

doi: 10.3897/bgcardio.32.e189359

СЪВРЕМЕНЕН ПОДХОД ПРИ КЛАПНОСЪХРАНЯВАЩА ХИРУРГИЯ НА АОРТНИЯ КОРЕН – ОПЕРАЦИЯ НА ДЕЙВИД

К. Мавродиева, А. Келчев

Отделение по кардиохирургия, Аджибадем Сити Клиник УМБАЛ Витоша – София

CONTEMPORARY APPROACH TO VALVE-SPARING SURGERY OF THE AORTIC ROOT: THE DAVID PROCEDURE

К. Mavrodieva, A. Keltchev

Department of Cardiac Surgery, Acibadem City Clinic Hospital Vitosha – Sofia

Резюме.

Аневризмалната дилатация на аортния корен и възходящата аорта често се асоциира с функционална аортна регургитация вследствие на нарушена геометрия на аортния корен, включително дилатация на анулуса и синотубуларната връзка при морфологично съхранени клапни платна. Класическият хирургичен метод – композитно протезиране на аортния корен (Bentall-De Bono), осигурява радикална корекция, но е свързан с недостатъците на клапното протезиране, като необходимост от пожизнена антикоагулация при механични протези или ограничена структурна дълготрайност при биопротези. През последните десетилетия клапносъхраняващите операции се утвърждават като предпочитан подход при подходящо селектирани пациенти. Техниката на реимплантация на аортната клапа по Дейвид осигурява ануларна стабилизация и контрол на дилатацията на корена и синотубуларната връзка, като запазва нативната аортна клапа. Използването на протезата Valsalva graft спомага за съхраняването на по-физиологична геометрия на аортния корен, потенциално оптимизирайки валвуло-аортната хемодинамика и кинематиката на платната. Процедурата позволява и конкомитантна пластика на платната при необходимост за постигане на оптимална коаптация. Литературните данни показват ниска ранна оперативна смъртност и висока дългосрочна устойчивост на клапната корекция в опитни центрове, с висока свобода от реоперация и ниска честота на клинично значима аортна регургитация при проследяване. Европейските препоръки подкрепят клапносъхраняващите стратегии при млади пациенти с дилатиран аортен корен и запазени платна, когато интервенцията се извършва в специализирани центрове. Опитът в Аджибадем Сити Клиник УМБАЛ Витоша след внедряване на метода през 2018 г. кореспондира с публикуваните данни, като ранният хемодинамичен резултат е добър и се наблюдава благоприятна клинична еволюция при проследяване. Клапносъхраняващата операция на David с Valsalva графт по метода на De Paulis представлява анатомично обоснована и високоефективна стратегия, която комбинира радикална корекция на патологията на аортния корен със запазване на нативната клапа и редуциране на протезно-обусловените усложнения.

Ключови думи:

операция на Дейвид, клапносъхраняваща хирургия на аортния корен, реимплантация на аортната клапа

Адрес

за кореспонденция: д-р Кристиянна Мавродиева; e-mail: Mavrodieva.mavrodieva@abv.bg

Abstract.

Aneurysmal dilatation of the aortic root and ascending aorta is frequently associated with functional aortic regurgitation due to distortion of aortic root geometry, including dilatation of the annulus and the sinotubular junction, in the presence of morphologically preserved valve cusps. The classic surgical approach – composite aortic root replacement (Bentall-De Bono) – provides radical correction but is limited by the drawbacks of valve substitution, namely lifelong anticoagulation with mechanical prostheses or limited structural durability with the potential need for reintervention in bioprosthetic valves. Over recent decades, valve-sparing operations have become a preferred approach in appropriately selected patients. The David reimplantation technique provides annular stabilisation and control of dilatation of both the aortic root and the sinotubular junction while preserving the native aortic valve. Use of a Valsalva graft facilitates a more physiological root geometry, potentially optimising valvulo-aortic hemodynamics and cusp kinematics. The procedure also allows concomitant

cusp repair when necessary to achieve optimal coaptation. The available literature consistently demonstrates low early operative mortality and excellent long-term durability of valve preservation in experienced centers, with high freedom from reoperation and a low incidence of clinically significant aortic regurgitation at follow-up. European recommendations support valve-sparing strategies in younger patients with a dilated aortic root and preserved cusps when performed in specialized centers. Our experience at Acibadem City Clinic Hospital Vitosha since implementation of the technique in 2018 is consistent with published data, with good early hemodynamic results and favourable clinical evolution during follow-up. David valve-sparing aortic root replacement using a Valsalva graft according to the De Paulis method represents an anatomically grounded and highly effective strategy that combines radical correction of root pathology with preservation of the native valve and avoidance of prosthesis-related complications.

Key words: David procedure, valve-sparing aortic root surgery, aortic valve reimplantation

Address

for correspondence: Kristiyanna Mavrodiava, MD; e-mail: Mavrodiava.mavrodiava@abv.bg

ВЪВЕДЕНИЕ

Аневризъмалната дилатация на аортния корен и възходящата аорта често се асоциира с функционална аортна регургитация. Основният механизъм е ремоделиране на геометрията на аортния корен, вкл. дилатация на анулуса, синусите на Валсалва и синотубуларната връзка, с последващо нарушение на коаптационната линия при иначе структурно съхранени клапни платна. Тази патофизиологична картина налага своевременно хирургична интервенция с цел предотвратяване на животозастрашаващи усложнения, най-вече руптура на аортата и остра аортна дисекция.

Класическият оперативен подход при комбинирана патология на аортния корен и аортната клапа е композитното протезиране по Bentall-De Bono. Операцията включва заместване на възходящата аорта с клапен кондуит и реимплантация на коронарните бутони. Методът осигурява радикално отстраняване на патологично променените тъкани и надеждно възстановяване на клапната функция с устойчиви хемодинамични резултати.

Наред с добре установените си предимства, използването на клапна протеза е свързано и със съществени ограничения. Механичните протези изискват пожизнена системна антикоагулация, носеща клинично значим риск от хеморагични и тромбоемболични усложнения, вкл. протезна тромбоза и емболични инциденти при субтерапевтична антикоагулация. При биологичните протези основното ограничение е структурната клапна дегенерация, водеща до ограничена дълготрайност и повишена вероятност за реинтервенция в средносрочен и дългосрочен план, особено при по-млади пациенти и при клинични състояния, свързани с ускорена дегенерация.

През последните три десетилетия се наблюдава съществен напредък в клапносъхраняващата хирургия на аортния корен. Реконструктивните тех-

INTRODUCTION

Aneurysmal dilatation of the aortic root and ascending aorta is frequently associated with functional aortic regurgitation. The main mechanism is remodelling of root geometry, including annular enlargement and dilatation of the sinuses of Valsalva and the sinotubular junction, with subsequent impairment of the coaptation line despite structurally preserved valve leaflets. This pathophysiological constellation warrants timely surgical intervention in order to prevent life-threatening complications, most notably aortic rupture and acute aortic dissection.

The traditional operative strategy for combined disease of the aortic root and aortic valve is composite root replacement using the Bentall-De Bono procedure. This operation comprises replacement of the ascending aorta with a valved conduit and subsequent reimplantation of the coronary buttons. It provides radical excision of diseased tissues and reliable restoration of valvular competence, with durable haemodynamic outcomes.

Alongside its well-established advantages, the choice of a prosthetic valve is inherently associated with important limitations. Mechanical prostheses necessitate lifelong systemic anticoagulation, which carries a clinically relevant risk of haemorrhagic and thromboembolic complications, including prosthetic valve thrombosis and embolic events in the setting of subtherapeutic anticoagulation. In contrast, the principal constraint of biological prostheses is structural valve deterioration, resulting in limited durability and an increased likelihood of reintervention in the mid- to long-term, particularly in younger patients and in clinical settings associated with accelerated degeneration.

Over the past three decades, substantial advances have been achieved in valve-sparing surgery of the aortic root. Reconstructive techniques can eliminate

ники позволяват корекция на аневризмалната дилатация на проксималната аорта при съхраняване на нативната аортна клапа и нейната физиологична хемодинамика. В началото на 90-те години на ХХ век Тайрън Дейвид и Магди Якуб независимо един от друг разработват оперативни стратегии за клапносъхраняваща корекция на аневризми на аортния корен [1, 2]. При техниката на Якуб (ремоделиране) дилатираният аортен корен се резецира и се конструира неокорен чрез дакронов графт, моделиран с три езиковидни платна, които функционално заместват синусите на Валсалва [1]. Алтернативно, техниката на Дейвид (реимплантация) включва цялостна reimплантация на аортната клапа в лумена на съдова протеза, като комисуралните върхове се фиксират към вътрешната повърхност на графта [2]. Този подход осигурява ануларна стабилизация и коригира дилатацията както на аортния анулус, така и на синотубуларната връзка. По този начин се преодолява основно ограничение на техниката на remodelиране – липсата на трайна ануларна подкрепа и рискът от прогресивна ануларна дилатация в дългосрочен план [2, 3].

Операцията на Дейвид бързо се утвърждава като предпочитан клапносъхраняващ подход поради надеждната си анатомична корекция и отличната дългосрочна устойчивост на нативната клапа. Съществено усъвършенстване на техниката е въведено в началото на ХХI век от Руджеро Де Паулис, който разработва специализирана съдова протеза с анатомично оформени протезни синуси – Valsalva графт [4, 5]. При класическата reimплантация по Дейвид използването на прав цилиндричен графт не възпроизвежда физиологичната триизмерна конфигурация на синусите на Валсалва. Това може да има съществени хемодинамични последици, тъй като синусите участват във формирането на вихрови потоци, подпомагащи коаптацията, координираното отваряне и затваряне на платната, както и намаляващи механичното натоварване върху клапния апарат. Valsalva графтът е създаден именно, за да преодолее този недостатък чрез специфичната си геометрия, позволяваща анатомична и функционална реконструкция, която в максимална степен се доближава до нормалната морфология на аортния корен [3-5].

Понастоящем клапносъхраняващата реконструкция на аортния корен при аневризмална дилатация се разглежда като съвременен терапевтичен стандарт при внимателно селектирани пациенти. Европейските кардиохирургични ръководства препоръчват клапносъхраняваща хирургия при сравнително млади пациенти с дилатация на аортния корен и морфологично съхранени клапни платна, при условие че интервенцията се извършва в опитни центрове и се очаква трайна клапна компетентност (клас I, ниво B) [6]. Наличните

aneurysmal dilatation of the proximal aorta while preserving the native aortic valve and its physiological haemodynamics. In the early 1990s, Tirone David and Magdi Yacoub independently developed operative strategies for valve-sparing correction of aortic root aneurysms [1, 2]. In the Yacoub remodelling technique, the dilated aortic root is resected and a neoroot is constructed using a Dacron graft tailored into three tongue-shaped scallops that functionally recreate the sinuses of Valsalva [1]. Alternatively, the David reimplantation technique entails complete reimplantation of the aortic valve apparatus within a tubular vascular graft, with the commissural posts secured to the inner surface of the conduit [2]. This approach provides annular stabilisation and corrects dilatation of both the aortic annulus and the sinotubular junction, thereby addressing a major limitation of the remodelling procedure, namely the absence of durable annular support and the attendant risk of progressive annular dilatation over the long term [2, 3].

The David procedure rapidly became the preferred valve-sparing approach, owing to its reliable anatomic correction and excellent long-term durability of the native valve. A major refinement of this technique was introduced in the early 2000s by Professor Ruggero De Paulis, who developed a dedicated vascular prosthesis incorporating anatomically contoured prosthetic sinuses, the Valsalva graft [4, 5]. In the classic David reimplantation procedure, the use of a straight tubular graft does not reproduce the physiological three-dimensional configuration of the sinuses of Valsalva. This may have relevant haemodynamic implications, as the sinuses contribute to the formation of vortical flow patterns that facilitate leaflet coaptation, coordinated opening and closure, and attenuation of mechanical stresses acting on the valvular apparatus. The Valsalva graft was specifically developed to address this limitation through its dedicated prosthetic geometry, enabling an anatomic and functional reconstruction that closely approximates native aortic root morphology [3-5].

Valve-sparing aortic root reconstruction for aneurysmal dilatation is regarded as a contemporary therapeutic standard in carefully selected patients. European cardiothoracic guidelines recommend valve-sparing surgery in relatively young individuals with aortic root dilatation and morphologically preserved leaflets, provided that the procedure is performed in experienced centres and durable valve competence is anticipated (Class I, Level B) [6]. Available clinical evidence indi-

клинични данни показват отлична дългосрочна преживяемост, ниска честота на клапнообусловени усложнения, вкл. тромбоемболични събития и ендокардит, както и благоприятно качество на живот в сравнение с пациенти, подложени на композитно протезиране на аортния корен с имплантация на аортна клапа протеза [6-12].

Цел

Да се представи съвременният подход при клапно-съхраняваща реимплантация на аортната клапа по Дейвид с използване на Valsalva графт и да се анализират ранните и проследяващите клинични и ехокардиографски резултати в последователна едноцентрова серия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Проведено е едноцентрово наблюдателно проучване върху последователна серия пациенти, оперирани през периода 2018-2025 г. В анализа са включени общо 12 пациенти с аневризмална патология на аортния корен и възходящата аорта, при които е извършена клапно-съхраняваща хирургия чрез реимплантационната техника на Дейвид с използването на Valsalva графт. Демографските данни, коморбидностите, предоперативните образни показатели, интраоперативните параметри и ранните следоперативни резултати са извлечени ретроспективно от медицинската документация и оперативните протоколи. Проследяването е осъществено чрез амбулаторни контролни прегледи и стандартизирани ехокардиографски оценки.

Степента на аортната регургитация е оценявана предоперативно, интраоперативно посредством трансезофагеална ехокардиография, при изписване и при последния проследяващ преглед по полуколичествена скала от 0 до 4. Допълнително са събирани ехокардиографски показатели, когато са налични, в същите времеви точки: пиков и среден трансвалвуларен градиент (mmHg), краен диастолен диаметър на лявата камера (КДДЛК, mm), краен диастолен и краен систолен обем на лявата камера (mL), както и левокамерна систолна функция, оценена чрез фракцията на изтласкване (%). Поради вариабилна наличност на ехокардиографските показатели в различните времеви точки, количествените обобщения са базирани на наличните измервания за всяка променлива; когато са представени серийни сравнения, те се базират на пациенти с пълни съпоставими измервания за съответната променлива.

Основните неблагоприятни събития са предварително дефинирани и включват болнична или

cates excellent long-term survival, a low incidence of valve-related complications, including thromboembolic events and endocarditis, and favourable quality of life when compared with patients undergoing composite aortic root replacement with implantation of a prosthetic aortic valve [6-12].

Aim

To present a contemporary institutional approach to valve-sparing aortic root reimplantation (David procedure) using a Valsalva graft, and to report early and follow-up clinical and echocardiographic outcomes in a consecutive single-centre series.

MATERIALS AND METHODS

A single-centre observational study was conducted in a consecutive series of patients operated on between 2018 and 2025. The analysis included a total of 12 patients with aneurysmal pathology of the aortic root and ascending aorta who underwent valve-sparing aortic root surgery using the David reimplantation technique with implantation of a Valsalva graft. Demographic characteristics, comorbidities, preoperative imaging parameters, intraoperative variables, and early postoperative outcomes were retrospectively retrieved from institutional medical records and operative reports. Follow-up was performed through scheduled outpatient visits and standardised echocardiographic assessments.

The severity of aortic regurgitation was assessed preoperatively, intraoperatively by transoesophageal echocardiography, at hospital discharge, and at the most recent follow-up visit, using a semiquantitative grading scale ranging from 0 to 4. In addition, the following echocardiographic parameters were collected, when available, at the same time points: peak and mean transvalvular gradients (mmHg), left ventricular end-diastolic diameter (LVEDD, mm), left ventricular end-diastolic and end-systolic volumes (mL), and left ventricular systolic function expressed as ejection fraction (%). Because echocardiographic availability varied across parameters and time points, quantitative summaries were based on available measurements for each variable; where serial comparisons are presented, they are based on patients with complete paired measurements for the relevant variable.

30-дневна смъртност, мозъчносъдови събития под формата на инсулт или транзиторна исхемична атака, остра бъбречна недостатъчност с необходимост от диализно лечение, реексплорация поради кръвене и имплантация на постоянен пейсмейкър.

Статистически анализ

Предвид малкия размер на извадката статистическият анализ е предимно описателен. Непрекъснатите променливи са представени като средна стойност \pm стандартно отклонение или медиана (интерквартилен интервал) според случая. Категорийните променливи са представени като абсолютни стойности и относителни дялове в проценти. Продължителността на проследяването е изчислена от датата на операцията до последния документиран клиничен или ехокардиографски контрол с налична точна дата в медицинската документация и е представена като медиана (интерквартилен интервал) и диапазон. В настоящата кохорта медианната продължителност на проследяването е 18,5 месеца (IQR 1,1-32,9; диапазон 0,9-77,7 месеца). Поради малкия размер на извадката, хетерогенната продължителност на проследяването и ограничения брой събития не е проведен Kaplan-Meier анализ, тъй като той не се счита за достатъчно информативен в настоящата кохорта.

Техника на операцията на Дейвид (реимплантация на аортната клапа)

Операцията на Дейвид е клапносъхраняваща реконструкция на аортния корен, при която собствена аортна клапа на пациента се reimплантира в лумена на синтетична съдова протеза с цел възстановяване на физиологичната геометрия на корена и осигуряване на трайна ануларна стабилизация при съхранена клапна морфология [2]. След срединна стернотомия, установяване на екстракорпорално кръвообращение и индукция на кардиоплегична миокардна протекция се извършва резекция на възходящата аорта и аневризмално дилатиращия аортен корен. На нивото на анулуса се оставя периауларен ръб от аортната стена, а остиумите на коронарните артерии се мобилизират като коронарни бутони с интимален маншон за последваща reimплантация.

Идентифицира се базалният пръстен (виртуален базален пръстен). Следва по-дълбока дисекция на корена, разширена каудално до нивото на вентрикуло-аортната връзка (VAJ) – анатомичния преход между изходния тракт на лявата камера (LVOT) и аортния корен, с цел пълна експозиция на ануларната и субануларната равнина. Комисуралната височина се измерва като линейното разстояние от базалния пръстен до върха на комисурата.

Major adverse events were predefined and included in-hospital or 30-day mortality, cerebrovascular events in the form of stroke or transient ischaemic attack, acute kidney injury requiring dialysis, re-exploration for bleeding, and permanent pacemaker implantation.

Statistical analysis

Given the small sample size, the statistical analysis was primarily descriptive. Continuous variables are presented as mean \pm standard deviation or median (interquartile range), as appropriate. Categorical variables are reported as counts and percentages. Follow-up duration was calculated from the date of surgery to the last documented clinical or echocardiographic assessment with an exact date available in the medical records and is reported as median (interquartile range) and range. In the present cohort, median follow-up was 18.5 months (IQR 1.1-32.9; range 0.9-77.7 months). Because of the small sample size, heterogeneous follow-up duration, and limited number of events, Kaplan-Meier analysis was not performed, as it was not considered sufficiently informative in the present cohort.

Surgical technique: David procedure for aortic valve reimplantation

The David procedure is a valve-sparing aortic root reconstruction in which the patient's native aortic valve is reimplanted within the lumen of a synthetic vascular graft, with the aim of restoring physiological root geometry and providing durable annular stabilization in the presence of preserved leaflet morphology [2]. After median sternotomy, establishment of cardiopulmonary bypass, and induction of cardioplegic myocardial protection, the ascending aorta and the aneurysmally dilated aortic root are resected. A circumferential rim of aortic wall is preserved at the annular level, and the coronary ostia are mobilised as coronary buttons with a cuff of aortic tissue for subsequent reimplantation.

The basal ring (virtual basal ring) is identified. A deeper root dissection is then performed and extended inferiorly to the level of the ventriculo-aortic junction (VAJ), the anatomic transition between the left ventricular outflow tract (LVOT) and the aortic root, to allow full exposure of the annular and subannular plane. Commissural height is measured as the linear distance from the basal ring to the tip of the commissure. The valve

Клапните платна се подлагат на щателна интраоперативна морфологична оценка, вкл. анализ на коаптацияните линии, свободните ръбове и наличие на пролапс или фиброеластична дегенерация, което определя необходимостта от допълнителни клапнореконструктивни техники. Измерват се геометричната височина (GH), ефективната височина (eH) и дължината на свободния ръб (фиг. 1). Методът е показан при пациенти с морфологично съхранени клапни платна, без клинично значима калцификация, изразени дегенеративни промени или структурни лезии, които биха компрометирали постигането на трайна клапна компетентност.

Основен оперативен етап е фиксирането на графта към аортния анулус и левокамерния изходен тракт чрез субануларни шевове (фиг. 2), с което се осигурява циркумферентна ануларна стабилизация и се редуцира рискът от прогресивна дилатация в дългосрочен план [5]. Следва ресуспенсия на комисурите към вътрешната повърхност на графта на нивото на бъдещата синотубуларна връзка (фиг. 3), като прецизното позициониране на комисурите е съществено за възстановяване на нормалната триизмерна геометрия на корена, оптимизиране на коаптацията и избягване на резидуална регургитация (фиг. 4) [13, 14].

След реконструкцията на клапния апарат се извършва реимплантация на коронарните бутони в графта, последвана от дисталната анастомоза към възходящата аорта (фиг. 5). По този начин се постига радикална корекция на патологията на аортния корен при съхраняване на нативната аортна клапа, която е анатомично реинтегрирана и функционално стабилизирана в рамките на протезния неокорен.

Модификацията, въведена от Де Паулис и възприета в настоящата практика, се отнася предимно до избора на графт. Рутинно се използва специално конструирана съдова протеза със синуси – Valsalva графт, вместо прав цилиндричен дакронов кондуит. Протезата има характерни сегментни разширения в средната си част, които след имплантация се ориентират така, че оформят неосинуси и възстановяват триизмерната геометрия на аортния корен (фиг. 6). При физиологично диастолно пълнене и натоварване под системно налягане графтът демонстрира контролирана локална експанзия, която геометрично и функционално възпроизвежда естествените синуси на корена, с цел постигане на по-физиологична динамика на корена и оптимизиране на клапната коаптация. В напречен срез тази конфигурация възстановява типичния трилистен „детелиновиден“ профил на аортния корен с ясно оформени джобове зад всяко клапно платно [5, 13].

cusps undergo meticulous intraoperative morphological assessment, including evaluation of the coaptation line, free margin configuration, and the presence of cusp prolapse or fibroelastic degeneration, thereby defining the need for adjunctive cusp repair manoeuvres. Geometric height (GH), effective height (eH), and free-margin length are measured (Fig. 1). The procedure is indicated in patients with morphologically preserved leaflets, without clinically significant calcification, advanced degenerative changes, or structural lesions that would be expected to compromise durable long-term valve competence.

A key operative step is fixation of the graft to the aortic annulus and left ventricular outflow tract using subannular sutures (Fig. 2), thereby providing circumferential annular stabilisation and reducing the risk of progressive dilatation over the long term [5]. This is followed by resuspension of the commissures to the inner surface of the graft at the level of the intended sinotubular junction (Fig. 3), as precise commissural positioning is essential for restoration of the native three-dimensional root geometry, optimisation of cusp coaptation, and avoidance of residual regurgitation (Fig. 4) [13, 14].

After reconstruction of the valvular apparatus, the coronary buttons are reimplanted into the graft (Fig. 5), followed by distal anastomosis to the ascending aorta. This sequence enables radical correction of aortic root pathology while preserving the native aortic valve, which is anatomically reintegrated and functionally stabilised within the prosthetic neoroot.

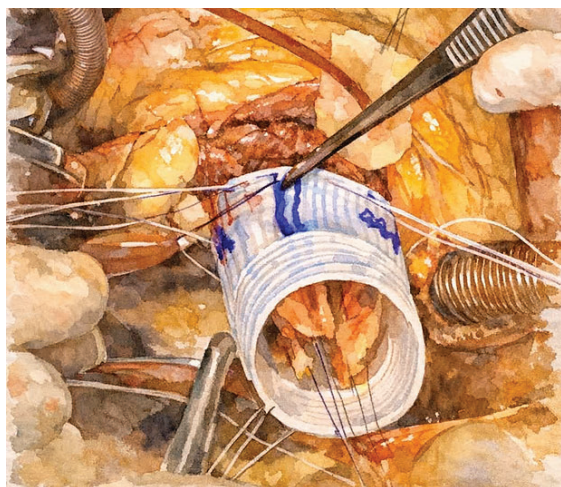
The modification introduced by Professor De Paulis and adopted in our practice relates primarily to graft selection. In our programme, a dedicated sinus-containing vascular prosthesis, the Gelweave Valsalva graft, is routinely used instead of a straight tubular Dacron conduit. The prosthesis incorporates characteristic segmental expansions within its mid-portion which, after implantation, are oriented to form neosinuses and thereby re-establish the three-dimensional geometry of the aortic root (Fig. 6). Under physiological diastolic filling and systemic pressure loading, the graft exhibits controlled local expansion that geometrically and functionally reproduces the native sinuses, with the intent of achieving more physiological root dynamics and optimising cusp coaptation. In cross-section, this configuration recreates the typical trilobed cloverleaf profile of the aortic root, with clearly delineated pockets behind each cusp [5, 13].



Фиг. 1. Оценяване на дължината на свободния ръб
Fig. 1. The free-margin length is evaluated



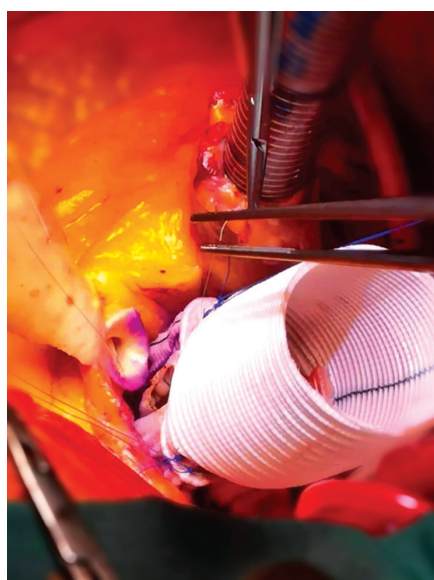
Фиг. 2. Субануларните шевове се поставят на нивото на базалния пръстен
Fig. 2. Subannular sutures are placed at the level of the basal ring



Фиг. 3. Протезният графт се спуска в позиция, комисурите се изтеглят нагоре
Fig. 3. The graft is lowered into position, and the commissures are tractioned upward



Фиг. 4. Комисурите се позиционират и фиксират интрапротезно с цел възстановяване на симетрична геометрия и адекватна коаптация на платната
Fig. 4. The commissures are positioned and secured inside the graft to restore symmetric geometry and adequate cusp coaptation.



Фиг. 5. Анастомоза на бутона на остиума на дясна коронарна артерия към Valsalva графт
Fig. 5. Right coronary artery button anastomosis to the Valsalva graft



Фиг. 6. Реимплантирана нативна аортна клапа във Valsalva графт
Fig. 6. Native aortic valve implanted within Valsalva graft

Това конструктивно решение може да има клинично значими предимства. В диастола вихровите потоци в неосинусите подпомагат центрирането и стабилизирането на коаптациялната линия, синхронната апозиция на платната и компетентното затваряне на клапата [13-16]. По време на систола наличието на оформени синуси осигурява достатъчно пространство за пълната екскурзия на платната, ограничава контакта им с протезната стена и редуцира механичното натоварване върху свободните ръбове, което може да благоприятства дългосрочната устойчивост на клапата [13-16]. Тези механистични ефекти се подкрепят от *in vitro* и образни изследвания, показващи, че реконструкцията на синусите е асоциирана с по-физиологична кинематика на платната и по-ламинарен систолен кръвоток [13-16]. В резултат динамиката на кръвотока и движението на платната се доближават в по-голяма степен до физиологичните условия, което може да намали механичното натоварване върху клапната тъкан и потенциално да подобри дългосрочната устойчивост на реконструкцията. Счита се, че анатомичното възстановяване на синусите чрез Valsalva графт създава по-благоприятна биомеханична среда за поддържане на клапната компетентност [13-16]. Използването на графт със синуси не променя съществено основните стъпки на операцията на Дейвид, което улеснява по-широкото възприемане на техниката.

РЕЗУЛТАТИ

Базови характеристики

Последователната серия включва 12 пациенти със средна възраст $46,1 \pm 13,8$ години и медиана 48,5 години (IQR 33-58). Мъжкият пол е представен при 11 пациенти (91,7%). Тежка предоперативна аортна регургитация (степен 3-4) е документирана при 8 пациенти (66,7%). Един пациент (8,3%) е с бicuspidна аортна клапа, двама пациенти (16,7%) са със съединителнотъканно заболяване, а един пациент (8,3%) е в NYHA функционален клас III-IV. Базовите характеристики са представени в таблица 1.

Процедурни детайли

Конкомитантна корекция на клапните платна е извършена при 11 пациенти (91,7%), най-често под формата на пликация на свободния ръб на некоронарното платно. При един пациент е извършена и пластика на митралната клапа, а при друг – съпътстващ аортокоронарен байпас (табл. 2). При един пациент 12 месеца след операцията по Дейвид е проведена ендоскопска екстирпация на миксом на дясното предсърдие без необходимост от реинтервенция върху аортната клапа, тъй като клапната компетентност е останала съхранена.

This design may confer clinically relevant advantages. During diastole, vortical flow patterns within the neosinuses contribute to centring and stabilisation of the coaptation line, promote synchronous leaflet apposition, and support competent valve closure [13-16]. During systole, the presence of formed sinuses provides adequate space for full cusp excursion, limits leaflet contact with the graft wall, and reduces mechanical stress on the free margins, which may be conducive to long-term valve durability [13-16]. These mechanistic effects are supported by *in vitro* studies and imaging-based assessments showing that sinus reconstruction is associated with more physiological cusp kinematics and a more laminar systolic flow profile [13-16]. As a result, blood-flow dynamics and cusp kinematics more closely approximate physiological conditions, which may reduce mechanical stress on valvular tissue and potentially enhance the long-term durability of the reconstruction. It is therefore assumed that anatomical restoration of the sinuses using a Valsalva graft provides a more favourable biomechanical environment for sustained valve competence [13-16]. At the same time, incorporation of a sinus-containing graft does not materially modify the core steps of the David operation. The procedure remains largely unchanged, which facilitates broader adoption.

RESULTS

Baseline characteristics

The consecutive series comprised 12 patients with a mean age of 46.1 ± 13.8 years (median 48.5 years; interquartile range 33-58). Male sex was represented in 11 patients (91.7%). Severe preoperative aortic regurgitation (grade 3-4) was documented in 8 patients (66.7%). One patient (8.3%) had a bicuspid aortic valve, two patients (16.7%) had connective tissue disorder, and one patient (8.3%) was in NYHA functional class III-IV. Baseline characteristics are summarised in Table 1.

Procedural details

Concomitant cusp repair was performed in 11 patients (91.7%), most commonly as free-margin plication of the non-coronary cusp. One patient underwent combined mitral valve repair, and one patient underwent concomitant coronary artery bypass grafting (Table 2). In one patient, twelve months after the David operation, an endoscopic excision of a right atrial myxoma was undertaken, without the need for re-intervention on the aortic valve, as valve competence remained preserved.

Ранни следоперативни резултати

Не се регистрират болнична или 30-дневна смъртност, реексплорация поради кървене, неврологични усложнения, остра бъбречна недостатъчност с необходимост от диализа или имплантация на постоянен пейсмейкър (табл. 3). Медианният следоперативен болничен престой е 6 дни (IQR 6-7; диапазон 5-7 дни). При изписване клапната функция е задоволителна, без данни за клинично значима стеноза на аортната клапа, при всички пациенти аортната регургитация е степен 0-1.

Проследяване и ехокардиографски резултати

Ранна ехокардиографска оценка приблизително 1 месец след операцията е налична при всички пациенти, докато по-дългосрочното проследяване варира според годината на операцията. Въз основа на наличните точно датирани проследяващи прегледи медианната продължителност на проследяването за цялата кохорта е 18,5 месеца (IQR 1,1-32,9; диапазон 0,9-77,7 месеца). Двама пациенти, оперирани през 2018 г., имат и допълнително по-късно клинично проследяване до 2023 г. без документирана рецидивираща аортна регургитация. Тъй като обаче липсват точно датирани визити и детайлни ехокардиографски измервания от тези по-късни оценки, те не са включени в количествения анализ на проследяването.

Серийната ехокардиографска оценка показва съхранена следоперативна хемодинамика и като цяло стабилна левокамерна функция. При пациентите с пълни съпоставими серийни измервания средният краен диастолен обем на лявата камера намалява от 147,6 mL предоперативно до 123,3 mL при изписване и е 135,2 mL при последния проследяващ преглед. Средният краен систолен обем на лявата камера се променя от 66,7 mL предоперативно до 56,0 mL при изписване и 55,1 mL при последния проследяващ преглед. Средната фракция на изтласкване е 56,5% предоперативно, 52,5% при изписване и 58,2% при последния проследяващ преглед. В малката подгрупа пациенти с пълни серийни измервания на крайния диастолен диаметър на лявата камера средната стойност е 52,0 mm предоперативно, 52,0 mm при изписване и 52,3 mm при последния проследяващ преглед. Като цяло тези находки насочват към задоволително ранно следоперативно обратно ремоделиране и съхранена левокамерна систолна функция при проследяването.

Наличните серийни ехокардиографски данни показват също съхранена следоперативна клапна функция и ниски трансвалвуларни градиенти. Предоперативните средни градиенти не са били системно документираны, тъй като основната лезия е регургитация, а не стеноза. При пациентите

Early postoperative outcomes

There were no in-hospital or 30-day deaths (0/12), no re-explorations for bleeding, no neurological complications, no acute kidney injury requiring dialysis, and no permanent pacemaker implantations (Table 3). Median postoperative hospital stay was 6 days (IQR 6-7; range 5-7 days). At discharge, postoperative valve function was satisfactory, with no evidence of clinically relevant aortic stenosis, and all patients had aortic regurgitation graded 0-1.

Follow-up and echocardiographic findings

Early follow-up echocardiographic assessment at approximately 1 month was available in all patients, whereas longer-term follow-up was variably available according to the year of surgery. Based on the exact dated follow-up records available for quantitative analysis, median follow-up for the overall cohort was 18.5 months (IQR 1.1-32.9; range 0.9-77.7 months). Two patients operated on in 2018 also had additional later clinical follow-up through 2023 without documented recurrent aortic regurgitation; however, because exact dated visits and detailed echocardiographic measurements from these later assessments were not available, they were not included in the quantitative follow-up summary.

Serial echocardiographic assessment demonstrated preserved postoperative haemodynamics and generally stable left ventricular performance. Among patients with complete paired measurements, mean left ventricular end-diastolic volume decreased from 147.6 mL preoperatively to 123.3 mL at discharge and was 135.2 mL at latest follow-up. Mean left ventricular end-systolic volume changed from 66.7 mL preoperatively to 56.0 mL at discharge and 55.1 mL at latest follow-up. Mean left ventricular ejection fraction was 56.5% preoperatively, 52.5% at discharge, and 58.2% at latest follow-up. In the small subset with complete serial left ventricular end-diastolic diameter measurements, mean LV end-diastolic diameter was 52.0 mm preoperatively, 52.0 mm at discharge, and 52.3 mm at latest follow-up. Collectively, these findings suggest satisfactory early postoperative remodelling with preserved ventricular systolic function during follow-up.

Available serial echocardiographic data demonstrated preserved postoperative valve function and low transvalvular gradients. Preoperative mean gradients were not systematically reported because the primary

с налична числова следоперативна документация средните трансвалвуларни градиенти остават ниски, обичайно в диапазона 3-6 mmHg, без данни за клинично значима аортна клапна стеноза.

По време на проследяването се установява запазена клапна компетентност, като аортна регургитация \geq II степен е регистрирана само при един пациент при ехокардиографския контрол през първия месец след операцията. Поради наличната симптоматика и след цялостна преоценка е извършена реинтервенция. Този пациент е изключен от обобщението на късната ехокардиографска функция на нативната клапа след клапносъхраняващата

lesion was regurgitation rather than stenosis; however, in patients with numerical postoperative documentation, mean transvalvular gradients remained low, typically in the range of 3-6 mmHg, with no evidence of clinically relevant valve stenosis.

During follow-up, preserved valve competence was observed in the majority of patients. Aortic regurgitation \geq grade II was registered in one symptomatic patient early after surgery, at the echocardiographic control one month after surgery. Because the patient was symptomatic, and after comprehensive reassessment, reintervention was performed. This patient was excluded from the summary of late native-valve echocardi-

Таблица 1. Базови характеристики (n = 12) // Table 1. Baseline characteristics (n = 12)

Показател // Variable	Стойност // Value
Възраст, години, средна \pm SD Age, years, mean \pm SD	46.1 \pm 13.8
Възраст, години, медиана (IQR) Age, years, median (IQR)	48.5 (33-58)
Мъжки пол, n (%) Male sex, n (%)	11 (91.7)
Бикуспидна аортна клапа, n (%) Bicuspid aortic valve, n (%)	1 (8.3)
Съединителнотъканно заболяване, n (%) Connective tissue disorder, n (%)	2 (16.7)
NYHA функционален клас III-IV, n (%) NYHA functional class III-IV, n (%)	1 (8.3)
Предоперативна аортна регургитация степен 3-4, n (%) Preoperative aortic regurgitation grade 3-4, n (%)	8 (66.7)

Съкращения: // Abbreviations: SD – стандартно отклонение // standard deviation; IQR – интерквартилен интервал // interquartile range; NYHA, New York – Heart Association

Таблица 2. Съпътстващи интервенции (n = 12) // Table 2. Concomitant procedures (n = 12)

Показател // Variable	Стойност // Value
Комбинирана интервенция с пластика на митрална клапа, n (%) Concomitant mitral valve repair, n (%)	1 (8.3)
Комбинирана интервенция с аортокоронарен байпас, n (%) Concomitant coronary artery bypass grafting, n (%)	1 (8.3)

Таблица 3. Ранни резултати (n = 12) // Table 3. Early outcomes (n = 12)

Показател // Variable	Стойност // Value
Болнична или 30-дневна смъртност, n (%) In-hospital or 30-day mortality, n (%)	0 (0)
Реексплорация поради кървене, n (%) Re-exploration for bleeding, n (%)	0 (0)
Неврологични усложнения, n (%) Neurological complications, n (%)	0 (0)
Остра бъбречна недостатъчност с необходимост от диализа, n (%) Acute kidney injury requiring dialysis, n (%)	0 (0)
Имплантиция на постоянен пейсмейкър, n (%) Permanent pacemaker implantation, n (%)	0 (0)
Аортна регургитация при изписване степен 0-1, n (%) Aortic regurgitation at discharge grade 0-1, n (%)	12 (100)

реконструкция. При останалите пациенти с налично проследяване на нативната клапа клапната компетентност остава общо стабилна, без допълнителни клапнообусловени реинтервенции в рамките на наличния период на наблюдение.

ОБСЪЖДАНЕ

Настоящият последователен клиничен опит подкрепя осъществимостта и ранната безопасност на клапносъхраняващата реимплантация на аортния корен по Дейвид с използване на Valsalva графт. Липсата на ранна смъртност и големи следоперативни усложнения в тази малка кохорта е в съзвучие с резултатите от опитни центрове, при които ранната смъртност при клапносъхраняваща хирургия на аортния корен е ниска и съпоставима с тази при композитно протезиране [7-10, 17, 18]. Високият дял на запазена клапна функция при изписване в настоящата серия допълнително подкрепя концепцията, че при правилно селектирани пациенти със съхранена тъкан на платната ануларната стабилизация и възстановяването на геометрията на корена могат да елиминират функционалната аортна регургитация без необходимост от имплантация на клапна протеза [2, 6].

Основна причина за приложението на клапносъхраняващите стратегии е избягването на протезнообусловената заболяемост. Съхраняването на нативната клапа премахва необходимостта от пожизнена системна антикоагулация, която е задължителна след имплантация на механична клапна протеза, и по този начин редуцира риска от антикоагулантносвързани хеморагични и тромбоемболични усложнения. Същевременно се избягва и структурната дегенерация, характерна за биологичните протези, както и част от протезно-асоциираните усложнения, като тромбоза и протезен ендокардит. Освен от гледна точка на безопасността, резултатите по отношение на качеството на живот след аортна клапна пластика и клапносъхраняващи реконструкции на аортния корен са благоприятни и в някои проучвания превъзхождат тези след механично клапно протезиране [6, 12]. Тези съображения са особено важни при млади пациенти с дълга очаквана преживяемост и при жени в детородна възраст, при които антикоагулацията значително усложнява планирането и протичането на бременността.

Valsalva графтът представлява специфично усъвършенстване, насочено към възстановяване на геометрията на синусите и по този начин към по-физиологична кинематика на платната и по-благоприятни кръвотокови характеристики [4, 5, 13-16]. Експериментални и образни изследвания показват, че реконструкцията на синусите подпомага координираното отваряне и затваряне на платната и може

graphic function after valve-sparing reconstruction. In the remaining patients with available native-valve follow-up, valve competence remained stable overall, with no additional valve-related reinterventions documented during the available observation period.

DISCUSSION

The present consecutive experience supports the feasibility and early safety of valve-sparing aortic root reimplantation using the David technique with a Valsalva graft. The absence of early mortality and major postoperative complications in this small cohort is consistent with outcomes reported by experienced centers, where early mortality for valve-sparing root surgery is typically low and comparable to composite root replacement [7-10, 17, 18]. The high rate of competent valve function at discharge in our series further supports the principle that, in appropriately selected patients with preserved leaflet tissue, stabilisation of the annulus and restoration of root geometry can eliminate functional aortic regurgitation without prosthetic valve implantation [2, 6].

A key rationale for valve-sparing strategies is the avoidance of prosthesis-related morbidity. Preservation of the native valve obviates the need for lifelong systemic anticoagulation required after mechanical valve implantation, thereby reducing anticoagulation-related bleeding and thromboembolic risks. It also avoids structural valve deterioration associated with biological prostheses and reduces prosthesis-associated complications such as thrombosis and prosthetic endocarditis. In addition to these safety considerations, quality-of-life outcomes after aortic valve repair and valve-sparing root procedures have been reported as favourable and, in some studies, superior to those observed after mechanical valve replacement [6, 12]. These considerations are especially relevant in younger patients with long life expectancy and in women of childbearing age, in whom anticoagulation substantially complicates pregnancy planning and peripartum management.

The Valsalva graft represents a specific refinement intended to reproduce sinus geometry and thereby promote more physiological cusp kinematics and flow patterns [4, 5, 13-16]. Experimental and imaging-based studies suggest that sinus reconstruction

да намали механичното натоварване върху клапната тъкан [13-16]. В големи клинични серии с използване на Valsalva графт дългосрочната устойчивост е благоприятна. Де Паулис и сътр. съобщават 10-годишна свобода от реоперация на аортната клапа около 91%, като по-голямата част от пациентите остават без значима регургитация при дългосрочното проследяване [17]. Дългосрочните резултати, докладвани от Дейвид и други автори, също показват висока трайност на клапно-съхраняващите операции, когато се извършват при подходяща селекция на пациентите и прецизна хирургична техника [19].

Нашите резултати са в съответствие с тези литературни данни, въпреки че интерпретацията им трябва да остане предпазлива предвид малкия размер на кохортата и ограничения брой събития. Това вероятно се дължи на внимателната селекция на пациентите, съхранената морфология на платната, честото използване на съпътстващи коригиращи маньоври върху платната и изпълнението на процедурата в условията на специализирана аортна програма. Независимо от това, малкият размер на извадката и ограниченият период на проследяване не позволяват категорични заключения относно много дългосрочната устойчивост. В настоящата серия клапната компетентност се съхранява при по-голямата част от пациентите по време на проследяването, като реинтервенция се налага само при един симптоматичен пациент с ранна рецидивираща регургитация. Това подчертава значението на прецизната интраоперативна оценка, допълнителната корекция на платната при необходимост и структурираната ехокардиографска проследяваща програма след клапно-съхраняваща реконструкция на аортния корен.

Трайният успех на процедурата остава силно зависим от подбора на пациентите и хирургичната експертиза. Неподходящи кандидати са пациентите със силно увредени, значимо калцирани или изразено фиброзирали платна. За разлика от тях, пациентите с аневризма на аортния корен при наследствени аортопатии и структурно съхранени платна са сред тези, които извличат най-голяма дългосрочна полза от реимплантацията [6, 19]. В съответствие с действащите препоръки подобни операции следва да бъдат концентрирани в центрове с доказан опит и стандартизирани стратегии за оценка и реконструкция [6].

Ограничения на проучването

Настоящото проучване има няколко ограничения. То представлява едноцентров анализ с ретроспективен наблюдателен дизайн и малък брой пациенти, което ограничава статистическата сила и води до съществена несигурност по отношение на честотата на събитията. Кохортата не включва паралелна контролна група, например па-

supports coordinated cusp opening and closure and may attenuate mechanical stress on cusp tissue [13-16]. In large clinical series using the Valsalva graft, long-term durability has been favourable. De Paulis and colleagues reported a 10-year freedom from aortic valve reoperation of approximately 91%, with the majority of patients remaining free from significant regurgitation at long-term follow-up [17]. Long-term outcomes reported by David and others similarly demonstrate the durability of valve-sparing operations when performed with appropriate patient selection and surgical technique [19].

Our findings are consistent with these literature trends, although interpretation must remain cautious given the size of the cohort and the limited number of events. This likely reflects careful patient selection, preserved leaflet morphology, the frequent use of adjunctive cusp repair, and performance of the procedure within a specialised aortic programme; however, the small sample size and limited follow-up preclude firm conclusions regarding long-term durability. In the present series, preserved valve competence was observed in the great majority of patients during follow-up, while reintervention was required in one symptomatic patient with recurrent regurgitation detected early after surgery. This underscores the importance of meticulous intraoperative assessment, adjunctive cusp repair when needed, and structured echocardiographic surveillance after valve-sparing root reconstruction.

Durable success remains strongly dependent on patient selection and surgical expertise. Poor candidates include patients with severely damaged, heavily calcified, or markedly fibrotic leaflets. In contrast, patients with aortic root aneurysm in the setting of heritable aortopathy and structurally preserved leaflets tend to derive the greatest long-term benefit from reimplantation [6, 19]. In line with current recommendations, such surgery should be concentrated in centres with established experience and standardised assessment and repair strategies [6].

Limitations of the study

This study has several limitations. It is a single-centre retrospective observational analysis with a small sample size, which limits statistical power and results in substantial uncertainty around event rates. The cohort does not include a contemporaneous com-

циенти, подложени на композитно протезиране на аортния корен, поради което директни сравнителни заключения не могат да бъдат направени само въз основа на настоящите данни. Освен това проследяването остава ограничено за окончателна оценка на много дългосрочната устойчивост на метода. Наличността на ехокардиографските показатели варира между различните параметри и времеви точки, което ограничава пълното съпоставимо серийно сравнение за някои променливи, особено по отношение на левокамерните размери. Въпреки че анализи на време до настъпване на събитие, като Kaplan-Meier, биха били информативни в по-големи кохорти, те не бяха сметени за достатъчно надеждни в настоящата серия поради малкия брой пациенти, хетерогенната продължителност на проследяването и ограничения брой събития.

ЗАКЛУЧЕНИЕ

Клапносъхраняващата реконструкция на аортния корен по Дейвид, особено при използване на Valsalva графт, представлява ефективна съвременна стратегия при внимателно селектирани пациенти с аневризмална патология на аортния корен и съхранена морфология на клапните платна. Методът позволява радикална корекция на патологията на корена при съхраняване на нативната аортна клапа и избягване на протезно-обусловените усложнения, свързани с клапното протезиране. В настоящата серия ранните следоперативни резултати са благоприятни, а клапната компетентност се запазва по време на проследяването при по-голямата част от пациентите. Тъй като опитът с реимплантация по Дейвид със синус-съдържащ графт остава сравнително ограничен в България, представянето на последователни локални резултати представлява смислен клиничен принос и подкрепя по-широкото обсъждане на клапносъхраняващите стратегии при внимателно селектирани пациенти с патология на аортния корен.

Не е деклариран конфликт на интереси

Библиография/References

1. Sarsam MA, Yacoub M. Remodeling of the aortic valve annulus. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1993;105(3):435-438.
2. David TE, Feindel CM. An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1992;103(4):617-621; discussion 622.
3. De Paulis R, Scaffa R, Salica A et al. Biological solutions to aortic root replacement: valve-sparing versus bioprosthetic conduit. *J Vis Surg.* 2018;4:94. doi: 10.21037/jovs.2018.04.12.
4. De Paulis R, Torre M, Scaffa R. Straight tube versus Valsalva graft for valve-sparing operation. *Ann Cardiothorac Surg.* 2023;12(4):358-360. doi: 10.21037/acs-2023-avs2-10.

parator group, such as patients undergoing composite root replacement, and therefore direct comparative conclusions cannot be drawn from these data alone. In addition, follow-up remains limited for definitive assessment of very long-term durability. Echocardiographic availability varied across parameters and time points, which limited complete paired comparison for some variables, particularly left ventricular dimensions. Finally, although time-to-event analyses such as Kaplan-Meier estimates may be informative in larger cohorts, they were not considered sufficiently robust in the present series because of the small number of patients, heterogeneous follow-up duration, and limited number of events.

CONCLUSION

Valve-sparing aortic root reconstruction according to the David technique, particularly using a Valsalva graft, is an effective contemporary strategy for selected patients with aneurysmal aortic root pathology and preserved leaflet morphology. It enables radical correction of root disease while preserving the native aortic valve and avoiding prosthesis-related complications associated with valve replacement. In the present series, early postoperative results were favourable, and valve competence was maintained during follow-up in the majority of patients. As experience with David reimplantation using a sinus-containing graft remains relatively limited in Bulgaria, reporting consecutive local results represents a meaningful clinical contribution and supports wider consideration of valve-preserving strategies in carefully selected patients with aortic root pathology.

No conflict of interest was declared

5. De Paulis R, De Matteis GM, Nardi P et al. A new aortic Dacron conduit for surgical treatment of aortic root pathology. *Ital Heart J.* 2000;1(7):457-463.
6. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *EuroIntervention.* 2022;17(14):e1126-e1196. doi: 10.4244/EIJ-E-21-00009.
7. Elbatarny M, Tam DY, Edelman JJ et al.; Canadian Thoracic Aortic Collaborative (CTAC) Investigators. Valve-Sparing Root Replacement Versus Composite Valve Grafting in Aortic Root Dilatation: A Meta-Analysis. *Ann Thorac Surg.* 2020 Jul;110(1):296-306. doi: 10.1016/j.athoracsur.2019.11.054.

8. Formica F, Galligani A, D'Alessandro S et al. Long-term outcomes comparison of Bentall-De Bono-versus valve-sparing aortic root replacement: An updated systematic review and reconstructed time-to-event meta-analysis. *Int J Cardiol.* 2025;419:132728. doi: 10.1016/j.ijcard.2024.132728.
9. Price J, Magruder JT, Young A et al. Long-term outcomes of aortic root operations for Marfan syndrome: A comparison of Bentall versus aortic valve-sparing procedures. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016;151(2):330-6. doi: 10.1016/j.jtcvs.2015.10.068.
10. Mastrobuoni S, Govers PJ, Veen KM et al. Valve-sparing aortic root replacement using the reimplantation (David) technique: a systematic review and meta-analysis on survival and clinical outcome. *Ann Cardiothorac Surg.* 2023;12(3):149-158. doi: 10.21037/acs-2023-avs1-0038.
11. Martens A, Beckmann E, Kaufeld T et al. Valve-sparing aortic root replacement (David I procedure) in Marfan disease: single-centre 20-year experience in more than 100 patients†. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2019;55(3):476-483. doi: 10.1093/ejcts/ezy300.
12. Zacek P, Holubec T, Vobornik M et al. Quality of life after aortic valve repair is similar to Ross patients and superior to mechanical valve replacement: a cross-sectional study. *BMC Cardiovasc Disord.* 2016;16:63. doi: 10.1186/s12872-016-0236-0.
13. De Paulis R, De Matteis GM, Nardi P et al. Analysis of valve motion after the reimplantation type of valve-sparing procedure (David I) with a new aortic root conduit. *Ann Thorac Surg.* 2002;74(1):53-7. doi: 10.1016/S0003-4975(02)03583-X.
14. Salica A, Pisani G, Morbiducci U et al. The combined role of sinuses of Valsalva and flow pulsatility improves energy loss of the aortic valve. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2016;49(4):1222-7. doi: 10.1093/ejcts/ezv311.
15. Gaudino M, Piatti F, Lau C et al. Aortic flow after valve sparing root replacement with or without neosinuses reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2019;157(2):455-465. doi: 10.1016/j.jtcvs.2018.06.094.
16. Pisani G, Scaffa R, Ieropoli O. Role of the sinuses of Valsalva on the opening of the aortic valve. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;145(4):999-1003. doi: 10.1016/j.jtcvs.2012.03.060.
17. De Paulis R, Scaffa R, Nardella S et al. Use of the Valsalva graft and long-term follow-up. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010;140(6 Suppl):S23-7; discussion S45-51. doi: 10.1016/j.jtcvs.2010.07.060.
18. Ouzounian M, Rao V, Manlihot C et al. Valve-Sparing Root Replacement Compared With Composite Valve Graft Procedures in Patients With Aortic Root Dilation. *J Am Coll Cardiol.* 2016;68(17):1838-1847. doi: 10.1016/j.jacc.2016.07.767.
19. David TE. Aortic valve sparing operations: outcomes at 20 years. *Ann Cardiothorac Surg.* 2013;2(1):24-9. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2012.11.15.