

Реконструкція аортального клапана власним перикардом із використанням набору сайзерів і відповідних лекал в експерименті

С.В. Варбанець, О.С. Гур'єва, О.Ю. Пукас, В.В. Паюк, Г.І. Ємець, І.М. Ємець

ДУ «Науково-практичний медичний центр дитячої кардіології та кардіохірургії МОЗ України», Київ; e-mail: gurjeva.os@gmail.com, varserg@gmail.com

Вивчено можливості проведення реконструкції аортального клапана (АК) за допомогою аутологічних тканин, базуючись на математичних розрахунках Гаспаряна. Досліджено в експерименті ефективність функціонування нео-АК та розроблено новий інструментарій за допомогою якого можна швидко та зручно виконувати індивідуальні виміри показників, необхідних для викроювання стулок АК потрібного розміру безпосередньо під час операції. Для випробування можливості створення неоклапана в умовах експериментальної лабораторії («вет-лаб») НПМЦ ДКК МОЗ України (м. Київ) нами була проведена серія з 10 експериментів на макропрепаратах сердець свиней. Для оптимізації вимірювання та створення стулок АК розроблено набір вимірювачів та відповідних лекал, конфігурація яких базувалася на розрахунках Гаспаряна. Гідродинамічні умови функціонування АК відтворювали за допомогою нагнітання рідини в корінь аорти через судинний протез. Відеофіксацію роботи нео-АК виконували торакоскопичною системою із монітором WideView ("Storz", Німеччина), заведеною через судинний протез. Оцінювали результати інвазивною ресстрацією гідродинамічних параметрів роботи клапана системою IntelliVueX2 ("Phillips", Нідерланди). Отримані результати свідчать про здатність неоклапана витримувати високий тиск, подібний до природних умов функціонування АК. Відсутність зниження тиску під час симульованої діастоли характеризують клапан, як компетентний у всіх 10 проведених експериментах. Розроблений комплект вимірювачів та лекал дає можливість провести реконструктивне втручання на АК в експерименті із створенням компетентного аутоперикардіального неоклапана. Використання нашого інструментарію спрощує вимірювання і викроювання стулок АК потрібного розміру безпосередньо під час операції. Ключові слова: аортальний клапан; реконструкція; аутоперикард.

ВСТУП

Реконструктивна хірургія клапанів серця в останні десятиріччя набула значно більшої популярності, ніж їх протезування завдяки відсутності потреби в довічній антикоагуляції та запобіганню пов'язаних з нею ризиків, а також впровадженню ефективних стандартизованих методик, результати яких відтворюються в більшості досліджень [1]. Проте в хірургії аортальних вад досі найчастіше використовують заміну аортального клапана (АК) механічним або біологічним протезом.

Після заміни АК механічним протезом у пацієнтів усіх вікових категорій високим є до-

вічний ризик розвитку ускладнень. Так, згідно із даними мета-аналізу, оприлюдненому групою дослідників з Університету Еразмус (Роттердам, Нідерланди), у пацієнта, якому в 45-річному віці було імплантовано механічний протез в аортальну позицію, очікувана тривалість життя становить лише 19 років, тоді як в загальній популяції – 34 роки. Ризик тромбоемболій, кровотеч і реінтервенцій сягає 18, 15 та 10% відповідно [2]. Застосування біологічного протезу АК набуває більшої популярності у пацієнтів молодших вікових категорій, що дає їм можливість вести активний спосіб життя та уникати тромбоемболіч-

© С.В. Варбанець, О.С. Гур'єва, О.Ю. Пукас, В.В. Паюк, Г.І. Ємець, І.М. Ємець

них ускладнень і кровотеч. Варто зазначити, що у такому випадку ризик реінтервенцій у пацієнтів віком до 55 років є надзвичайно високим (близько 78% протягом життя) [3]. Імплантація біопротеза пацієнтам старшим за 70 років демонструє добрі результати щодо його дегенерації та не скорочує очікувану тривалість життя [4]. Але, незважаючи на значний прогрес у дизайні та конструкції біопротезів, їх гемодинамічні властивості як і раніше не відтворюють гемодинаміку нативного АК [5].

Пластична хірургія АК має переваги щодо збереження фізіології кореня аорти, уникнення ризиків, асоційованих із протезуванням клапана. Перші спроби реконструкції АК були описані ще в 60-х роках минулого сторіччя [6]. Велика кількість різноманітних запропонованих хірургічних концепцій довгий час не приносила відчутних результатів, які б не поступалися протезуванню АК. В останні роки результати пластичних операцій значно покращилися завдяки накопиченню досвіду та стандартизації хірургічних підходів. Практика довела, що виконання пластики та збереження нативного клапана можливо лише у певної когорти хворих, переважно при аортальній недостатності і обмежене низкою факторів, головним з яких є якість стулок АК.

Багато дослідників здійснювали пошук найбільш ефективної та відтворюваної методики реконструкції АК власними тканинами, яка б зберігала фізіологію та анатомію кореня аорти, близьку до нативної, та не залежала б від анатомії та вираженості ураження тканин нативного клапана патологічним процесом [7, 8]. Наріжним каменем вдалої реконструкції АК є геометрія неостулок, від якої безпосередньо залежить якість та гемодинамічні властивості створеного клапана. Вивчення геометрії кореня аорти закордонними дослідниками транслювалося у розробку декількох методик розрахування параметрів стулок, які базуються на вимірах діаметрів кільця АК, синотубулярного сполучення, висоти кореня

аорти [9–11]. У цьому контексті оригінальною є експериментальна робота Гаспаряна [12], в якій він, ґрунтуючись на природних математичних співвідношеннях між компонентами АК, запропонував формули залежності розміру стулки від міжкомісуральної відстані (МКВ).

Метою нашого дослідження було вивчити можливості проведення реконструкції АК за допомогою аутологічних тканин, базуючись на математичних розрахунках Гаспаряна та дослідити в експерименті ефективність функціонування нео-АК, а також розробити новий інструментарій, який дав би змогу швидко та зручно виконувати індивідуальні виміри показників, необхідних для викроювання стулок АК потрібного розміру безпосередньо під час операції.

МЕТОДИКА

Концепція нашої роботи базувалася на математичних розрахунках, описаних Гаспаряном і співавт. в 2000 р. [12]. Ґрунтуючись на природних математичних співвідношеннях компонентів АК, Гаспаряном були запропоновані формули залежності розмірів стулки від МКВ. Форма стулки АК визначається таким чином: $L = 1,2 \times l$, $H = 0,86 \times l$, $K = 0,266 \times l$, $R = 0,6 \times l$, де L – вільний край стулки АК, H – висота стулки, K – висота комісури, R – радіус стулки, l – міжкомісуральна відстань.

Для випробування можливості створення неоклапана в умовах експериментальної лабораторії («вет-лаб») нами була проведена серія з 10 експериментів, із використанням сердець свиней, судинних протезів (судинний протез ООО «ПТГО СЕВЕР»), набору хірургічних інструментів, шовного матеріалу, монітора інвазивного вимірювання тиску IntelliVueX2 (“Phillips”, Нідерланди) та торакоскопичної стійки із монітором WideView (“Storz”, Німеччина).

Для оптимізації вимірювання та створення стулок АК ми розробили набір вимірювачів та відповідних лекал, конфігурація яких

базувалася на вищезазначених розрахунках Гаспаряна (рис. 1). Інструменти були виготовлені ТОВ «Д. М. Мед-сервіс», м. Київ.

Експериментальну роботу проводили за таким алгоритмом:

1) підготовка макропрепарату серця свині (розмороження, належна фіксація у спеціальному боксі для зручності маніпуляцій);

2) видалення стулок АК у макропрепараті;

Номер вимірювача	8	10	12	14
МКВ, мм	9,6	12	14,4	16,8

4) викроювання відповідних стулок за допомогою комплекту лекал проводили згідно з отриманим розміром вимірювача (рис. 1, б);

5) реімплантація неоостулок у корінь аорти макропрепарату;

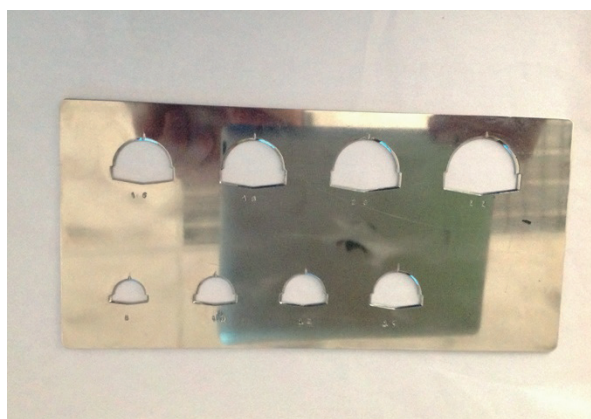
6) підшивання судинного протезу до кореня аорти на макропрепараті;

7) відтворення гідродинамічних умов функціонування АК за допомогою нагнітання рідини в корінь аорти через судинний протез;

8) відеофіксація роботи нео- АК за допомогою торакоскопичної стійки, заведеної через судинний протез;



а



б

Рис. 1. Комплект вимірювачів (сайзерів; а) та лекал (б)

3) визначення МКВ для кожної окремої стулки на макропрепараті за допомогою комплекту вимірювачів; МКВ відповідає довжині лінії між двома комісурами окремо для правої коронарної стулки АК (ПКС), некоронарної (НКС) та лівої коронарної (ЛКС) і оцінювалася оригінальним комплектом вимірювачів щонайменше тричі. Представлена відповідність номеру вимірювача та довжині наступним чином:

16	18	20	22	24	26	28
19,2	21,6	24,0	26,4	28,8	31,2	33,6;

9) інвазивна реєстрація гідродинамічних параметрів роботи клапана.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати продемонстрували здатність неоклапана витримувати високий тиск, подібний до природних умов функціонування АК, про що свідчать показники гідродинаміки, зареєстровані в судинному протезі за допомогою інвазивного моніторингу (рис. 2) та наведені у таблиці.

Результати серії експериментів неокупідизації аортального клапана з використанням комплекту вимірювачів та лекал, розроблених за математичними розрахунками Гаспаряна:

Номер експерименту	Номер вимірювача			Тиск у судинному протезі, мм рт. ст.			Компетентність клапана
	Права коронарна стулка	Некоронарна стулка	Ліва коронарна стулка	Систолічний	Діастолічний	Середній	
1	18	20	18	144	114	132	+
2	18	18	18	154	126	141	+
3	20	22	20	168	135	153	+
4	20	20	18	173	154	169	+
5	16	18	16	178	142	157	+
6	18	16	16	157	138	144	+
7	20	18	18	182	156	163	+
8	18	18	20	204	169	173	+
9	20	20	20	176	145	158	+
10	18	18	16	197	161	177	+

Відсутність зниження тиску під час симульованої діастолі характеризують клапан як компетентний у всіх 10 проведених експериментах. На рис. 2 продемонстровано фрагменти симуляції серцевого циклу, а саме систоли та діастолі, які ілюструють гарне відкривання та змикання стулок клапана на макропрепараті в гідродинамічних умовах, імітуючи нативну гемодинаміку АК.

Методика реконструкції АК аутоперикардальними стулками дає можливість створити клапан, анатомія якого максимально наближена до нативної і відтворює нормальну фізіологію кореня аорти. Найбільшою перевагою є також уникнення прийому

антикоагулянтів і супутніх ризиків емболій та тромбозів [13].

Варто відзначити, що гарних клінічних безпосередніх та задовільних віддалених результатів неокупідизації АК, подібні до таких при використанні біологічних протезів, було досягнуто Дюраном та співавт. [14]. Особливої уваги заслуговують роботи Дрейфуса та колег, які в 2011 р. представили успішні результати повної заміни АК з використанням аутоперикарда у 11 пацієнтів [8]. Але методики, які застосовувалися авторами, не знайшли широкого розповсюдження, найбільш вірогідно через технічні складнощі, пов'язані із викруванням та імплантацією

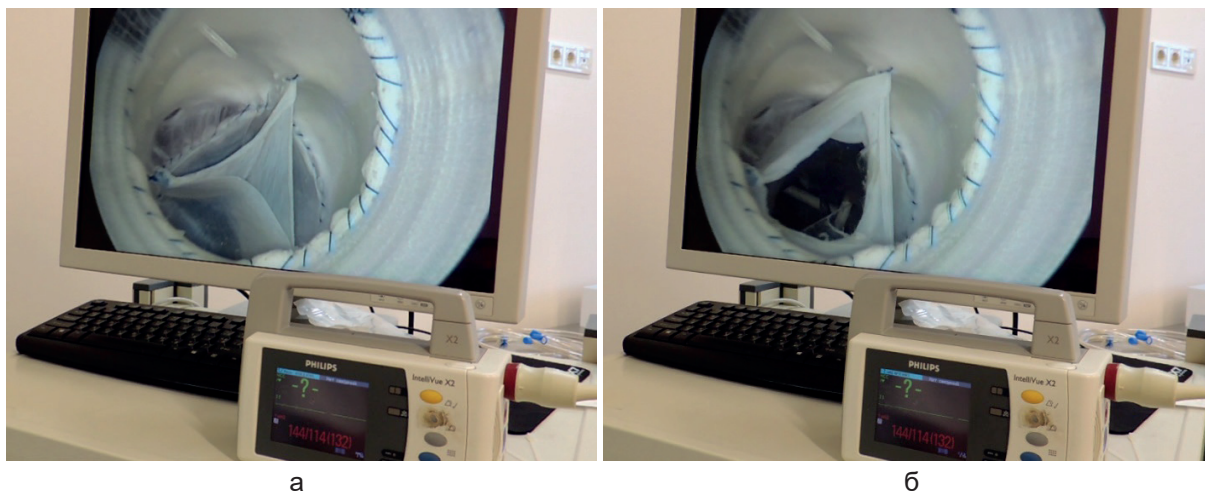


Рис. 2. Фрагменти симуляції серцевого циклу в експерименті № 1: а – кінець діастолі – повне змикання стулок аортального клапана; б – середина систолі – артеріальний клапан на етапі відкриття. Артеріальний тиск 144/114 (132 мм рт. ст.)

неостулок у вигляді єдиного лоскута аутоперикарда.

Значного успіху в цьому напрямку досягла група дослідників на чолі з Озакі [15], який для конструювання окремих неостулок АК розробив спеціальний набір інструментів, що суттєво полегшило і прискорило створення аутоперикардіальних стулок для неокуспідизації АК. Ми користувалися подібними принципами (створення окремих стулок та застосування зручних сайзерів). Проте основною відмінністю нашого дослідження є створення вимірювачів та відповідних лекал, базуючись на експериментальних дослідженнях Гаспаряна. Згідно з отриманими результатами проведеної нами роботи, математичні розрахунки можна визнати коректними та такими, що можуть застосовуватися в клінічній практиці. Набір вимірювачів та лекал, який було розроблено на основі вищезгаданих формул, є зручним інструментом для проведення неокуспідизації АК. Цей інструментарій дає змогу спростити вимірювання кожної з окремих стулок АК в експерименті на мікропрепараті і забезпечує точне та швидке викроювання аутоперикардіальної неостулки потрібного розміру безпосередньо під час операції.

ВИСНОВКИ

Розроблений комплект вимірювачів та лекал дає можливість провести реконструктивне втручання на АК в експерименті із створенням компетентного аутоперикардіального неоклапана. Використовуючи інструментарій, розроблений на основі математичних формул Гаспаряна, можна спростити вимірювання і викроювання стулок АК потрібного розміру безпосередньо під час операції.

Подяка. Автори щиро вдячні В. Гаспаряну (Вірменія) та Ш. Озакі (Японія).

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were

not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.

С.В. Варбанець, А.С. Гур'єва, А.Ю. Пукас, В.В. Паюк, І. Ємець, І.М. Ємець

НОВЫЕ ПОДХОДЫ РЕКОНСТРУКЦИИ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА СОБСТВЕННЫМ ПЕРИКАРДОМ

Изучены возможности проведения реконструкции аортального клапана (АК) с помощью аутологичных тканей, основываясь на математических расчетах Гаспаряна. Исследовано в эксперименте эффективность функционирования нео-АК и разработан новый инструментарий, с помощью которого можно быстро и удобно выполнять индивидуальные измерения показателей, необходимых для выкраивания створок АК нужного размера непосредственно во время операции. Для испытания возможности создания неоклапана в условиях экспериментальной лаборатории («вет-лаб») НПМЦДКК Минздрава Украины (Киев) нами была проведена серия из 10 экспериментов на макропрепаратах сердец свиней. Для оптимизации измерения и создания створок АК был разработан набор измерителей и соответствующих лекал, конфигурация которых базировалась на расчетах Гаспаряна. Гидродинамические условия функционирования АК воспроизводили с помощью нагнетания жидкости в корень аорты через сосудистый протез. Видеофиксацию работы нео-АК выполняли с помощью торакоскопической системы с монитором WideView («Storz», Германия), введенной за сосудистый протез. Оценка результатов эксперимента осуществлялась путем инвазивной регистрации гидродинамических параметров работы клапана системы IntelliVueX2 («Phillips», Нидерланды). Полученные результаты свидетельствуют о способности неоклапана выдерживать высокие давления, подобные к природным условиям функционирования АК. Отсутствие снижения давления во время симулированной диастолы характеризует клапан как компетентный во всех 10 проведенных экспериментах. Разработанный комплект измерителей и лекал позволяет провести реконструктивное вмешательство на АК в эксперименте с созданием компетентного аутоперикардіального неоклапана. Использование нашего инструментария может упростить измерения и выкраивание створок АК нужного размера непосредственно во время операции.

Ключевые слова: аортальный клапан; реконструкция; аутоперикард.

**S.V. Varbanets, O.S. Gurjeva, O.Yu. Pukas,
V.V. Payuk, G.I. Yemets, I.M. Yemets**

EXPERIMENTAL STUDY OF AORTIC VALVE RECONSTRUCTION WITH AUTOLOGOUS PERICARDIUM USING SET OF SIZERS AND TEMPLATES

Possibilities of AV reconstruction with autologous tissues using mathematical calculations reported by Gasparyan were evaluated. We also assessed efficacy of neo-AV functioning and designed new instruments capable of simplifying individual parameters measurements and enabling correct intraoperative AV leaflets tailoring in time-saving manner. We have performed series of 10 experiments on porcine hearts in the Wetlab of Government Institution «The Scientific-Practical Children's Cardiac Center» of Health Ministry of Ukraine (Kyiv, Ukraine) aiming to study opportunities of AV re-construction. Set of sizers and templates were designed according to Gasparian's calculations. Instruments were manufactured by "DM Med-service" Ltd (Kyiv, Ukraine) as an experimental set. Hydrodynamic conditions of AV functioning were simulated via water pumping into aortic root through sutured-in vascular prosthesis. Invasive hydrodynamic parameters' recording with IntelliVue X2 ("Phillips", Netherlands) were applied for AV reconstruction results assessment. Thoracoscopic video-recording of neo-AV was carried out using WideView ("Storz", Germany) advanced into vascular prosthesis. Series of experiments have shown good AV competence and capability of neo-AV to resist high pressures, similar to those in natural conditions of AV functioning. Lack of pressure drop and significant leakage during simulated diastole characterize reconstructed with autologous pericardium porcine AV as competent in all 10 experiments. Designed and manufactured set of sizers and templates enables efficacious AV reconstruction in vitro. Implementation of neo-cuspidization using the set of sizers enables time-friendly precise intraoperative measurements and tailoring of neo-AV cusps.

Key words: aortic valve; reconstruction; autopericardium.

Government Institution «The Scientific-Practical Children's Cardiac Center» of Health Ministry of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: varserg@gmail.com

REFERENCES

1. Lazam S, Vanoverschelde JL, Tribouilloy C, Grigioni F, Suri RM, Avierinos JF, et al. MIDA (Mitral Regurgitation International Database) Investigators Twenty-year outcome after mitral repair versus replacement for severe degenerative mitral regurgitation: analysis of a large, prospective, multicenter, international registry. *Circulation*. 2017;135(5):410-2.
2. Nelleke M Korteland1, Jonathan RG Etnel, Bardia Arabkhanil, M Mostafa Mokhles1, Arezo Mohamad, Jolien W Roos-Hesselink, Ad JJC Bogers1, Johanna JM Takkenberg. Mechanical aortic valve replacement in

- non-elderly adults: meta-analysis and microsimulation. *Eur Heart J*. 2017;38(45):3370-7.
 3. Jonathan RG Etnel, Simone A Huygens, Pepijn Grashuis Begüm, Pekbay Grigorios Papageorgiou, Jolien W Roos Hesselink, Ad JJC Bogers, Johanna JM Takkenberg. Bioprosthetic aortic valve replacement in nonelderly adults a systematic review, meta-analysis, and microsimulation. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2019;12:1-11.
 4. Huygens SA, Etnel JRG, Hanif M, Bekkers JA, Oggers AJJC, Rutten-van Mölken MPMH, Takkenberg JJM. Bioprosthetic aortic valve replacement in elderly patients: meta-analysis and microsimulation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018 Oct 22(18):2794-6.
 5. Ozaki S. Pathophysiology of calcification of bioprosthetic heart valves: an experimental investigation. *Acta Biomed Lovaniensia*. 2001 Jun 11:238.
 6. H.T. Bahnson, F.C. Spencer, E.F. Busse, F.W. Davis, Cusp replacement and coronary artery perfusion in open operations on the aortic valve. *Annals Surg*. 1960;152:494-503.
 7. Duran C, Gallo R, Naresh K. Aortic valve replacement with autologous pericardium: surgical technique. *J Card Surg*. 1995;10:1-9.
 8. KM John Chan, BMedSci (Hons), BMBS, MSc, FRCS CTh, a Shelley Rahman-Haley, Tarun K Mittal, Jemyr A Gavino, Gilles D Dreyfus. Truly stentless autologous pericardial aortic valve replacement: An alternative to standard aortic valve replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011;141(1): 276-83.
 9. Mercer JL, Benedicty M, Bahnson HT. The geometry and construction of the aortic leaflet. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1973;65:511-8.
 10. Swanson M, Clark RE. Dimensions and geometric relationships of the human aortic valve as a function of pressure. *Circ Res*. 1974;35:871-82.
 11. Silver MA, Roberts WC. Detailed anatomy of the normally functioning aortic valve in hearts of normal and increased weight. *Am J Cardiol*. 1985;55:454-61.
 12. Vahe C Gasparyan. Method of determination of aortic valve parameters for its reconstruction with autopericardium: An experimental study. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2000;119:386-7.
 13. Ozaki S, Kawase I, Yamashita H, Uchida S, Nozawa Y, Takatoh M. A total of 404 cases of aortic valve reconstruction with glutaraldehyde-treated autologous pericardium. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;147(1):301-6.
 14. Al Halees Z, Al Shahid M, Al Sane'i A, Sallehuddin A, Duran C. Up to 16 years follow-up of aortic valve reconstruction with pericardium: a stentless readily available cheap valve? *Eur J Cardio-Thoracic Surg*. 2005 Aug;28(2):200-5.
- Ozaki S, Kawase I, Yamashita H, Uchida S, Takatoh M, Hagiwara S, Kiyohara N. Aortic valve reconstruction using autologous pericardium for aortic stenosis. *Circ J*. 2015;79(7):1504-10.

Матеріал надійшов до редакції 16.08.2019