



Горустович А.В.✉, Житкова Н.С., Линник Ю.И., Дроздовский К.В.
Республиканский научно-практический центр детской хирургии, Минск, Беларусь

Пластика и протезирование трункального и неоаортального клапанов у детей

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Горустович А.В. – дизайн исследования, сбор и обработка материала, оценка результатов исследования, написание текста; Житкова Н.С. – сбор материала, написание текста; Линник Ю.И. – редактирование; Дроздовский К.В. – оценка результатов исследования.

Подана: 10.05.2024

Принята: 29.08.2024

Контакты: agorustovich@yahoo.com

Резюме

Введение. В настоящее время данные о хирургических вмешательствах на трункальном и неоаортальном клапанах у детей встречаются достаточно редко.

Цель. Оценить возможности пластики и протезирования трункального и неоаортального клапанов у детей.

Материалы и методы. В РНПЦ детской хирургии и РНПЦ «Кардиология» в период с 2004 по 2024 г. коррекция общего артериального ствола была выполнена 30 пациентам, протезирование аортального клапана легочным аутографтом (операция Росса) – 47. Пациенты были разделены на 2 группы в зависимости от врожденного порока сердца: 1-я – общий артериальный ствол, 2-я – порок аортального клапана. Средний возраст детей в 1-й группе – 21,0 (11,0–45,0) суток, во 2-й группе – 6,0 (2,0–11,0) года. Пластика трункального клапана во время радикальной коррекции общего артериального ствола была выполнена 10 (33,3%) пациентам. Пластику неоаортального клапана во время операции Росса не выполняли.

Результаты. На госпитальном этапе после радикальной коррекции общего артериального ствола умерло 10 (33,3%) пациентов, после операции Росса – 7 (14,9%). Длительность наблюдения в двух группах составила от 1 года до 20 лет. Протезирование трункального клапана после радикальной коррекции общего артериального ствола с пластикой клапана в отдаленном периоде было выполнено 2 (10,0%) детям. Протезирование неоаортального клапана в связи с его изолированной недостаточностью в ближайшем и отдаленном периодах после операции Росса – Конно выполнили 2 (5,3%) детям. Протезирование неоаортального клапана в связи с дилатацией легочного аутографта в отдаленном периоде после операции Росса выполнено 1 (2,6%) пациенту.

Заключение. Существует возможность протезирования трункального и неоаортального клапанов у детей после коррекции общего артериального ствола и операции Росса механическими протезами необходимого диаметра.

Ключевые слова: трункальный клапан, неоаортальный клапан, пластика, протезирование, дети



Gorustovich A.✉, Zhitkova N., Linnik U., Drozdovkiy K.
Republican Scientific and Practical Center of Pediatric Surgery, Minsk, Belarus

Truncal and Neoaortic Valves Repair and Replacement in Children

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Gorustovich A. – study design, material collecting and processing, research results evaluating, text writing; Zhitkova N. – material collecting, text writing; Linnik U. – editing; Drozdovkiy K. – research results evaluating.

Submitted: 10.05.2024

Accepted: 29.08.2024

Contacts: agorustovich@yahoo.com

Abstract

Introduction. Currently, data reported truncal and neoaortic valves surgeries in children are quite rare.

Purpose. To evaluate opportunities of truncal and neoaortic valve repair and replacement in children.

Materials and methods. Common arterial trunk correction was performed in 30 children, and aortic valve replacement with pulmonary autograft (Ross procedure) was performed in 47 children at the RSPCs of Pediatric Surgery and "Cardiology" from 2004 to 2024 years. Patients were divided into 2 groups depending on congenital heart disease. Children with common arterial trunk were included in group 1, while patients with aortic valve disease were included in group 2. Mean age of the patients in 1-st group was 21.0 (11.0–45.0) days, mean age in 2-nd group was 6.0 (2.0–11.0) years. Truncal valve repair was performed during common arterial trunk correction in 10 children (33.3%). Neo-aortic valve repair wasn't performed during the Ross procedure.

Results. There were 10 deaths (33.3%) during hospital stage after common arterial trunk correction, and 7 deaths (14.9%) occurred during hospital stage after Ross procedure. Follow-up periods in both groups ranged from 1 to 20 years. Truncal valve replacement was performed in 2 children (10.0%) in long-term period after common arterial trunk correction with valve repair. Neo-aortic valve replacement due to its isolated insufficiency was performed in 2 children (5.3%) in short and long-term periods after Ross-Konno operation. Neo-aortic valve replacement due to pulmonary autograft dilatation was performed in 1 patient (2.6%) in long-term period after Ross procedure.

Conclusion. Opportunities exist for replacing truncal and neo-aortic valves with mechanical prostheses of the required diameter in children after common arterial trunk correction and Ross procedure.

Keywords: truncal valve, neo-aortic valve, repair, replacement, children

■ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при аортальных пороках у детей показания и возможности пластики и протезирования нативного аортального клапана (АК) достаточно хорошо изучены. При этом данные о хирургических вмешательствах на трупальном и неоаортальном клапанах у детей встречаются достаточно редко [1].

У детей с врожденным пороком сердца (ВПС) общий артериальный ствол (ОАС) существует единственный полулунный клапан – трункальный, который функционирует как системный до и после коррекции. У пациентов с аортальными пороками после протезирования нативного АК легочным аутографтом (операции Росса) анатомически легочный клапан начинает функционировать как системный, т. е. неоаортальный клапан.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить возможности пластики и протезирования трункального и неоаортального клапанов у детей.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В РНПЦ детской хирургии и РНПЦ «Кардиология» в период с 2004 по 2024 г. коррекция ОАС была выполнена 30 пациентам, протезирование АК легочным аутографтом (операция Росса) – 47. Пациенты были разделены на 2 группы в зависимости от вида ВПС, по поводу которого были проведены оперативные вмешательства: 1-я группа – ОАС, 2-я – порок АК.

Всем пациентам в предоперационном периоде выполняли эхокардиографию (Эхо-КГ) с измерением следующих параметров: количество створок, диаметр фиброзного кольца, максимальный градиент систолического давления, степень регургитации на трункальном клапане, нативном АК, а также сопутствующие параметры, описывающие левый желудочек.

В 1-й группе средний возраст детей на момент радикальной коррекции ОАС составил 21,0 (11,0–45,0) суток. Распределение по полу было следующим: 17 (56,7%) – лица мужского пола, 13 (43,3%) – женского. По классификации Collett и Edwards, 1-й тип ОАС наблюдали у 23 (76,7%) пациентов, 2-й – у 6 (20,0%), 3-й – у 1 (3,3%). Билатеральное бандирование ветвей легочной артерии до радикальной коррекции ОАС выполняли 4 (13,3%) пациентам. Хирургическая коррекция сопутствующих ВПС одновременно с ОАС была выполнена 4 (13,3%) пациентам: коррекция перерыва дуги аорты – 3, коррекция тотального аномального дренажа легочных вен – 1. По данным Эхо-КГ в предоперационном периоде у 16 (53,3%) детей трункальный клапан состоял из 4 створок, у 2 (6,7%) – был бикуспидальный трункальный клапан.

Пластику трункального клапана во время радикальной коррекции ОАС выполняли 10 (33,3%) пациентам с применением различных методов реконструктивных операций. Трикуспидализация 4-створчатого трункального клапана, которая заключалась в сшивании двух рудиментарных створок с формированием единой створки, была выполнена 4 детям. Комиссуротомия трункального клапана выполнили 3 детям: по одной комиссуре – 2, по трем комиссурам – 1. Комиссуры рассекали, не доходя до стенки аорты, чтобы избежать развития недостаточности трункального клапана после операции. Ресуспензия пролабирующей створки с соседними створками была выполнена 2 пациентам. Париетальную резекцию утолщенных створок трункального клапана выполнили 1 ребенку.

Во 2-й группе средний возраст детей с пороками АК, которым была выполнена операция Росса, составил 6,0 (2,0–11,0) года. Распределение по полу: 27 (57,4%) пациентов мужского пола, 20 (42,6%) – женского. Характер аортального порока был следующим: аортальная недостаточность – 9 (19,1%), аортальный стеноз – 11 (23,4%),



сочетание стеноза и недостаточности – 27 (57,5%). У 16 (34,0%) пациентов операцию Росса дополняли рассечением межжелудочковой перегородки (операция Росса – Конно). Хирургическую коррекцию сопутствующих ВПС до операций на АК выполнили 7 (14,9%) детям: резекция коарктации с пластикой аорты – 3, коррекция перерыва дуги аорты, пластика дефекта межжелудочковой перегородки и иссечение субаортальной мембраны – 2, пластика дефекта межжелудочковой перегородки – 1, иссечение субаортальной мембраны – 1. По данным Эхо-КГ до операции бicuspidальный АК был выявлен у 38 (80,9%) пациентов, диаметр клапанного кольца аорты составил 17,0 (12,5–20,0) мм, диаметр клапанного кольца легочной артерии – 18,0 (15,0–21,0) мм. Рентгенэндоваскулярная баллонная дилатация стеноза АК до операции Росса была выполнена 26 (55,3%) детям. Реконструктивные операции на АК до операции Росса проведены 7 (14,9%) пациентам: комиссуротомия, пластика створок заплаты из аутоперикарда – 4, комиссуротомия, пластика створки заплаты из ксеноперикарда – 2, комиссуротомия – 1. В одном случае операция Росса была выполнена после протезирования АК механическим протезом с расширением корня аорты.

Пластику неоаортального клапана (легочного аутографта) во время операции Росса не выполняли.

Статистическая обработка результатов выполнена с использованием программы Statistica 10.0. Показатели представлены в виде медианы и межквартильных размахов. Принятый уровень значимости $p < 0,05$.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

На госпитальном этапе после радикальной коррекции ОАС умерло 10 (33,3%) пациентов вследствие острой сердечной недостаточности, 3 детям в послеоперационном периоде была подключена веноартериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация. Послеоперационное осложнение возникло у 1 (3,3%) ребенка, которому в связи с АВ-блокадой 3-й степени был имплантирован миокардиальный электрокардиостимулятор.

После операции Росса на госпитальном этапе умерло 7 (14,9%) детей вследствие острой сердечной недостаточности, веноартериальная экстракорпоральная мембранная оксигенация была подключена 5 пациентам. Послеоперационные осложнения возникли у 3 (6,4%) детей: тромбоз правой коронарной артерии – шунтирование маммарной артерией без искусственного кровообращения, кинкинг правой коронарной артерии – плицурующий П-образный шов на неоаорту над устьем правой коронарной артерии, медиастинит – санация и дренирование средостения.

Данные Эхо-КГ до радикальной коррекции ОАС и в послеоперационном периоде представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, у детей непосредственно после радикальной коррекции ОАС, по сравнению с дооперационным периодом, статистически достоверно снижается пиковый градиент систолического давления на трункальном клапане с 20,0 до 9,0 мм рт. ст. ($p_1 = 0,004$).

Сравнительный анализ данных Эхо-КГ до и после операции Росса представлен в табл. 2.

У детей непосредственно после операции Росса, по сравнению с дооперационным периодом, статистически достоверно снижается пиковый градиент систолического давления на АК с 45,0 до 7,0 мм рт. ст. ($p_1 < 0,001$), регургитация на неоаортальном клапане у большинства пациентов не превышает 1-й степени ($p_1 < 0,001$),

Таблица 1
Данные эхокардиографии в группе 1
Table 1
Echocardiography data in group 1

Показатель		До операции (n=30)	После операции (n=27)	Отдаленный период (n=20)	p ₁	p ₂
Диаметр ТрКл, мм		13,0 (11,0–15,0)	13,5 (11,5–15,0)	25,0 (21,0–28,0)	0,500	0,012
ГСД мах на ТрКл, мм рт. ст.		20,0 (19,0–40,0)	9,0 (8,0–10,0)	9,0 (6,0–18,0)	0,004	0,859
Степень регурги- тации на ТрКл, n (%)	0	6 (20,0)	0 (0)	0 (0)	0,025	–
	1	11 (36,7)	15 (55,6)	8 (40,0)	0,245	0,006
	2	11 (36,7)	12 (44,4)	9 (45,0)	0,566	0,796
	3	2 (6,6)	0 (0)	3 (15,0)	0,493	0,07
	4	0 (0)	0 (0)	0 (0)	–	–
КДР ЛЖ, мм		18,0 (16,0–21,0)	20,0 (18,0–23,0)	41,0 (27,0–50,0)	0,300	0,003
КСР ЛЖ, мм		10,5 (9,5–13,0)	13,0 (10,0–15,0)	26,0 (22,0–31,0)	0,407	0,007
ФВ ЛЖ, %		68,0 (62,0–76,0)	66,0 (62,0–70,0)	69,0 (66,0–73,0)	0,546	1,0

Примечания: ТрКл – трункальный клапан; ГСД – градиент систолического давления; КДР – конечно-диастолический раз-
мер; КСР – конечно-систолический размер; ЛЖ – левый желудочек; ФВ – фракция выброса.

Таблица 2
Данные эхокардиографии в группе 2
Table 2
Echocardiography data in group 2

Показатель		До операции (n=47)	После операции (n=45)	Отдаленный период (n=38)	p ₁	p ₂
Диаметр АК, мм		17,0 (12,5–20,0)	18,0 (15,0–20,0)	23,0 (21,0–27,0)	0,629	0,001
ГСД мах АК, мм рт. ст.		45,0 (30,0–70,0)	7,0 (5,0–8,0)	6,0 (5,0–10,0)	<0,001	1,0
Степень регур- гитации на АК, n (%)	0	5 (10,6)	17 (37,8)	7 (18,4)	0,005	0,090
	1	8 (17,0)	26 (57,8)	21 (55,3)	<0,001	0,994
	2	6 (12,8)	2 (4,4)	8 (21,0)	0,268	0,039
	3	21 (44,7)	0 (0)	2 (5,3)	<0,001	0,207
	4	7 (14,9)	0 (0)	0 (0)	0,012	–
КДР ЛЖ, мм		39,0 (35,0–45,0)	34,0 (30,0–38,0)	44,0 (38,0–48,0)	<0,001	<0,001
КСР ЛЖ, мм		24,0 (19,0–28,8)	22,0 (18,0–26,0)	26,0 (23,0–29,0)	0,012	0,047
ФВ ЛЖ, %		69,5 (62,0–76,0)	66,0 (61,0–73,0)	69,0 (65,0–71,0)	0,059	0,177

Примечание: обозначения те же, что и в табл. 1.



уменьшается конечно-диастолический размер левого желудочка с 39,0 до 34,0 мм ($p_1 < 0,001$).

Длительность наблюдения в двух группах составила от 1 года до 20 лет.

В отдаленном периоде в 1-й группе после радикальной коррекции ОАС по данным Эхо-КГ, по сравнению с послеоперационным периодом (табл. 1), статистически достоверно увеличивается диаметр трункального клапана с 13,5 до 25,0 мм ($p_2 = 0,012$). В связи с выраженной недостаточностью трункального клапана 2 (10,0%) детям было выполнено его протезирование механическими клапанами. Актуарная кривая свободы от реопераций по поводу дисфункции трункального клапана представлена на рис. 1.

Одному ребенку было выполнено протезирование трункального клапана механическим клапаном диаметром 25 мм через 9 лет после радикальной коррекции ОАС, во время которой была выполнена пластика трункального клапана – комиссуротомия по трем комиссурам. Второму ребенку было выполнено протезирование трункального клапана механическим клапаном диаметром 25 мм через 11 лет после радикальной коррекции ОАС, во время которой также была выполнена пластика трункального клапана – ресуспензия пролабирующей створки с соседними створками.

В отдаленном периоде во 2-й группе после операции Росса умерло 2 (4,3%) детей. Один пациент умер через 2,5 месяца вследствие стеноза устья правой коронарной артерии, второй пациент умер через 1 год после операции из-за фатальной аритмии. По данным Эхо-КГ в отдаленном периоде после операции Росса, по сравнению с послеоперационным периодом (табл. 2), статистически достоверно увеличивается диаметр легочного аутографта с 18,0 до 23,0 мм ($p_2 = 0,001$). В связи с дисфункцией неоаортального клапана (легочного аутографта) его протезирование механическими клапанами было выполнено 3 (7,9%) пациентам. Актуарная кривая свободы от реопераций по поводу дисфункции неоаортального клапана представлена на рис. 2.

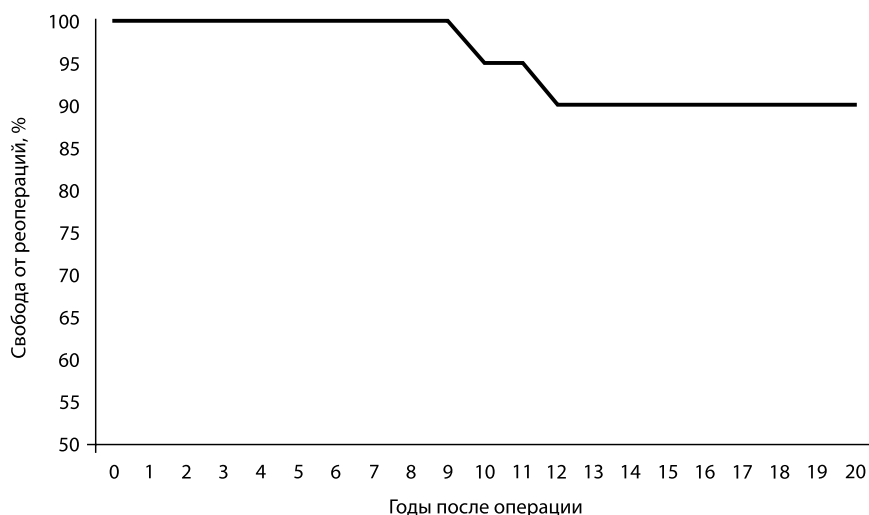


Рис. 1. Свобода от реопераций на трункальном клапане

Fig. 1. Freedom from truncal valve reoperations

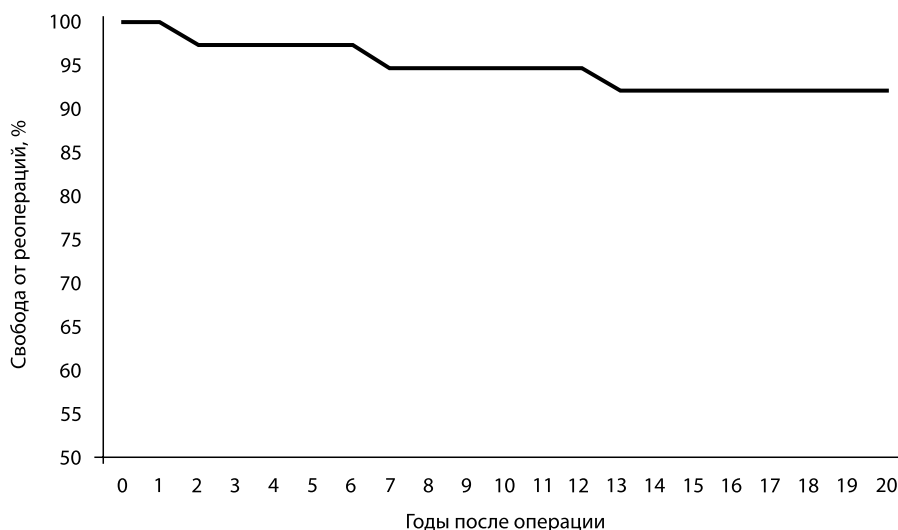


Рис. 2. Свобода от реопераций на неоаортальном клапане

Fig. 2. Freedom from neo-aortic valve reoperations

Протезирование неоаортального клапана двум детям было выполнено через 1 год и 6 лет после операции Росса – Конно, третьему ребенку – через 12 лет после операции Росса. Диаметр имплантированных механических протезов составил 19, 23 и 25 мм. Данный выбор был обусловлен достаточно большими диаметрами фиброзных колец неоаортального клапана на момент коррекции в отдаленном периоде, что позволило избежать развития синдрома «протез-пациент» несоответствия в более старшем возрасте.

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Прогрессивное развитие хирургической техники и увеличение выживаемости пациентов после коррекции ОАС и аортальных пороков, требующих проведения операции Росса, приводит к необходимости оценки функции трункального и неоаортального клапанов в ближайшем и отдаленном периодах.

По данным литературы, функция трункального клапана в отдаленном периоде после коррекции ОАС обычно остается адекватной и редко требует повторных оперативных вмешательств [2]. 40-летний опыт оперативного лечения ОАС описан Vohra H.A. et al., по их оценке, около 20% пациентов после коррекции ОАС в длительной перспективе потребуют пластики или протезирования трункального клапана [3]. Также они выявили, что наличие регургитации на трункальном клапане является фактором, увеличивающим летальность после коррекции ОАС. По нашим данным, в отдаленном периоде протезирование трункального клапана в связи с несостоятельностью клапана было выполнено 2 (10,0%) пациентам при длительности наблюдения до 20 лет, что коррелирует с описанными в литературе данными.

Недостаточность неоаортального клапана, связанная с дилатацией аутографта после операции Росса, является часто описываемой в литературе проблемой и,



по различным данным, встречается примерно у половины пациентов в отдаленном периоде наблюдения [4–7]. Эти цифры возрастают по мере увеличения сроков наблюдения, например, при длительности наблюдения более 20 лет около 30% пациентов потребуют оперативного лечения по поводу дилатации аутографта [8]. Десяти- и двадцатилетняя свобода от реопераций по поводу дисфункции аутографта составляет 87–89% и 69–78%, по различным данным [9, 10]. В нашем исследовании одному пациенту (2,6%) после операции Росса в отдаленном периоде выполнено протезирование неоаортального клапана и восходящей аорты в связи с дилатацией легочного аутографта и сопутствующей недостаточностью неоаортального клапана. Возможно, увеличение сроков наблюдения приведет к увеличению количества пациентов с данной патологией, которая потребует оперативных вмешательств.

Изолированная недостаточность неоаортального клапана после операции Росса встречается не часто, в отдаленном периоде у 88–95% пациентов функция неоаортального клапана остается удовлетворительной с отсутствием или незначительной степенью регургитации [11–15]. По нашим данным, изолированная недостаточность неоаортального клапана после выполнения операции Росса – Конно в ближайшем и отдаленном периодах была у 2 (5,3%) детей, потребовавшая выполнения протезирования неоаортального клапана, что коррелирует с данными литературы.

Развитие дисфункции неоаортального клапана с расширением аутографта или без него после операции Росса может быть связано с несколькими факторами: наличие бикуспидального АК, значительное различие в диаметрах между легочной артерией и аортой, физиологическая дилатация пульмонального аутографта, а также генетически детерминированные особенности соединительной ткани [16–20].

■ ВЫВОДЫ

1. Функция трункального клапана после радикальной коррекции ОАС в ближайшем периоде сохраняется удовлетворительной.
2. Протезирование трункального клапана в связи с его недостаточностью после радикальной коррекции ОАС с пластикой клапана в отдаленном периоде было выполнено 2 (10,0%) пациентам.
3. Функция неоаортального клапана после операции Росса в ближайшем периоде сохраняется удовлетворительной.
4. Протезирование неоаортального клапана в связи с дилатацией легочного аутографта после операции Росса в отдаленном периоде выполнено одному пациенту (2,6%), в связи с изолированной недостаточностью после операции Росса – Конно в ближайшем и отдаленном периодах – 2 (5,3%).

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Hawkins J.A., Kouretas P.C., Holubkov R., et al. Intermediate-term results of repair for aortic, neo-aortic, and truncal valve insufficiency in children. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2007;133(5):1311–7. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2006.11.051
2. Ullmann M.V., Gorenflo M., Sebenius C., et al. Long-term results after repair of truncus arteriosus communis in neonates and infants. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003;51(4):175–9. DOI: 10.1055/s-2003-42255
3. Vohra H.A., Whistance R.N., Chia A.X., et al. Long-term follow-up after primary complete repair of common arterial trunk with homograft: a 40-year experience. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010;140(2):325–9. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2009.12.052
4. Brown J.W., Ruzmetov M., Vijay P., et al. The Ross-Konno procedure in children: outcomes, autograft and allograft function, and reoperations. *Ann Thorac Surg.* 2006;82(4):1301–6. DOI: 10.1016/j.athoracsurg.2006.05.001

5. Chambers J.C., Somerville J., Stone S., et al. Pulmonary autograft procedure for aortic valve disease: long-term results of the pioneer series. *Circulation*. 1997;96(7):2206–14. DOI: 10.1161/01.cir.96.7.2206
6. Svensson G., Aljassim O., Svensson S.E., et al. Anatomical mismatch of the pulmonary autograft in the aortic root may be the cause of early aortic insufficiency after the Ross procedure. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2002;21(6):1049–54. DOI: 10.1016/s1010-7940(02)00177-x
7. Yacoub M.H., Klieverik L.M., Melina G., et al. An evaluation of the Ross operation in adults. *J Heart Valve Dis*. 2006;15(4):531–9.
8. Eghtesady P. Long-Term Results of the Ross Procedure in Children. *Ann Thorac Surg*. 2020;110(2):645. DOI: 10.1016/j.athoracsurg.2019.12.073
9. Generali T., Jansen K., Steedman R., et al. Contemporary Ross procedure outcomes: medium- to long-term results in 214 patients. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2021;60(5):1112–1121. DOI: 10.1093/ejcts/ezab193
10. Pergola V., Di Salvo G., Fadel B., et al. The long term results of the Ross procedure: The importance of candidate selection. *Int J Cardiol*. 2020;320:35–41. DOI: 10.1016/j.ijcard.2020.07.009
11. Carr-White G.S., Afake A., Birks E.J., et al. Aortic root characteristics of human pulmonary autografts. *Circulation*. 2000;102(19 Suppl 3):III15–21. DOI: 10.1161/01.cir.102.suppl_3.iii-15
12. David T.E., Omran A., Ivanov J., et al. Dilation of the pulmonary autograft after the Ross procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2000;119(2):210–20. DOI: 10.1016/S0022-5223(00)70175-9
13. Simon-Kupilik N., Bialy J., Moidl R., et al. Dilatation of the autograft root after the Ross operation. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2002;21(3):470–3. DOI: 10.1016/s1010-7940(02)00016-7
14. Hraska V., Krajci M., Haun Ch., et al. Ross and Ross-Konno procedure in children and adolescents: mid-term results. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2004;25(5):742–7. DOI: 10.1016/j.ejcts.2004.01.009
15. Kallio M., Pihkala J., Sairanen H., et al. Long-term results of the Ross procedure in a population-based follow-up. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2015;47(5):e164–70. DOI: 10.1093/ejcts/ezv004
16. Botha C.A., Roser D., Rupp W., et al. The influence of geometric mismatch between the native aortic, native pulmonary and homograft pulmonary valve on the results of the pulmonary autograft operation. *J Heart Valve Dis*. 1997;6(4):355–60.
17. Oury J.H. Clinical aspects of the Ross procedure: indications and contraindications. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 1996;8(4):328–35.
18. Reddy V.M., McElhinney D.B., Phoon C.K., et al. Geometric mismatch of pulmonary and aortic annuli in children undergoing the Ross procedure: implications for surgical management and autograft valve function. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1998;115(6):1255–62. DOI: 10.1016/S0022-5223(98)70207-7
19. Stelzer P., Weinrauch S., Tranbaugh R.F. Ten years of experience with the modified Ross procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1998;115(5):1091–100. DOI: 10.1016/S0022-5223(98)70409-X
20. Luciani G.B., Casali G., Favaro A., et al. Fate of the aortic root late after Ross operation. *Circulation*. 2003;108 Suppl 1:II61–7. DOI: 10.1161/01.cir.0000089183.92233.75