

DOI:10.33529/ANGIO2019205

## ПЯТИЛЕТНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ «ЗАМОРОЖЕННЫЙ ХОБОТ СЛОНА» ПРИ РАССЛОЕНИИ ГРУДНОЙ АОРТЫ

КОЗЛОВ Б.Н.<sup>1,2</sup>, ПАНФИЛОВ Д.С.<sup>1</sup>, ХОДАШИНСКИЙ И.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Отделение сердечно-сосудистой хирургии, Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН,

<sup>2</sup> Кафедра госпитальной хирургии, Сибирский государственный медицинский университет Минздрава РФ,

<sup>3</sup> Кафедра комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

*Проанализирована эффективность гибридного вмешательства по методике «замороженный хобот слона» в среднесрочном периоде наблюдения у больных с расслоением аорты.*

*За период 2012–2018 гг. выполнено 44 процедуры по методике «замороженный хобот слона» при расслоении грудной аорты типов А и В по Стэнфордской классификации. Все вмешательства проводились в условиях умеренной гипотермии (25–28 °С) циркуляторного ареста с унилатеральной перфузией головного мозга через брахиоцефальный ствол.*

*Средний диаметр имплантируемого стент-графта составил 27,7±2,8 мм (диапазон 24–30 мм). Дистальный край стент-графта определялся на уровне ниже Th9 более чем в 65% случаев (диапазон Th7–Th12). Проксимальная фиксация стент-графта выполнялась на уровнях Z0–Z3, преимущественно в зоне Z3 (72,7%). Тридцатидневная летальность составила 6,8%, госпитальная – 15,9%. Пятилетняя выживаемость при остром и хроническом расслоении аорты (РА) типа А достигала 100 и 80% соответственно (p=0,175). При остром РА типа В 5-летняя выживаемость находилась на уровне 62,2%, при хроническом – 25,0% (p=0,057). Свобода от реинтервенций при остром и хроническом РА типа А составила 100 и 66,7% соответственно (p=0,286). При острой форме РА типа В свобода от аортальных реинтервенций достигала 100%, при хронической – 75% (p=0,123).*

*Реконструктивные операции, выполняемые по методике «замороженный хобот слона», являются эффективным хирургическим лечением больных с расслоением грудной аорты, обеспечивающим удовлетворительный клинический результат в среднесрочном периоде наблюдения.*

**Ключевые слова:** расслоение аорты, «замороженный хобот слона», E-vita open plus, среднесрочная выживаемость, реинтервенция.

### ВВЕДЕНИЕ

Открытая реконструкция проксимальных отделов грудной аорты (ГА) с одномоментной имплантацией стент-графта в нисходящую аорту, так называемая технология «замороженный хобот слона» (frozen elephant trunk – FET), приобретает все большую популярность среди пациентов с мультисегментарной патологией ГА. При расслоении аорты (РА) данная методика позволяет стабилизировать истинный просвет и перекрыть зоны entry/re-entry проксимальной части нисходящей аорты.

Ранние результаты применения технологии «замороженный хобот слона» демонстрируют высокую

эффективность методики [1, 2]. Однако в современной литературе недостаточное внимание уделено аналитической оценке отсроченных результатов подобных гибридных вмешательств [3].

Целью работы послужил анализ эффективности гибридного вмешательства, проведенного больным с РА по методике «замороженный хобот слона», в среднесрочном периоде наблюдения.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С марта 2012 по февраль 2018 гг. последовательно прооперировано 44 пациента с расслоением ГА типов А и В по Стэнфордской классификации

*Таблица 1*

Характеристика пациентов					
Показатель	Всего (n=44)	Расслоение аорты типа А		Расслоение аорты типа В	
		острое (n=10)	хроническое (n=16)	острое (n=5)	хроническое (n=13)
Возраст, лет	54,5±11,1	53,7±11,7	52,4±11	52,3±11,1	52,9±11,1
Мужской пол, n (%)	30 (68,2%)	7 (70,0%)	8 (50,0%)	4 (80,0)	11 (84,6%)
Неотложное вмешательство (>24 ч после начала симптомов)	13 (29,5%)	10 (100%)	0	3 (60,0%)	0
Предшествующие вмешательства на ГА	3 (6,8%)	0	3 (18,8%)	0	0
ИБС	10 (22,7%)	1 (14,3%)	4 (25,0%)	2 (40,0%)	3 (23,1%)
ФВ ЛЖ >40%	2 (4,5%)	0	2 (12,5)	0	0
Креатинин крови <150 г/л	5 (11,4%)	0	1 (6,3%)	3 (60,0%)	1 (7,7%)
ХОБЛ	3 (6,8%)	0	2 (12,5%)	0	1 (7,7%)
Сахарный диабет	2 (4,5%)	0	0	0	2 (15,4%)
ОНМК в анамнезе	3 (6,8%)	1 (14,3%)	1 (6,3%)	0	1 (7,7%)
Синдром Марфана	2 (4,5%)	0	2 (12,5%)	0	0

*Примечание. ИБС - ишемическая болезнь сердца; ФВ ЛЖ - фракция выброса левого желудочка; ХОБЛ - хроническая обструктивная болезнь легких; ОНМК - острое нарушение мозгового кровообращения.*

с использованием методики «замороженный хобот слона». В исследование вошли 30 (68,2%) мужчин и 14 (31,8%) женщин. Средний возраст пациентов составил 54,5 года [51; 63]. Структура аортальной патологии у пациентов отражена в табл. 1.

В качестве основного метода исследования патологии ГА использовали мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ). В экстренных случаях оценивали аортальную патологию на основании данных трансторакальной и чреспищеводной эхокардиографии.

Протезирование ГА выполняли доступом через срединную стернотомию в условиях умеренной гипотермии (25–28 °С). В качестве защиты головного мозга на этапе циркуляторного ареста применяли унилатеральную перфузию через брахиоцефальный ствол согласно описанной ранее технике [4].

В каждом случае использовали гибридный стент-графт E-vita open plus (Jotec, Германия) диаметром от 24 до 30 мм и длиной 150 мм. Размер необходимого для имплантации стент-графта определяли по данным МСКТ-аортографии до операции. При остром РА при выборе размера стент-графта ориентировались на общий диаметр нисходящей аорты на уровне бифуркации легочного ствола. Пациентам данной группы важно подобрать адекватный размер стент-графта, не допуская его превышения. При хроническом РА измеряли общий и истинный просвет нисходящей аорты на уровне бифурка-

ции легочного ствола. В этих случаях оптимальный размер стент-графта определяли путем компромиссного выбора между диаметрами общего и истинного просвета нисходящей аорты. Допустимо небольшое (до 10%) превышение размера стент-графта по отношению к диаметру истинного просвета аорты. Имплантацию гибридного устройства проводили под контролем чреспищеводной эхокардиографии. Погружали стент-графт в нисходящий отдел на наибольшую длину аорты для ее максимальной стабилизации.

Фиксацию проксимальной части стент-графта осуществляли обвивным швом монофиламентной нитью 4/0 с использованием «сэндвич-техники». В 32 (72,7%) случаях дистальный аортальный анастомоз формировали за левой подключичной артерией, а в 12 (27,3%) – проксимальнее этой

зоны. «Проксимализация» дистального аортального анастомоза обусловлена анатомическими особенностями, затрудняющими мобилизацию дистальной части дуги аорты, а также высоким риском повреждения различных структур. Данная тактика позволяет сократить время дистальной реконструкции дуги аорты. После выполнения дистального анастомоза осуществляли тракцию сосудистого протеза из стент-графта и накладывали на него зажим. Устанавливали дополнительную артериальную канюлю в протез ниже места зажима и возобновляли корпоральное искусственное кровообращение с расчетной объемной скоростью и последующим согреванием пациента. Наряду с этим проводили реконструкцию сосудов дуги аорты с помощью островковой техники, дебраншинга или сочетанием методик. По завершении этого этапа восстанавливали билатеральную перфузию головного мозга. В последнюю очередь выполняли проксимальную реконструкцию ГА, а также необходимые сочетанные вмешательства на аортальном клапане и коронарных артериях (табл. 2).

В период всей операции, а также циркуляторного ареста оценивали показатели церебральной оксиметрии (Invos 5100 – Somanetics Corp., США)/ Foresight – Casmed, США). Артериальное давление контролировали путем его прямого измерения в обеих лучевых артериях. Целевые значения вели-

**Козлов Б.Н. и др. Пятилетние результаты применения методики «замороженный хобот слона» при расслоении грудной аорты**

Интраоперационные данные					
Показатель	Всего (n=44)	Расслоение аорты типа А		Расслоение аорты типа В	
		острое (n=10)	хроническое (n=16)	острое (n=5)	хроническое (n=13)
Сочетанные операции					
АКШ	7 (15,9%)	0	1 (6,3%)	1 (20,0%)	2 (15,4%)
ПАК	7 (15,9%)	1 (10,0%)	4 (25,0%)	0	0
Реконструкция сосудов дуги					
Островковая техника	21 (47,7%)	8 (80,0%)	6 (37,5%)	3 (60,0%)	4 (30,8%)
Дебраншинг	13 (29,5%)	1 (10,0%)	7 (43,8%)	0	5 (38,5%)
Комбинация методов	10 (22,7%)	1 (10,0%)	3 (18,8%)	2 (40,0%)	4 (30,8%)
Характеристика имплантируемого стент-графта					
Размер стент-графта (диапазон), мм	27,7±2,8 [22–40]	27,2±2,3 [24–30]	27,5±2,3 [24–30]	27,6±2,2 [24–30]	28,2±1,5 [24–30]
Уровень дистального аортального анастомоза:					
Z0	1 (2,3%)	0	1 (6,3%)	0	0
Z1	1 (2,3%)	0	0	0	1 (7,7%)
Z2	10 (22,7%)	0	5 (31,3%)	0	5 (38,5%)
Z3	32 (72,7%)	10 (100%)	10 (62,5%)	5 (100%)	7 (53,8%)
Зоны нижнего края:					
Th7	5 (11,4%)	0	1 (6,3%)	1 (20,0%)	3 (23,1%)
Th8	10 (22,7%)	0	2 (12,5%)	2 (40,0%)	6 (46,2%)
Th9	12 (27,3%)	7 (70,0%)	1 (6,3%)	2 (40,0%)	2 (15,4%)
Th10	9 (20,5%)	2 (20,0%)	5 (31,3%)	0	2 (15,4%)
Th11	6 (13,6%)	1 (10,0%)	5 (31,3%)	0	0
Th12	2 (4,5%)	0	2 (12,5%)	0	0

*Примечание. АКШ – аортокоронарное шунтирование; ПАК – протезирование аортального клапана; Z0–Z3 – зоны формирования дистального аортального анастомоза; Th7–Th12 – обозначение тел грудных позвонков.*

Временные характеристики гибридных вмешательств (мин)					
Показатель	Всего (n=44)	Расслоение аорты типа А		Расслоение аорты типа В	
		острое (n=10)	хроническое (n=16)	острое (n=5)	хроническое (n=13)
Время операции	421,1 [412; 427]	420 [409; 423]	465,6 [458; 471]	427,6 [412; 433]	413,1 [405; 415]
Время ИК	217,6 [209; 221]	221,9 [214; 227]	230 [220; 232]	263,2 [253; 269]	199 [178; 203]
Время сердечного ареста	144,8 [139; 148]	171,4 [167; 175]	168,3 [159; 172]	140 [137; 147]	121,8 [114; 124]
Время ЦА	43,1 [41; 46]	42 [41; 45]	41,7 [40; 44]	43,9 [41; 45]	44 [41; 46]
Время АПГМ	62,9 [59; 64]	62 [58; 63]	69,2 [65; 72]	58,4 [56; 64]	71,2 [66; 73]

*Примечание. ИК – искусственное кровообращение; ЦА – циркуляторный арест; АПГМ – антеградная перфузия головного мозга.*

чины гематокрита на этапе циркуляторного ареста поддерживали на уровне не менее 25%. Мониторинг и дренирование давления спинномозговой жидкости не проводили.

Все выписанные из стационара пациенты проходили клинический осмотр с проведением МСКТ-аортографии в стационаре или по месту жительства

через 6 и 12 мес после операции, затем ежегодно.

Для объективизации уровня тромбоза ложного канала при РА использовали сегментарную схему, предложенную М. Shrestha, et al., где сегмент А – расстояние от дистального аортального анастомоза до уровня левого предсердия (у послеоперационных больных это соответствовало уровню имплантированного стент-графта), сегмент В – от уровня левого предсердия до чревного ствола, сегмент С – от уровня диафрагмы до бифуркации аорты [3].

Для статистической обработки данных использовали программу SPSS 17 для Windows (SPSS Inc., США). Количественные показатели, подчиняющиеся нормальному закону распределения, описывали с помощью среднего значения (M) и стандартного отклонения ( $\pm SD$ ); не подчиняющиеся нормальному закону распределения – с помощью медианы (Me) и интерквартильного интервала [Q25–Q75]. Показатели, характеризующие качественные признаки, определяли с учетом абсолютного числа (n) и относительной величины (%).

При анализе выживаемости и свободы от реинтервенций оперированных пациентов применяли метод Kaplan – Meier, сравнение кривых проводили с использованием лог-ранк-теста (логарифмического рангового теста; англ. log-rank test). Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 3 представлены основные временные характеристики выполненных операций.

Как показано в табл. 4, в раннем послеоперационном периоде частота постоянного неврологического дефицита головного мозга составила 2,3%. При этом не отмечено эпизодов ишемических катастроф со стороны спинного мозга. Также не выявлено слу-

Таблица 4

Послеоперационные характеристики					
Показатель	Всего (n=44)	Расслоение аорты типа А		Расслоение аорты типа В	
		острое (n=10)	хроническое (n=16)	острое (n=5)	хроническое (n=13)
ТИА	2 (4,5%)	0	0	1 (20,0%)	1 (7,7%)
Инсульт	1 (2,3%)	0	0	0	1 (7,7%)
Спинальная ишемия	0	0	0	0	0
ЗПТ	13 (29,5%)	1 (10,0%)	4 (25,0%)	3 (60,0%)	5 (38,5%)
Кровотечение	2 (4,5%)	0	1 (6,3%)	1 (20,0%)	0
Продленная вентиляция легких (больше 48 ч)	31 (70,5%)	7 (70,0%)	10 (62,5%)	4 (80,0%)	10 (76,9%)
30-дневная летальность	3 (6,8%)	0	1 (6,3%)	1 (20,0%)	1 (7,7%)
Госпитальная летальность	7 (15,9%)	0	2 (12,5%)	2 (40,0%)	3 (23,1%)

Примечание. ТИА – транзиторная ишемическая атака, ЗПТ – заместительная почечная терапия.

чаев кардиальных осложнений. Всего в общей группе пациентов 30-дневная и госпитальная летальность составила 6,8 и 15,9% соответственно. Причинами смерти явились: разрыв брюшной аорты (n=2), геморрагический шок (n=2), синдром полиорганной недостаточности (n=3).

За 5-летний период наблюдения (в среднем  $23 \pm 17$  мес) умерло 6 (16,2%) из 37 выписанных пациентов. В структуре летальности отмечены массивная тромбоэмболия легочной артерии (n=1), сердечная недостаточность (n=3), инсульт (n=1), в одном случае причина смерти не установлена. Среди обсуждаемых пациентов не выявлено аорто-ассоциированной смерти. Ни у одного из умерших пациентов не было показаний к повторным реконструкциям проксимальных отделов ГА.

Таким образом, выживаемость среди пациентов с острым и хроническим РА типа А составила 100

и 80% соответственно (p=0,175). При острой форме РА типа В 5-летняя выживаемость достигла 62,2%, при хронической – 25,0% (p=0,057) (рис. 1).

В срок до 5 лет прослежены результаты 37 пациентов с РА (100% выписанных из стационара). После операции у 16 (43,2%) исследуемых с распространением диссекции аорты в дистальном направлении до уровня диафрагмы ложный канал был полностью тромбирован на всем протяжении.

Из 21 (56,8%) пациента с распространением диссекции до бифуркации аорты по данным МСКТ в среднесрочном периоде полный тромбоз ложного канала определялся: на уровне сегмента А – у 18 (85,7%), сегмента В – у 5 (23,8%), сегмента С – у 4 (19%) (табл. 5).

Повторное плановое вмешательство на дистальных отделах аорты проведено 3 из 21 пациента, что составило 14,3%. У 2 (66,7%) из них было хроническое РА типа В, у 1 (33,3%) – хроническое РА типа А. Средний интервал до второго этапа составил  $8 \pm 3,5$  мес (диапазон 6–12 мес). Всем этим пациентам проведена дополнительная имплантация стент-графта в нисходящий отдел аорты до уровня чревного ствола с целью элонгации «замороженного хобота слона».

Таким образом, свобода от повторных вмешательств у пациентов с острым и хроническим РА типа А составила 100 и 66,7% соответственно (p=0,286). При остром РА типа В свобода от аортальных реинтервенций достигала 100%, при хроническом – 75% (p=0,123) (рис. 2).

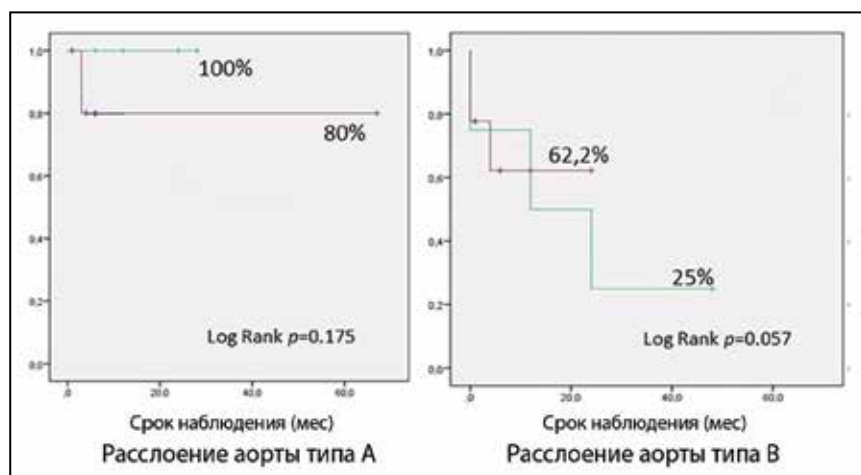


Рис. 1. Кривые выживаемости Kaplan-Meier при расслоении аорты типа А (слева), при расслоении аорты типа В (справа) в среднесрочном периоде наблюдения

## ОБСУЖДЕНИЕ

Методика «замороженный хобот слона», нацеленная на максимально возможное радикальное одноэтапное вмешательство, расширила кардиохирургический арсенал и в значительной мере упростила лечение сложных случаев заболеваний ГА. К настоящему времени основным показанием к использованию этой технологии является не только РА, но также аневризмы ГА, хотя этот вопрос до сих пор остается открытым [5–7].

Таблица 5

Состояние ложного канала в среднесрочном периоде у пациентов с расслоением аорты ниже диафрагмы					
Характеристика	Всего (n=21)	Расслоение аорты типа А		Расслоение аорты типа В	
		острое (n=5)	хроническое (n=4)	острое (n=3)	хроническое (n=9)
Сегмент А					
Полный тромбоз	18 (85,7%)	5 (100%)	4 (100%)	2 (66,7%)	7 (77,8%)
Частичный тромбоз	3 (14,3%)	0	0	1 (33,3%)	2 (22,2%)
Проходим	0	0	0	0	0
Сегмент В					
Полный тромбоз	5 (23,8%)	1 (20,0%)	2 (50,0%)	1 (33,3%)	1 (11,1%)
Частичный тромбоз	13 (61,9%)	2 (40,0%)	2 (50,0%)	2 (66,7%)	7 (77,8%)
Проходим	3 (14,3%)	2 (40,0%)	0	0	1 (11,1%)
Сегмент С					
Полный тромбоз	4 (19%)	1 (20,0%)	1 (25,0%)	1 (33,3%)	1 (11,1%)
Частичный тромбоз	6 (28,6%)	0	2 (50,0%)	1 (33,3%)	3 (33,3%)
Проходим	11 (52,4%)	4 (80,0%)	1 (25,0%)	1 (33,3%)	5 (55,6%)

Расслоение аорты типа А. Общепринятым хирургическим методом лечения пациентов с острым РА типа А считается реконструкция проксимального отдела аорты с резекцией первичной фенестрации, в то время как применение одномоментной реконструкции дистальных отделов ГА остается предметом споров [8]. Существует мнение, что проведение ограниченной проксимальной реконструкции аорты этой группе пациентов позволяет сократить летальность, поскольку характеризуется меньшей длительностью искусственного кровообращения, циркуляторного ареста и операции в целом, а также меньшим объемом трансфузионной нагрузки. Однако метаанализ, проведенный S.S. Poen, et al., не выявил преимуществ ограниченной реконструкции ГА перед расширенным вмешательством в раннем послеоперационном периоде [9]. Более того, сохранение ложного канала при ограниченной

хроническом РА ложный канал характеризуется меньшей частотой тромбоза по сравнению с таковой при острой диссекции. Основной причиной этого считается уплотнение расслоенной мембраны, а также наличие множественных фенестраций дистальнее уровня имплантированного стент-графта. Тем не менее, по данным D. Pacini et al., на госпитальном этапе частота тромбоза ложного канала на протяжении стент-графта при хронической диссекции составила 70%, а в среднесрочном периоде наблюдения достигла 92% [11].

По литературным данным, среднесрочная выживаемость среди пациентов с РА типа А находится в пределах 74–78%. При этом свобода от реинтервенций достигает 69–82%. Стоит отметить, что частота повторных вмешательств при хронической диссекции ожидаемо выше (25%), чем при острой форме РА (11%). Сегодня в структуре выполняемых реинтервенций преобладают эндоваскулярные вмешательства как наименее травматичные, а доля открытых операций не превышает 10% [8, 11]. Схожие тенденции относительно потребности во втором этапе, а также типа вмешательства прослеживаются и в данном исследовании.

Расслоение аорты типа В. В настоящее время стандартным подходом к лечению пациентов со «стабильным» РА типа В является медикаментозная терапия. Эндоваскулярные методы

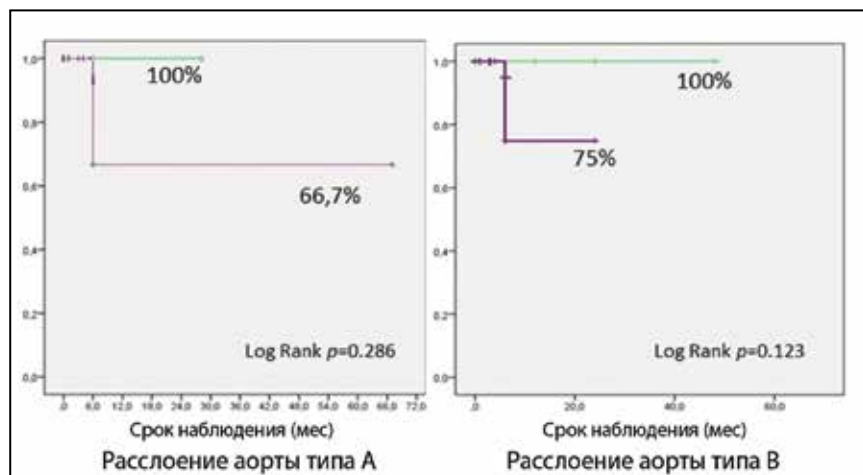


Рис. 2. Кривые свободы от реинтервенций Kaplan-Meier при расслоении аорты типа А (слева), при расслоении аорты типа В (справа) в среднесрочном периоде наблюдения

применяют при осложненных формах, которые проявляются некупируемым болевым синдромом, неконтролируемой гипертензией, а также прогрессированием диссекции с высокой вероятностью разрыва аорты и мальперфузии внутренних органов. Несмотря на совершенствование техники имплантации, а также самих стент-графтов, в ряде случаев эндоваскулярная процедура может быть ассоциирована с высоким риском осложнений. По этой причине оптимальный инвазивный метод лечения до настоящего времени не определен [5, 6, 12].

При лечении пациентов с РА типа В следует отдавать предпочтение методике «замороженный хобот слона» по ряду причин. Проксимальная шовная фиксация стент-графта к аорте при открытой имплантации в отличие от эндоваскулярной позволяет избежать проксимального подтекания, защищает от миграции стент-графта и обеспечивает профилактику ретроградной диссекции, которая сопровождается высокой летальностью (до 42%) [13, 14]. Более того, при сопутствующем расширении восходящего отдела и дуги аорты, даже пограничном, целесообразно выполнять одномоментную гибридную реконструкцию ГА. Кроме этого, в некоторых случаях необходимо проведение сочетанных кардиохирургических операций, требующих выполнения стернотомии (аортокоронарное шунтирование, вмешательство на аортальном клапане).

Согласно данным литературы, среднесрочная выживаемость пациентов с РА типа В после операции «замороженный хобот слона» составляет 75%, без достоверной разницы между острой и хронической формами заболевания ( $p=0,65$ ). Также имплантация гибридного стент-графта сопровождается высокой частотой тромбоза ложного канала на его протяжении (97–100%), что в значительной степени превышает частоту тромбоза при эндоваскулярной имплантации стент-графта (36–76%) [12, 15]. Низкая потребность в повторных вмешательствах на аорте также выгодно отличает гибридную методику от эндоваскулярной. По опубликованным данным G. Weiss, et al., повторное вмешательство на дистальных отделах аорты при использовании методики «замороженный хобот слона» потребовалось только в 8% случаев, при этом свобода от реинтервенций достигла уровня 79% [12]. В то же время N.D. Andersen, et al. сообщили о более высокой потребности в повторных интервенциях при изолированном эндоваскулярном подходе (23%), при этом в 7% случаев поводом для них были осложнения со стороны дуги аорты, а кумулятивная свобода от реинтервенций при данном подходе не превышала 68% [16].

Операция по методике «замороженный хобот слона», несомненно, является революционным решением в лечении пациентов с заболеваниями

ГА. Тем не менее до настоящего времени существуют нерешенные проблемы, связанные с этой манипуляцией. Одной из них считается послеоперационная спинальная ишемия – наиболее тяжелое осложнение гибридного вмешательства. Целый ряд исследований посвящен выявлению факторов риска и профилактике данного состояния. Так, K. Katayama, et al. выявили, что, наряду с сахарным диабетом, предшествующей аортальной реконструкцией, выраженным атеросклеротическим поражением аорты, значимое влияние на развитие ишемического повреждения спинного мозга оказывает дистальный уровень имплантации стент-графта ниже уровня Th9 [17]. Согласно данным J. Flores, et al., установлено, что операции на брюшной аорте, а также позиционирование нижнего края стент-графта на уровне Th7 являются наиболее значимыми факторами риска развития ишемии спинного мозга [18]. Другие авторы, опираясь на концепцию коллатерального кровоснабжения, полагают, что высокая частота спинальной ишемии при процедуре «замороженный хобот слона» обусловлена в значительной степени одновременным интраоперационным нарушением кровоснабжения в различных бассейнах коллатеральной сети, а не блокированием большого числа межреберных артерий [7, 11, 12, 19]. Таким образом, обеспечение магистрального кровотока в основных бассейнах (подключичном и подвздошном) позволяет безопасно позиционировать дистальный конец стент-графта даже на уровне Th10–Th12 с целью максимальной стабилизации нисходящей аорты [20].

Придерживаясь данной точки зрения, авторы стремились к достижению максимального погружения стент-графта в нисходящую аорту. Так, более чем у 65% оперированных пациентов дистальный уровень стент-графта находился ниже уровня Th9, что рассматривается рядом исследователей как «критичная» зона имплантации. Однако ни в одном из случаев не было отмечено признаков послеоперационной спинальной ишемии. По нашему мнению, данный результат обусловлен проведением комплексной профилактики ишемического повреждения спинного мозга, которая включала унилатеральную перфузию головного мозга через брахиоцефальный ствол со скоростью перфузии 8–10 мл/мин и перфузионным давлением в диапазоне 60–80 мм рт. ст., умеренную гипотермию (25–28 °С), а также поддержание уровня гематокрита не ниже 25% в течение всей операции.

Выбранный нами подход к имплантации стент-графта позволяет стабилизировать нисходящую аорту на большом протяжении, что вносит определенный вклад в низкую потребность в реинтервенциях в отсроченном периоде. Однако в ряде случаев

проведение повторного вмешательства продиктовано необходимостью профилактики вероятного негативного ремоделирования дистальных отделов аорты. Всем пациентам реинтервенции проведены эндоваскулярно не ранее чем через 6 мес. Полагаем, что данный временной интервал является достаточным для перестройки кровоснабжения спинного мозга после первичной имплантации стент-графта в нисходящий отдел. Это позволяет обеспечить дополнительную профилактику развития спинальной ишемии.

## **ВЫВОДЫ**

Реконструктивные операции, выполняемые по методике «замороженный хобот слона», являются эффективным хирургическим лечением больных с расслоением ГА, обеспечивающим удовлетворительный клинический результат в среднесрочном периоде наблюдения.

***Конфликт интересов отсутствует.***

## FIVE-YEAR RESULTS OF USING THE "FROZEN ELEPHANT TRUNK" TECHNIQUE FOR THORACIC AORTIC DISSECTION

KOZLOV B.N.<sup>1,2</sup>, PANFILOV D.S.<sup>1</sup>, KHODASHINSKY I.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Cardiovascular Surgery, Research Institute of Cardiology, Tomsk National Research Medical Centre of the Russian Academy of Sciences,

<sup>2</sup> Chair of Hospital Surgery, Siberian State Medical University under the RF Ministry of Public Health,

<sup>3</sup> Department of Complex Information Security of Computer Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

*Analysed herein is efficacy of hybrid intervention according to the "frozen elephant trunk" procedure in the medium-term period of follow-up in patients operated on for aortic dissection.*

*During the period from 2012 to 2018, a total of 44 «frozen elephant trunk» procedures were carried out for Stanford type A and B thoracic aortic dissections. All interventions were performed in conditions of moderate hypothermic circulatory arrest (25–28 °C) with unilateral cerebral perfusion through the brachiocephalic trunk.*

*The mean diameter of the implanted stent grafts amounted to 27.7±2.8 mm (range 24–30 mm). The distal edge of the stent graft was located at the level below the Th9 in more than 65% of cases (range Th7–Th12). The stent grafts were fixed proximally at the levels Z0–Z3, predominantly in the Z3 zone (72.7%). Thirty-day mortality amounted to 6.8%, with in-hospital mortality of 15.9%. Five-year survival in acute and chronic type A aortic dissection (AD) amounted to 100 and 80%, respectively (p=0.175). In acute type B aortic dissection five-year survival amounted to 62.2%, being 25.0% for chronic AD (p=0.057). Freedom from reinterventions for acute and chronic type A aortic dissection amounted to 100 and 66.7%, respectively (p=0.286). Freedom from aortic reinterventions for acute and chronic type B aortic dissection amounted to 100% and 75%, respectively (p=0.123).*

*Reconstructive operations performed according to the «frozen elephant trunk» technique appear to be effective surgical treatment in patients with thoracic aortic dissection, yielding satisfactory clinical results during a medium-term follow-up period.*

**Key words:** aortic dissection, «frozen elephant trunk», E-Vita open plus, mid-term survival, reintervention.

### INTRODUCTION

Open reconstruction of proximal portions of the thoracic aorta (TA) with simultaneous implantation of a stent graft into the descending aorta, the so-called «frozen elephant trunk» procedure (FET), is becoming increasingly popular amongst patients with multisegment pathology of the TA. In aortic dissection (AD) this technique makes it possible to stabilize the true lumen and to close the entry/re-entry zones of the proximal portion of the descending aorta.

Early results of using the «frozen elephant trunk» technique demonstrated its high efficacy [1, 2]. However the contemporary literature pays insufficient attention to analytical assessment of the remote results after such hybrid interventions [3].

The purpose of the present study was to analyse mid-term efficacy of a hybrid intervention performed in patients with AD according to the «frozen elephant trunk» technique.

### PATIENTS AND METHODS

Between March 2012 and February 2018, a total of 44 consecutive patients with Stanford type A and B aortic

dissection were operated on by means of the «frozen elephant trunk» technique. The patient cohort consisted of 30 (68.2%) men and 14 (31.8%) women, mean age 54.5 years (range 51–63). The structure of aortic pathology in our patients is shown in Table 1.

Multislice computed tomography (MSCT) was used as the main method of examination of TA pathology. In emergency situations we assessed aortic pathology based on the findings of transthoracic and transoesophageal echocardiography.

Prosthetic repair of the TA was performed with access through a median sternotomy approach in conditions of moderate hypothermia (25–28 °C). Cerebral protection at the stage of circulatory arrest was performed by means of unilateral perfusion through the brachiocephalic trunk according to the previously described technique [4].

In each case we used a hybrid stent graft E-vita open plus (Jotec, Germany) measuring from 24 to 30 mm in diameter and 150 mm in length. The size of the stent graft necessary for implantation was determined preoperatively by the findings of MSCT aortography. In acute AD while selecting the stent graft's size we were guided by the overall diameter of the descending aorta



**Kozlov B.N., et al. Five-year results of using  
the "frozen elephant trunk" technique for thoracic aortic dissection**

Characteristics of patients					
Parameter	Total (n=44)	Type A aortic dissection		Type B aortic dissection	
		acute (n=10)	chronic (n=16)	acute (n=5)	chronic (n=13)
Age, years	54.5±11.1	53.7±11.7	52.4±11	52.3±11.1	52.9±11.1
Males, n (%)	30 (68.2%)	7 (70.0%)	8 (50.0%)	4 (80.0)	11 (84.6%)
Emergency intervention (within 24 hours after symptom onset)	13 (29.5%)	10 (100%)	0	3 (60.0%)	0
Prior interventions on the TA	3 (6.8%)	0	3 (18.8%)	0	0
CAD	10 (22.7%)	1 (14.3%)	4 (25.0%)	2 (40.0%)	3 (23.1%)
LV EF >40%	2 (4.5%)	0	2 (12.5)	0	0
Blood creatinine <150 g/l	5 (11.4%)	0	1 (6.3%)	3 (60.0%)	1 (7.7%)
COPD	3 (6.8%)	0	2 (12.5%)	0	1 (7.7%)
Diabetes mellitus	2 (4.5%)	0	0	0	2 (15.4%)
A history of AICC	3 (6.8%)	1 (14.3%)	1 (6.3%)	0	1 (7.7%)
Marfan syndrome	2 (4.5%)	0	2 (12.5%)	0	0

*Note: CAD – coronary artery disease; LV EF – left-ventricular ejection fraction; COPD – chronic obstructive pulmonary disease; AICC – acute impairment of cerebral circulation.*

the graft beneath the clamping site and corporal artificial circulation at an estimated volumetric rate was re-established, to be followed by warming up of the patient. Along with it, we performed reconstruction of the aortic-arch vessels with the help of the island technique, debranching, or a combination thereof. Once this stage completed, bilateral cerebral perfusion was restored. Finally, we performed proximal reconstruction of the TA, as well as the necessary concomitant interventions on the aortic valve and coronary arteries (Table 2).

Throughout the whole operation, as well as during circulatory arrest, we evaluated the parameters of cerebral oximetry (Invos 5100 – Somanetics Corp., USA) / Foresight – Casmed, USA). Arterial pressure was controlled by means of direct measurement in both radial arteries. The target

at the level of the bifurcation of the pulmonary trunk. For the patients of this cohort it is necessary to select an adequate size of the stent graft, with no oversizing allowed. In chronic AD we measured the overall and true lumens of the descending aorta at the level of the bifurcation of the pulmonary trunk. In these cases the optimal size of the stent graft was determined by means of a compromise choice between the diameters of the overall and true lumen of the descending aorta. The stent graft's diameter is allowed to be slightly more (an oversizing not exceeding 10%) than that of the true lumen of the aorta. Implantation of the hybrid device was guided by transesophageal echocardiography. The stent graft was inserted into the descending portion to the maximal length of the aorta for its maximum stabilization.

The proximal portion of the stent graft was fixed by the blanket suture with monofilament thread 4/0 with the use of the «sandwich technique». In 32 (72.7%) cases, the distal aortic anastomosis was formed behind the subclavian artery and in 12 (27.3%) cases – proximal to this zone. «Proximalization» of the distal aortic anastomosis is determined by anatomical peculiarities hampering mobilization of the distal portion of the aortic arch, as well as by high risk of damaging various structures. This tactics makes it possible to reduce the duration of distal reconstruction of the aortic arch. Establishing the distal anastomosis was followed by traction of the vascular prosthesis from the stent graft and clamping thereof. An auxiliary arterial cannula was inserted into

values of haematocrit at the stage of circulatory arrest were maintained at the level not less than 25%. Neither monitoring of pressure nor drainage of cerebrospinal fluid were performed.

All patients discharged from hospital underwent clinical examinations including MSCT aortography in a hospital or at the place of residence 6 and 12 months after surgery, then annually.

For objectivization of the level of thrombosis of the false lumen in AD we used the segmental scheme suggested by M. Shrestha, et al., wherein segment A is the distance from the distal aortic anastomosis to the level of the left auricle (in the postoperative patients it corresponded to the level of the implanted stent graft), segment B – from the level of the left auricle to the celiac trunk, and segment C – from the level of the diaphragm to the aortic bifurcation [3].

The data was statistically processed using the SPSS 17 software package for Windows (SPSS Inc., USA). The quantitative parameters obeying the normal law of distribution were expressed as the mean (M) and standard deviation (±SD); those not obeying the normal probability law of distribution were described with the help of the median (Me) and the interquartile range (Q25–Q75). The parameters characterising qualitative attributes were determined taking into account the absolute number (n) and relative value (%). Survival of and freedom from reinterventions in the operated patients were analysed by means of the Kaplan-Meier method, the curves were

**Kozlov B.N., et al. Five-year results of using  
the "frozen elephant trunk" technique for thoracic aortic dissection**

Table 2					
Intraoperative data					
Parameter	Total (n=44)	Type A aortic dissection		Type B aortic dissection	
		acute (n=10)	chronic (n=16)	acute (n=5)	chronic (n=13)
Concomitant operations					
CABG	7 (15.9%)	0	1 (6.3%)	1 (20.0%)	2 (15.4%)
AVR	7 (15.9%)	1 (10.0%)	4 (25.0%)	0	0
Arch vessels reconstruction					
Island technique	21 (47.7%)	8 (80.0%)	6 (37.5%)	3 (60.0%)	4 (30.8%)
Debranching	13 (29.5%)	1 (10.0%)	7 (43.8%)	0	5 (38.5%)
Combination of the methods	10 (22.7%)	1 (10.0%)	3 (18.8%)	2 (40.0%)	4 (30.8%)
Characteristics of the implanted stent graft					
Stent graft size (range), mm	27.7±2.8 [22-40]	27.2±2.3 [24-30]	27.5±2.3 [24-30]	27.6±2.2 [24-30]	28.2±1.5 [24-30]
Level of distal aortic anastomosis:					
Z0	1 (2.3%)	0	1 (6.3%)	0	0
Z1	1 (2.3%)	0	0	0	1 (7.7%)
Z2	10 (22.7%)	0	5 (31.3%)	0	5 (38.5%)
Z3	32 (72.7%)	10 (100%)	10 (62.5%)	5 (100%)	7 (53.8%)
Zones of the lower edge:					
Th7	5 (11.4%)	0	1 (6.3%)	1 (20.0%)	3 (23.1%)
Th8	10 (22.7%)	0	2 (12.5%)	2 (40.0%)	6 (46.2%)
Th9	12 (27.3%)	7 (70.0%)	1 (6.3%)	2 (40.0%)	2 (15.4%)
Th10	9 (20.5%)	2 (20.0%)	5 (31.3%)	0	2 (15.4%)
Th11	6 (13.6%)	1 (10.0%)	5 (31.3%)	0	0
Th12	2 (4.5%)	0	2 (12.5%)	0	0
<i>Note: CABG – coronary artery bypass grafting; AVR – aortic valve repair; Z0-Z3 – zones of formation of distal aortic anastomosis; Th7-Th12 – designation of the bodies of thoracic vertebrae.</i>					

Table 3					
Temporal characteristics of hybrid interventions (min)					
Parameter	Total (n=44)	Type A aortic dissection		Type B aortic dissection	
		acute (n=10)	chronic (n=16)	acute (n=5)	chronic (n=13)
Duration of the operation	421.1 [412; 427]	420 [409; 423]	465.6 [458; 471]	427.6 [412; 433]	413.1 [405; 415]
AC duration	217.6 [209; 221]	221.9 [214; 227]	230 [220; 232]	263.2 [253; 269]	199 [178; 203]
Cardiac arrest duration	144.8 [139; 148]	171.4 [167; 175]	168.3 [159; 172]	140 [137; 147]	121.8 [114; 124]
CA duration	43.1 [41; 46]	42 [41; 45]	41.7 [40; 44]	43.9 [41; 45]	44 [41; 46]
ACP duration	62.9 [59; 64]	62 [58; 63]	69.2 [65; 72]	58.4 [56; 64]	71.2 [66; 73]
<i>Note: AC – artificial circulation; CA – circulatory arrest; ACP – antegrade cerebral perfusion.</i>					

compared using the log-rank test. Differences were regarded as statistically significant if  $p < 0.05$ .

## RESULTS

Table 3 shows the main temporal characteristics of the operations performed.

As can be seen from Table 4, in the early postoperative period the incidence of permanent neurological deficit of the brain amounted to 2.3%, with no episodes of ischaemic catastrophes on the part of the spinal cord. Neither were there cardiac complications revealed. Totally, the 30-day and in-hospital mortality amounted to 6.8 and 15.9%, respectively. The causes of death were as follows: rupture of the abdominal aorta (n=2), haemorrhagic shock (n=2), multiple organ failure (n=3).

Six (16.2%) of the 37 discharged patients died during the five-year follow-up period (mean  $23 \pm 17$  months). The lethality structure included: massive pulmonary thromboembolism (n=1), heart failure (n=3), stroke (n=1) and in one case the cause of death was not established. All deaths were not aorta-associated, with none of the deceased patients having had indications for repeat reconstructions of the proximal portions of the TA.

Thus, survival amongst the patients with acute and chronic type A aortic dissection amounted to 100 and 80%, respectively ( $p=0.175$ ). For acute and chronic type B aortic dissection, the 5-year survival rate amounted to 62.2 and 25.0%, respectively ( $p=0.057$ ) (Fig. 1).

Five-year results were followed up in 37 patients with AD (100% of patients discharged from hospital). After the operation, in 16 (43.2%) patients with aortic dissection extending distally to the level of the diaphragm, the false lumen was completely thrombosed all along the length.

Of 21 (56.8%) patients with dissection extending to the aortic bifurcation according to the MSCT findings in the middle-term period,

complete thrombosis of the false lumen was determined: at the level of segment A – in 18 (85.7%), segment B – in 5 (23.8%), segment C – in 4 (19%) patients (Table 5).

Repeat elective intervention on distal portions of the aorta was performed in 3 of the 21 patients, thus

*Table 4*

Parameter	Total (n=44)	Type A aortic dissection		Type B aortic dissection	
		acute (n=10)	chronic (n=16)	acute (n=5)	chronic (n=13)
TIA	2 (4.5%)	0	0	1 (20.0%)	1 (7.7%)
Stroke	1 (2.3%)	0	0	0	1 (7.7%)
Spinal ischaemia	0	0	0	0	0
RRT	13 (29.5%)	1 (10.0%)	4 (25.0%)	3 (60.0%)	5 (38.5%)
Haemorrhage	2 (4.5%)	0	1 (6.3%)	1 (20.0%)	0
Prolonged mechanical ventilation (>48 hours)	31 (70.5%)	7 (70.0%)	10 (62.5%)	4 (80.0%)	10 (76.9%)
30-day mortality	3 (6.8%)	0	1 (6.3%)	1 (20.0%)	1 (7.7%)
In-hospital mortality	7 (15.9%)	0	2 (12.5%)	2 (40.0%)	3 (23.1%)

*Note: TIA - transitory ischaemic attack; RRT - renal replacement therapy.*

expanded the range of cardiosurgical means and significantly simplified treatment of complicated cases of TA pathology. By now the main indication for using this procedure is not only AD but also TA aneurysms, however, this issue is still open [5–7].

**Type A aortic dissection.** Reconstruction of the proximal portion of the aorta with resection of the primary fenestration is a commonly accepted method of treatment of patients with acute type A aortic dissection, whereas the use of simultaneous reconstruction of distal portions of the TA remains controversial [8]. There is an opinion that carrying out limited proximal

amounting to 14.3%. Two (66.7%) of them had chronic type B aortic dissection and one (33.3%) had chronic type B aortic dissection. The average interval till the second stage amounted to  $8 \pm 3.5$  months (range 6–12 months). All these patients endured additional implantation of a stent graft to the descending portion of the aorta to the level of the celiac trunk in order to elongate the «frozen elephant trunk».

Hence, freedom from reinterventions in patients with acute and chronic type A aortic dissection amounted to 100 and 66.7%, respectively ( $p=0,286$ ). For acute and chronic type B aortic dissection freedom from reinterventions amounted to 100% and 75%, respectively ( $p=0.123$ ) (Fig. 2).

## DISCUSSION

The «frozen elephant trunk» technique targeted at maximally possible radical single-stage intervention

reconstruction of the aorta in this cohort of patients makes it possible to reduce mortality, since it is characterised by shorter duration of assisted circulation, circulatory arrest, and the operation as a whole, as well as lower volume of the transfusion load. However, a meta-analysis conducted by S.S. Poon, et al. revealed no advantages of limited replacement of the TA over extensive intervention in the early postoperative period [9]. Moreover, preservation of the false lumen in limited proximal reconstruction of the aorta correlates with its dilatation and unsatisfactory surgical outcomes, as well as the necessity of reinterventions in the remote period, amounting to 30%. At the same time, a combination of proximal reconstruction of the aorta with implantation of a stent graft into the descending portion ensures stabilization of a considerable segment of the true lumen. This promotes thrombosis of the false lumen all along the length of the stent graft in 86–94% of cases as early

as in the immediate postoperative period with a tendency towards increased frequency of thrombosis in the remoteperiod [8, 10]. It should be mentioned that in chronic AD the false lumen is characterized by lower frequency of thrombosis as compared with that for acute dissection. The major cause of this is considered to be compaction of the dissected membrane, as well as the presence of multiple fenestrations distal to the level of the implanted stent graft. Nevertheless, D. Pacini et al. reported that at the in-hospital stage the frequency of false lumen

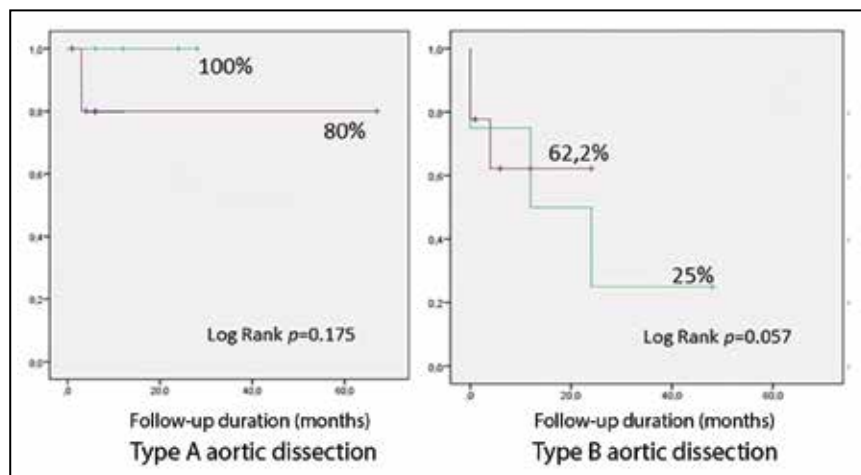


Figure 1. Kaplan-Meier survival curves in type A aortic dissection (left) and type B aortic dissection (right) in the mid-term follow-up period

Table 5

State of the false lumen in the middle term period in patients with aortic dissection below the diaphragm					
Characteristic	Total (n=21)	Type A aortic dissection		Type B aortic dissection	
		acute (n=5)	Chronic (n=4)	acute (n=3)	chronic (n=9)
Segment A					
Complete thrombosis	18 (85.7%)	5 (100%)	4 (100%)	2 (66.7%)	7 (77.8%)
Partial thrombosis	3 (14.3%)	0	0	1 (33.3%)	2 (22.2%)
Patent	0	0	0	0	0
Segment B					
Complete thrombosis	5 (23.8%)	1 (20.0%)	2 (50.0%)	1 (33.3%)	1 (11.1%)
Partial thrombosis	13 (61.9%)	2 (40.0%)	2 (50.0%)	2 (66.7%)	7 (77.8%)
Patent	3 (14.3%)	2 (40.0%)	0	0	1 (11.1%)
Segment C					
Complete thrombosis	4 (19%)	1 (20.0%)	1 (25.0%)	1 (33.3%)	1 (11.1%)
Partial thrombosis	6 (28.6%)	0	2 (50.0%)	1 (33.3%)	3 (33.3%)
Patent	11 (52.4%)	4 (80.0%)	1 (25.0%)	1 (33.3%)	5 (55.6%)

thrombosis along the length the stent graft in chronic dissection amounted to 70% and in the middle-term period of follow up reached 92% [11].

According to the literature data, middle-term survival rate amongst patients with type A aortic dissection ranges from 74 to 78%, with the freedom from reinterventions amounting to 69–82%. Mention should be made that the frequency of repeat interventions in chronic dissection is expectedly higher (25%) than that in acute AD (11%). Today, prevailing in the structure of reinterventions performed are endovascular interventions as least traumatic, with the proportion of open operations not exceeding 10% [8, 11]. Similar tendencies regarding the requirements for the second stage, as well as the type of the intervention are traced in the present study.

“frozen elephant trunk” technique for a series of reasons. The proximal suture fixation of a stent graft to the aorta in open implantation, as opposed to endovascular one, makes it possible to avoid proximal endoleak, protecting stent-graft migration and ensuring prevention of retrograde dissection which is accompanied by high mortality rate (up to 42%) [13, 14]. Moreover, in concomitant dilatation of the ascending portion and aortic arch, even borderline, it is appropriate to perform simultaneous hybrid reconstruction of the TA. Besides, in some cases it is necessary to carry out concomitant cardio-surgical operations requiring sternotomy (coronary artery bypass grafting, intervention on the aortic valve).

According to the literature data, middle-term survival of patients with type B aortic dissection

after the “frozen elephant trunk” procedure amounts to 75%, with no significant difference between the acute and chronic forms of the disease ( $p=0.65$ ). Also, implantation of a hybrid stent graft is accompanied by high frequency of thrombosis of the false lumen at its length (97–100%) which significantly exceeds the frequency of thrombosis in endovascular implantation of a stent graft (36–76%) [12, 15]. Low need for repeat interventions on the aorta also favourably distinguishes the hybrid technique from endovascular one. According to the findings published

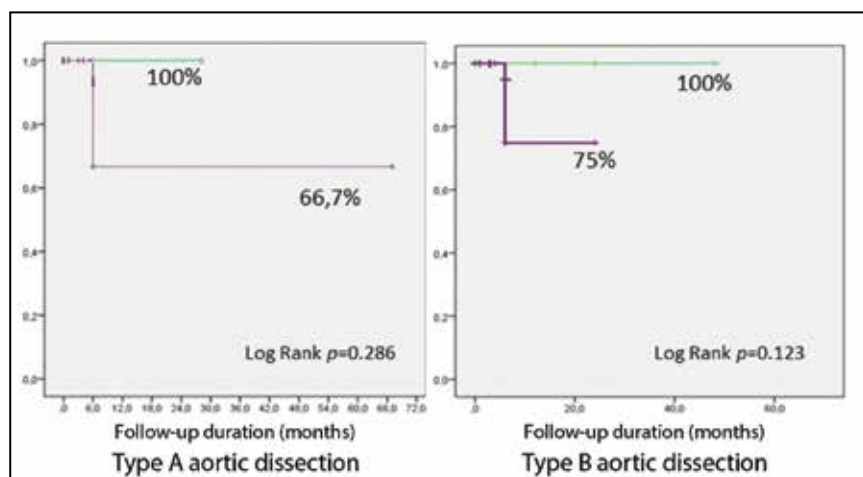


Figure 2. Kaplan-Meier freedom-from-reintervention curves in type A aortic dissection (left) and type B aortic dissection (right) in the mid-term follow-up period

by G. Weiss et al, repeat intervention on distal portions of the aorta with the use of the "frozen elephant trunk" technique was required in only 8% of cases, with the freedom from reinterventions amounting to 79% [12]. At the same time, N.D. Andersen et al. reported higher requirements for repeat interventions in isolated endovascular approach (23%), with the reason for them being complications related to the aortic arch in 7% of cases and the cumulative freedom from reinterventions in such approach not exceeded 68% [16].

The "frozen elephant trunk" technique is undoubtedly a revolutionary solution in treatment of patients with TA pathology. Nevertheless, there are still unsolved problems related to this manipulation. One of them is believed to be postoperative spinal ischaemia, the most severe complication of hybrid intervention. Many studies were devoted to revealing risk factors for and prevention of this condition. Thus, K. Katayama, et al. revealed that along with diabetes mellitus, prior aortic reconstruction, pronounced atherosclerotic lesion of the aorta the development of ischaemic lesion of the spinal cord is significantly influenced by the distal position of the stent graft below the ninth thoracic vertebral level [17]. J. Flores, et al. reported that when distal landing zone at Th7 or a more distal point and history of abdominal aortic aneurysm repair were combined, this was the strongest significant independent predictor for spinal cord ischaemia [18]. Other authors, relying on the concept of collateral blood supply believe that high frequency of spinal cord ischaemia during the "frozen elephant trunk" procedure is largely due to simultaneous intraoperative impairment of blood supply in various basins of the collateral network, rather than to occlusion of the excessive intercostal arteries [7, 11, 12, 19]. Thus, provision of the major blood flow in the main basins (subclavian and iliac) makes it possible to safely position the distal end of the stent graft even at the level of Th10–Th12 with the purpose of maximum stabilization of the descending aorta [20].

Adhering to this point of view, the authors aimed to attain the maximal insertion the stent graft into the descending aorta. Thus, in more than 65% of patients the distal position of the stent graft was below the Th9 level which is regarded by a series of researches as a "critical" zone of implantation. However, in none of the cases there were signs of postoperative spinal ischaemia. In our opinion, this result is determined by carrying out comprehensive prevention of ischaemic lesion of the spinal cord, which included unilateral cerebral perfusion via the brachiocephalic trunk at a perfusion rate of 8–10 ml/min and perfusion pressure within a range of 60–80 mm Hg, moderate hypothermia (25–28 °C), as well as maintaining the haematocrit value not below 25% throughout the whole operation.

Our approach to implantation of a stent graft makes it possible to stabilize the descending aorta over a long length, thus favourably contributing to reduced requirements for reinterventions in the remote period. However, in a series of cases performing repeat intervention was dictated by the need to prevent probable negative remodelling of distal portions of the aorta. All patients underwent endovascular reinterventions not earlier than after 6 months. We believe that this time interval is sufficient for restructuring of blood supply of the spinal cord after the primary implantation of the stent graft to the descending portion. This makes it possible to ensure additional prevention of spinal cord ischaemia.

## CONCLUSIONS

Reconstructive operations performed according to the "frozen elephant trunk" technique appear to be effective surgical treatment of patients with TA dissection, ensuring clinically satisfactory results in the medium-term period of follow-up.

*Conflict of interest: none declared.*

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. *Leontyev S., Misfeld M., Daviewala P., et al.* Early – and medium-term results after aortic arch replacement with frozen elephant trunk techniques – a single center study. *Ann. Cardio-thorac. Surg.* 2013; 2(5): 606–611. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2013.09.22.
2. *Leontyev S., Tsagakis K., Pacini D., et al.* Impact of clinical factors and surgical techniques on early outcome of patients treated with frozen elephant trunk technique by using EVITA open stent-graft: results of a multicentre study. *Eur. J. Cardio-thorac. Surg.* 2016; 49(2): 660–666. doi: 10.1093/ejcts/ezv150.
3. *Shrestha M., Martens A., Kaufeld T., et al.* Single-centre experience with the frozen elephant trunk technique in 251 patients over 15 years. *Eur. J. Cardio-thorac. Surg.* 2017; 52(5): 858–866. doi: 10.1093/ejcts/ezx218.
4. *Козлов Б.Н., Панфилов Д.С., Кузнецов М.С. и др.* Антеградная унилатеральная перфузия головного мозга через брахиоцефальный ствол при операциях на дуге аорты. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2016; 22: 1: 195–197.
5. *Erbel R., Aboyans V., Boileau C., et al.* 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal.* 2014; 35: 2873–2926. doi: 10.1093/eurheartj/ehu281.
6. Клинические рекомендации по диагностике и лечению заболеваний аорты (2017). *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2018; 1: 7–67.

7. **Shrestha M., Bachet J., Bavaria J., et al.** Current status and recommendations for use of the frozen elephant trunk technique: a position paper by the Vascular Domain of EACTS. *Eur. J. Cardio-thorac. Surg.* 2015; 47: 759–769. doi: 10.1093/ejcts/ezv085.
8. **Tsagakis K., Pacini D., Di Bartolomeo R., et al.** Multicenter early experience with extended aortic repair in acute aortic dissection: Is simultaneous descending stent grafting justified? *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2010; 140: S116–S1120. doi: 10.1016/j.jtcvs.2010.07.066.
9. **Poon S.S., Theologou T., Harrington D., et al.** Hemi-arch versus total aortic arch replacement in acute type A dissection: a systematic review and meta-analysis. *Ann. Cardio-thorac. Surg.* 2016; 5(3): 156–173. doi: 10.21037/acs.2016.05.06.
10. **Jakob H., Dohle D., Benedik J., et al.** Long-term experience with the E-vita Open hybrid graft in complex thoracic aortic disease. *Eur. J. Cardio-thorac. Surg.* 2017; 51(2): 329–338. doi: 10.1093/ejcts/ezw340.
11. **Pacini D., Tsagakis K., Jakob H., et al.** The Frozen Elephant Trunk for the Treatment of Chronic Dissection of the Thoracic Aorta: A Multicenter Experience. *Ann. Thorac. Surg.* 2011; 92: 1663–1670. doi: 10.1016/j.athoracsur.2011.06.027.
12. **Weiss G., Tsagakis K., Jakob H., et al.** The frozen elephant trunk technique for the treatment of complicated type B aortic dissection with involvement of the aortic arch: multicentre early experience. *Eur. J. Cardio-thorac. Surg.* 2015; 47(1): 106–114. doi: 10.1093/ejcts/ezu067.
13. **Eggebrecht H., Thompson M., Rousseau H., et al.** Retrograde ascending aortic dissection during or after thoracic aortic stent graft placement insight from the European Registry on Endovascular Aortic Repair Complications. *Circulation.* 2009; 120: 1: 276–281. doi: 10.1161/circulationaha.108.835926.
14. **Cambria R.P., Conrad M.F., Matsumoto A.H., et al.** Multicenter clinical trial of the conformable stent graft for the treatment of acute, complicated type B dissection. *J. Vasc. Surg.* 2015; 62: 271–278. doi:10.1016/j.jvs.2015.03.026.
15. **Duarte J.J., Pontes J.C.D.V., Benfatti R.A., et al.** Indication of endovascular treatment of type B aortic dissection – Literature review. *Rev. Bras. Cir. Cardiovasc.* 2014; 29(3): 396–401. doi: 10.5935/1678-9741.20140076.
16. **Andersen N.D., Keenan J.E., Ganapathi A.M., et al.** Current management and outcome of chronic type B aortic dissection: results with open and endovascular repair since the advent of thoracic endografting. *Ann. Cardio-thorac. Surg.* 2014; 3(3): 264–274. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2014.05.07.
17. **Katayama K., Uchida N., Katayama A., et al.** Multiple factors predict the risk of spinal cord injury after the frozen elephant trunk technique for extended thoracic aortic disease. *Eur. J. Cardio-thorac. Surg.* 2015; 47: 616–620. doi: 10.1093/ejcts/ezu243.
18. **Flores J., Kunihara T., Shiya N., et al.** 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. **Damberg A., Schalte G., Autschbach R., Hoffman A.** Safety and pitfalls in frozen elephant trunk implantation. *Ann. Cardio-thorac. Surg.* 2013; 2(5): 669–676.
20. **Kari F.A., Saravi B., Krause S., et al.** Spinal ischaemia after thoracic endovascular aortic repair with left subclavian artery sacrifice: is there a critical stent graft length? *Eur. J. Cardio-thorac. Surg.* 2018; 53: 385–391. doi: 10.1093/ejcts/ezx285.

---

Адрес для корреспонденции:  
Панфилов Д.С.  
Тел.: (3822) 55-44-16, 8 (903) 913-08-79  
E-mail: pand2006@yandex.ru

---

Correspondence to:  
Panfilov D.S.  
Tel.: (3822) 55-44-16, 8 (903) 913-08-79  
E-mail: pand2006@yandex.ru