

«ТРАДИЦИОННЫЙ» И ГИБРИДНЫЙ ПОДХОДЫ В ХИРУРГИИ ДУГИ АОРТЫ ПРИ АОРТАЛЬНОМ РАССЛОЕНИИ

Хирургия расслоения дуги аорты

Б.Н. Козлов¹, Д.С. Панфилов¹, В.Л. Лукинов², Н.О. Панфилова³, Е.В. Лелик¹✉

¹ НИИ кардиологии Томского НИМЦ, ул. Киевская д. 111А, г. Томск, Томская обл.,
Российская Федерация, 634012

² Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН), проспект академика Лаврентьева д. 6, г. Новосибирск,
Российская Федерация, 630090

³ ГБУЗ Новокузнецкая городская клиническая больница № 29 им. А. А. Луцка, ул. Мориса Тореза д. 22Ж,
Новокузнецк, Кемеровская обл., Российская Федерация, 654038

Основные положения

Проведен сравнительный анализ ранних и среднесрочных результатов хирургической реконструкции дуги аорты с использованием технологии «замороженный хобот слона» и без нее у пациентов с расслоением аорты.

Технология «замороженный хобот слона» при лечении больных с расслоением аорты является перспективным видом лечения и характеризуется удовлетворительными ранними и отсроченными результатами у данной категории лиц.

Резюме

Цель: Провести сравнительный анализ ранних и среднесрочных результатов хирургической реконструкции дуги аорты с использованием технологии «замороженный хобот слона» и без нее у пациентов с расслоением аорты.

Материалы и методы: В ретроспективное исследование включено 72 пациента с острым и хроническим расслоением аорты, перенесших хирургическое лечение. Все пациенты были разделены на две группы. I группу пациентов (non-FET, n=17) составили пациенты, которым была выполнена «традиционная» реконструктивная операция без использования технологии «замороженный хобот слона». Во II группу пациентов (FET, n=55) были включены пациенты, которым было выполнено реконструктивное хирургическое вмешательство с использованием технологии «замороженный хобот слона». Проведен сравнительный анализ ранних и среднесрочных послеоперационных результатов.

Результаты: В раннем послеоперационном периоде в группах non-FET и FET частота преходящих неврологических осложнений составили 0 против 3,6% ($p>0,999$) и церебральных инсультов – 0 против 3,6% ($p>0,999$). Параличи не было отмечено ни в одной из групп. Потребность в продленной дыхательной поддержке после операции зафиксирована в 82,4% случаев у пациентов группы non-FET и в 17,6% в группе FET ($p<0,001$). Острое повреждение почек было диагностировано у 17,6% и 5,9% в группах non-FET и FET соответственно ($p=0,601$).

Ранняя послеоперационная летальность в группе non-FET составила 17,6%, в группе FET – 7,3% ($p=0,344$). Выживаемость пациентов в течение 5 лет после операции составила 71% в группе non-FET, в группе FET – 76%. Свобода от дистальных аортальных реинтервенций составила 86% в группе non-FET и 100% в группе FET ($p=0,861$). Свобода от негативного ремоделирования торакоабдоминальной аорты в группах non-FET и FET достиг значений оцениваемый показатель был сопоставим, не выходя за пределы 62 и 62% соответственно ($p=0,875$).

Заключение: Технология «замороженный хобот слона» при лечении больных с расслоением аорты является перспективным видом лечения и характеризуется удовлетворительными ранними и отсроченными результатами у данной категории лиц.

Ключевые слова: расслоение аорты • дуга аорты • «хобот слона» • «замороженный хобот слона» • летальность • реоперация • негативное ремоделирование

Поступила в редакцию: 16.10.2023; поступила после доработки: 06.11.2023; принята к печати: 20.11.2023

Для корреспонденции: Лелик Евгения Владимировна, e-mail: eva00@list.ru; адрес: НИИ кардиологии Томского НИМЦ, ул. Киевская д. 111А, г. Томск, Томская обл., Российская Федерация, 634012

CONVENTIONAL AND HYBRID AORTIC ARCH REPAIR FOR AORTIC DISSECTION

Aortic Dissection Repair

B.N. Kozlov¹, D.S. Panfilov¹, V.L. Lukinov², N.O. Panfilova³, E.V. Lelik¹✉

¹ Research Institute of Cardiology, Tomsk National Research Medical Center, Kyiv St. 111A, Tomsk, Tomsk Region, Russian Federation, 634012

² Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IBMiMG SB RAS), Academician Lavrentyev Ave. 6, Novosibirsk, Russian Federation, 630090

³ State Healthcare Institution Novokuznetsk City Clinical Hospital No. 29 named after A.A. Lutsik, Maurice Thorez St. 22Zh, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russian Federation, 654038

Central Message

A comparative assessment of the early and long-term outcomes of patients with aortic dissection undergoing either the frozen elephant trunk procedure or the aortic arch reconstruction was performed.

The frozen elephant trunk procedure is a promising alternative to treat patients with aortic dissection that has demonstrated optimal early and long-term results.

Abstract

Aim: To conduct comparative analysis of the early and long-term results of surgical reconstruction of the aortic arch with and without the “Frozen elephant trunk” technique in patients with aortic dissection.

Methods: A retrospective study has been conducted, 72 patients with acute and chronic aortic dissection who underwent surgical treatment were enrolled. All patients were divided into two groups. Group I (non-FET, n=17) consisted of patients who underwent conventional reconstructive surgery without using the “Frozen elephant trunk” technique. Group II (FET, n=55) included patients who underwent the “Frozen elephant trunk” procedure. A comparative analysis of early and mid-term postoperative results was carried out.

Results: In the early postoperative period in the non-FET and FET groups, the incidence of transient neurological complications was 0 vs. 3.6% ($p>0.999$) and cerebral stroke was 0 vs. 3.6% ($p>0.999$). Paraplegia was not noted in any of the groups. The need for prolonged respiratory support after surgery was recorded in 82.4% of cases in patients in the non-FET group and in 17.6% in the FET group ($p<0.001$). Acute kidney injury was diagnosed in 17.6% and 5.9% in the non-FET and FET groups, respectively ($p=0.601$).

Early postoperative mortality in the non-FET group was 17.6%, in the FET group – 7.3% ($p=0.344$). Patient survival for 5 years after surgery was 71% in the non-FET group and 76% in the FET group. Freedom from distal aortic reintervention was 86% in the non-FET group and 100% in the FET group ($p=0.861$). Freedom from negative remodeling of the thoracoabdominal aorta in the non-FET and FET groups reached comparable values, not exceeding 62 and 62%, respectively ($p=0.875$).

Conclusion. The “Frozen elephant trunk” technique in the treatment of patients with aortic dissection is promising and characterized by satisfactory early and long-term results in this category of patients.

Keywords: aortic dissection • aortic arch • elephant trunk • frozen elephant trunk • mortality • reoperation • negative remodeling

Received: 16.10.2023; review round 1: 06.11.2023; accepted: 20.11.2023

Corresponding author: Lelik Evgenia V., e-mail: eva00@list.ru; address: Research Institute of Cardiology, Tomsk National Research Medical Center, Kyiv St. 111A, Tomsk, Tomsk Region, Russian Federation, 634012

Введение

На сегодняшний день хирургическая реконструкция дуги аорты при её расслоении является одним из актуальных вопросов в кардиохирургии. «Золотым стандартом» оперативного вмешательства при таком поражении является протезирование [1]. Однако объем необходимого хирургического вмешательства является до конца нерешенной проблемой.

Предложенная Borst H.G. процедура «хобот слона» зарекомендовала себя как адекватный способ протезирования дуги аорты, которая упрощает дальнейшую реконструкцию торакоабдоминального отдела аорты, что является одним из важных преимуществ перед традиционным протезированием дуги аорты [2]. Одновременно с этим двухэтапное вмешательство имеет серьезный недостаток: высокую летальность не только после второго этапа (2,6–33%), но также в период ожидания операции (9–25%) [3]. Альтернативным вариантом вмешательства на дуге аорты является процедура «замороженный хобот слона», при которой сочетаются открытый и эндоваскулярный этапы лечения. Первые непосредственные результаты продемонстрировали высокую эффективность и перспективность такого подхода [4,5]. Однако, в отдаленной перспективе результаты применения данной технологии изучены недостаточно [6,7].

Целью исследования является сравнение ранних и среднесрочных результатов хирургической реконструкции дуги аорты с использованием технологии «замороженный хобот слона» и без нее у пациентов с расслоением аорты.

Материалы и методы

В одноцентровое ретроспективное исследование включено 72 пациента с острым и хроническим расслоением аорты типов А и В по Стэнфордской классификации, перенесших хирургическое лечение в нашем центре в период с января 2008 по декабрь 2018 гг. Все пациенты были разделены на две группы в зависимости от проведенного объема вмешательства. I группу пациентов (non-FET, n=17) составили пациенты, которым была выполнена «традиционная» реконструктивная операция без использования технологии «замороженный хобот слона». Во II группу пациентов (FET, n=55) были включены пациенты, которым было выполнено реконструктивное хирургическое вмешательство с использованием технологии «замороженный хобот слона».

Все данные собирались до операции, на интраоперационном этапе, а также в раннем и отсроченном послеоперационном периодах. В отсроченном периоде наблюдения сбор данных осуществлялся на основании визитов пациентов в стационар с проведением инструментальных

обследований. При невозможности госпитализации в стационар данные обследования пациентов были получены из копий медицинских обследований, заключений проведенных методов обследования, заполненных опросников, присланных по почте, в том числе, электронной. Критериями исключения из исследования были: онкологические заболевания III–IV стадий, терминальная хроническая сердечная недостаточность, острый инфаркт миокарда, не обусловленный острой аортальной патологией, геморрагический инсульт.

Мультиспиральная компьютерная томография

Мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) аорты выполняли на 64-срезовом сканнере GE Discovery NM/CT 570C (General Electric Healthcare, США) со следующими параметрами: 200 мА 120 кВт. Изображения были реконструированы с толщиной среза 1,25 мм. Каждое сканирование начинали с бесконтрастного режима исследования от угла нижней челюсти до тазобедренного сустава, затем выполняли контрастный режим исследования той же области. Инъекцию контрастного вещества (Йомерон 400) со скоростью 4 мл/с проводили через локтевую вену правой руки при помощи автоматического инжектора. Общий объем контраста рассчитывали в зависимости от веса пациента в расчете 1 мл/1 кг. Задержка сканирования ранней фазы составляла 15–20 с, отсроченной фазы – 120–180 с. С целью лучшей визуализации корня аорты и восходящего отдела, а также для исключения артефактов выполняли ЭКГ-синхронизированное исследование от угла нижней челюсти до диафрагмы.

Для анализа ремоделирования аорты была использована сегментарная схема, где сегмент А – расстояние от дистального аортального анастомоза до уровня левого предсердия (у больных группы FET это соответствовало уровню имплантированного стент-графта), сегмента В – интервал от нижнего края стент-графта до уровня чревного ствола (или от уровня левого предсердия до чревного ствола у пациентов группы non-FET), сегмент С – участок сегмент аорты от уровня чревного ствола до бифуркации аорты.

Всем пациентам выполняли МСКТ-аортографию с контрастированием на одних и тех же уровнях измерения до и после хирургического вмешательства. Оценка и анализ полученных результатов всех исследований базировались на основе консенсуса между двумя опытными специалистами. У выписанных из стационара пациентов последующие контрольные исследования выполняли через каждые 6 месяцев в течение первого года, затем ежегодно.

У всех пациентов оценивали степень тромбоза ложного канала в торакоабдоминальном отделе аорты. Для оценки динамики состояния торако-

абдоминальной аорты после аортальных вмешательств (общий, истинный и ложный каналы) использовали классификацию, в которой выделяли позитивное, стабильное и негативное ремоделирование. Позитивное ремоделирование аорты определяли при увеличении размеров истинного канала на 10% от исходного уровня на фоне стабильного общего просвета аорты или сокращения его на 10%. К стабильному ремоделированию аорты отнесены состояния, при которых изменения общего или ложного просвета не превышали 10% от исходных значений. Негативное ремоделирование аорты оценивали при уменьшении размеров истинного канала или при увеличении общего просвета аорты более чем на 10%.

Техника хирургического вмешательства

Хирургическое вмешательство проводили в условиях умеренной гипотермии (25–28 °C) и унилатеральной антеградной церебральной перфузии головного мозга (АПГМ) через брахиоцефальный ствол со скоростью потока 8–10 мл/кг.

У пациентов группы non-FET после достижения целевой температуры и инициации циркуляторного ареста открывали просвет дуги аорты, верифицировали истинный и ложный каналы аорты. Иссекали интимомедиальный лоскут на максимальном протяжении и затем опускали инвагинированный сосудистый протез в нисходящую аорту на расстояние 5–8 см. Затем формировали дистальный аортальный анастомоз за левой подключичной артерией. После завершения формирования анастомоза осуществляли обратную тракцию сосудистого протеза.

У пациентов группы FET после вскрытия просвета аорты проводили ревизию аорты с верификацией истинного и ложного каналов и антеградно погружали гибридный стент-графт (E-vita Open Plus (Jotec GmbH, Германия) и МедИнж (ЗАО «НПП МедИнж», Россия) в истинный канал нисходящего отдела аорты. При всех операциях имплантировали гибридный протез с длиной стент-графта 150 мм. Диаметр графта варьировал от 24 до 30 мм. Затем извлекали систему доставки стент-графта и осуществляли шовную фиксацию проксимальной части стент-графта к стенке дуги аорты. После выполнения дистального анастомоза осуществляли тракцию сосудистого протеза из стент-графта, и имплантировали стент-графт в нисходящую аорту, фиксируя его к стенке аорты непрерывным швом.

После этого реимплантировали супрааортальные сосуды. У больных с расслоением аорты в группе FET реконструкцию супрааортальных сосудов осуществляли преимущественно с применением наиболее быстрой и удобной «островковой» техники (76,5%). Полный дебринг дуги аорты в группе FET выполняли достоверно реже (5,9%) по сравнению с группой non-FET (52,9%) ($p=0,007$). По завершении данного этапа возобновляли искусственное кровообращение (ИК) с одно-

временным согреванием пациента. В этот период реконструировали проксимальный отдел аорты и при необходимости выполняли сопутствующие кардиохирургические вмешательства. В 17(23,6%) случаях были выполнены сочетанные кардиохирургические вмешательства. Так, в 5(6,9%) случаях пациентов с расслоением аорты было выполнено шунтирование коронарных артерий. У 11(15,3%) пациентов была проведена одномоментная реконструкция корня аорты (процедура Bentall-DeBono), из них в 5(45%) случаях данная процедура была выполнена в сочетании с аорто-коронарным шунтированием. В 1(1,4%) случае потребовалось протезирование аортального клапана. У 7 (9,7%) человек был выполнен повторный доступ к сердцу вследствие проведенного ранее кардиохирургического вмешательства.

Статистический анализ

Все статистические расчёты проводились в программе Rstudio 1.0.136, (RStudio, Inc., США) на языке R (версии 3.3.1).

Эмпирические распределения данных испытывались на согласие с законом нормального распределения по критериям Шапиро – Уилка. Для показателей, характеризующих качественные признаки, указывалось абсолютное число (n) и относительная величина (%). Количественные показатели, подчиняющиеся нормальному закону распределения, описывали с помощью среднего значения (M) и стандартного отклонения ($\pm SD$). При неизвестном законе распределения данных дескриптивные характеристики были представлены в виде медианы (Me) [первый квартиль; третий квартиль] для числовых данных, процент [нижняя граница 95% ДИ; верхняя граница 95% ДИ] для категориальных данных с вычислением границ доверительных интервалов (ДИ) по формуле Вильсона. Для статистической проверки гипотез о равенстве числовых характеристик выборочных распределений в двух сравниваемых группах использовался непарный U-критерий Манна-Уитни. Для сравнения числовых характеристик выборочных распределений более чем в двух независимых группах использовали критерий Фридмана. Для сравнения бинарных и категориальных показателей применялся точный двусторонний критерий Фишера.

Вследствие разнородности дооперационных показателей в когорте пациентов было применено выравнивание больных методом псевдорандомизации (Propensity score matching) по методу «ближайшего соседа» (Nearest Neighbor Matching). После вычисления баллов склонности пациенты были секвенированы случайным образом и сопоставлены в соотношении 1:1, используя калибр 0,25.

Анализ выживаемости, свободы от реинтервенций и негативного ремоделирования дистальных отделов аорты у оперированных пациентов проводили по методу Kaplan-Meier, сравнение

Таблица 1. Дооперационные характеристики пациентов
Table 1. Preoperative clinical and demographic data of patients

Показатель / Parameter	До PSM / Before PSM		p	После PSM / After PSM		p	
	non-FET (n=17)	FET (n=55)		non-FET (n=17)	FET (n=17)		
Возраст, лет / Age, years	51,5±14,4	54,5±9,8	0,494	51,5±14,4	50,5±10,9	0,666	
Мужской пол / Males, n (%)	13 (76,5%)	38 (69,1%)	0,762	13 (76,5%)	11 (64,7%)	0,708	
Нозологические формы расслоения аорты / Aortic dissection types							
РА / AD, n (%)	Тип А / Type A	16 (94,1%)	31 (56,4%)	0,004	16 (94,1%)	11 (64,7%)	0,085
	Тип В / Type B	1 (5,9%)	24 (43,6%)		1 (5,9%)	6 (35,3%)	
РА тип А / Type A AD, n (%)	Острое / Acute	9 (52,9%)	12 (21,8%)	0,003	9 (52,9%)	5 (29,4%)	0,093
	Подострое / Subacute	2 (11,8%)	11 (20%)		2 (11,8%)	4 (23,5%)	
	Хроническое / Chronic	5 (29,4%)	8 (14,5%)		5 (29,4%)	2 (11,8%)	
РА тип В / Type B AD, n (%)	Острое / Acute	0	5 (9,1%)	0,037	0	3 (17,6%)	0,1
	Подострое / Subacute	0	8 (14,5%)		0	0	
	Хроническое / Chronic	1 (5,9%)	11 (20%)		1 (5,9%)	3 (17,6%)	
Сопутствующая патология / Comorbidities							
ИБС / CAD, n (%)		0	12 (21,8%)	0,057	0	1 (5,9%)	>0,999
ПИКС / PICS, n (%)		0	3 (5,5%)	>0,999	0	0	>0,999
Синдром Марфана / Marfan syndrome, n (%)		0	2 (3,6%)	>0,999	0	1 (5,9%)	>0,999
Артериальная гипертензия/ Arterial hypertension, n (%)		11 (64,7%)	43 (78,2%)	0,338	11 (64,7%)	14 (82,4%)	0,438
Нарушение мозгового кровообращения в анамнезе / Prior stroke, n(%)		0	3 (5,5%)	>0,999	0	1 (5,9%)	>0,999
Фибрилляция предсердий / Atrial fibrillation, n (%)		1 (5,9%)	8 (14,5%)	0,676	1 (5,9%)	4 (23,5%)	0,335

Недостаточность AoK / AoV insufficiency, n (%)	Нет / None	11 (64,7%)	23 (41,8%)	0,213	11 (64,7%)	6 (35,3%)	0,195
	Легкая / Mild	2 (11,8%)	14 (25,5%)		2 (11,8%)	5 (29,4%)	
	Умеренная / Moderate	1 (5,9%)	1 (1,8%)		1 (5,9%)	0	
	Выраженная / Severe	3 (17,6%)	17 (30,9%)		3 (17,6%)	6 (35,3%)	
Сахарный диабет / Diabetes, n (%)		3 (17,6%)	4 (7,3%)	0,344	3 (17,6%)	2 (11,8%)	1
ХОБЛ / COPD, n (%)		0	4 (7,3%)	0,566	0	0	>0,999
ХБП / CKD, n (%)	1-я степень / grade 1	10 (58,8%)	9 (16,4%)	<0,001*	10 (58,8%)	6 (35,3%)	0,324
	2-я степень / grade 2	3 (17,6%)	28 (50,9%)		3 (17,6%)	4 (23,5%)	
	3-я степень / grade 3	4 (23,5%)	10 (18,2%)		4 (23,5%)	6 (35,3%)	
	4-я степень / grade 4	0	2 (3,6%)		0	1 (5,9%)	
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, µmol/l		76±10,5	108,2±38,8	<0,001	76±10,5	91,4±25,1	0,09

Примечание: AoK – аортальный клапан, ИБС – ишемическая болезнь сердца, ПИКС – постинфарктный кардиосклероз, РА – расслоение аорты, ХБП – хроническая болезнь почек, ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких

Note: AoV – aortic valve, CAD – coronary artery diseases, PICS – post-infarction cardiosclerosis, AD – aortic dissection, CKD – chronic kidney disease, COPD – chronic obstructive pulmonary disease

кривых проводили с использованием log-rank теста. Проверку статистических гипотез проводили при критическом уровне значимости $p=0,05$.

Результаты

При анализе антропометрических параметров, а также структуры сопутствующей и фоновой патологии в когорте пациентов не было выявлено значимых межгрупповых различий (табл. 1). Средний возраст пациентов составил 50 лет. Среди пациентов преобладали больные с расслоением аорты типа А. Частота манифестации острой и подострой/хронической формы диссекции аорты была сопоставимой. Артериальная гипертензия была одной из наиболее часто встречающихся фоновых патологий – 75% случаев.

У анализируемой группы пациентов оценивали протяженность диссекции интимомедиального лоскута от уровня проксимальной фенестрации. Так, в 50% случаев дистальный уровень расслоения аорты достигал подвздошно-бедренного сегмента. При этом у 26,4% всех больных с

расслоением аорты диссекция распространялась в ретроградном направлении на проксимальные отделы относительно первичного разрыва интимы (табл. 2).

Интраоперационный период

Анализ интраоперационных характеристик выявил факт статистически значимого сокращения длительности искусственного кровообращения (ИК), циркуляторного ареста и всей операции у пациентов группы FET относительно группы non-FET (таблица 3).

Ранний послеоперационный период

В раннем послеоперационном периоде частота проходящих неврологических осложнений ($p>0,999$) и церебральных инсультов ($p>0,999$) была сопоставима. Стоит отметить, что нарушения мозгового кровообращения со стойким неврологическим дефицитом были диагностированы только у пациентов группы FET. Спинальных осложнений не было отмечено ни в од-

Таблица 2. Протяженность диссекции у обсуждаемых пациентов
Table 2. Aortic dissection length

Показатель / Parameter		До PSM / Before PSM		p	После PSM / After PSM		p
		non-FET (n=17)	FET (n=55)		non-FET (n=17)	FET (n=17)	
Ретроградная диссекция / Retrograde dissection, n (%)		5 (29,4%)	14 (21%)	0,831	5 (29,4%)	5 (29,4%)	0,175
Дистальный уровень РА / Distal AD, n (%)	Aortic arch	7 (41,2%)	6 (10,9%)	0,009*	7 (41,2%)	4 (23,5%)	0,259
	Descending aorta	0	11 (20%)	0,104	0	4 (23,5%)	0,103
	Abdominal aorta	3 (9,4%)	9 (16,4%)	0,714	3 (9,4%)	1 (5,9%)	0,601
	Iliofemoral segment	7 (41,2%)	29 (52,7%)	0,58	7 (41,2%)	8 (47,1%)	>0,999

Примечание: РА – расслоение аорты
Note: AD – aortic dissection

ной из групп.

В группе non-FET были диагностированы 2(11,7%) случая периоперационного инфаркта миокарда, а в группе FET данного осложнения отмечено не было. Однако различия между сравниваемыми группами не достигли порога статистической значимости ($p=0,485$).

Потребность в продленной дыхательной поддержке после операции была значимо чаще отмечена у пациентов группы non-FET (82,4% против 17,6%, $p<0,001$). Увеличение потребности ряда пациентов в искусственной вентиляции легких отразилось на средней продолжительности нахождения больных в палате интенсивной терапии, которая составила в группе non-FET 7 [3; 8] суток, в группе FET – 4 [3; 9] суток ($p=0,703$).

При межгрупповом сравнении не было отмечено различий в частоте реопераций, обусловленных послеоперационными кровотечениями ($p>0,999$).

Острое повреждение почек была диагностирована чаще у больных группы non-FET, чем у пациентов группы FET (17,6% против 5,9%, $p=0,601$).

Ранняя послеоперационная летальность в группе non-FET составила 17,6% (3 случая), а в группе FET – 7,3% (4 случая) ($p=0,344$). Госпитальная летальность в обеих группах также была сопоставима – 17,6% (3 случая) группе non-FET против 14,5% (8 случаев) в группе FET ($p>0,714$). Причинами смерти в раннем послеоперационном периоде были: периоперационный инфаркт миокарда (3 случая) у пациентов группы non-FET, у больных группы FET – разрыв брюшной аорты на 5-е сутки

(1 случай), синдром полиорганной недостаточности (5 случаев), геморрагический шок (2 случая).

Выживаемость больных с расслоением аорты в 30-дневный период после операции в группе non-FET до PSM составила 82%, в группе FET – 93%. После PSM анализируемых групп анализируемый показатель достиг уровня 82% в группе non-FET и 94% в группе FET (Рис. 1, 2).

Среднесрочный послеоперационный период

Оцениваемая кумулятивная выживаемость пациентов в течение 5 лет после операции до PSM составила 76% в группе non-FET и 73% в группе FET (Рис. 3). Причинами смерти больных в среднесрочном периоде в группе non-FET (1 случай) явился разрыв торакоабдоминального отдела аорты через 6 месяцев после операции, в группе FET (4 случая) – тромбоэмболия легочной артерии, сердечная недостаточность, инсульт, сепсис. Таким образом, среди пациентов группы FET не было орто-ассоциированных летальных случаев по сравнению с группой non-FET.

После PSM выживаемость пациентов в соответствии с построенной кривой Kaplan-Meier составила 71% в группе non-FET, в группе FET – 76% (Рис. 4).

В сроки наблюдения до 5 лет ни у одного из пациентов не потребовалось проведения повторных проксимальных аортальных реконструкций. Однако за анализируемый период времени в обеих группах пациентов всего было выполнено 6 повторных вмешательств на торакоабдоминальном отделе аорты: 2(11,8%) – в группе non-FET и 4(7,3%) – в группе FET.

Таблица 3. Интраоперационные характеристики
Table 3. Intraoperative data

До PSM / Before PSM				
Показатель / Parameter	non-FET (n=17)	FET (n=55)	Разница медиан [95% ДИ] / Difference in medians [CI 95%]	p
Время ИК, мин / CPB time, min	391,3±123,8	215,8±63,3	–149 [–180; –115]	<0,001
Сердечный арест, мин / Cross-clamp time, min	146 [144; 200]	150 [104,5; 180]	–16 [–45; 16]	0,418
ЦА, мин / CA, min	56,1±22,1	41,2±15,5	–15 [–25; –2]	0,011
АПГМ, мин / АСР, min	56,1±22,1	61,3±22	5 [–7; 15]	0,367
Продолжительность операции, мин / Duration of surgery, min	664,7±156,7	420,9±107	–260 [–330; –150]	<0,001
После PSM / After PSM				
Показатель / Parameters	non-FET (n=17)	FET (n=17)	Разница медиан [95% ДИ] / Difference in medians [CI 95%]	p
Время ИК, мин / CPB time, min	391,3±123,8	229,8±82,9	–142 [–192; –101]	<0,001
Сердечный арест, мин / Cross-clamp time, min	146 [144; 200]	170 [118; 176]	5 [–44; 27]	>0,999
ЦА, мин / CA, min	56,1±22,1	43,7±17,8	–13 [–26; 3]	0,075
АПГМ, мин / АСР, min	56,1±22,1	59,5±9,7	6 [–10; 17]	0,178
Продолжительность операции, мин / Duration of surgery, min	664,7±156,7	432,4±102,9	–240 [–330; –120]	<0,001

Примечание: АПГМ – антеградная перфузия головного мозга, ДИ – доверительный интервал, ИК – искусственное кровообращение, ОШ – отношение шансов, ЦА – циркуляторный арест

Note: АСР – antegrade cerebral perfusion, CI – confidence interval, CPB – cardiopulmonary bypass, OR – odds ratio, CA – circulatory arrest

Свобода от всех дистальных аортальных реинтервенций до PSM составила 86% в группе non-FET и 84% в группе FET (p=0,514). Однако после псевдорандомизации оцениваемый показатель изменился в пользу процедуры «за-

мороженный хобот слона» – 86% против 100% (p=0,861) (Рис. 5, 6).

Важно подчеркнуть, что в группе non-FET реоперация представляла собой открытое реконструктивное вмешательство на торакоабдоми-

Таблица 4. Ранний послеоперационный период
Table 4. Early postoperative period

До PSM / Before PSM					
Показатель / Parameters	non-FET, n (%) (n=17)	ОШ [95% ДИ] / OR [CI 95%]	FET, n (%) (n=55)	ОШ [95% ДИ] / OR [CI 95%]	p
ТИА / TIA	0	0%; 18%	2 (3,6%)	1%; 12%	>0,999
Инсульт / Stroke	0	0%; 18%	2 (3,6%)	1%; 12%	>0,999
Делирий / Delirium	0	0%; 18%	3 (5,5%)	2%; 15%	>0,999
Параплегия / Paraplegia	0	0%; 18%	0	0%; 10%	>0,999
Инфаркт миокарда / Myocardial infarction	2 (11,7%)	3%; 34%	0	0%; 7%	0,053
ИВЛ до 7 суток / MV up to 7 days	14 (82,4%)	59%; 94%	18 (32,7%)	22%; 46%	<0,001
Продленная ИВЛ (более 7 суток) / Prolonged MV (over 7 days)	1 (5,9%)	1%; 27%	16 (29,1%)	19%; 42%	0,056
Рестернотомия (кровотечение) / Revision (bleeding)	1 (5,9%)	1%; 27%	2 (3,6%)	1%; 12%	0,560
Острое почечное повреждение / Acute kidney injury	3 (17,6%)	6%; 41%	13 (23,6%)	14%; 36%	0,746
Синдром полиорганной недостаточности / Multiple organ dysfunction	1 (5,9%)	1%; 27%	8 (14,5%)	8%; 26%	0,676
30-дневная летальность / 30-day mortality	3 (17,6%)	6%; 41%	4 (7,3%)	3%; 17%	0,344
Госпитальная летальность / In-hospital mortality	3 (17,6%)	6%; 41%	8 (14,5%)	8%; 26%	0,714

нальном отделе аорты. В группе FET повторная операция заключалась в выполнении рено-висцерального дебрининга и одномоментного протезирования брюшного отдела аорты с последующей имплантацией стент-графтов в торакоабдоминальный отдел аорты.

У обсуждаемых пациентов также оценивали свободу от негативного ремоделирования торакоабдоминальной аорты. Так, в обеих группах до и после PSM в группах non-FET и FET оцениваемый показатель был сопоставим, не выходя за пределы 62–67% (Рис. 7, 8).

После PSM / After pSM					
Показатель / Parameter	non-FET, n (%) (n=17)	ОШ [95% ДИ] / OR [CI 95%]	FET, n (%) (n=17)	ОШ [95% ДИ] / OR [CI 95%]	p
ТИА / TIA	0	0%; 18%	0	0%; 18%	>0,999
Инсульт / Stroke	0	0%; 18%	1 (5,9%)	1%; 27%	>0,999
Делирий / Delirium	0	0%; 18%	1 (5,9%)	1%; 27%	>0,999
Параплегия / Paraplegia	0	0%; 18%	0	0%; 18%	>0,999
Инфаркт миокарда / Myocardial infarction	2 (11,7%)	3%; 34%	0	0%; 18%	0,485
ИВЛ до 7 суток / MV up to 7 days	14 (82,4%)	59%; 94%	3 (17,6%)	6%; 41%	<0,001
Продленная ИВЛ (более 7 суток) / Prolonged MV (over 7 days)	1 (5,9%)	1%; 27%	3 (17,6%)	6%; 41%	0,601
Рестернотомия (кровотечение) / Revision (bleeding)	1 (5,9%)	1%; 27%	1 (5,9%)	1%; 27%	>0,999
Острое почечное повреждение / Acute kidney injury	3 (17,6%)	6%; 41%	1 (5,9%)	1%; 27%	0,601
Синдром полиорганной недостаточности / Multiple organ dysfunction	1 (5,9%)	1%; 27%	1 (5,9%)	1%; 27%	>0,999
30 дневная летальность / 30-day mortality	3 (17,6%)	6%; 41%	1 (5,9%)	1%; 27%	0,601
Госпитальная летальность / In-hospital mortality	3 (17,6%)	6%; 41%	2 (11,7%)	3%; 34%	>0,999

Примечание: ТИА – транзиторные ишемические атаки, ИВЛ – искусственная вентиляция легких
Note: TIA – transient ischemic attacks, MV – mechanical ventilation

Обсуждение

В середине 90-х годов японскими хирургами был предложен рационализированный вариант процедуры Borst, который объединил в себе идеи открытого хирургического и эндоваскулярного лечения. Новая технология, названная

«замороженный хобот слона» («frozen elephant trunk»), заключалась в имплантации в нисходящую аорту самораскрывающегося стент-графта с последующим открытым протезированием дуги аорты. Такая технология позволила в один этап реконструировать дугу аорты и стабилизировать

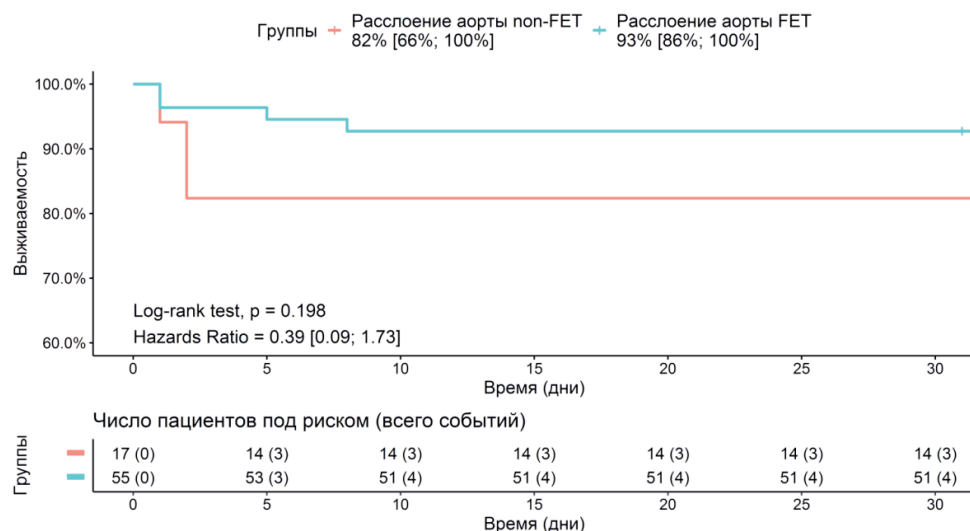


Рисунок 1. Кривая выживаемости Kaplan-Meier пациентов в группах non-FET и FET в течение 30 суток после операции (до PSM)

Figure 1. Kaplan-Meier survival curve in the non-FET and FET groups within 30 days after surgery (before PSM)

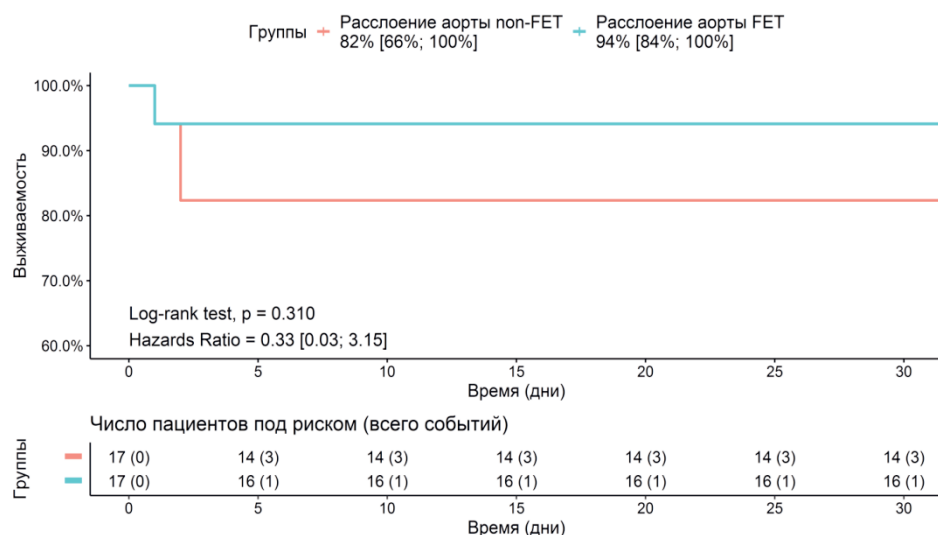


Рисунок 2. Кривая выживаемости Kaplan-Meier пациентов в группах non-FET и FET в течение 30 суток после операции (после PSM)

Figure 2. Kaplan-Meier survival curve in the non-FET and FET groups within 30 days after surgery (after PSM)

нисходящий отдел на протяжении, в то время как классический «хобот слона» не обеспечивал такого эффекта [8]. Обнадешивающие результаты, полученные пионерами технологии, дали серьезный импульс развитию хирургии дуги аорты в гибридном направлении.

Несмотря на растущий опыт открытых и гибридных операций при расслоении аорты, до сих пор не предложено единой обоснованной позиции относительно оптимального объема вмешательства у пациентов с диссекцией и/или аневризматической трансформацией аорты на большом протяжении. Одной из причин этого, является недостаток работ и противоречивый характер исследований, посвященных сравнительному ана-

лизу ранних и отделенных результатов операций FET и non-FET [9, 10, 11]. С учетом этого, мы провели сравнительный анализ «традиционной» и гибридной реконструкции дуги аорты у пациентов с расслоением аорты в отношении неврологических, респираторных, геморрагических, почечных осложнений, а также летальности и свободе от реопераций в раннем и среднесрочном послеоперационном периоде.

Согласно полученным результатам исследования, частота проходящих нарушений мозгового кровообращения в раннем послеоперационном периоде была сопоставима в группах non-FET и FET (0 против 5,9%, $p > 0,999$). Однако, литературные данные относительно частоты послеопераци-

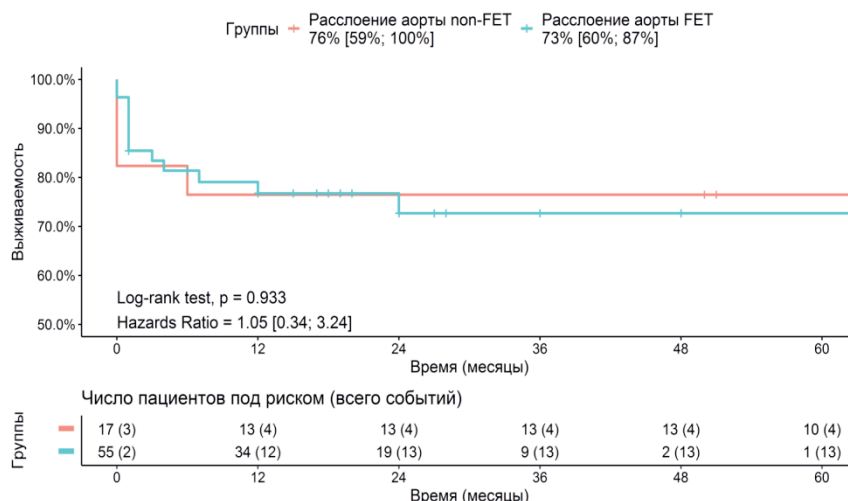


Рисунок 3. Кривая выживаемости Kaplan-Meier у пациентов с расслоением аорты в группах non-FET и FET в течение 5 лет после операции (до PSM)

Figure 3. Kaplan-Meier survival curve in the non-FET and FET groups within 5 years after surgery (before PSM)

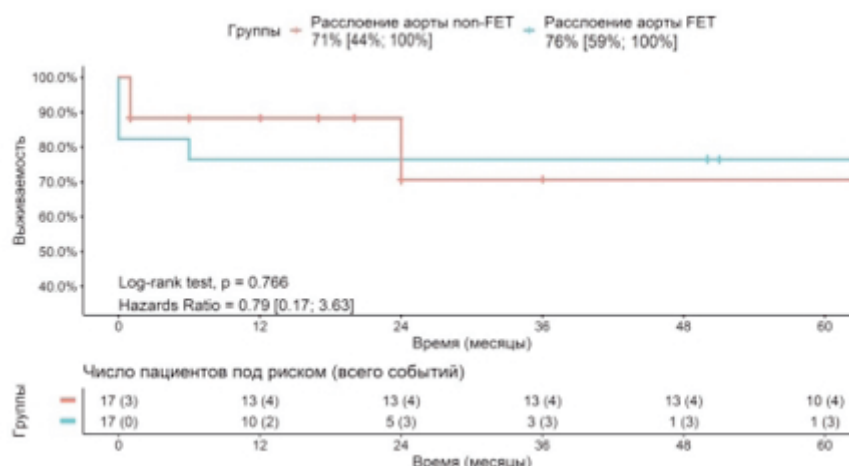


Рисунок 4. Кривая выживаемости Kaplan-Meier у пациентов с расслоением аорты в группах non-FET и FET в течение 5 лет после операции (после PSM)

Figure 4. Kaplan-Meier survival curve in the non-FET and FET groups within 5 years after surgery (after PSM)

онного неврологического дефицита разноречивы. Так, Mkalaluh S. et al. [12] отметили увеличение частоты переходящих нарушений в группе гибридного подхода по сравнению с классической процедурой (20% против 12%, $p=0,702$). В то же время Leontyev S. et al. [13] сообщили о противоположных результатах: частота переходящих нарушений в группе non-FET выше, чем в группе FET (18,4% против 8,7%, $p=1,0$).

Также в литературе описывается противоречивая картина при анализе частоты послеоперационных инсультов. Так, по данным Чарчян Э.Р. и соавт. [14], частота нарушений мозгового кровообращения со стойким неврологическим дефицитом была отмечена у 3,4% пациентов в группе

гибридного лечения, при этом в группе классической реконструкции дуги аорты подобное осложнение было зарегистрировано в 4,5% случаев ($p=0,831$). Результаты группы исследователей из Лейпцига [15] также показали, что технология «замороженный хобот слона» по сравнению с классическим «хоботом слона» позволила сократить частоту церебральных инсультов с 16% до 13% ($p=0,6$). В то же время, сравнивая ближайшие результаты двух методик, Mkalaluh S. et al. [16] выявили 3-кратное увеличение частоты инсультов у пациентов группы FET (24% против 8%, $p=0,123$). В настоящей работе у обсуждаемых пациентов не было выявлено статистически значимых различий в отношении развития стойких неврологиче-

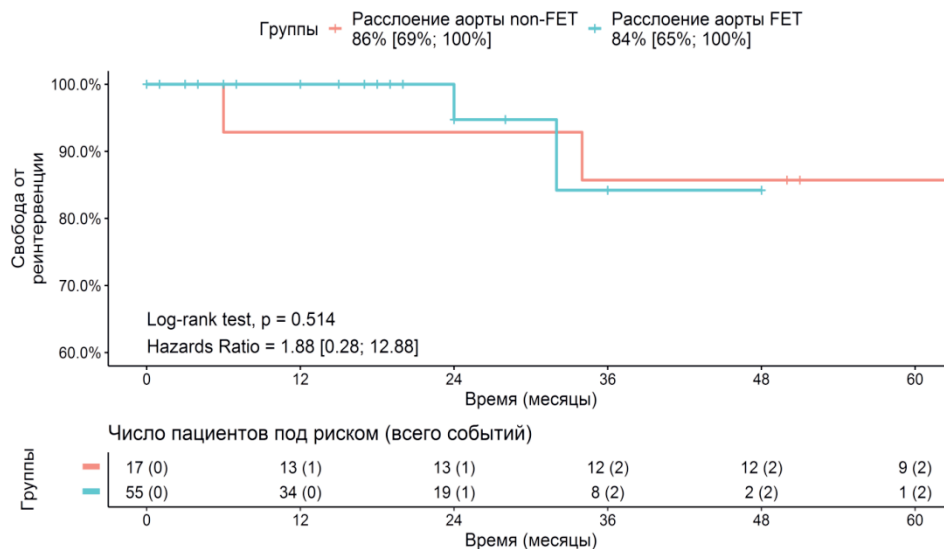


Рисунок 5. Кривая свободы от всех дистальных реинтервенций Kaplan-Meier в группах non-FET и FET в течение 5 лет после операции (до PSM)

Figure 5. Kaplan-Meier curve for the freedom from all distal reinterventions in the non-FET and FET groups within 5 years after surgery (before PSM)

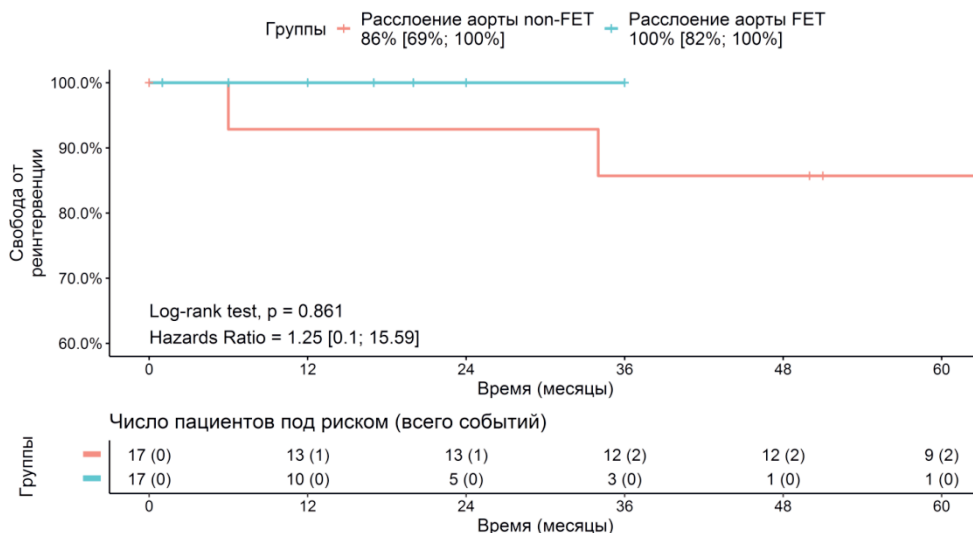


Рисунок 6. Кривая свободы от всех дистальных реинтервенций Kaplan-Meier в группах non-FET и FET в течение 5 лет после операции (после PSM)

Figure 6. Kaplan-Meier curve for the freedom from all distal reinterventions in the non-FET and FET groups within 5 years after surgery (after PSM)

ских нарушений между группами.

Не менее значимой проблемой в хирургии дуги аорты является развитие осложнений, обусловленных спинальной ишемией в раннем послеоперационном периоде. Так, после выполнения классического «хобота слона» частота параплегий варьирует в пределах 0,4–2,8% [17], а после FET-процедуры может достигать 24%, в среднем составляя 8–9% [18,19]. Представленный в литературе сравнительный анализ ишемических

осложнений со стороны спинного мозга после FET и non-FET процедуры выявил многократное увеличение параплегии в группе гибридного вмешательства относительно классической операции – с 4% до 21,7% ($p < 0,001$) [20]. В нашей серии наблюдений не было выявлено случаев параплегии в послеоперационном периоде.

Известно, что развитие геморрагических осложнений в раннем послеоперационном периоде, требующих реоперации,кратно увеличивает

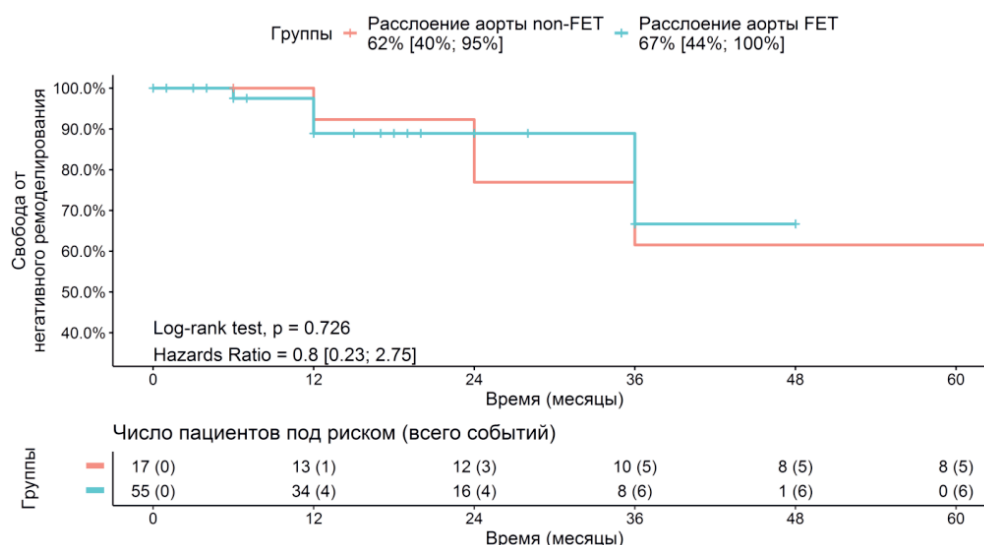


Рисунок 7. Кривая свободы от негативного дистального ремоделирования торакоабдоминальной аорты Kaplan-Meier в группах non-FET и FET в течение 5 лет после операции (до PSM)

Figure 7. Kaplan-Meier curve for the freedom from negative distal remodeling of the thoracoabdominal aorta in the non-FET and FET groups within 5 years after surgery (before PSM)

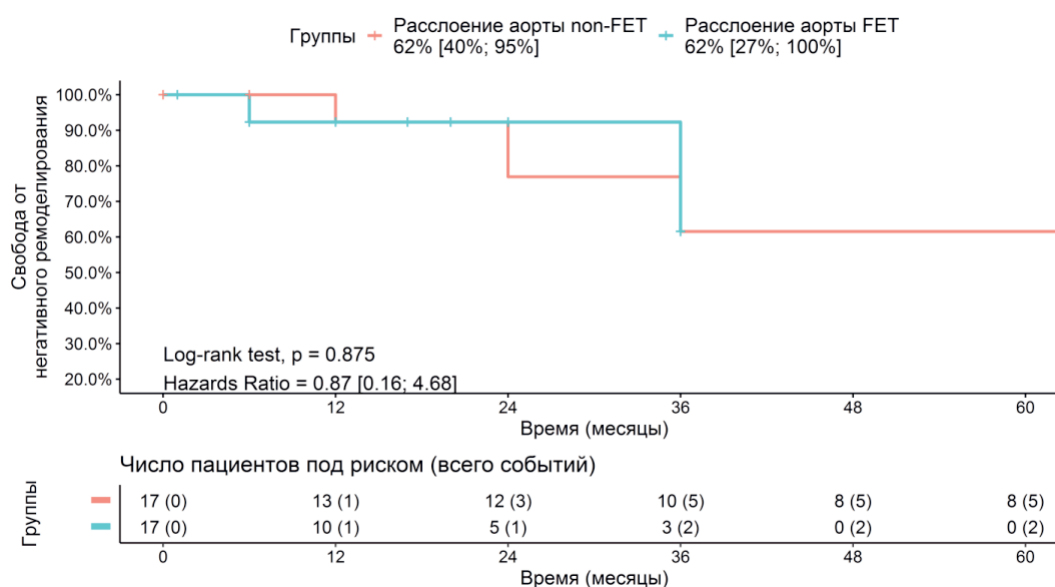


Рисунок 8. Кривая свободы от негативного дистального ремоделирования торакоабдоминальной аорты Kaplan-Meier в группах non-FET и FET в течение 5 лет после операции (после PSM)

Figure 8. Kaplan-Meier curve for the freedom from negative distal remodeling of the thoracoabdominal aorta in the non-FET and FET groups within 5 years after surgery (after PSM)

риски развития острой почечной недостаточности, дыхательной недостаточности, а также госпитальной летальности [21,22]. По данным литературы, частота геморрагических осложнений при операциях на грудной аорте составляет 14–27% случаев, при этом после гибридных вмешательств их частота не превышает 13% [23,24]. В обсуждаемых нами группах не было значимых различий по частоте рестернотомии по поводу кровотечения в обеих группах (5,9% против 5,9%,

$p > 0,999$). Следование разработанному в клинике протоколу профилактики геморрагических осложнений [25] позволило сократить количество кровотечений до приемлемого уровня.

Острая почечная недостаточность, требующая проведения заместительной почечной терапии, в группах non-FET и FET была отмечена в 17,6% и 5,9% соответственно ($p = 0,601$). По данным ряда авторов, в 2–31% случаев после операции на грудной аорте требуется проведение гемодиализа.

фильтрации [26,27]. Несмотря на то, что в данной работе частота диагностированных случаев остро-го повреждения почек не выходила за рамки общемировой статистики, в группе классической аортальной реконструкции процент встречаемости негативных почечных событий был выше по сравнению таковым после FET-процедуры. Вероятно, эти данные можно интерпретировать с позиции большего количества факторов риска почечных осложнений, среди которых были большая длительность ИК и операции в целом.

Потребность в продленной дыхательной поддержке после классического вмешательства была значимо выше по сравнению с FET-процедурой (82,4% против 17,6%, $p<0,001$), что в значительной степени отразилось на длительности пребывания этих больных в палате интенсивной терапии. При этом согласно данным литературы частота дыхательной недостаточности в раннем послеоперационном периоде у пациентов из аналогичных групп сопоставима и находится в пределах 10,7–44% [28,29].

У пациентов с расслоением аорты группы FET отмечено снижение уровня ранней летальности относительно группы non-FET. Так, госпитальная летальность после классической и гибридной процедуры составила 17,6% против 11,7% ($p>0,999$), а 30-дневная летальность – 17,6% против 5,9% ($p=0,601$). Данные литературы подтверждают полученные результаты. Leontyev S. et al. [30] выявили, что технология «замороженный хобот слона» по сравнению с классическим «хоботом слона» позволила сократить госпитальную летальность с 21,6% до 8,7% ($p=0,001$). Mkalaluh S. et al., сравнивая ближайшие результаты двух методик, отметили преимущество FET-процедуры перед non-FET в отношении ранней летальности (20% против 32%, $p=0,520$) [31]. Проведенный Shrestha M. et al. [32] сравнительный анализ классической и гибридной методик «хобота слона» также выявил меньшую частоту 30-дневной летальности у пациентов с FET как при остром (40% против 15%, $p=0,004$), так и хроническом (14% против 8%, $p=0,42$) расслоении аорты.

В опубликованном Hanif et al. мета-анализе [33] по сравнению результатов после вмешательств FET и non-FET показано, что гибридное лечение ассоциировано со значимым снижением ранней послеоперационной летальности ($p=0,0007$), увеличением частоты параплегий ($p=0,02$) при сопоставимом количестве инсультов ($p=0,21$) и кровотечений, требующих реоперации ($p=0,21$). Однако результат этого мета-анализа не дает окончательного ответа о преимуществе одного метода над другим вследствие недостаточной доказательной базы из-за малого количества опубликованных сравнительных исследований.

Были проанализированы показатели выживаемости, свобода от ремоделирования аорты и аортальных реинтервенций в среднесрочном

послеоперационном периоде. Стоит отметить, что 5-летняя выживаемость была сопоставима у пациентов группы FET по сравнению с пациентами группы non-FET – 71% против 76%, ($p=0,766$). Shrestha M. et al. [34], проведя сравнительный анализ классической и гибридной методик у пациентов с расслоением аорты, отметили лучшую отдаленную выживаемость у пациентов группы FET (81% против 42%, $p=0,0032$). Однако по данным Leontyev S. et al. [35], 5-летняя выживаемость пациентов после гибридного вмешательства была ниже, чем после процедуры Borst, однако значимой межгрупповой разницы получено не было (40% против 68%, $p=0,9$).

Заключение

Проведен сравнительный анализ ранних и среднесрочных результатов хирургической реконструкции дуги аорты с использованием технологии «замороженный хобот слона» и без нее у пациентов с расслоением аорты.

Технология «замороженный хобот слона» при лечении больных с расслоением аорты является перспективным видом лечения и характеризуется удовлетворительными ранними и отсроченными результатами у данной категории лиц.

Финансирование

Исследование выполнено при финансировании НИИ кардиологии Томского НИМЦ.

Конфликт интересов

Козлов Б.Н. заявляет об отсутствии конфликта интересов. Панфилов Д.С. заявляет об отсутствии конфликта интересов. Лукинов В.А. заявляет об отсутствии конфликта интересов. Панфилова Н.О. заявляет об отсутствии конфликта интересов. Лелик Е.В. заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах

Козлов Борис Николаевич, д.м.н., заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии НИИ кардиологии Томского НИМЦ, г. Томск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>

Панфилов Дмитрий Сергеевич, д.м.н., старший научный сотрудник отделения сердечно-сосудистой хирургии НИИ кардиологии Томского НИМЦ, г. Томск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-3614-1548>

Лукинов Виталий Леонидович, к. ф.-м. н., заведующий лабораторией численного анализа стохастических дифференциальных уравнений Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН), г. Новосибирск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>

Панфилова Наталья Олеговна, к.м.н., заведующая рентгенологическим отделением ГБУЗ Новокуз-

нецкая городская клиническая больница № 29 им. А. А. Луцкого, г. Новокузнецк, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-7197-7212>

Лелик Евгения Владимировна, к.м.н., врач-кардиолог отделения кардиохирургического № 1 НИИ кардиологии Томского НИМЦ, г. Томск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7553-001X>

Author Information Form

Kozlov Boris N., M.D., Ph.D., Head of the Department of Cardiovascular Surgery, Research Institute of Cardiology, Tomsk National Medical Research Center, Tomsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>

Panfilov Dmitry S., M.D., Ph.D., senior researcher at the Department of Cardiovascular Surgery, Research Institute of Cardiology, Tomsk National Medical Research Center, Tomsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-3614-1548>

Lukinov Vitaly L., Ph.D., Head of the Laboratory of Numerical Analysis of Stochastic Differential Equations, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICM&MG SB RAS), Novosibirsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>

Panfilova Natalia O., M.D., Ph.D., Head of the Radiology Department, Novokuznetsk City Clinical Hospital No. 29 named after A. A. Lutsik, Novokuznetsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-7197-7212>

Lelik Evgeniya V., M.D., Ph.D., cardiologist at the Cardiac Surgery Department No. 1, Research Institute of Cardiology, Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7553-001X>

Вклад авторов в статью

Концепция: КБН, ПДС, ЛВЛ, ПНО, ЛЕВ; написание статьи: КБН, ПДС, ЛВЛ, ПНО, ЛЕВ; утверждение окончательной версии для публикации: КБН, ПДС, ЛВЛ, ПНО, ЛЕВ; полная ответственность за содержание: КБН, ПДС, ЛВЛ, ПНО, ЛЕВ.

Author Contribution Form

Contribution to the concept: KBN, PDS, LVL, PNO, LEV; manuscript writing: KBN, PDS, LVL, PNO, LEV; approval of the final version: KBN, PDS, LVL, PNO, LEV; fully responsible for the content: KBN, PDS, LVL, PNO, LEV.

Для цитирования: Козлов Б.Н., Панфилов Д.С., Лукинов В.Л., Панфилова Н.О., Лелик Е.В. «Традиционный» и гибридный подходы в хирургии дуги аорты при аортальном расслоении. Минимально инвазивная сердечно-сосудистая хирургия. 2023;4:

To cite: Kozlov B.N., Panfilov D.S., Lukinov V.L., Panfilova N.O., Lelik E.V. Conventional and hybrid aortic arch repair for aortic dissection. Minimally Invasive Cardiovascular Surgery. 2023;4:

Список литературы

1. Khullar V, Schaff HV, Dearani JA, Daly RC, Greason KL, Joyce LD, Pochettino A. Open surgical repair remains the gold standard for treating aortic arch pathology. *Ann Thorac Surg.* 2017; 103:1413–1420. <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.08.064>

2. Белов Ю.В., Чарчян Э.Р., Степаненко А.Б., Генс А.П., Хачатрян З.Р. Опыт хирургического лечения больных с расслоением аорты 1-го типа по DeBakey. *Хирургия.* 2018; 7: 8-17. [Belov U.V., Charchan E.R., Stepanenko A.B., Gens A.P., Hachatryan Z.R. Opyt hirurgicheskogo lecheniya bol'nyh s rassloeniem aorty 1-go tipa po DeBakey. *Hirurgiya.* 2018; 7: 8-17. (In Russ)] <https://doi.org/10.17116/hirurgia201878>

3. Di Eusanio M, Borger M, Petridis FD, Leontyev S, Pantaleo A, Moz M, Mohr F, Di Bartolomeo R. Conventional versus frozen elephant trunk surgery for extensive disease of the thoracic aorta. *J Cardiovasc Med.* 2014; 15:803–809. doi:10.2459/JCM.0b013e328364559c; Shrestha M, Martens A, Krüger H, Maeding I, Ius F, Fleissner F, Haverich A. Total aortic arch replacement with the elephant trunk technique: single-centre 30-year results. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2014;45:289–296. <http://doi:10.1093/ejcts/ezt359>

4. Leontyev S, Misfeld M, Daviewala P, Borger MA, Etz CD, Belaev S, Seeburger J, Holzhey D, Bakhtiyar F, Mohr FW. Early- and medium-term results after

aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques—a single center study. *Ann Cardiothorac Surg.* 2013;2(5):606–611. <http://doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22>

5. Verhoye J-P, Soulami RB, Fouquet O, Ruggieri VG, Kaladji A, Tomasi J, Sellin M, Farhat F, Anselmi A.. Elective frozen elephant trunk procedure using the E-Vita Open. Plus prosthesis in 94 patients: a multicentre French registry. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017;52(4):733–739. doi:10.1093/ejcts/ezx159

6. Jakob H, Dohle D, Benedik J, Janosi RA, Schlosser T, Wendt D, Thielmann M, Erbel R, Tsagakis K. Long-term experience with the E-vita Open hybrid graft in complex thoracic aortic disease. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017; 51(2):329–338, <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw340>

7. Shrestha M, Martens A, Kaufeld T, Beckmann E, Bertele S, Krueger H, Neuser J, Fleissner F, Ius F, Alhadi FA, Hanke J, Schmitt JD, Cebotari S, Karck M, Haverich A, Chavan A. Single-centre experience with the frozen elephant trunk technique in 251 patients over 15 years. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017; <http://doi:10.1093/ejcts/ezx218>

8. Kato M, Ohnishi K, Kaneko M, Ueda T, Kishi D, Mizushima T, Matsuda H. New graft-implanting method for thoracic aortic aneurysm or dissection with

a stented graft. *Circulation*. 1996; 94 (9): 188-193

9. Чарчян Э.Р., Абугов С.А., Хачатрян З.Р., Пурецкий М.В., Ховрин В.В., Скворцов А.А., Белов Ю.В. Особенности течения послеоперационного периода у пациентов с расслоением аорты I типа по DeBakey: критерии оценки ремоделирования аорты и факторов риска прогрессирования заболевания. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2019;(5):6-17. CHarchyan E.R., Abugov S.A., Hachatryan Z.R., Pureckij M.V., Hovrin V.V., Skvorcov A.A., Belov YU.V. Osobennosti techeniya posleoperacionnogo perioda u pacientov s rassloeniem aorty I tipa po DeBakey: kriterii ocenki remodelirovaniya aorty i faktorov riska progressirovaniya zabollevaniya. *Hirurgiya. ZHurnal im. N.I. Pirogova (In Russ)*. 2019;(5):6-17. <http://doi.org/10.17116/hirurgia20190516>

10. Inoue Y, Matsuda H, Omura A, Seike Y, Uehara K, Sasaki H, Kobayashi J. Long-term outcomes of total arch replacement with the non-frozen elephant trunk technique for Stanford Type A acute aortic dissection. *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2018;27:455–460. doi:10.1093/icvts/ivy094; Jakob H, Dohle D, Benedik J, Janosi RA, Schlosser T, Wendt D, Thielmann M, Erbel R, Tsagakis K. Long-term experience with the E-vita Open hybrid graft in complex thoracic aortic disease. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2017; 51(2):329–338, <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw340>

11. Shrestha M, Martens A, Kaufeld T, Beckmann E, Bertele S, Krueger H, Neuser J, Fleissner F, Ius F, Alhadi FA, Hanke J, Schmitto JD, Cebotari S, Karck M, Haverich A, Chavan A. Single-centre experience with the frozen elephant trunk technique in 251 patients over 15 years. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2017 <http://doi.org/10.1093/ejcts/ezw218>

12. Mkalaluh S, Szczechowicz M, Mashhour A, Zhigalov K, Easo J, Eichstaedt HC, Ennker J, Thomas RP, Chavan A, Weymann A. Total aortic arch replacement using elephant trunk or frozen elephant trunk technique: a case-control matching study. *J Thorac Dis*. 2018;10(11):6192-6200. <http://doi.org/10.21037/jtd.2018.10.42>

13. Leontyev S, Misfeld M, Daviewala P, Borger MA, Etz CD, Belaev S, Seeburger J, Holzhey D, Bakhtiary F, Mohr FW. Early- and medium-term results after aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques—a single center study. *Ann Cardiothorac Surg*. 2013;2(5):606-611. <http://doi.org/10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22>

14. Чарчян Э.Р., Абугов С.А., Хачатрян З.Р., Пурецкий М.В., Ховрин В.В., Скворцов А.А., Белов Ю.В. Особенности течения послеоперационного периода у пациентов с расслоением аорты I типа по DeBakey: критерии оценки ремоделирования аорты и факторов риска прогрессирования заболевания. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2019;(5):6-17. CHarchyan E.R., Abugov S.A., Hachatryan Z.R., Pureckij M.V., Hovrin V.V., Skvorcov A.A., Belov YU.V. Osobennosti techeniya posleoperacionnogo perioda u pacientov s rassloeniem aorty I tipa po DeBakey: kriterii ocenki remodelirovaniya aorty i faktorov riska progressirovaniya zabollevaniya. *Hirurgiya. ZHurnal*

im. N.I. Pirogova (In Russ). 2019;(5):6-17. <http://doi.org/10.17116/hirurgia20190516>

15. Leontyev S, Misfeld M, Daviewala P, Borger MA, Etz CD, Belaev S, Seeburger J, Holzhey D, Bakhtiary F, Mohr FW. Early- and medium-term results after aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques—a single center study. *Ann Cardiothorac Surg*. 2013;2(5):606-611. <http://doi.org/10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22>

16. Mkalaluh S, Szczechowicz M, Mashhour A, Zhigalov K, Easo J, Eichstaedt HC, Ennker J, Thomas RP, Chavan A, Weymann A. Total aortic arch replacement using elephant trunk or frozen elephant trunk technique: a case-control matching study. *J Thorac Dis*. 2018;10(11):6192-6200. <http://doi.org/10.21037/jtd.2018.10.42>

17. Shrestha M, Bachet J, Bavaria J, Carrel TP, De Paulis R, Di Bartolomeo R, Etz CD, Grabenwöger M, Grimm M, Haverich A, Jakob H, Martens A, Mestres CA, Pacini D, Resch T, Schepens M, Urbanski PP, Czerny M.. Current status and recommendations for use of the frozen elephant trunk technique: a position paper by the Vascular Domain of EACTS. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2015;47:759–769. <http://doi.org/10.1093/ejcts/ezv085>

18. Flores J, Kuniyama T, Shiiya N, Yoshimoto K, Matsuzaki K, Yasuda K. Extensive deployment of the stented elephant trunk is associated with an increased risk of spinal cord injury. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2006;131(2):336-342. <http://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2005.09.050>

19. Tian DH, Wan B, Di Eusanio M, Black D, Yan TD. A systematic review and meta-analysis on the safety and efficacy of the frozen elephant trunk technique in aortic arch surgery. *Ann Cardiothorac Surg*. 2013;2(5):581-591. <http://doi.org/10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.07>

20. Leontyev S, Misfeld M, Daviewala P, Borger MA, Etz CD, Belaev S, Seeburger J, Holzhey D, Bakhtiary F, Mohr FW. Early- and medium-term results after aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques—a single center study. *Ann Cardiothorac Surg*. 2013;2(5):606-611. <http://doi.org/10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22>

21. Ranucci M, Bozzetti G, Ditta A, Cotza M, Carboni G, Ballotta A. Surgical reexploration after cardiac operations: why a worse outcome? *Ann Thorac Surg*. 2008; 86: 1557–1562. <http://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2008.07.114>

22. Knapik P, Knapik M, Zembala MO, Przybyłowski P, Nadziakiewicz P, Hrapkowicz T, Ciesla D, Deja M, Suwalski P, Jasinski M, Tobota Z, Maruszewski BJ, Zembala M. In-hospital and mid-term outcomes in patients reoperated on due to bleeding following coronary artery surgery (from the KROK Registry). *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2019;29:237–43. <http://doi.org/10.1093/icvts/ivz089>

23. Brat R, Gaj J, Barta J. Early and mid-term outcomes of the aortic arch surgery: experience from the low-volume centre. *Journal of Cardiothoracic Surgery*. 2015; 10: 31. Doi 10.1186/s13019-015-0229-6;

Lin H-H, Liao S-F, Wu C-F, Li P-C, Li M-L.

24. Outcome of frozen elephant trunk technique for acute type A aortic dissection as systematic review and meta-analysis. *Medicine*. 2015;94(16):e694. [http://doi: 10.1097/MD.0000000000000694](http://doi.org/10.1097/MD.0000000000000694)

25. Панфилов Д.С., Козлов Б.Н., Затолокин В.В., Пономаренко И.В., Ходашинский И.А., Шипулин В.М. Профилактика геморрагических осложнений при операциях на грудной аорте. *Российский кардиологический журнал*. 2018;(11):70-76. Panfilov D.S., Kozlov B.N., Zatolokin V.V., Ponomarenko I.V., Hodashinskij I.A., SHipulin V.M. Profilaktika gemorragicheskikh oslozhenij pri operacijah na grudnoj aorte. *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal* (In Russ). 2018;(11):70-76. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-11-70-76>

26. Amano K, Takami Y, Ishikawa H, Ishida M, Tochii M, Akita K, Sakurai Y, Noda M, Takagi Y. Lower body ischaemic time is a risk factor for acute kidney injury after surgery for type A acute aortic dissection. *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2019; <http://doi:10.1093/icvts/ivz220>

27. Fang Z, Wang G, Liu Q, Zhou H, Zhou S, Lei G, Zhang C, Yang L, Shi S, Li J, Qian X, Sun X, Wei B, Yu C. Moderate and deep hypothermic circulatory arrest has a comparable effect on acute kidney injury after total arch replacement with frozen elephant trunk procedure in type A aortic dissection. *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2019; 29:130-136. <http://doi:10.1093/icvts/ivz092>

28. Mkalaluh S, Szczechowicz M, Mashhour A, Zhigalov K, Easo J, Eichstaedt HC, Ennker J, Thomas RP, Chavan A, Weymann A. Total aortic arch replacement using elephant trunk or frozen elephant trunk technique: a case-control matching study. *J Thorac Dis*. 2018;10(11):6192-6200. <http://doi: 10.21037/jtd.2018.10.42>

29. Tochii M, Takami Y, Ishikawa H, Ishida M, Higuchi Y, Sakurai Y, Amano K, Takagi Y. Aortic remodeling with frozen elephant trunk technique for Stanford type A aortic dissection using Japanese J-graft

open stent graft. *Heart Vessels*. 2019;34(2):316-317. <http://doi: 10.1007/s00380-018-1268-4>

30. Leontyev S, Misfeld M, Daviewala P, Borger MA, Etz CD, Belaev S, Seeburger J, Holzhey D, Bakhtiary F, Mohr FW. Early- and medium-term results after aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques—a single center study. *Ann Cardiothorac Surg*. 2013;2(5):606-611. <http://doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22>

31. Mkalaluh S, Szczechowicz M, Mashhour A, Zhigalov K, Easo J, Eichstaedt HC, Ennker J, Thomas RP, Chavan A, Weymann A. Total aortic arch replacement using elephant trunk or frozen elephant trunk technique: a case-control matching study. *J Thorac Dis*. 2018;10(11):6192-6200. <http://doi: 10.21037/jtd.2018.10.42>

32. Shrestha M, Beckmann E, Krueger H, Fleissner F, Kaufeld T, Koigeldiyev N, Umminger J, Ius F, Haverich A, Martens A. The elephant trunk is freezing: The Hannover experience. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;149:1286-1293. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.01.044>

33. Hanif H, Dubois L, Ouzounian M, Peterson MD, El-Hamamsy I, Dagenais F, Hassan A, Chu MWA. Aortic arch reconstructive surgery with conventional techniques versus frozen elephant trunk: a systematic review and meta-analysis. *Can J Cardiol*. 2018;34(3):262-273. doi: 10.1016/j.cjca.2017.12.020

34. Shrestha M, Beckmann E, Krueger H, Fleissner F, Kaufeld T, Koigeldiyev N, Umminger J, Ius F, Haverich A, Martens A. The elephant trunk is freezing: The Hannover experience. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;149:1286-1293. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.01.044>

35. Leontyev S, Borger MA, Etz CD, Moz M, Seeburger J, Bakhtiary F, Misfeld M, Mohr FW. Experience with the conventional and frozen elephant trunk techniques: a single-centre study. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2013;44:1076-1083. <http://doi:10.1093/ejcts/ezt252>

References

1. Khullar V, Schaff HV, Dearani JA, Daly RC, Greason KL, Joyce LD, Pochettino A. Open surgical repair remains the gold standard for treating aortic arch pathology. *Ann Thorac Surg*. 2017; 103:1413-1420. <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.08.064>

2. Belov U.V., Charchan E.R., Stepanenko A.B., Gens A.P., Hachatrian Z.R. Opyt hirurgicheskogo lecheniya bol'nyh s rassloeniem aorty 1-go tipa po DeBakey. *Hirurgiya*. 2018; 7: 8-17. (In Russ)] <https://doi.org/10.17116/hirurgia201878>

3. Di Eusanio M, Borger M, Petridis FD, Leontyev S, Pantaleo A, Moz M, Mohr F, Di Bartolomeo R. Conventional versus frozen elephant trunk surgery for extensive disease of the thoracic aorta. *J Cardiovasc Med*. 2014; 15:803-809. doi:10.2459/JCM.0b013e328364559c; Shrestha M, Martens A, Krüger H, Maeding I, Ius F,

Fleissner F, Haverich A. Total aortic arch replacement with the elephant trunk technique: single-centre 30-year results. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2014;45:289-296. doi:10.1093/ejcts/ezt359

4. Leontyev S, Misfeld M, Daviewala P, Borger MA, Etz CD, Belaev S, Seeburger J, Holzhey D, Bakhtiary F, Mohr FW. Early- and medium-term results after aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques—a single center study. *Ann Cardiothorac Surg*. 2013;2(5):606-611. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22

5. Verhoye J-P, Soulami RB, Fouquet O, Ruggieri VG, Kaladji A, Tomasi J, Sellin M, Farhat F, Anselmi A.. Elective frozen elephant trunk procedure using the E-Vita Open. Plus prosthesis in 94 patients: a multicentre French registry. *Eur J Cardiothorac Surg*.

2017;52(4):733–739. doi:10.1093/ejcts/ezx159

6. Jakob H, Dohle D, Benedik J, Janosi RA, Schlosser T, Wendt D, Thielmann M, Erbel R, Tsagakis K. Long-term experience with the E-vita Open hybrid graft in complex thoracic aortic disease. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017; 51(2):329–338, <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw340>

7. Shrestha M, Martens A, Kaufeld T, Beckmann E, Berteles S, Krueger H, Neuser J, Fleissner F, Ius F, Alhadi FA, Hanke J, Schmitt JD, Cebotari S, Karck M, Haverich A, Chavan A. Single-centre experience with the frozen elephant trunk technique in 251 patients over 15 years. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017; doi:10.1093/ejcts/ezx218

8. Kato M, Ohnishi K, Kaneko M, Ueda T, Kishi D, Mizushima T, Matsuda H. New graft-implanting method for thoracic aortic aneurysm or dissection with a stented graft. *Circulation.* 1996; 94 (9): 188-193

9. Charchyan E.R., Abugov S.A., Hachtryan Z.R., Pureckij M.V., Hovrin V.V., Skvorcov A.A., Belov YU.V. Osobennosti tehniiya posleoperacionnogo perioda u pacientov s rassloeniem aorty I tipa po DeBakey: kriterii ocenki remodelirovaniya aorty i faktorov riska progressirovaniya zabolevaniya. *Hirurgiya. ZHurnal im. N.I. Pirogova (In Russ).* 2019;(5):6-17. Doi 10.17116/hirurgia20190516;

10. Inoue Y, Matsuda H, Omura A, Seike Y, Uehara K, Sasaki H, Kobayashi J. Long-term outcomes of total arch replacement with the non-frozen elephant trunk technique for Stanford Type A acute aortic dissection. *Interact CardioVasc Thorac Surg.* 2018;27:455–460. doi:10.1093/icvts/ivy094; Jakob H, Dohle D, Benedik J, Janosi RA, Schlosser T, Wendt D, Thielmann M, Erbel R, Tsagakis K. Long-term experience with the E-vita Open hybrid graft in complex thoracic aortic disease. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017; 51(2):329–338, <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw340>

11. Shrestha M, Martens A, Kaufeld T, Beckmann E, Berteles S, Krueger H, Neuser J, Fleissner F, Ius F, Alhadi FA, Hanke J, Schmitt JD, Cebotari S, Karck M, Haverich A, Chavan A. Single-centre experience with the frozen elephant trunk technique in 251 patients over 15 years. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017 doi:10.1093/ejcts/ezx218

12. Mkalaluh S, Szczechowicz M, Mashhour A, Zhigalov K, Easo J, Eichstaedt HC, Ennker J, Thomas RP, Chavan A, Weymann A. Total aortic arch replacement using elephant trunk or frozen elephant trunk technique: a case-control matching study. *J Thorac Dis.* 2018;10(11):6192-6200. doi: 10.21037/jtd.2018.10.42

13. Leontyev S, Misfeld M, Daviewala P, Borger MA, Etz CD, Belaev S, Seeburger J, Holzhey D, Bakhtiary F, Mohr FW. Early- and medium-term results after aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques—a single center study. *Ann Cardiothorac Surg.* 2013;2(5):606-611. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22

14. Charchyan E.R., Abugov S.A., Hachtryan Z.R., Pureckij M.V., Hovrin V.V., Skvorcov A.A., Belov YU.V. Osobennosti tehniiya posleoperacionnogo perioda

u pacientov s rassloeniem aorty I tipa po DeBakey: kriterii ocenki remodelirovaniya aorty i faktorov riska progressirovaniya zabolevaniya. *Hirurgiya. ZHurnal im. N.I. Pirogova (In Russ).* 2019;(5):6-17. Doi 10.17116/hirurgia20190516

15. Leontyev S, Misfeld M, Daviewala P, Borger MA, Etz CD, Belaev S, Seeburger J, Holzhey D, Bakhtiary F, Mohr FW. Early- and medium-term results after aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques—a single center study. *Ann Cardiothorac Surg.* 2013;2(5):606-611. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22

16. Mkalaluh S, Szczechowicz M, Mashhour A, Zhigalov K, Easo J, Eichstaedt HC, Ennker J, Thomas RP, Chavan A, Weymann A. Total aortic arch replacement using elephant trunk or frozen elephant trunk technique: a case-control matching study. *J Thorac Dis.* 2018;10(11):6192-6200. doi: 10.21037/jtd.2018.10.42

17. Shrestha M, Bachet J, Bavaria J, Carrel TP, De Paulis R, Di Bartolomeo R, Etz CD, Grabenwöger M, Grimm M, Haverich A, Jakob H, Martens A, Mestres CA, Pacini D, Resch T, Schepens M, Urbanski PP, Czerny M. Current status and recommendations for use of the frozen elephant trunk technique: a position paper by the Vascular Domain of EACTS. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2015;47:759–769. doi:10.1093/ejcts/ezv085

18. Flores J, Kuniyama T, Shiya N, Yoshimoto K, Matsuzaki K, Yasuda K. Extensive deployment of the stented elephant trunk is associated with an increased risk of spinal cord injury. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery.* 2006;131(2):336-342. doi:10.1016/j.jtcvs.2005.09.050

19. Tian DH, Wan B, Di Eusanio M, Black D, Yan TD. A systematic review and meta-analysis on the safety and efficacy of the frozen elephant trunk technique in aortic arch surgery. *Ann Cardiothorac Surg.* 2013;2(5):581-591. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.07

20. Leontyev S, Misfeld M, Daviewala P, Borger MA, Etz CD, Belaev S, Seeburger J, Holzhey D, Bakhtiary F, Mohr FW. Early- and medium-term results after aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques—a single center study. *Ann Cardiothorac Surg.* 2013;2(5):606-611. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22

21. Ranucci M, Bozzetti G, Ditta A, Cotza M, Carboni G, Ballotta A. Surgical reexploration after cardiac operations: why a worse outcome? *Ann Thorac Surg.* 2008; 86: 1557–1562. doi:10.1016/j.athoracsur.2008.07.114;

22. Knapik P, Knapik M, Zembala MO, Przybyłowski P, Nadziakiewicz P, Hrapkowicz T, Ciesla D, Deja M, Suwalski P, Jasinski M, Tobota Z, Maruszewski BJ, Zembala M. In-hospital and mid-term outcomes in patients reoperated on due to bleeding following coronary artery surgery (from the KROK Registry). *Interact CardioVasc Thorac Surg.* 2019;29:237–43. doi:10.1093/icvts/ivz089

23. Brat R, Gaj J, Barta J. Early and mid-term outcomes of the aortic arch surgery: experience from

the low-volume centre. *Journal of Cardiothoracic Surgery*. 2015; 10: 31. Doi 10.1186/s13019-015-0229-6; Lin H-H, Liao S-F, Wu C-F, Li P-C, Li M-L.

24. Outcome of frozen elephant trunk technique for acute type A aortic dissection as systematic review and meta-analysis. *Medicine*. 2015;94(16):e694. doi: 10.1097/MD.0000000000000694

25. Panfilov D.S., Kozlov B.N., Zatolokin V.V., Ponomarenko I.V., Hodashinskij I.A., SHipulin V.M. Profilaktika gemorragicheskikh oslozhnenij pri operacijah na grudnoj aorte. *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal* (In Russ). 2018;(11):70-76. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-11-70-76>

26. Amano K, Takami Y, Ishikawa H, Ishida M, Tochii M, Akita K, Sakurai Y, Noda M, Takagi Y. Lower body ischaemic time is a risk factor for acute kidney injury after surgery for type A acute aortic dissection. *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2019; doi:10.1093/icvts/ivz220

27. Fang Z, Wang G, Liu Q, Zhou H, Zhou S, Lei G, Zhang C, Yang L, Shi S, Li J, Qian X, Sun X, Wei B, Yu C. Moderate and deep hypothermic circulatory arrest has a comparable effect on acute kidney injury after total arch replacement with frozen elephant trunk procedure in type A aortic dissection. *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2019;29:130-136. doi:10.1093/icvts/ivz092

28. Mkalaluh S, Szczechowicz M, Mashhour A, Zhigalov K, Easo J, Eichstaedt HC, Ennker J, Thomas RP, Chavan A, Weymann A. Total aortic arch replacement using elephant trunk or frozen elephant trunk technique: a case-control matching study. *J Thorac Dis*. 2018;10(11):6192-6200. doi: 10.21037/jtd.2018.10.42

29. Tochii M, Takami Y, Ishikawa H, Ishida M, Higuchi Y, Sakurai Y, Amano K, Takagi Y. Aortic remodeling with frozen elephant trunk technique for Stanford type A aortic dissection using Japanese J-graft open stent graft. *Heart Vessels*. 2019;34(2):316-317. doi: 10.1007/s00380-018-1268-4

30. Leontyev S, Misfeld M, Daviewala P, Borger MA, Etz CD, Belaev S, Seeburger J, Holzhey D, Bakhtiary F, Mohr FW. Early- and medium-term results after aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques—a single center study. *Ann Cardiothorac Surg*. 2013;2(5):606-611. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22

31. Mkalaluh S, Szczechowicz M, Mashhour A, Zhigalov K, Easo J, Eichstaedt HC, Ennker J, Thomas RP, Chavan A, Weymann A. Total aortic arch replacement using elephant trunk or frozen elephant trunk technique: a case-control matching study. *J Thorac Dis*. 2018;10(11):6192-6200. doi: 10.21037/jtd.2018.10.42

32. Shrestha M, Beckmann E, Krueger H, Fleissner F, Kaufeld T, Koigeldiyev N, Umminger J, Ius F, Haverich A, Martens A. The elephant trunk is freezing: The Hannover experience. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;149:1286-1293. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.01.044>

33. Hanif H, Dubois L, Ouzounian M, Peterson MD, El-Hamamsy I, Dagenais F, Hassan A, Chu MWA. Aortic arch reconstructive surgery with conventional techniques versus frozen elephant trunk: a systematic review and meta-analysis. *Can J Cardiol*. 2018;34(3):262-273. doi: 10.1016/j.cjca.2017.12.020

34. Shrestha M, Beckmann E, Krueger H, Fleissner F, Kaufeld T, Koigeldiyev N, Umminger J, Ius F, Haverich A, Martens A. The elephant trunk is freezing: The Hannover experience. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;149:1286-1293. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.01.044>

35. Leontyev S, Borger MA, Etz CD, Moz M, Seeburger J, Bakhtiary F, Misfeld M, Mohr FW. Experience with the conventional and frozen elephant trunk techniques: a single-centre study. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2013;44:1076–1083. doi:10.1093/ejcts/ezt252