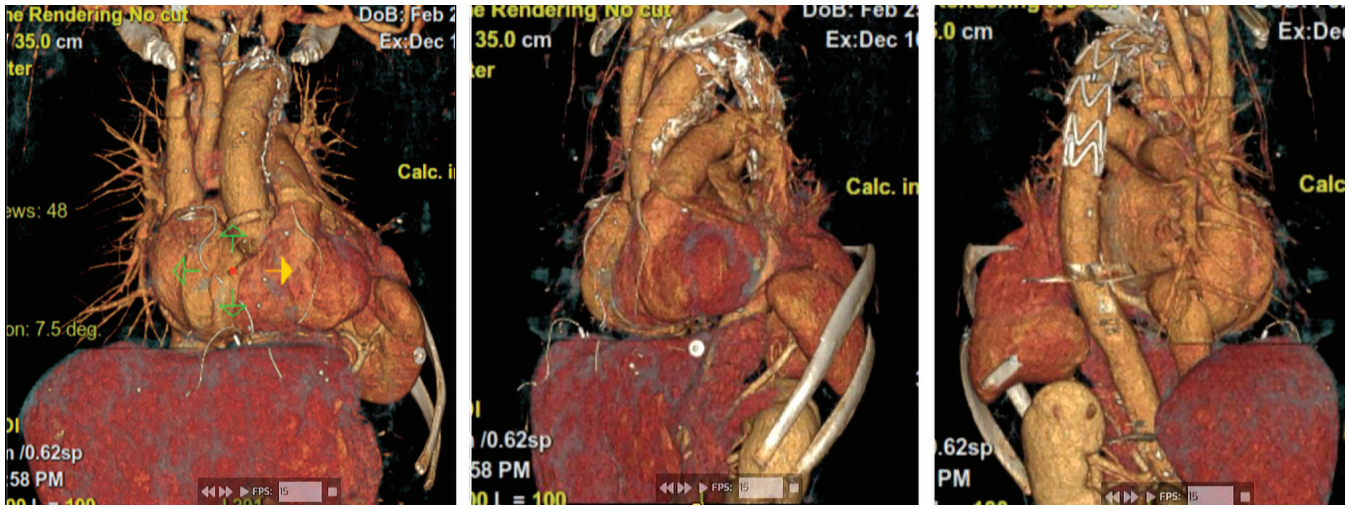
Фиг. 1. Предоперативна КТ ангиография – случай 1

Fig. 1. Preoperative CT scan – case 1



Фиг. 2. Интраоперативен изглед на аортната аневризма и хирургичната реконструкция – случай 1

Fig. 2. Intraoperative view of aortic aneurysm and surgical repair – case 1



Фиг. 3. Следоперативна контролна КТ ангиография – случай 1 / **Fig. 3.** Postoperative follow-up CT scan – case 1

Случай 2: Комплексна аортна патология при 61-годишен мъж с анамнеза за аортна дисекация тип А

Информация за пациента

Представяме случая на 61-годишен мъж с анамнеза за дългогодишна артериална хипертония и перманентно предсърдно мъждене. През 2018 г. е опериран по повод аортна дисекация тип А с имплантация на механична аортна клапна протеза (On-X No. 25), резекция на възходящата аорта и протезиране с 32-милиметрова съдова протеза Uni-Graft.

Предоперативни данни:

Компютър-томографска ангиография (КТА): Аортната клапа и възходящата аорта са протезирани, като протезата започва над синусите на Валсалва и завършва в дисталната възходяща аорта преди дъгата, с интимно сраствane на аортата към стернума. На ниво синусите на Валсалва се установява дилатация до 82 × 62 mm с флеп по дорзо-десните очертания откъм некоронарния синус, а размерите в протезата на възходящата аорта са 37 × 32 mm. След края на протезата персистира дисекационен флеп, проследим в дъгата и по цялото протежение на торакалната и абдоминалната аорта, с екзит в лявата обща илиачна артерия. Аортната дъга е дилатирана до 48 мм, като истинският лумен е разположен вентрално и вляво и е по-интензивно контрастиран; фалшивият лумен е с частична тромбоза и персистиращо контрастиране от малко ентри в началната част на дъгата след протезата. Проксималният сегмент на низходящата аорта е аневризмално дилатиран, максимално до 73 mm след лявата под-

Case 2: Complex Aortic Pathology in a 61-Year-Old Man with a History of Type A Aortic Dissection

Patient Information

A 61-year-old man with a history of long-standing arterial hypertension and permanent atrial fibrillation. In 2018, he underwent surgery for type A aortic dissection, consisting of implantation of a mechanical aortic valve prosthesis (On-X No. 25), resection of the ascending aorta, and replacement with a 32-mm Uni-Graft vascular prosthesis.

Preoperative Data

Computed Tomography Angiography (CTA): The aortic valve and ascending aorta were prosthetic, with the graft extending from above the sinuses of Valsalva to the distal ascending aorta proximal to the arch, and the ascending aorta was densely adherent to the sternum. There was dilatation at the level of the sinuses of Valsalva measuring 82 × 62 mm, with a dissection flap along the right posterior contour originating from the non-coronary sinus, while dimensions within the ascending aortic graft were 37 × 32 mm. Distal to the graft, a persistent dissection flap extended through the aortic arch and the entire thoracic and abdominal aorta, with re-entry at the level of the left common iliac artery. The aortic arch was dilated to 48 mm, with the true lumen located ventrally and to the left and more intensely opacified, and partial thrombosis of the false lumen with persistent contrast filling through a small entry tear in the proximal arch distal to the graft. The proximal descending aorta was aneurysmally dilated,

ключична артерия (в сагитален план) за сметка на фалшивия лумен, а наддиафрагмалните размери са 32 × 30 mm; истинският лумен е разположен вентрално и вдясно, компримиран и по-интензивно контрастиран, при частична тромбоза на фалшивия лумен.

Ехокардиография: Фракцията на изтласкване на лява камера е 56%, без сегментни нарушения в кинетиката. Аортната клапа е с механична протеза със среден/пиков градиент 12/6 mmHg, без патологична регургитация; митралната клапа е с ринг 39 мм и митрална инсуфициенция I степен (vena contracta 2 мм); трикуспидалната клапа е с ринг 38 мм и трикуспидална инсуфициенция I степен, при TAPSE 23 мм.

ЕКГ: предсърдно мъждене, ляв тип ел. ос, СЧ 78 уд/мин.

Предоперативна СКАГ: Коронарни артерии с плаки, без значими стенози.

Клинично значение

Пациентът демонстрира прогресиращо аортно заболяване след хирургично лечение на дисекация на аортата тип А по Станфорд, с повишен риск от руптура поради дилатация на аортния корен, аортната дъга и десцендентната аорта.

Хирургично лечение:

След щателна подготовка на оперативното поле бе осъществена канюлация на дясната обща каротидна артерия чрез съдова протеза, дясната феморална артерия и дясната феморална вена. Стартирано бе екстракорпорално кръвообращение с начало на системно охлаждане. Извършена бе дясна предна торакотомия във второ междуребрие с видеоасистирана дисекция на възходящата аорта от стернума, последвана от срединна рестернотомия и перикардиолиза. Допълнително бяха експонирани аортната дъга и супрааортните съдове, като вена анонима бе лигирана и прекъсната.

При телесна температура 28°C бе осъществен клампаж на възходящата аорта и отваряне на аортния лумен. Установена бе хронична дисекация на аортния корен, като бе приложена студена кръвна кардиоплегия в коронарните остиуми. Предходно имплантираната аортна клапна протеза бе експлантирана. Коронарните остиуми бяха мобилизирани като съдови „бутони“, а аортният корен бе заменен с композитен графт, състоящ се от биологична клапна протеза Inspiris Resilia N27 и съдова протеза Intergard N32, с последваща реимплантация на коронарните артерии.

reaching a maximum of 73 mm distal to the left subclavian artery (sagittal plane) due to false-lumen expansion, with supradiaphragmatic dimensions of 32 × 30 mm; the true lumen was located ventrally and to the right, compressed and more intensely opacified, with partial thrombosis of the false lumen.

Echocardiography: The left ventricle ejection fraction was 56%, with no regional left ventricular wall motion abnormalities. The aortic mechanical prosthesis with a peak/mean gradient of 12/6 mmHg and no pathological regurgitation; the mitral valve had a 39-mm ring with grade I regurgitation (vena contracta 2 mm); and the tricuspid valve had a 38-mm ring with grade I regurgitation and a TAPSE of 23 mm.

ECG: Atrial fibrillation, left-axis deviation, heart rate 78 bpm.

Preoperative Coronary Angiography: Coronary arteries with atherosclerotic plaques, without significant stenoses.

Clinical Significance

The patient demonstrated progressive aortic disease following previous surgical treatment of type A aortic dissection, with an increased risk of rupture due to progressive dilatation of the aortic root, aortic arch and descending thoracic aorta.

Surgical Treatment

Following meticulous preparation of the operative field, cannulation of the right common carotid artery via a vascular graft, the right femoral artery, and the right femoral vein was performed. Cardiopulmonary bypass was initiated, and systemic cooling was started.

A right anterior thoracotomy through the second intercostal space was performed, allowing video-assisted dissection of the ascending aorta from the sternum, followed by median resternotomy and pericardiolysis. The aortic arch and supra-aortic vessels were additionally exposed, and the innominate vein was ligated and divided.

At a body temperature of 28° C, the ascending aorta was cross-clamped and opened. Chronic dissection of the aortic root was identified, and cold blood cardioplegia was administered directly into the coronary ostia. The previously implanted mechanical aortic valve prosthesis was explanted. The coronary ostia were mobilized as vascular “buttons,” and the aortic root was replaced with a composite graft consisting of an Inspiris Resilia No. 27 bioprosthetic valve and an InterGard No. 32 vascular graft, followed by coronary artery reimplantation.

При 25°C бе осъществен циркулаторен арест със селективна двустранна антеградна мозъчна перфузия чрез клампаж на трункус брахиоцефаликус и лявата обща каротидна артерия. Дисталната аортна анастомоза бе извършена след имплантация на хибридна FET протеза E-vita Open Neo N28 в зона 0 на аортната дъга, а реимплантацията на супрааортните съдове бе извършена последователно към браншовете на протезата. Анастомозата между протезните сегменти бе завършена с възстановяване на анатомичната непрекъснатост на аортната реконструкция.

След възстановяване на системната перфузия бе започнато затопляне до нормотермия. Пациентът бе изведен от екстракорпорално кръвообращение при стабилна хемодинамика и възстановен синусов ритъм след дефибрилация. Последваха деканюлиране, щателна хирургична хемостаза, имплантиране на временни епикардни електроди и поставяне на ретростернален дренаж. Операцията завърши със стандартно послойно затваряне на торакотомията и стернотомията.

Поради значителни сраствания и обема на реконструкцията, времето на екстракорпорално кръвообращение беше удължено, а циркулаторният арест беше с продължителност 60 min.

Общо време за ЕКК – 464 min, време в клампаж на аортата – 242 min.

Въпреки техническата сложност, операцията беше завършена успешно.

Следоперативен ход

Постоперативното възстановяване беше по-бавно. Пациентът остана на апаратна вентилация в продължение на 5 дни поради белодробни усложнения и се нуждаеше от високи дози инотропна и вазопресорна поддръжка в рамките на 48 часа. Въпреки това не се регистрираха неврологични усложнения.

Състоянието му постепенно се подобри и той беше преведен от интензивното отделение на 8-мия следоперативен ден (POD 8). Пациентът беше изписан за рехабилитация на 20-ия следоперативен ден (POD 20).

Следоперативна Компютъртомографска торакална аортография (2-месечен контрол)

Протезите са проходими, без данни за значима интралуменна редукция, и с тромбозирал фалшив лумен в аортната дъга и началната част на десцендентната аорта.

At 25° C, circulatory arrest was instituted with selective bilateral antegrade cerebral perfusion achieved by clamping the brachiocephalic trunk and the left common carotid artery. The distal aortic anastomosis was performed following implantation of a hybrid E-vita Open Neo Frozen Elephant Trunk (FET) prosthesis (No. 28) in zone 0 of the aortic arch. The supra-aortic vessels were sequentially reimplanted into the corresponding branches of the prosthesis. Anastomosis between the prosthetic segments was then completed, restoring anatomical continuity of the reconstructed aorta.

Following restoration of systemic perfusion, rewarming to normothermia was initiated. The patient was successfully weaned from cardiopulmonary bypass with stable hemodynamics and restoration of sinus rhythm after defibrillation. Decannulation was performed, followed by meticulous surgical hemostasis, implantation of temporary epicardial pacing wires, and placement of a retrosternal drain. The operation was completed with standard layered closure of both the thoracotomy and sternotomy incisions.

Due to extensive adhesions and the complexity of the reconstruction, cardiopulmonary bypass time was prolonged, while circulatory arrest lasted 60 min.

Total cardiopulmonary bypass time: 464 minutes.

Aortic cross-clamp time: 242 minutes.

Despite the technical complexity of the procedure, the operation was completed successfully.

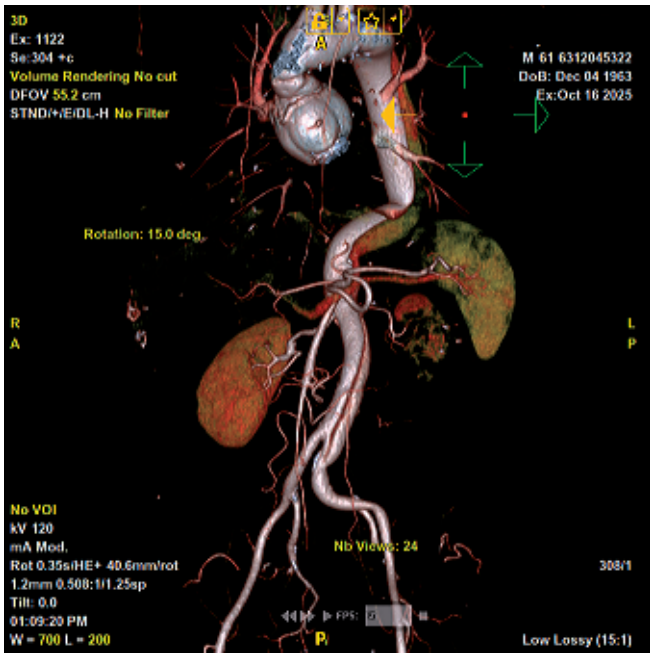
Postoperative Course

Postoperative recovery was prolonged. The patient remained on mechanical ventilation for five days because of pulmonary complications and required high-dose inotropic and vasoactive drugs support during the first 48 hours. Nevertheless, no neurological deficit was observed.

His condition gradually improved, and he was transferred from the intensive care unit on postoperative day 8 (POD 8). The patient was discharged for rehabilitation on postoperative day 20 (POD 20).

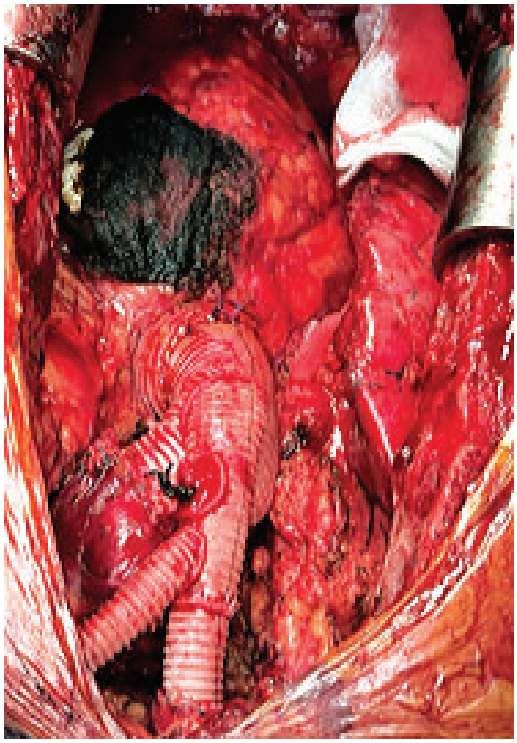
Postoperative Computed Tomography Thoracic Aortography (2-Month Follow-Up)

The vascular grafts were patent, without evidence of significant intraluminal narrowing, and the false lumen within the aortic arch and descending aorta was thrombosed.



Фиг. 4. Предоперативна КТ ангиография – случай 2

Fig. 4. Preoperative CT scan – case 2



Фиг. 5. Постоперативен резултат – случай 2
Fig. 5. Surgical outcome – case 2

Фиг. 6. Контролна следоперативна КТ ангиография – случай 2
Fig. 6. Postoperative follow-up CT scan – case 2

Случай 3: Комплексна аортна патология при 68-годишен мъж с аневризма на възходящата аорта и аортната дъга с предходно хирургично протезиране на аортната клапа

Информация за пациента:

68-годишен мъж със сакуларна аневризма на възходящата аорта, аортната дъга и проксимал-

Case 3: Complex Aortic Pathology in a 68-Year-Old Man with an Ascending Aortic and Aortic Arch Aneurysm and Previous Aortic Valve Replacement

Patient Information

A 68-year-old man with a saccular aneurysm involving the ascending aorta, aortic arch, and proximal

ната част на низходящата аорта с размер 5,5 cm. През 2015 г. е извършено протезиране на аортната клапа с механична протеза (Carbomedics No. 27) по повод тежка аортна стеноза.

Предоперативни данни:

Компютър-томографска ангиография (КТА): Аортната клапа е клапна протеза с размер 27 mm. Аортата се измерва на ниво Синус на Валсалва 41 × 38 mm, 49 × 46 mm на ниво синотубуларна връзка, 55 × 54 mm в асцендентната аорта, 43 × 36 mm преди трункус брахиоцефаликус и 33 × 31 mm в аортната дъга; непосредствено след остиума на лявата подключична артерия се установява кинк с ъгъл 92°. Низходящата торакална аорта е с начален сегмент 57 × 55 mm, средна трета 38 × 37 мм и супрадиафрагмален сегмент 29 × 27 mm. Супрааорталните клонове се отделят обичайно, с единични калциеви плаки по частично обхванатите артерии.

Ехокардиография: Фракцията на изтласкване на лява камера е 58%. Аортната клапа е с механична протеза с пиков/среден градиент 19/9 mmHg и парапротезна аортна регургитация II степен (РНТ 497 мсек); митралната клапа е с ринг 34 mm, фиброзни промени по платната и регургитация до II степен (vena contracta 5 mm); трикуспидалната клапа е с ринг 34 mm и регургитация I степен, при TAPSE 21 mm.

ЕКГ: синусов ритъм, СЧ 51/min, индиф. ел. ос.

Предоперативна СКАГ: Коронарни артерии с плаки, без значими стенози.

Клинично значение

Предвид обхвата на аортната патология, размера на аневризмата и рискът от усложнение, беше взето решение за хирургично лечение.

Хирургично лечение

Операцията се извърши чрез рестернотомия след предварително експозиране на дясната подключична артерия. След адхезиолиза и частична перикардиектомия се започна екстракорпорално кръвообращение с артериална канюлация на a. subclavia dextra и венозна канюлация на дясното предсърдие. Изолира се a. subclavia sinistra и се прекъсна посредством Endo Gia 45 mm. След системно охлаждане до 25°C, аортен клампаж и кардиоплегичен арест се осъществи резекция на аортната дъга при условията на хипотермичен циркулаторен арест и селективна антеградна церебрална перфузия – с продължителност 43 min.

descending thoracic aorta, measuring 5.5 cm; he had previously undergone aortic valve replacement with a mechanical prosthesis (Carbomedics No. 27) in 2015 for severe aortic stenosis.

Preoperative Data

Computed Tomography Angiography (CTA): The aortic valve was a prosthetic valve measuring 27mm . Aortic dimensions were 41 × 38 mm at the level of sinuses of Valsalva, 49 × 46 mm at the sinotubular junction, 55 × 54 mm in the ascending aorta, 43 × 36 mm proximal to the brachiocephalic trunk, and 33 × 31 mm at the aortic arch, with a kinking deformity (92° angulation) immediately beyond the ostium of the left subclavian artery. The proximal descending thoracic aorta measured 57 × 55 mm, the mid-descending thoracic aorta 38 × 37 mm, and the supradiaphragmatic descending aorta 29 × 27 mm. The supra-aortic branches originated normally, with isolated calcified plaques noted within the partially visualized arteries.

Echocardiography: The left ventricle ejection fraction was 58%. The aortic valve mechanical prosthesis with a peak/mean transvalvular gradient of 19/9 mmHg and grade II paravalvular aortic regurgitation (pressure half-time 497 ms); the mitral valve had a 34-mm ring with leaflet fibrosis and regurgitation up to grade II (vena contracta 5 mm); and the tricuspid valve had a 34-mm ring with grade I regurgitation and a TAPSE of 21 mm.

ECG: Sinus rhythm, heart rate 51 bpm, indeterminate electrical axis.

Preoperative Coronary Angiography: Coronary arteries with atherosclerotic plaques, without significant stenoses.

Clinical Significance

Considering the extent of the aortic pathology, aneurysm size, and the associated risk of complications, surgical treatment was indicated.

Surgical Treatment

The operation was performed through a median resternotomy following prior exposure of the right subclavian artery. After resternotomy, adhesiolysis and partial pericardiectomy, cardiopulmonary bypass was established using arterial cannulation of the right subclavian artery and venous cannulation of the right atrium. The left subclavian artery was isolated and transected using an Endo GIA 45-mm stapling device. Following systemic cooling to 25°C, aortic cross-clamping and cardioplegic arrest were achieved. Resection of the aortic arch was performed under hypothermic circulatory arrest with selective antegrade cerebral perfusion, lasting 43 minutes.

В низходящата гръдна аорта се имплантира хибридна протеза Frozen Elephant Trunk (E-vita Open Neo), като дисталната анастомоза се извърши в зона 2 на аортната дъга. Последва реимплантация на лявата обща каротидна артерия и трункус брахиоцефаликус към клоновете на протезата. След възстановяване на екстракорпоралното кръвообращение и клампаж на аортната протеза се коригира установена парапротезна комуникация в областта на некоронарния синус и се извърши проксималната анастомоза към нативната аорта. След деклампиране на аортата и възстановяване на сърдечната дейност a. subclavia sinistra се реимплантира към третия бранш на съдовата протеза по типа край-страна през отделен субклавикуларен оперативен достъп.

Гладко излизане от екстракорпорално кръвообращение при стабилна хемодинамика. След деканюлиране и окончателна хемостаза се поставиха временни епикардни електроди и дренажи, а оперативната рана се затвори по стандартен начин.

Общо време за ЕКК – 211 min, циркулаторен арест 43 min, време на клампаж на аортата – 99 min.

Следоперативен ход

Следоперативният период протече без усложнения, без неврологични или хирургични проблеми. Рехабилитацията беше започната на втория следоперативен ден.

На втория следоперативен ден при ЕКГ мониториране се установи синусов арест със заместителен нодален ритъм (38-40 уд./min). След консултация с електрофизиолог пациентът беше индициран за имплантация на постоянен пейсмейкър.

Беше имплантиран двукухинен пейсмейкър (DDD режим) без усложнения.

Следоперативна компютър томографска торакална аортография (2-месечен контрол)

Контролната КТ ангиография показа очакваните следоперативни промени без данни за усложнения: проходима протезна реконструкция на възходящата аорта, аортната дъга и супрааортните съдове, както и напълно разгънат, интактен и адекватно контрастиран стент-графт в областта на аортната дъга и проксималната низходяща аорта, без данни за ендолийк, миграция на графта или тромбоза.

A hybrid Frozen Elephant Trunk (E-vita Open Neo) prosthesis was implanted into the descending thoracic aorta, and the distal anastomosis was constructed in zone 2 of the aortic arch. Reimplantation of the left common carotid artery and brachiocephalic trunk into the corresponding branches of the prosthesis was subsequently performed.

After restoration of cardiopulmonary bypass and a cross clamp of the aortic prosthesis, a paravalvular communication was identified at the level of the non-coronary sinus and repaired, the proximal anastomosis to the native aorta was than completed. Following aortic unclamping and restoration of cardiac activity, the left subclavian artery was reimplanted into the third branch of the vascular graft using an end-to-side anastomosis with an additional subclavicular surgical incision.

The patient was weaned smoothly from cardiopulmonary bypass with stable hemodynamics. Following decannulation and meticulous hemostasis, temporary epicardial pacing wires and mediastinal drains were placed, and the operative wound was closed in a standard fashion.

Total cardiopulmonary bypass time: 211 minutes. Circulatory arrest with antegrade cerebral perfusion was 43 min, aortic cross-clamp time: 99 minutes.

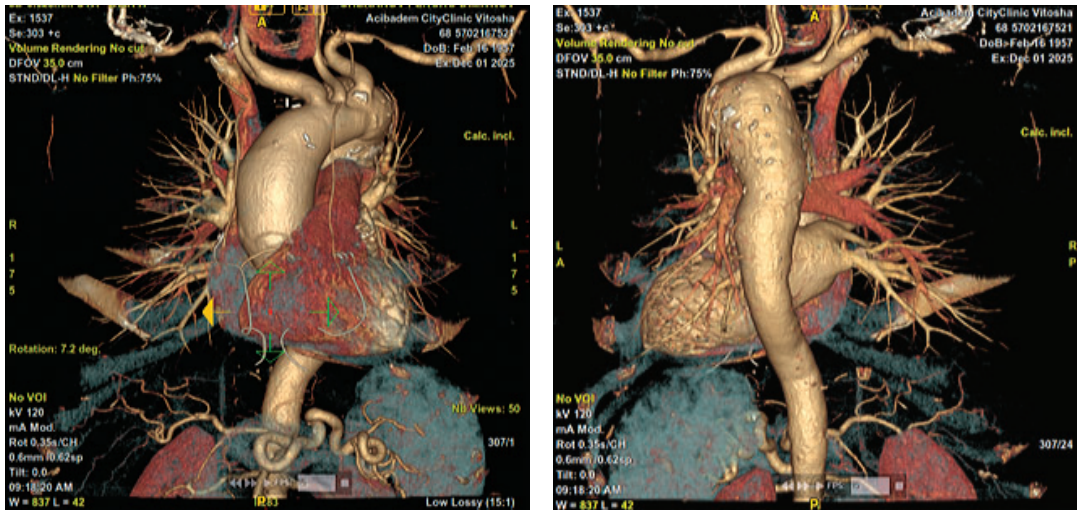
Postoperative Course

The postoperative period was uneventful, without neurological or surgical complications. Rehabilitation was initiated on postoperative day 2.

On postoperative day 2, ECG monitoring revealed sinus arrest with a junctional escape rhythm (38–40 bpm). Following consultation with an electrophysiologist, the patient was considered suitable for permanent pacemaker implantation. A dual-chamber pacemaker (DDD mode) was successfully implanted without complications.

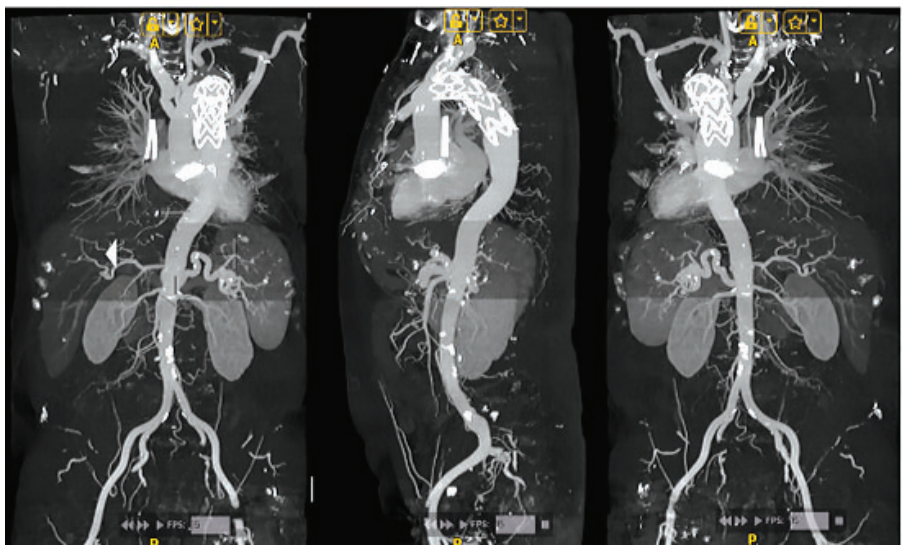
Postoperative Computed Tomography Thoracic Aortography (2-Month Follow-Up)

Follow-up CT angiography demonstrated the expected postoperative findings without evidence of complications: patent prosthetic reconstruction of the ascending aorta, aortic arch, and supra-aortic vessels, together with a fully expanded, intact, and adequately opacified stent graft within the aortic arch and proximal descending thoracic aorta, and no evidence of endoleak, graft migration, or thrombosis.



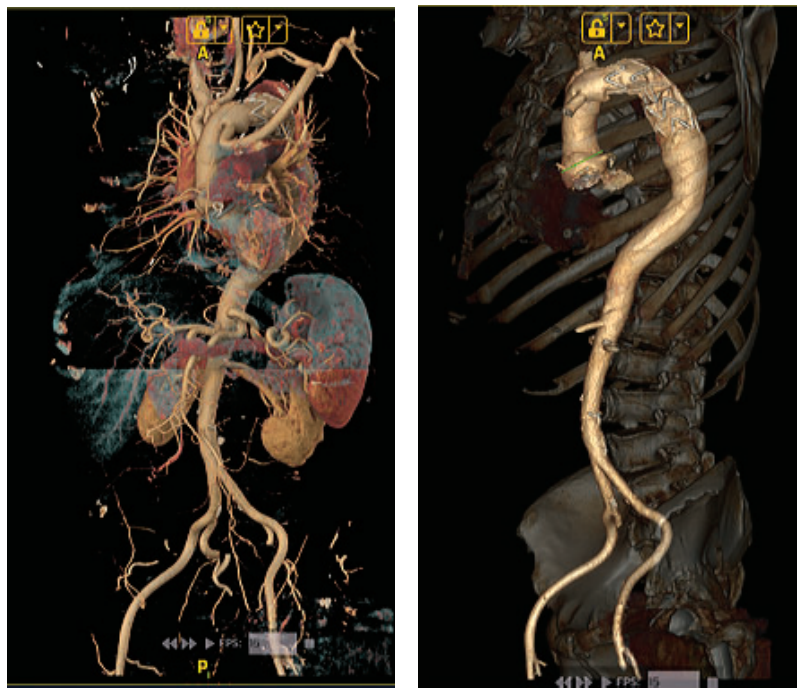
Фиг. 7. Предоперативна КТ ангиография – случай 3

Fig. 7. Preoperative CT scan – case 3



Фиг. 8. Постоперативна КТ ангиография – случай 3

Fig. 8. Postoperative CT scan – case 3



Фиг. 9. Постоперативна КТ ангиография (2 месеца след интервенцията) – случай 3

Fig. 9. Postoperative follow-up CT scan – case 3

Случай 4: 66-годишна жена с хронична дисекация тип А с разпространение към аортната дъга и аберантна дясна подключична артерия

Информация за пациента. 66-годишна жена с аортна дисекация тип А по Stanford и умерена аортна регургитация.

Предоперативни данни

Компютър-томографска ангиография (КТА). Установява се дисекационен флеп, проследим от дисталната част на възходящата аорта през аортната дъга, десцендентната и абдоминалната аорта по цялото им протежение, с екзит в дясната външна илиачна артерия, и широко ентри в аортната дъга на ниво отделянето на лявата обща каротидна артерия. По цялото протежение на дисекацията частично тромбозиралият фалшив лумен е по-интензивно контрастиран от истинския в късна артериална фаза, с по-голям диаметър и компресия върху истинския лумен. Размерите са 32 × 36 mm на ниво синусите на Валсалва, 33 × 36 mm синотубуларно и 39 × 40 mm на ниво трункус пулмоналис; в аортната дъга на нивото на лявата подключична артерия общият диаметър е 42 mm (истински лумен 18 × 32 mm, фалшив лумен 20 × 33 mm), а супрадиафрагмално низходящата аорта е с общ диаметър 34 × 38 mm, като истинският лумен е компримиран от частично тромбозиралия фалшив лумен и измерва 7 × 21 mm. От супрааорталните съдове дясната обща каротидна артерия е контрастирана, с остиум от истинския лумен; лявата обща каротидна артерия е контрастирана, с флеп в началния сегмент; лявата подключична артерия е с дисекационен флеп по цялото протежение и по хода на аксиларната артерия, с екзит на ниво началото на брахиалната артерия и по-интензивно контрастиран фалшив лумен; аберантната дясна подключична артерия (a. lusoria) е вариететна, контрастирана, с флеп в началния сегмент и ретроезофагеален ход.

Ехокардиография. Фракцията на изтласкване на лява камера е 68%. Аортната клапа е с три платна, с пиков градиент 12 mmHg и регургитация II степен (PHT 396 ms, vena contracta 5 mm); митралната клапа е с ринг 29 mm и регургитация I степен; трикуспидалната клапа е с регургитация I+ степен, при TAPSE 16 mm.

ЕКГ: синусов ритъм, СЧ 90 уд./min, индиферентна електрическа ос

Предоперативна СКАГ: Коронарни артерии с плаки, без значими стенози.

Клинично значение

При комплексната обширна аортна дисекация със засягане на аортната дъга и низходящата

Case 4: A 66-Year-Old Woman with Chronic Type A Aortic Dissection Extending into the Aortic Arch and an Aberrant Right Subclavian Artery

Patient Information. A 66-year-old woman with Stanford type A aortic dissection and moderate aortic regurgitation.

Preoperative Data

Computed Tomography Angiography (CTA). A dissection flap was identified extending from the distal ascending aorta through the aortic arch, descending thoracic aorta, and abdominal aorta along its entire course, with re-entry at the level of the right external iliac artery, and a large primary entry tear in the aortic arch at the origin of the left common carotid artery. Throughout the dissected aorta, the partially thrombosed false lumen demonstrated greater contrast enhancement than the true lumen during the late arterial phase, was larger in diameter, and compressed the true lumen. Measurements were 32 × 36 mm at the sinuses of Valsalva, 33 × 36 mm at the sinotubular junction, and 39 × 40 mm at the level of the pulmonary trunk; at the aortic arch at the origin of the left subclavian artery the total diameter was 42 mm (true lumen 18 × 32 mm, false lumen 20 × 33 mm), and immediately above the diaphragm the descending thoracic aorta had a total diameter of 34 × 38 mm, with the true lumen compressed by the partially thrombosed false lumen and measuring 7 × 21 mm. Among the supra-aortic vessels, the right common carotid artery was opacified and originated from the true lumen; the left common carotid artery was opacified with a dissection flap in its proximal segment; the left subclavian artery showed a dissection flap throughout its course and into the axillary artery, with re-entry at the origin of the brachial artery and a more intensely opacified false lumen; and the aberrant right subclavian artery (arteria lusoria) was patent, with a dissection flap in its proximal segment and a retroesophageal course.

Echocardiography. The ejection fraction was 68%. The aortic valve was tricuspid, with a peak gradient of 12 mmHg and grade II regurgitation (pressure half-time 396 ms; vena contracta 5 mm); the mitral valve had a 29-mm ring with grade I regurgitation; and the tricuspid valve had grade I regurgitation with a TAPSE of 16 mm.

ECG: Sinus rhythm, heart rate 90 bpm, indeterminate electrical axis.

Preoperative Coronary Angiography: Coronary arteries with atherosclerotic plaques, without significant stenoses.

аорта, к**акто и наличие на доминиращ фалшив лумен или малперфузия**, хирургичният подход с frozen elephant trunk (FET) **представлява** най-подходящото и съвременно решение.

Тази техника позволява едновременно: стабилизиране на аортната дъга, директно третиране на проксималната част на низходящата аорта и създаване на условия за последващо ремоделиране и тромбозиране на фалшивия лумен.

По този начин FET осигурява най-добър контрол върху заболяването в една процедура, намалява риска от ранна руптура и улеснява бъдещо ендоваскуларно или хирургично лечение при необходимост.

Пациентката имаше анатомия тип bovine aortic arch, а аневризмата беше разположена дистално от лявата обща каротидна артерия, непосредствено преди изхода на аберантната дясна подключична артерия (ARSA), като същевременно компресираха трахеята.

Беше планиран двуетапен хибриден подход: първо хирургичен дебранчинг на аберантната артерия субклавия декстра, последван от FET процедура за протезиране на асцендентната аорта, аортната дъга и стабилизация на десцендентната аорта.

Хирургично лечение

На първи етап беше извършен байпас между дясната каротидна и аберантната дясна артерия субклавия.

Две седмици по-късно беше извършена пълна реконструкция на аортната дъга с техника Frozen Elephant Trunk (FET).

След срединна стернотомия и перикардиолиза на плътни адхезии бе експонирана възходящата аорта и аортната дъга. Интраоперативно се установи хронична тромбозирала дисекация, започваща от дисталния сегмент на възходящата аорта и обхващаща аортната дъга, лявата обща каротидна артерия, лявата подключична артерия и аберантна дясна подключична артерия (arteria lusoria). Артериалната перфузия бе осигурена чрез канюлация на предходно имплантиран каротидо-субклавиален байпас и възходящата аорта, а венозният дренаж – чрез стандартна канюлация на дясното предсърдие. След започване на екстракорпорално кръвообращение пациентката бе охладена до 25° C.

След аортен клампаж и приложение на селективна антеградна кръвна кардиоплегия през коронарните остиуми бе осъществен хипотермичен циркулаторен арест. Проведена бе двустранна селективна антеградна мозъчна перфузия чрез канюлация на двете общи каротидни артерии. Из-

Clinical Significance

In this patient with extensive chronic aortic dissection involving the aortic arch and descending thoracic aorta, accompanied by a dominant false lumen and evidence of malperfusion, the Frozen Elephant Trunk (FET) technique represented the most appropriate contemporary surgical strategy.

This approach allows: stabilization of the aortic arch, direct treatment of the proximal descending thoracic aorta, promotion of false lumen thrombosis and favorable aortic remodeling.

Thus, the FET technique provides optimal disease control in a single procedure, reduces the risk of early rupture, and facilitates potential future endovascular or surgical interventions if required.

The patient presented with a bovine aortic arch configuration, and the aneurysmal segment was located distal to the left common carotid artery and immediately proximal to the origin of the aberrant right subclavian artery (ARSA), while simultaneously causing tracheal compression.

A staged hybrid approach was planned, consisting of initial supra-aortic debranching with an abberant right subclavian to right carotid artery bypass followed by definitive FET repair of the ascending aorta, aortic arch and descending thoracic aorta.

Surgical Treatment

As the first stage, a right carotid–subclavian bypass was performed.

Two weeks later, complete aortic arch reconstruction using the Frozen Elephant Trunk (FET) technique was undertaken.

Following median sternotomy and extensive pericardiolysis of dense adhesions, the ascending aorta and aortic arch were exposed. Intraoperative findings confirmed chronic thrombosed dissection originating in the distal ascending aorta and extending into the aortic arch, left common carotid artery, left subclavian artery, and aberrant right subclavian artery (arteria lusoria).

Arterial perfusion was established through cannulation of the previously implanted carotid–subclavian bypass graft and the ascending aorta, while venous drainage was achieved through two-stage right atrial cannulation. After initiation of cardiopulmonary bypass, the patient was cooled to 25°C.

Following aortic cross-clamping and administration of selective antegrade blood cardioplegia through the coronary ostia, hypothermic circulatory arrest was instituted. Bilateral selective antegrade cerebral perfusion

вършена бе резекция на възходящата аорта и аортната дъга до зона 2. Лявата подключична артерия се прекъсна посредством Endo Gia 45 mm. Arteria lusoria също беше прекъсната, а дясната и лявата обща каротидна артерия бяха мобилизирани като отделни съдови острови.

В низходящата гръдна аорта бе имплантирана хибридна протеза E-vita Open Neo № 26, като дисталната анастомоза бе изпълнена в зона 2 на аортната дъга с подсилване чрез филцова лента. Последователно бе извършена реимплантация на лявата и дясната обща каротидна артерия към съответните браншове на протезата, последвана от възстановяване на системната перфузия и постепенно затопляне. Проксималната анастомоза бе осъществена на нивото на синотубуларната връзка. След възстановяване на сърдечната дейност бе извършена реваскуларизация на лявата подключична артерия чрез анастомозиране към третия бранш на протезата по тип край–страна през отделен хирургичен достъп субклавикуларно вляво.

Гладко излизане от екстракорпорално кръвообращение при стабилна хемодинамика. Интраоперативната трансезофагеална ехокардиография потвърди запазена функция на нативната трикуспидна аортна клапа без промяна в степента на предоперативно установената аортна инсуфициенция.

Общо време за ЕКК – 217 min, време в клампаж на аортата – 108 min. Циркулаторен арест – 69 min с антеградна мозъчна перфузия при хипотермия – 25º C.

Следоперативен ход

Пациентката беше хемодинамично стабилна на катехоламинова поддръжка и беше екстубирана без кардиопулмонални усложнения.

Неврологичната оценка установи транзиторна епилептична активност в ранния следоперативен период. Краниалната КТ не показа данни за остра интракраниална патология. Не се установи дефицит от страна на гръбначния мозък.

Престоят в интензивното отделение продължи до петия следоперативен ден (POD 5), а изписването за домашно лечение беше на 14-ия следоперативен ден (POD 14).

Следоперативна компютър томографска торакална аортография (2-месечен контрол)

Следоперативно образната диагностика показа пълна тромбоза на фалшивия лумен в стентираната част на аортата и намаляване на размера на аневризмата, което е индикатор за благоприятно аортно ремоделиране.

was established through cannulation of both common carotid arteries.

The ascending aorta and aortic arch were resected up to zone 2. The left subclavian artery was transected using an Endo GIA 45-mm stapling device. The aberrant right subclavian artery (arteria lusoria) was also ligated, while the right and left common carotid arteries were mobilized as separate vascular islands.

A hybrid E-vita Open Neo No. 26 prosthesis was implanted into the descending thoracic aorta. The distal anastomosis was performed in zone 2 of the aortic arch and reinforced with a felt strip. Sequential reimplantation of the left and right common carotid arteries into the corresponding branches of the prosthesis was then carried out, followed by restoration of systemic perfusion and gradual rewarming.

The proximal anastomosis was completed at the level of the sinotubular junction. After restoration of cardiac activity, revascularization of the left subclavian artery was performed by an end-to-side anastomosis to the third branch of the prosthesis with a separate left subclavicular incision.

The patient was weaned smoothly from cardiopulmonary bypass with stable hemodynamics. Intraoperative transesophageal echocardiography confirmed preserved function of the native tricuspid aortic valve, with no change in the degree of pre-existing aortic regurgitation.

Total cardiopulmonary bypass time: 217 minutes.

Aortic cross-clamp time: 108 minutes.

Circulatory arrest time: 69 minutes with antegrade cerebral perfusion at 25°C.

Postoperative Course

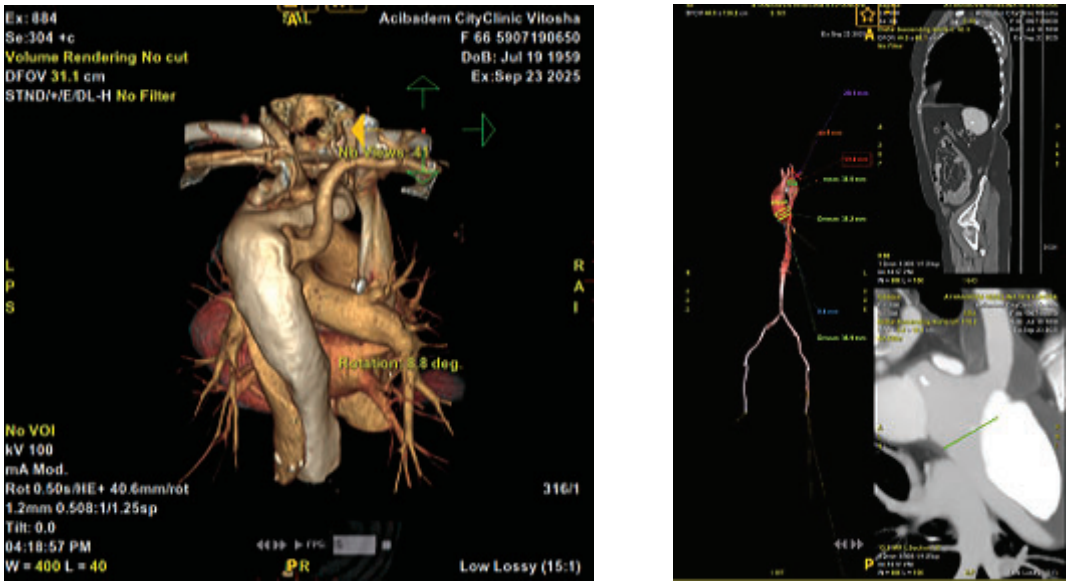
The patient remained hemodynamically stable on catecholamine support and was extubated without cardiopulmonary complications.

Neurological assessment identified transient epileptiform activity during the early postoperative period. Cranial computed tomography demonstrated no evidence of acute intracranial pathology. No spinal cord neurological deficit was observed.

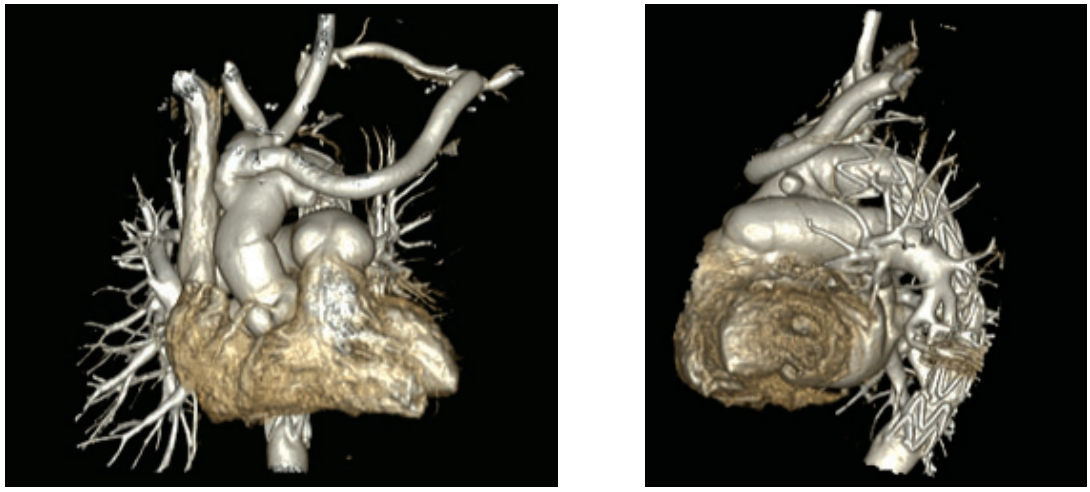
The patient remained in the intensive care unit until postoperative day 5 (POD 5) and was discharged home on postoperative day 14 (POD 14).

Postoperative Computed Tomography Thoracic Aortography (2-Month Follow-Up)

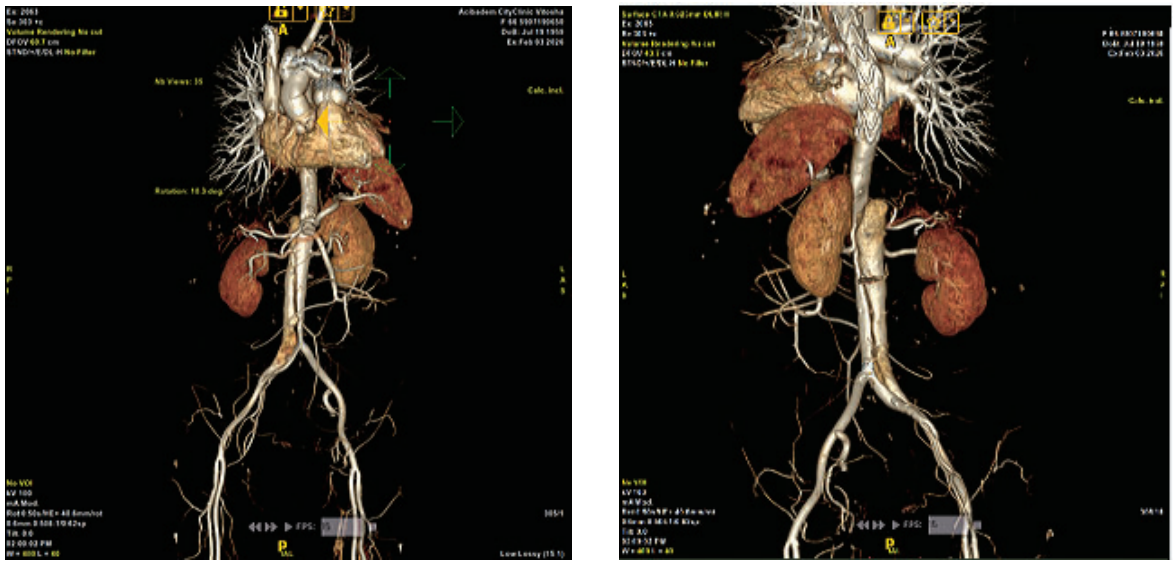
Postoperative imaging demonstrated complete thrombosis of the false lumen within the stented segment of the aorta and a reduction in aneurysm size, indicating favorable aortic remodeling.



Фиг. 10. Предоперативна КТ ангиография – случай 4 / **Fig. 10.** Preoperative CT scan – case 4



Фиг. 11. Постоперативна КТ ангиография – случай 4 / **Fig. 11.** Postoperative follow-up CT scan – case 4



Фиг. 12. Постоперативна КТ ангиография (2 месеца след интервенцията) – случай 4
Fig. 12. Postoperative follow-up CT scan (2 months after the intervention) – case 4

Обсъждане

Всичките четирима пациенти в нашата начална серия преживяха операцията и бяха изписани без значими усложнения. Особено важно е, че не се наблюдава инсулт или траен неврологичен дефицит (включително увреждане на гръбначния мозък) в тази група. Тези резултати са обнадеждаващи, предвид високия риск на хирургията на аортната дъга.

Нашите данни са в съответствие с други ранни серии, публикувани за протезата E-vita Open NEO. Например, азиатска мултицентрова серия от 25 пациенти с използване на разклонената E-vita NEO съобщава 0% 30-дневна смъртност и липса на инсулти, с едва 4% преходни гръбначномозъчни неврологични нарушения. По сходен начин, едноцентрово корейско проучване при 167 пациенти (остри и хронични дисекации и аневризми), подложени на тотална реконструкция на аортната дъга с FET (E-vita Open NEO), показва ниска вътреболнична смъртност от 1.8%, като 1-годишната преживяемост достига 95.9%.

Тези съвременни резултати показват, че при опитни екипи техниката FET с модерни протези може да се извършва с периоперативна смъртност в ниските едноцифрени стойности и с приемлив неврологичен риск [4, 5].

Важно е да се имат предвид сложността на процедурата и потенциалните усложнения. По-големи серии от високоспециализирани центрове показват, че оперативният риск остава значим, особено при определени подгрупи пациенти.

В неотдавнашна 11-годишна кохорта от 51 пациенти, подложени на FET в европейски център (с използване на различни поколения E-vita графтове), е докладвана обща честота на инсулт около 18% и постоянен дефицит на гръбначния мозък около 8%. Особено важно е, че пациентите, лекувани по повод аневризми на аортната дъга (за разлика от дисекации), са имали по-висока честота на инсулт (31,6% в тази серия), вероятно поради по-голямата атеросклеротична тежест и по-продължителното време на мозъчна исхемия при тези случаи.[6]

В нашата серия не се наблюдаваха неврологични усложнения, но броят на пациентите е твърде малък, за да позволи категорични изводи.

Прилагахме няколко стратегии за намаляване на риска от неврологични усложнения: прецизна церебрална протекция (в повечето случаи двустранна антеградна церебрална перфузия), стриктно ограничаване на времето на циркулаторен арест, ранно затопляне и постоянен NIRS (Near Infra Red Spectroscopy) мониторинг на мозъчното кръвообращение, обезвъздушаване на сърдечните кухини под контрол с трансезофагеална ехокардиография

Discussion

Initial Outcomes: All four patients in our initial series survived the operation and were discharged without major complications. Notably, we observed no stroke, or permanent neurological deficit (including spinal cord injury) in this cohort. These results are encouraging, especially given the high-risk nature of arch surgery. Our findings align with other early experiences reported for the E-vita Open NEO prosthesis. For example, an Asian multicenter series of 25 patients using the branched E-vita NEO reported zero 30-day mortality and no strokes, with only a 4% rate of transient spinal cord deficit. Similarly, a single-center Korean study of 167 patients (mix of acute dissections, chronic dissections, and aneurysms) who underwent total arch replacement with FET (using E-vita Open NEO) showed a low in-hospital mortality of just 1.8%, with 1-year survival reaching 95.9%. These contemporary outcomes suggest that, in experienced hands, the FET technique with modern grafts can be performed with perioperative mortality in the low single digits and acceptable neurologic risk [4, 5].

However, it is important to temper enthusiasm by recognizing the procedure's complexity and potential for complications. Larger series from high-volume centers indicate that operative risk is still significant, particularly in certain subgroups. In a recent 11-year cohort of 51 FET patients at a European center (using multiple generations of E-vita grafts), the overall stroke rate was reported at ~18% and permanent SCI ~8%. Notably, patients treated for arch aneurysms (as opposed to dissections) had higher stroke incidence (31.6% in that series), possibly reflecting the extensive atherosclerotic burden and longer brain ischemia times in aneurysm cases [6]. In our series, we did not encounter neurological complications, but our sample is too small for definitive conclusions. We did employ several strategies to mitigate these risks: meticulous cerebral protection (bilateral antegrade cerebral perfusion in most cases), strict limitation of circulatory arrest time, early rewarming, and continuous near-infrared spectroscopy (NIRS) monitoring of cerebral perfusion and transesophageal echography guided heart deairing. These measures, along with the device's improved design (e.g., graft branches that simplify arch vessel anastomoses, potentially shortening ischemic times), likely contributed to the favorable outcomes.

Тези мерки, заедно с подобрения дизайн на устройството (напр. разклоненията на графта, които улесняват анастомозите на съдовете на аортната дъга и потенциално съкращават времето на исхемия), вероятно са допринесли за благоприятните резултати.

Сравнение с двуетапна реконструкция

Основното предимство на FET е възможността за едноетапно лечение на патологии, които традиционно изискват двуетапна реконструкция. При класическия подход пациенти като този в Случай 2 биха преминали първо през реконструкция на аортната дъга, а впоследствие – през отделна интервенция на низходящата аорта. Тази стратегия е свързана с интерстадийна смъртност (3-13% в по-стари серии) и риск част от пациентите да не достигнат до втория етап.

FET преодолява този недостатък чрез едновременно лечение на патологията на асцендентната аорта, аортната дъга и низходящата аорта в една операция, макар и за сметка на по-голяма техническа сложност. В нашата серия Случай 2 представляваше продължителна 12-часова реоперативна интервенция, но позволи избягване на повторна торакотомия и потенциална трета операция върху низходящата аорта. Въпреки техническите предизвикателства, FET беше извършена безопасно благодарение на внимателното планиране и мултидисциплинарния подход.

Ранното проследяване показа ефективна стабилизация на дисталната аорта. При Случаи 2 и 4 беше постигната пълна тромбоза на фалшивия лумен, което намалява риска от бъдеща аневризмална прогресия.

Преглед на литературата

Нашият ранен опит съответства на публикуваните данни, според които FET се утвърждава като стандартизиран метод за лечение на обширни заболявания на гръдната аорта. Shrestha и сътр. [2] определят техниката като подходяща при патология на аортната дъга и проксималната низходяща аорта, въпреки ограничените доказателства от рандомизирани проучвания.

Съвременни едноцентрови и многоцентрови серии показват благоприятни резултати, като Preventza и сътр.[9] съобщават 5-годишна преживяемост над 90% при определени кохорти. Нашите резултати, макар и при кратко проследяване и малък брой пациенти, демонстрират добра ранна преживяемост и ефективно изключване на аневризмалната патология.

Инсултът и увреждането на гръбначния мозък (SCI) остават най-сериозните усложнения, с често-

Comparison with Staged Reconstruction

The principal advantage of the Frozen Elephant Trunk (FET) technique is its ability to provide single-stage treatment for pathologies that traditionally require a two-stage reconstruction. Using the conventional approach, patients such as the one presented in Case 2 would typically undergo initial aortic arch reconstruction followed by a separate intervention on the descending thoracic aorta. This strategy is associated with interval mortality rates ranging from 3% to 13% in earlier series, and a proportion of patients may never proceed to the second stage of treatment.

The FET technique overcomes this limitation by enabling simultaneous treatment of the aortic arch and descending thoracic aorta within a single operation, albeit at the expense of increased technical complexity. In our series, Case 2 represented a prolonged 12-hour redo procedure; however, it allowed avoidance of a repeat thoracotomy and a potentially necessary third intervention on the descending aorta. Despite the technical challenges, FET was performed safely through meticulous preoperative planning and a multidisciplinary approach.

Early follow-up demonstrated effective stabilization of the distal aorta. Complete false lumen thrombosis was achieved in Cases 2 and 4, reducing the risk of future aneurysmal progression.

Literature Review

Our initial experience is consistent with published evidence indicating that the Frozen Elephant Trunk technique has become an established strategy for the treatment of extensive thoracic aortic disease. Shrestha et al. [2] identified FET as an appropriate treatment option for pathology involving the aortic arch and proximal descending thoracic aorta, despite the limited availability of randomized clinical trial data.

Contemporary single-center and multicenter series have reported favorable outcomes. Preventza et al. [9] demonstrated five-year survival rates exceeding 90% in selected patient cohorts. Although our experience is limited by a small number of patients and short follow-up duration, our results demonstrate excellent early survival and effective exclusion of aneurysmal pathology.

Stroke and spinal cord injury (SCI) remain the most significant complications of the procedure, with reported incidences of approximately 5-10% and 4-8%, respectively. The risk of SCI is associated with the extent

та съответно 5-10% и 4-8%. Рискът от SCI е свързан с обема на дисталното стентиране и продължителността на циркулаторния арест, като може да бъде намален чрез умерена хипотермия, поетапна перфузия на долната половина на тялото и използване на по-къси стент-графтове.

Друго важно предимство на FET е стимулирането на аортното ремоделиране при дисекация чрез по-висока честота на тромбоза на фалшивия лумен, стабилизиране на аортния диаметър и по-ниска нужда от повторни интервенции. Случай 4 илюстрира този ефект – хронична дисекация тип А беше успешно стабилизирана с еднократна FET процедура, а ранното образно проследяване показа облитерация на фалшивия лумен. В дългосрочен план това може да намали необходимостта от допълнителни хирургични интервенции. Бъдещи проучвания и данни от International E-vita Open Registry ще дадат по-ясна оценка на дългосрочната ефективност и издръжливост на метода [7, 8].

Заключение

Процедурата Frozen Elephant Trunk (FET) с протезата E-vita Open NEO беше успешно въведена в нашата институция и позволи едноетапна реконструкция при сложни заболявания на възходящата аорта, аортната дъга и проксималната низходяща аорта. Първоначалният ни опит от четири планови случая показва, че техниката е осъществима и безопасна при внимателно планиране и спазване на съвременните стандарти.

Ранните резултати са съпоставими с тези на утвърдени аортни центрове. FET осигури пълна анатомична корекция в рамките на една оперативна сесия, избегна необходимостта от поетапни интервенции и доведе до благоприятно аортно ремоделиране при случаите с дисекация. Тези резултати подкрепят утвърждаването на FET като стандартен подход при обширна патология на гръдната аорта в съответствие със съвременните клинични ръководства.

Необходимо е продължително проследяване за оценка на дългосрочната издръжливост на метода, поведението на графта и промените в дисталната аорта. Разширяването на серията с нови случаи ще позволи по-надежден анализ на честотата на инсулт, увреждане на гръбначния мозък, органна дисфункция и необходимост от повторни интервенции. Настоящата серия поставя основата за по-широко приложение на хибридната реконструкция на аортната дъга в България и има потенциал да подобри резултатите при пациенти със сложни аортни аневризми и дисекации. Ранните резултати съответстват на международния опит и показват, че при

of distal stent-graft coverage and the duration of circulatory arrest. This risk may be reduced using moderate hypothermia, staged lower-body perfusion, and shorter stent-graft lengths.

Another important advantage of the FET technique is its ability to promote favorable aortic remodeling in patients with aortic dissection through higher rates of false lumen thrombosis, stabilization of aortic diameter, and a reduced need for secondary interventions. Case 4 illustrates this effect: chronic type A aortic dissection was successfully stabilized using a single FET procedure, while early postoperative imaging demonstrated complete obliteration of the false lumen. In the long term, this may reduce the need for additional surgical or endovascular interventions. Future studies and data from the International E-vita Open Registry will provide a more comprehensive assessment of the long-term effectiveness and durability of this technique [7, 8].

Conclusion

The Frozen Elephant Trunk (FET) procedure using the E-vita Open NEO prosthesis was successfully introduced at our institution and enabled single-stage reconstruction for complex diseases involving the aortic arch and proximal descending thoracic aorta. Our initial experience with four elective cases demonstrates that the technique is feasible and safe when performed with careful planning and adherence to contemporary surgical standards.

Early outcomes were comparable to results reported by established aortic centers. The FET technique provided complete anatomical correction during a single operative session, avoided the need for staged interventions, and resulted in favorable aortic remodeling in patients with aortic dissection. These findings support the adoption of FET as a standard approach for extensive thoracic aortic pathology in accordance with current clinical guidelines.

Continued follow-up is required to evaluate the long-term durability of the technique, graft performance, and changes in the distal aorta. Expansion of the series with additional patients will allow a more reliable assessment of the incidence of stroke, spinal cord injury, organ dysfunction, and the need for reintervention.

The introduction of the FET technique with the E-vita Open NEO prosthesis at Acibadem City Clinic Hospital Vitosha represents a significant advancement in aortic surgery. The present series provides a foundation for broader implementation of hybrid aortic arch reconstruction in Bulgaria and has the potential to improve outcomes in patients with complex aortic aneurysms and dissections. Our early results are consistent with international experience and demonstrate that,

подходящо обучение и технологична обезпеченост дори по-малки центрове могат да постигнат съвременни стандарти в аортната хирургия. Очаква се FET да се утвърди като ключов метод за лечение на обширна гръдна аортна патология, а бъдещи проучвания и по-големи серии ще дадат по-задълбочена оценка на неговите ползи и предизвикателства в локалната клинична практика.

Не е деклариран конфликт на интереси

with appropriate training and technological resources, even smaller-volume centers can achieve contemporary standards in aortic surgery. The Frozen Elephant Trunk technique is expected to become an increasingly important treatment modality for extensive thoracic aortic disease, while future studies and larger clinical series will further clarify its benefits and challenges in local clinical practice.

No conflict of interest was declared

Библиография/References

1. Acharya M, Sherzad H, Bashir M, Mariscalco G. The frozen elephant trunk procedure: indications, outcomes and future directions. Cardiovasc Diagn Ther. 2022;12(5):708-721. doi: 10.21037/cdt-22-330.

2. Shrestha M, Bachet J, Bavaria J et al. Current status and recommendations for use of the frozen elephant trunk technique: a position paper by the Vascular Domain of EACTS. Eur J Cardiothoracic Surg. 2015;47(5):759–769, https://doi.org/10.1093/ejcts/ezv085.

3. Kim CH, Kim TH, Lee H et al. One-year outcomes of total arch replacement and frozen elephant trunk using the E-vita Open NEO. Eur J Cardiothorac Surg. 2024;65(3):ezae017. doi: 10.1093/ejcts/ezae017.

4. Doll I, Salewski C, Vöhringer L et al. Early and 3-year outcomes of Frozen Elephant Trunk procedure with evolving e-vita hybrid grafts: a retrospective single-centre cohort study over 11 years. J Cardiovasc Dev Dis. 2025;12(9):368. doi: 10.3390/jcdd12090368.

5. Ho JYK, Kim CH, Chow SCY et al. Initial Asian experience of the branched E-vita open NEO in complex aortic pathologies. J Thorac Dis. 2023;15(2):484-493. doi: 10.21037/jtd-22-1055.

6. Ahmad W, Rieß HC, Rupprecht L, et al. The frozen elephant trunk using a novel hybrid prosthesis for extensive aortic arch disease: a multicentre study. Adv Ther. 2023;40(5):2190-2202.

7. Rorris FP, Sakalihasan N, Soufi MK, et al. E-vita Open NEO hybrid stent graft: a new frontier for total arch replacement. Ann Vasc Surg. 2022; 2022 Aug;84:211-217. doi: 10.1016/j.avsg.2022.01.034.

8. Artivion, Inc. E-vita Open NEO Hybrid Stent Graft System – Product Brochure.

9. Ji Y, Zhang K, Zhou C et al. Surgical experience and long-term outcomes of retrograde type A aortic dissection after thoracic endovascular aortic repair. JTCVS Open. 2025;28:87-96. doi: 10.1016/j.xjon.2025.09.006.