

*На правах рукописи*

**ЗЯБИРОВА РУШАНИЯ ЗИННЯТОВНА**

**ВЕКТОРНОЕ КАРТИРОВАНИЕ И ПОТОКИ КРОВИ В ОЦЕНКЕ  
ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ АНЕВРИЗМЫ ВОСХОДЯЩЕГО  
ОТДЕЛА АОРТЫ С АОРТАЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ**

14.01.13 – лучевая диагностика, лучевая терапия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Москва – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского»

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:**

**Сандриков Валерий Александрович**, профессор, доктор медицинских наук, академик РАН

**ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:**

**Саидова Марина Абдулатиповна**, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Минздрава России, руководитель лаборатории ультразвуковых методов исследования;

**Алехин Михаил Николаевич**, доктор медицинских наук, ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента РФ, заведующий отделением функциональной диагностики; ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» УД Президента РФ, профессор кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии

**ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится « » \_\_\_\_\_ 2022 г. в « » часов на заседании диссертационного совета (Д.001.027.02) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского» по адресу: 119991, Москва, Абрикосовский пер., д. 2

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского» и на сайте [www.med.ru](http://www.med.ru)

*Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.*

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор медицинских наук

Годжелло Элина Алексеевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность и степень разработанности темы исследования**

Накопленный в мире опыт диагностики и хирургического лечения аневризм восходящего отдела аорты, осложненной регургитацией на аортальном клапане (АК), создали предпосылки к дальнейшему изучению данной проблемы (Белов Ю. В., Чарчян Э. Р., 2006; Сандриков В. А. и др., 2019; Чарчян Э. Р. и др., 2016; Wu J. et al., 2019). Многие аспекты оценки результатов лечения, диагностики далеки ещё от своего разрешения. В связи с этим, исследование направлено на разработку и совершенствование методов эхокардиографии у больных данной патологией.

Недостаточность АК является одной из распространенных клапанных патологий во всем мире (Бокерия Л. А. и др., 2016; Soltesz E., Carabello B., 2017; Akinseye O. et al., 2018; Mrsic Z. et al., 2018). По данным Американской Ассоциации Сердца недостаточность АК на сегодняшний день является третьей по распространенности клапанной патологией сердца и составляет около 18% всех клапанных заболеваний. В Соединенных Штатах на долю недостаточности АК приходится более 50% операций по протезированию АК (Virani et al., 2021).

Значимая аортальная регургитация (АР) приводит к объемной перегрузке левого желудочка (ЛЖ) и, как следствие, к его структурно-геометрическим изменениям. В последнее время широко признана оценка деформации миокарда, имеющая преимущество перед оценкой локальной сократимости и фракции выброса ЛЖ (ФВ ЛЖ) (Алехин М. Н., 2017; Бузиашвили Ю. И. и др., 2019; Саидова М. А. и др., 2020). Оценка деформации восходящей аорты (ВАо) может быть связана с дилатацией корня аорты и риском расслоения у пациентов с синдромом соединительнотканной дисплазии и требует дальнейшего изучения (Mansour A. et al., 2018; Eagle K., Bhave N., 2019; Tiwari K. et al., 2019).

Возникновение потоков крови связано с морфологией и функцией сердечно-сосудистой системы: клапанная патология сердца, а также другие заболевания могут изменять направление потока крови в ЛЖ (Сандриков В. А. и др., 2013, 2014; Sengupta P. P. et al., 2012). Анализ современной литературы

указывает на недостаточное число публикаций, посвященных изучению потоков крови в ЛЖ и аорте при аневризме ВАо с выраженной АР до операции и в послеоперационном периоде.

Таким образом, актуальность проблемы основана на новых методах диагностики, направленных на получение данных о функции ЛЖ и ВАо. Векторный анализ, оценка внутрижелудочковых потоков крови и анализ их взаимодействия позволяют более глубоко оценивать функцию ЛЖ и аорты у больных гемодинамически значимой АР до операции и могут служить оптимизацией критериев в прогнозировании состояния пациентов после оперативного вмешательства.

**Цель исследования:** оценить динамику изменений внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови, скорости смещения миокарда левого желудочка и стенки аорты у больных аневризмой восходящего отдела аорты, осложненной аортальной регургитацией, до операции и после хирургического лечения в ближайшем послеоперационном периоде.

#### **Задачи исследования**

1. Оценить скорости смещения миокарда левого желудочка и стенок восходящего отдела аорты у больных аневризмой восходящего отдела аорты, осложненной аортальной недостаточностью, до и после хирургической коррекции порока.

2. Исследовать динамику внутрижелудочковых потоков крови у больных аортальной недостаточностью и аневризмой восходящего отдела аорты до и после хирургической коррекции порока.

3. Изучить динамику внутрисосудистых потоков крови в аорте у больных аортальной недостаточностью и аневризмой восходящего отдела аорты до и после хирургической коррекции порока.

4. Разработать оптимальный алгоритм оценки хирургической коррекции недостаточности аортального клапана, основанный на векторном анализе и динамике изменения потоков крови в левом желудочке и аорте.

**Научная новизна работы.** Впервые сформулирован и разработан методологический подход в неинвазивной оценке гемодинамики и функции левого желудочка и аорты по скоростям смещения миокарда и стенки аорты, а также динамике внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови по данным эхокардиографии у больных недостаточностью аортального клапана и аневризмой восходящего отдела аорты. Разработана и научно обоснована методология неинвазивной оценки внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови, которая позволяет оценивать левый желудочек и аорту как единую камеру сердца. Получены новые научные данные динамики изменений потоков крови в левом желудочке и аорте с определением их взаимосвязи между функцией миокарда левого желудочка и стенок аорты у больных выраженной аортальной регургитацией и аневризмой восходящего отдела аорты до и после хирургического лечения. Получены новые научные результаты для оценки адекватности хирургического лечения аневризмы восходящего отдела аорты, осложненной аортальной регургитацией. Определены и интерпретированы значимые дифференциально-диагностические критерии у пациентов аневризмой восходящего отдела аорты с аортальной регургитацией: снижение скоростей внутрижелудочковых потоков крови в раннем послеоперационном периоде в совокупности с восстановлением структуры и отсутствием патологических турбулентных потоков являются предикторами успешной реконструкции корня аорты и восстановления запирающей способности аортального клапана.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработаны новые количественные критерии оценки систолической и диастолической функции миокарда левого желудочка у больных аортальной недостаточностью и аневризмой восходящего отдела аорты, основанные на регистрации внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови. Определены критерии смещения и скорости смещения стенки восходящего отдела аорты на этапах хирургического лечения, основанные на векторном анализе и деформации сосудистой стенки. Установлено, что потоки крови в полости левого желудочка и аорте, а также поиск их взаимосвязей между деформацией миокарда и

сосудистой стенки, позволяют оценить гемодинамику и степень выраженности патологии. Предложенный метод диагностики может быть использован для оценки адекватности хирургического лечения и восстановления функции левого желудочка и аорты после оперативного вмешательства.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Разработать новые диагностические критерии в оценке радикальной хирургической коррекции аневризмы восходящего отдела аорты с аортальной недостаточностью.

2. Оценить информативность и связи внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови со скоростями смещения сосудистой стенки, а также миокарда левого желудочка у больных аневризмой восходящего отдела аорты с выраженной аортальной регургитацией.

3. Оценить результаты хирургической коррекции аневризмы восходящего отдела аорты с аортальной регургитацией по данным внутрижелудочковых потоков крови и скоростей смещения миокарда левого желудочка.

4. Создать современный протокол хирургического лечения аневризмы восходящего отдела аорты, осложненной аортальной регургитацией, на основании объема регургитации, скорости смещения стенки аорты и миокарда левого желудочка, а также внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови.

**Внедрение в клиническую практику.** Результаты диссертационного исследования внедрены в клиническую практику отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б. В. Петровского», а также в процесс обучения ординаторов и курсантов ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б. В. Петровского». Результаты диссертационной работы отображены в соответствии с НИР на тему: «Создание информационной платформы для поддержки принятия решений в диагностике и лечении больных с патологией сердечно-сосудистой системы и онкологии», № 0394-2020-0007. Срок выполнения 2022 г.

**Степень достоверности.** Достоверность полученных данных основана на достаточном количестве выполненных исследований, использовании современных методов статистической обработки полученных результатов. Итоговые данные и результаты исследования соотносятся с целью работы и поставленными задачами.

**Апробация результатов работы.** Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на «XXIV Ежегодной Сессии НМИЦ ССХ им. А. Н. Бакулева» Минздрава России с Всероссийской конференцией молодых ученых (Москва, 16–18 мая 2021 г.), XIII Всероссийской научно-практической конференции «Функциональная диагностика – 2021» (Москва, 25–27 мая 2021 г.). Апробация диссертации состоялась 27 октября 2021 года на совместной конференции лаборатории отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики, отделения реконструктивно-восстановительной сердечно-сосудистой хирургии, в присутствии сотрудников других подразделений ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского».

**Публикации по теме диссертации.** По результатам диссертационного исследования опубликовано 6 научных работ, из них – 2 в научных рецензируемых журналах, включённых в перечень ВАК для публикации основных научных результатов диссертации.

**Личное участие автора в получении научных результатов исследования.** По изучаемой проблеме соискателем проанализирована отечественная и зарубежная литература. Автор самостоятельно проводила ЭхоКГ исследование с расчетом показателей, оформления протокола и создания электронной базы данных, осуществляла динамическое наблюдение за пациентами. Соискателем получены результаты исследования, выполнена статистическая обработка данных с последующим анализом и сравнением с литературными данными.

**Структура и объем диссертации.** Работа изложена на 126 страницах. Диссертация состоит из введения и 5 глав (литературного обзора, материалов и методов исследования, результатов собственных исследований и клинических

наблюдений), заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и библиографического списка. Диссертация включает 18 таблиц и 90 рисунков. Список литературы содержит 96 источников (29 отечественных, 67 зарубежных).

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

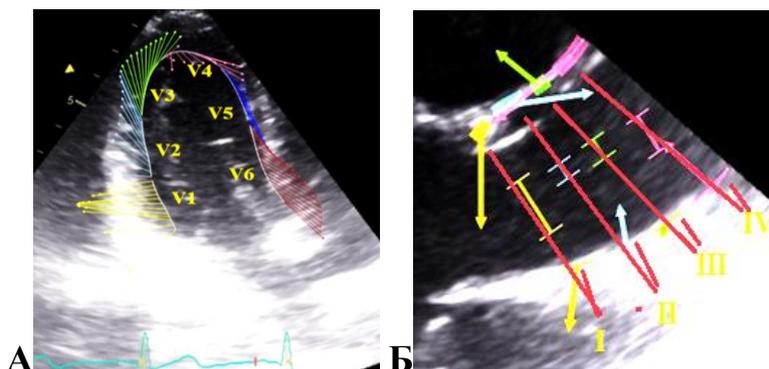
**Материалы и методы исследования.** Было обследовано 90 человек, из них 70 пациентов с аневризмой ВАо, осложненной АР, и 20 здоровых добровольцев. Возраст пациентов с аневризмой ВАо и АР составил  $53 \pm 15$  лет. Мужчин в исследовании было 57 (81,1%), женщин – 13 (18,9%). У всех обследованных пациентов был синусовый ритм. *Критериями включения в исследование были:* аневризма ВАо; выраженная АР; сохранная ФВ ЛЖ; оптимальная эхолокация ЛЖ и ВАо; частота кадров более 50 кадров/сек. *Критериями исключения из исследования были:* ИБС, постинфарктный кардиосклероз; сопутствующий порок митрального клапана; аортальный стеноз; изолированная АР (пролапс створок АК, инфекционный эндокардит); расслоение ВАо; нарушения ритма и проводимости сердца.

Группу контроля составили 20 здоровых добровольцев. Средний возраст  $32 \pm 8$  лет. Мужчин в обследуемой группе было 13 (63%), женщин – 7 (37%). Всем пациентам, включенным в исследование в условиях искусственного кровообращения и холодовой фармакологической кардиopleгии было выполнено хирургическое лечение. Пластика АК по методике Т. Дэвида или El-Khoury с протезированием ВАо синтетическим протезом была выполнена 39 пациентам (56%), операция Бенталла – ДеБоно клапаносодержащим кондуитом «St. JudeMedical», «МедИнж» была выполнена 31 пациенту (44%).

Обследование выполнено трансторакальной ЭхоКГ до операции и в раннем (7–14 дней) периоде после хирургического лечения в состоянии покоя по протоколу, принятому в ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского», на ультразвуковых приборах экспертного класса VIVID – E9, VIVID – E7 (GE HC, USA) мультислотным матричным датчиком 3,5–4,6 МГц. ЭхоКГ исследование включало в себя регистрацию и анализ изображений в В-режиме, режиме

цветного доплеровского картирования (ЦДК), регистрацию кровотоков через клапаны, оценку систолической и диастолической функции ЛЖ. Выполнены расчеты основных ЭхоКГ параметров, скоростей смещения миокарда ЛЖ и стенок аорты по векторному анализу с оценкой потоков крови в программе «Мультивокс» у больных аневризмой ВАо с выраженной АР до операции и в ближайшем послеоперационном периоде, а также у всех здоровых добровольцев.

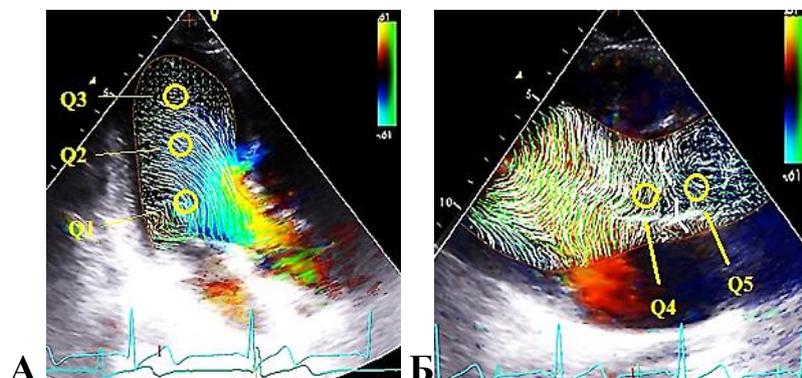
**Векторный анализ левого желудочка и аорты.** Количественные характеристики векторного анализа получали с помощью обработки изображений в программе «Мультивокс», сохраненных в памяти из апикальной трехкамерной позиции и парастернальной позиции по длинной оси с изображением ЛЖ и аорты (Сандриков и др. 2019). Вручную выполняли оконтуривание эндокарда ЛЖ и стенок корня и ВАо от фиброзного кольца АК на всем протяжении в пределах визуализации (Рисунок 1, А, Б).



**Рисунок 1** – А – Вектора скоростей смещения миокарда в апикальной трехкамерной позиции в программе «Мультивокс», каждый сегмент левого желудочка обозначен определенным цветом (V1, V6 – базальные сегменты левого желудочка; V2, V5 – средние сегменты левого желудочка, V3, V4 – апикальные сегменты левого желудочка); Б – Вектора сдвига стенок аорты в парастернальной позиции по длинной оси левого желудочка в программе «Мультивокс» у здорового человека. Каждый сегмент стенки аорты обозначен определенным цветом (I – желтым; II – голубым; III – зеленым; IV – розовым)

**Потоки крови в левом желудочке и аорте.** Оценка внутривентрикулярных и внутрисосудистых потоков крови основана на применении режима ЦДК. Для получения потоков крови регистрировали изображения в режиме ЦДК из апикальной и парастернальной позиций по длинной оси левого желудочка одновременно с регистрацией отведения ЭКГ на мониторе ультразвукового

прибора (Сандриков и др. 2013). Для оценки потоков крови производится оконтуривание эндокарда ЛЖ и стенок восходящего отдела аорты, после чего программа позволяет анализировать динамику изменений внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови в фазы кардиоцикла (Рисунок 2, А, Б).



**Рисунок 2** – А – регистрация внутрижелудочковых потоков по направлению кровотока в полости ЛЖ, Q1 – базальный уровень ЛЖ, Q2 – на средний уровень ЛЖ, Q3 – верхушечный уровень ЛЖ; Б – регистрация потоков крови в аорте по направлению кровотока, Q4 – скорости потоков крови на уровне выносящего тракта ЛЖ под АК, Q5 – над аортальным клапаном в просвете аорты

**Оценка деформации миокарда ЛЖ с помощью метода Speckle Tracking ЭхоКГ.** Анализ деформации миокарда ЛЖ проводили с помощью Speckle Tracking ЭхоКГ (STE). Оконтуривание эндокарда ЛЖ производилось на рабочей станции «Echoras» в режиме офлайн с последующим автоматическим расчетом глобальной продольной деформации (GLS) и пиковую систолическую деформацию (PSS) для каждого сегмента ЛЖ. GLS и PSS были оценены у всех пациентов с аневризмой ВАо и АР до операции и после хирургического лечения, а также у всех обследованных лиц в контрольной группе.

Анализ данных был выполнен с использованием пакета статистических программ STATISTICA 10,0 (StatSoft, Inc., США), JMP 7 (SAS, Inc., США). Описательная статистика представлена как среднее ( $M$ )  $\pm$  стандартное отклонение (SD), либо как медиана (Me). Взаимосвязь между исследуемыми показателями оценивали с помощью корреляционного анализа, с расчетом коэффициента корреляции Пирсона ( $r$ ) и уровня значимости ( $p$ ). Различия между группами и взаимосвязь считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты сравнительного анализа основных гемодинамических ЭхоКГ параметров у больных аневризмой ВАо, осложненной выраженной АР, до и после операции, а также у здоровых добровольцев представлены в Таблице 1.

**Таблица 1** – Сравнительный анализ показателей гемодинамики, деформации миокарда ЛЖ у здоровых добровольцев и больных аневризмой восходящего отдела аорты с аортальной регургитацией до и после операции

Параметры	Норма (I)	До операции (II)	После операции (III)	p	
				I vs II	II vs III
Гемодинамические и ЭхоКГ показатели ЛЖ					
ЧСС, уд/мин	72 (11)	67 (8)	75 (9)	0,30	0,0001
САД, мм рт. ст.	119 (9)	140 (16)	113 (8)	0,0001	0,0001
ДАД, мм рт. ст.	76 (7)	45 (12)	70 (4)	0,0001	0,0001
КДР ЛЖ, мм	43 (3,7)	57 (7)	49 (5)	0,0001	0,0001
КДР ЛЖинд, мм/м <sup>2</sup>	23 (2)	29 (3,5)	25 (2,7)	0,0001	0,0001
КДО, мл	86 (16)	227 (84)	157 (52)	0,0001	0,0001
КСО, мл	30 (7)	97 (46)	77 (29)	0,0001	0,0001
КДОинд, мл/м <sup>2</sup>	44,8 (5,6)	114 (38)	79 (25)	0,0001	0,0001
КСОинд, мл/м <sup>2</sup>	15,5 (2,7)	49 (22)	39 (15)	0,0001	0,0001
ФВ, %	66 (4)	58 (6)	50 (5)	0,22	0,03
УВ, мл	57 (12)	62 (16)	77 (16)	0,25	0,0001
ММЛЖ, г	129,4 (40,3)	329,2 (95,2)	320,9 (101,4)	0,0001	0,19
ММЛЖинд, г/м <sup>2</sup>	66,7 (14,4)	162,5 (40,3)	154,8 (49,3)	0,0001	0,27
Степень АР	0	3,0	1,0	0,0001	0,0001
ФКАК, мм	21 (2)	27 (3)	–	0,0001	–
Диаметр СВ, мм	29 (3)	50 (10)	–	0,0001	–
Диаметр СТ, мм	26 (4)	49 (12)	–	0,0001	–
Диаметр ВАо, мм	28 (3)	52 (12)	–	0,0001	–
Деформация миокарда ЛЖ					
GLS, %	-20 (2)	-14 (3)	-10 (3)	0,0001	0,0001
PSS МЖПбаз, %	-20 (2)	-12 (4)	-13 (5)	0,0001	0,32

Продолжение таблицы 1

Параметры	Норма (I)	До операции (II)	После операции (III)	p	
				I vs II	II vs III
PSS МЖПсредн, %	-21 (2)	-17 (4)	-16 (7)	0,0001	0,01
PSS МЖПверх, %	-22 (3)	-21 (5)	-11 (5)	0,2	0,0001
<i>Примечание</i> – I – группа контроля (здоровые добровольцы), II – до операции, III – ранний послеоперационный период. Сравнения группы нормы (I) и группы пациентов после операции (III) не проводилось					

До хирургического лечения у всех больных была выявлена гемодинамически значимая степень АР. У всех пациентов до операции, средние значения ЧСС находились в пределах нормальных значений. Напротив, значения САД было выше нормальных значений, что свидетельствует о наличии у пациентов артериальной гипертензии. Показатели ДАД в среднем  $45 \pm 12$  мм рт. ст., что характерно для выраженной степени АР. Увеличение КДО и КСО ЛЖ, индексированных на ППТ (КДОинд, КСОинд), указывают на объемную перегрузку ЛЖ. Причиной АР в исследуемой группе являлась аневризма корня и восходящего отдела аорты, аортальная аннулоэктазия. Известно, что объемная перегрузка у больных выраженной АР приводит к эксцентрической гипертрофии миокарда ЛЖ, о чем свидетельствуют показатели ММЛЖ, индексированные на ППТ (ММЛЖинд) и равные в среднем  $162,5 \pm 40,3$  г/м<sup>2</sup>.

По данным ЭхоКГ у пациентов до операции не отмечено снижения систолической функции ЛЖ (средняя ФВ ЛЖ – 58%). Однако, показатели постобработки (STE ЭхоКГ, векторный анализ скоростей смещения миокарда МЖП) продемонстрировали статистически значимое снижение GLS и PSS каждого сегмента МЖП ( $p < 0,001$ ) у пациентов с АР при сохранной насосной функции сердца, что отражает наличие скрытой систолической дисфункции миокарда ЛЖ.

В результате векторного анализа скоростей смещения миокарда ЛЖ отмечено повышение скорости смещения среднего сегмента МЖП (V5) в фазу изоволюмического напряжения (IC) и максимального изгнания (S). Это связано со значимой объемной перегрузкой полости ЛЖ. Снижение скорости смещения

миокарда в верхушечном сегменте МЖП (V4) в диастолу отражает процессы ремоделирования миокарда вследствие длительно существующей перегрузки объемом и нарушением процессов релаксации миокарда в данной области.

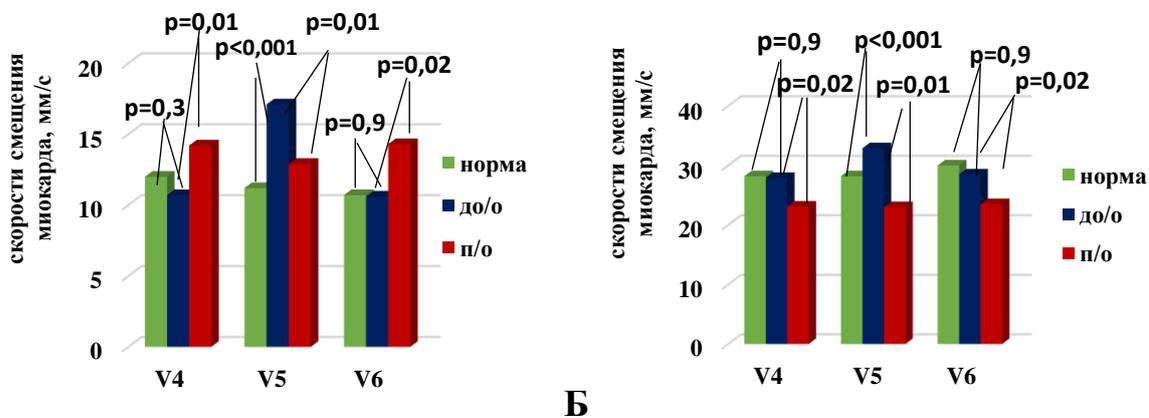
Анализ внутрижелудочковых потоков крови показал статистически значимые повышения скоростей потоков крови ( $p < 0,001$ ) у пациентов с выраженной степенью АР до хирургического лечения во все фазы сердечного цикла. Аннулоэктазия и отсутствие нормальной замыкательной способности клапана приводит к возникновению высокоскоростного, турбулентного потока регургитации в полость ЛЖ и нарушению структуры и направления внутрижелудочковых потоков крови. Максимальные скорости потоков зарегистрированы в фазу диастолического наполнения ЛЖ (D), что связано с наличием дополнительного потока крови в ЛЖ из аорты, а также наличием потока из полости левого предсердия во время диастолы. Значительное повышение скоростей внутрижелудочковых потоков наблюдалось в верхушечной области ЛЖ (Q3), что обусловлено гемодинамически значимой струей регургитации и, как следствие, объемной перегрузкой ЛЖ. Статистически значимое повышение скоростей внутрижелудочковых потоков крови в фазу максимального изгнания ЛЖ (S) также свидетельствует о наличии выраженной степени АР и значимой объемной перегрузки.

Векторный анализ ВАо каждую фазу кардиоцикла продемонстрировал значимое повышение показателей сдвига (L) всех сегментов ВАо относительно центральной оси сосуда, а также отсутствие изменчивости и податливости стенок в различные фазы сердечного цикла. В результате анализа деформации стенок ВАо отмечено повышение скорости смещения в области второго сегмента (V-II) в фазу изоволюмического напряжения (IC). Можно предположить, что это связано с нарушением геометрии корня аорты вследствие значимого расширения синотубулярного гребня, как важного элемента, поддерживающего правильную стереометрию корня аорты. В результате анализа скоростей потоков крови в аорте и ВТЛЖ у больных до хирургического лечения отмечено значимое повышение скоростей потоков крови в ВТЛЖ и над АК в аорте в фазу

изоволюмического напряжения (IC) и фазу диастолического наполнения ЛЖ (D), что обусловлено отсутствием нормального смыкания АК, которые значимо снижаются уже в раннем послеоперационном периоде.

У пациентов с аневризмой ВАо и АР в ближайшем послеоперационном периоде отмечено статистически значимое ( $p < 0,001$ ) снижение КДР ЛЖ в среднем с 57 мм до 49 мм и КДР ЛЖинд в среднем с 29 мм/м<sup>2</sup> до 25 мм/м<sup>2</sup>, а также статистически значимое уменьшение КДО в среднем с 227 мл до 157 мл и КДОинд в результате хирургического лечения ( $p < 0,001$ ), что обусловлено нивелированием значимой объемной перегрузки ЛЖ.

Скорости смещения стенок ЛЖ по данным векторного анализа достоверно выявили значимое снижение скоростей смещения миокарда МЖП ( $p < 0,001$ ), преимущественно в фазу максимального изгнания. На Рисунке 3 представлены графики изменения скоростей смещения миокарда МЖП в фазы изоволюмического напряжения (IC) и максимального изгнания (S) до операции и в раннем послеоперационном периоде.

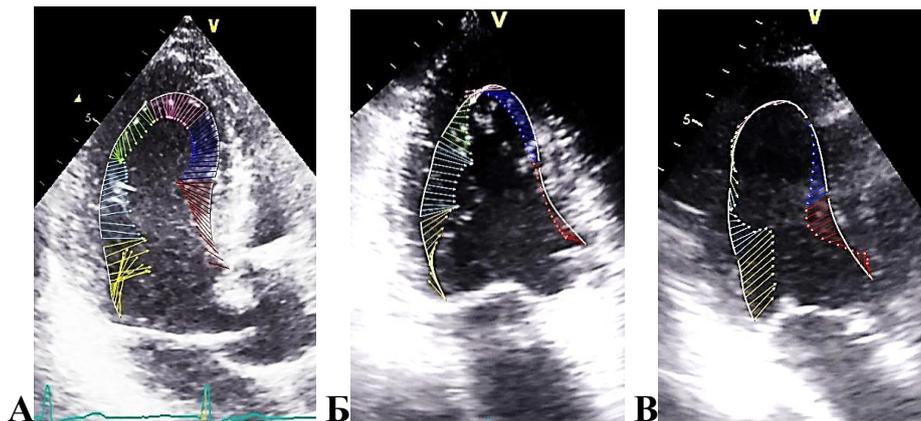


**Рисунок 3** – Графики изменения скоростей смещения миокарда МЖП: **А** – в фазу изоволюмического напряжения (IC), **Б** – в фазу максимального изгнания (S) до операции и в раннем послеоперационном периоде, где V4 – скорость смещения апикального сегмента, V5 – скорость смещения среднего сегмента, V6 – скорость смещения базального сегмента

Так, на 7–14-й день после операции в фазу IC регистрируется повышение скоростей смещения миокарда апикального сегмента МЖП (V4) с 10,7 мм/с до 14,2 мм/с и базального сегмента МЖП (V6) с 10,6 мм/с до 14,3 мм/с, что связано с уменьшением жесткости миокарда в условиях отсутствия объемной перегрузки

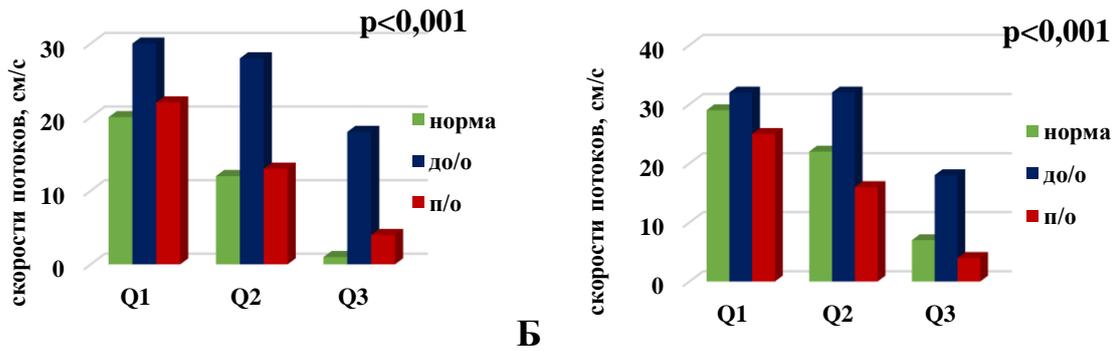
полости ЛЖ. При этом, у пациентов после клапансохраняющих вмешательств, отмечены более высокие показатели скоростей смещения миокарда V4. Стремление миокарда к созданию кругового напряжения в стенке ЛЖ за счет базальных и верхушечных отделов приводит к нормализации градиента давления в полости ЛЖ и структуры внутрижелудочковых потоков. Таким образом, динамику скоростей смещения миокарда ЛЖ можно рассматривать как положительный прогностический параметр раннего восстановления структуры и геометрии ЛЖ после адекватного хирургического лечения патологии.

После операции, в фазу максимального изгнания наблюдается снижение скоростей смещения во всех сегментах МЖП, наиболее значимое в среднем сегменте (V5) с 32,9 мм/с до 23 мм/с, что также обусловлено устранением перегрузки ЛЖ объемом (Рисунок 4).



**Рисунок 4** – Вектора скоростей смещения миокарда левого желудочка в фазу максимального изгнания **А** – у больных аневризмой ВАо и выраженной АР до операции, **Б** – после операции Бенталла – ДеБоно, **В** – после пластики корня аорты по методике Т. Дэвида

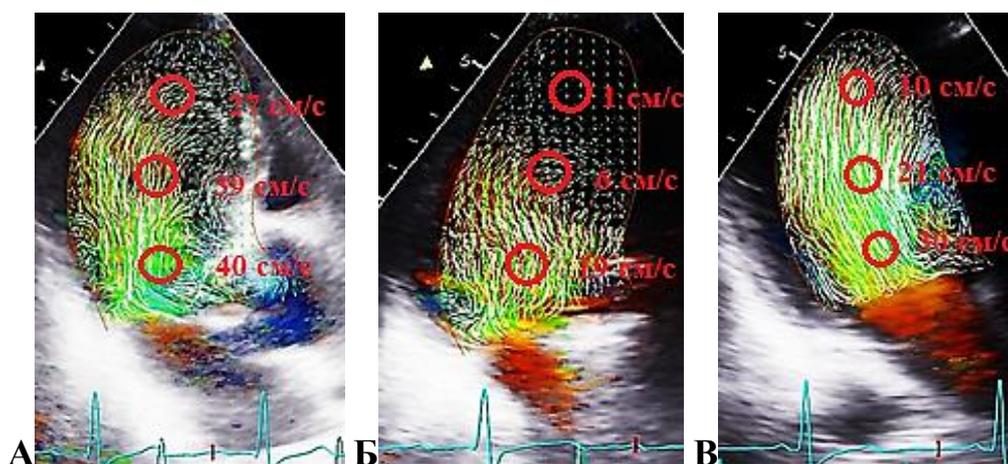
Анализ внутрижелудочковых потоков крови уже в раннем послеоперационном периоде демонстрирует статистически значимое снижение скоростей потоков крови в фазы кардиоцикла на всех уровнях ЛЖ ( $p < 0,001$ ). На графиках представлены изменения скоростей внутрижелудочковых потоков крови в фазу изоволюмического напряжения ЛЖ (IC) и в фазу диастолического наполнения ЛЖ (D) у больных аневризмой ВАо с выраженной АР до и после операции (Рисунок 5).



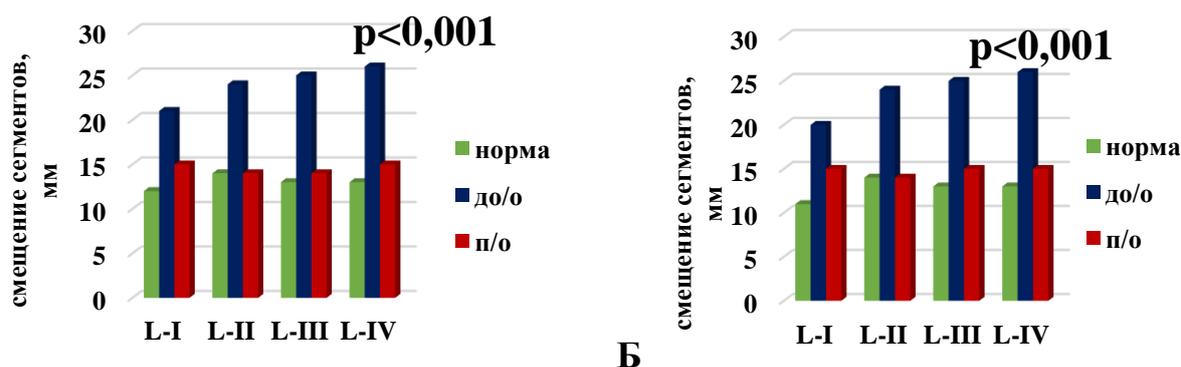
**Рисунок 5** – Динамика изменения скоростей внутрижелудочковых потоков крови: **А** – в фазу изоволюмического напряжения, **Б** – в фазу диастолического наполнения у больных аневризмой восходящего отдела аорты с выраженной степенью АР до и после хирургического лечения, где Q1 – скорость внутрижелудочкового потока на базальном уровне ЛЖ, Q2 – скорость внутрижелудочкового потока на среднем уровне ЛЖ, Q3 – скорость внутрижелудочкового потока на верхушечном уровне ЛЖ

Так, снижение скоростей потоков крови в ЛЖ отмечено в фазу диастолы (D) на среднем и верхушечном уровнях. В средней части ЛЖ скорости внутрижелудочковых потоков крови снизились в 2 раза в среднем с 32 см/с до 16 см/с и в 4,5 раза в верхушечной области ЛЖ в среднем с 18 см/с до 4 см/с ( $p < 0,001$ ), что обусловлено восстановлением запирающей способности АК. В фазу изоволюмического напряжения ЛЖ (IC) отмечено снижение скоростей внутрижелудочковых потоков крови на всех уровнях ЛЖ, преимущественно на среднем и верхушечном уровне: с 28 см/с до 13 см/с на среднем уровне и с 18 см/с до 4 см/с на верхушечном уровне ЛЖ (Рисунок 6).

У пациентов с аневризмой ВАо и выраженной степенью АР не менее важным является оценка функции аорты как до операции, так и после хирургического лечения. Всем пациентам, включенным в исследование, было выполнено протезирование восходящего отдела аорты синтетическим протезом. В результате векторного анализа сдвига стенки протеза аорты относительно центральной оси сосуда в раннем послеоперационном периоде отмечается снижение параметров смещения всех сегментов протеза ВАо в фазы сердечного цикла (Рисунок 7).



**Рисунок 6** – Внутрижелудочковые потоки крови, оцененные с помощью режима ЦДК из апикальной позиции по длинной оси левого желудочка **А** – у больных аневризмой восходящего отдела аорты с выраженной аортальной регургитацией в фазу диастолического наполнения левого желудочка до операции, **Б** – после операции Бенталла – ДеБоно, **В** – после пластики корня аорты по методике Т. Дэвида



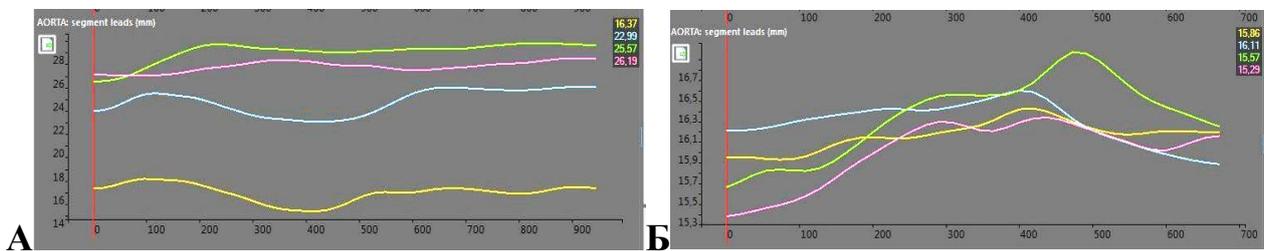
**А**

**Б**

**Рисунок 7** – Динамика изменения параметров сдвига сегментов восходящего отдела аорты: **А** – в фазу максимального изгнания ЛЖ (S), **Б** – в фазу диастолического наполнения полости ЛЖ (D) у больных аневризмой восходящего отдела аорты с выраженной степенью АР до и после хирургического лечения в сравнении с нормальными значениями. L-I – смещение первого сегмента стенки аорты, L-II – смещение второго сегмента стенки аорты L-III – смещение третьего сегмента стенки аорты L-IV – смещение четвертого сегмента стенки аорты

После протезирования восходящего отдела аорты наблюдается значимое снижение параметров смещения сегментов протеза ВАо относительно центральной оси, близкое к нормальным. Отмечено, что у пациентов после протезирования корня и восходящего отдела аорты сдвиг первого сегмента протеза аорты (L-I) был  $\geq 16$  мм, в то время как у пациентов после клапансохраняющей операции параметры смещения L-I были  $< 16$  мм.

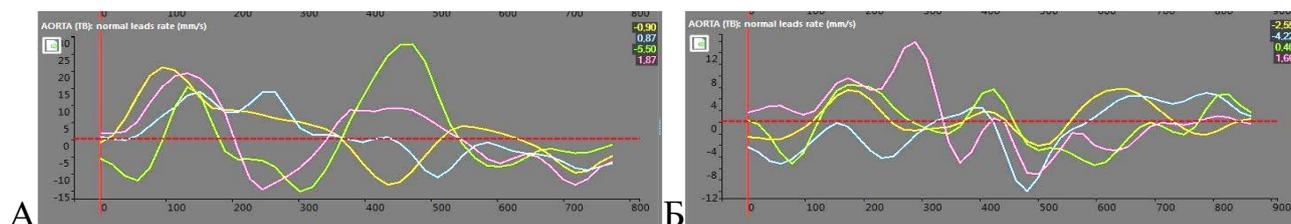
Успешное выполнение клапансохраняющих методик оперативного вмешательства на АК способствует более значимому снижению параметров сдвига протеза аорты, преимущественно в первом сегменте, что характеризует данный сегмент протеза более вязким и упругим в ответ на деформацию стенки, а также приводит к возникновению свойств, близких к нативному клапану и корню аорты (Рисунок 8). Следует отметить, что средний градиент на АК при протезировании клапана механическим протезом составил 8,1 мм рт. ст, в то время, как показатели среднего градиента после клапансохраняющих вмешательств были  $< 8,1$  мм рт. ст.



**Рисунок 8** – Графики векторного анализа сдвига сегментов восходящего отдела аорты у больного аневризмой ВАо с выраженной АР до операции (**А**) и сегментов протеза аорты после операции (**Б**), оцененные из парастернальной позиции по длинной оси левого желудочка. Каждый сегмент обозначен определенным цветом (I – желтым, II – голубым, III – зеленым, IV – розовым)

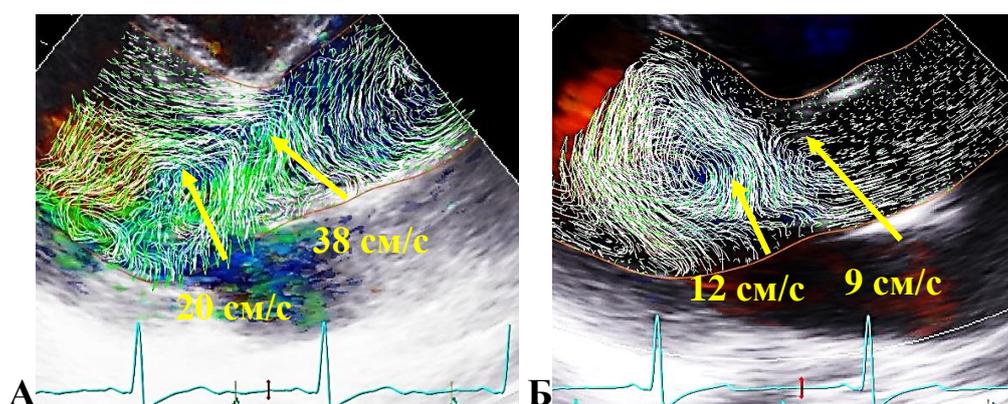
Векторный анализ скоростей смещения стенок протеза аорты показал достоверное снижение ( $p < 0,001$ ) скоростей смещения третьего (V-III) и четвертого (V-IV) сегментов стенки после протезирования ВАо в фазу диастолического наполнения полости ЛЖ (D) в среднем с 6,5 мм/с до 2,6 мм/с для сегмента III и с 6,7 мм/с до 2,5 мм/с для сегмента IV, что обусловлено восстановлением адекватного смыкания АК и отсутствием регургитации крови в диастолу, способствующей значимому смещению и напряжению стенок ВАо. Кроме того, у больных аневризмой ВАо с АР в раннем периоде после операции наблюдается структурированность смещения сегментов протеза аорты. После протезирования восходящего отдела аорты отмечается наличие асимметричных деформаций сегментов стенки протеза в различные фазы кардиоцикла, что говорит о некотором восстановлении динамического равновесия корня и ВАо и

свидетельствует об адекватности хирургического вмешательства и восстановлении запирающей способности АК (Рисунок 9).



**Рисунок 9** – Графики векторов скоростей смещения сегментов восходящей аорты у больного аневризмой ВАо с выраженной АР до операции (А) и сегментов протеза аорты после операции (Б), оцененные с помощью векторного анализа из парастеральной позиции по длинной оси левого желудочка. Каждый сегмент обозначен определенным цветом (I – желтым, II – голубым, III – зеленым, IV – розовым)

Хирургическая коррекция аневризмы ВАо с восстановлением адекватной запирающей способности АК приводят к статистически значимому ( $p < 0,001$ ) снижению скоростей потоков крови в ВТЛЖ (Q4) и над АК (Q5) в просвете аорты. Так, скорость потока Q4 значимо снижается в фазу изоволюмического напряжения (IC) в среднем с 29 см/с до 6 см/с, а скорость потока Q5 снижается в среднем с 19 см/с до 4 см/с. Динамика изменения потоков крови демонстрирует адекватность закрытия АК и восстановление фазы IC после оперативного вмешательства (Рисунок 10).



**Рисунок 10** – Потоки крови в аорте, зарегистрированные в режиме ЦДК в фазу диастолического наполнения ЛЖ (D) из парастеральной позиции по длинной оси левого желудочка до операции (А) и в раннем послеоперационном периоде (Б)

Резюмируя вышеизложенное, можно сказать, что адекватное хирургическое лечение способствует некоторому восстановлению

гемодинамики уже в раннем послеоперационном периоде. Однако процессы ремоделирования и восстановления биомеханики после хирургической коррекции порока занимают продолжительное время. На госпитальном этапе наблюдается тенденция к восстановлению гемодинамики за счет снижения перегрузки ЛЖ, реализованного в изменении градиента давления, что способствует повышению скоростей смещения миокарда на базальном и апикальном уровнях МЖП. Это приводит к нормализации кругового напряжения в стенках ЛЖ. Своевременное оперативное вмешательство и улучшение запирающей функции АК, уже в раннем послеоперационном периоде приводит к восстановлению структуры потока, а также к нормализации скоростей внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови.

Таким образом, потоки крови в полостях сердца и крупных сосудах представляют собой важнейшие элементы движения с соблюдением динамического равновесия между миокардом, градиентом давления, ЧСС и напряжением. Потоки крови через митральный и аортальный клапаны используются для определения цикличности вихревых потоков с целью расчета затраты энергии и оценки адекватности коррекции патологии.

Ориентируясь на цель и задачи исследования, нами была выполнена исследование неинвазивной оценки функции ЛЖ и аорты посредством векторного анализа и оценки потоков крови с помощью трансторакальной ЭхоКГ. Результаты показывают, что полученные показатели могут являться независимыми предикторами нарушения систолической и диастолической функции миокарда ЛЖ. Оценка вязкоупругих эластических свойств стенки аорты после хирургического лечения являются показателями, характеризующими восстановление гемодинамики и адекватности хирургического вмешательства.

Изучение динамики изменения потоков крови и их количественная характеристика по векторному картированию, дают не только возможность оценить функцию миокарда ЛЖ и уровень патологии стенки аорты до операции,

но и оценить результаты хирургического лечения в ближайшем и отдаленном периодах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### ВЫВОДЫ

1. Разработана методика оценки результатов хирургического лечения больных аневризмой восходящего отдела аорты с выраженной аортальной регургитацией, основанная на векторном анализе и потоках крови в полостях сердца и сосудах.

2. Повышение скоростей смещения миокарда апикального и базального сегментов левого желудочка ( $> 25\%$ ) после хирургического лечения у больных аневризмой восходящего отдела аорты с аортальной регургитацией приводит к уменьшению камер сердца и снижению объемной перегрузки полости левого желудочка, что является положительным предиктором раннего обратного ремоделирования миокарда после адекватной хирургической коррекции патологии.

3. Снижение параметров сдвига и скоростей смещения сегментов протеза аорты, оцененные с помощью векторного анализа после хирургического лечения, свидетельствуют о динамическом равновесии между левым желудочком и восходящим отделом аорты. Доказано, что смещение первого сегмента протеза аорты  $< 16$  мм отражает характеристику протеза в виде вязкоупругих эластических свойств и деформации.

4. Критериями оценки результатов хирургического лечения аневризмы восходящего отдела аорты с аортальной регургитацией в раннем послеоперационном периоде является снижение скоростей внутрижелудочковых потоков крови: в фазу изоволюмического напряжения с 28 см/с до 13 см/с для среднего отдела левого желудочка и с 18 см/с до 4 см/с для верхушечного отдела левого желудочка, в диастолическую фазу кардиоцикла с 32 см/с до 16 см/с для среднего отдела левого желудочка ( $p < 0,001$ ).

5. Восстановление структуры потока и отсутствие патологической турбулентности являются предикторами успешной реконструкции корня аорты

и адекватной запирающей способности аортального клапана. Снижение скоростей потоков крови и отсутствие турбулентности в выносящем тракте левого желудочка и над аортальным клапаном с устранением аортальной регургитации являются дополнительными гемодинамическими критериями адекватной хирургической коррекции.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Протокол комплексного эхокардиографического обследования больных гемодинамически значимой аортальной регургитацией и аневризмой восходящего отдела аорты рекомендовано дополнить определением показателей векторного анализа левого желудочка и смещений стенки аорты с оценкой внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови.

2. Для оценки восстановления гемодинамики у больных выраженной аортальной регургитацией и аневризмой восходящего отдела аорты до операции и в раннем послеоперационном периоде целесообразно анализировать скорости смещения миокарда левого желудочка, скорости внутрижелудочковых потоков, а также их взаимосвязи. Снижение скоростей внутрижелудочковых потоков крови до 70% на апикальном уровне и до 30–40% на базальном и среднем уровне левого желудочка является положительным маркером восстановления гемодинамики после своевременного оперативного вмешательства.

3. У больных выраженной аортальной регургитацией и аневризмой восходящего отдела аорты рекомендовано оценивать параметры смещения и скорости смещения сегментов корня и восходящего отдела аорты как до операции, так и в раннем послеоперационном периоде. Структурированность сдвига и наличие асимметричных деформаций сегментов протеза аорты в различные фазы кардиоцикла свидетельствуют о восстановлении динамической анатомии корня и восходящего отдела аорты, что является критерием адекватной хирургической коррекции.

4. Нормализация скоростей внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови, восстановление их структуры и отсутствие зон патологической турбулентности за весь период сердечного цикла после хирургического лечения

в виде протезирования и пластики корня аорты является одним из критериев оценки хирургической коррекции патологии.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Скорости сокращения миокарда в оценке диастолической функции / Т. Ю. Кулагина, В. А. Сандриков, **Р. З. Зябирова**, Ю. Н. Петрова, В. С. Клименко, Н. В. Власова // Медицинский алфавит. 2021. № 15. С. 28–32.

2. Оценка функции правого и левого желудочков и взаимодействия между ними у пациентов с ишемической болезнью сердца, осложненной митральной недостаточностью / Т. Ю. Кулагина, В. А. Сандриков, Е. Ю. Ван, **Р. З. Зябирова**, Ю. Н. Петрова // Кардиология. 2022. Т. 62, № 1. С. 46–56.

3. Оценка деформации миокарда левого и правого желудочков у пациентов ишемической митральной недостаточностью на разных этапах хирургического лечения / Ю. Н. Петрова, Т. Ю. Кулагина, Е. Ю. Ван, **Р. З. Зябирова** // Сборник тезисов Международной конференции «Спорные и нерешенные вопросы кардиологии 2020». М., 2020. С. 56.

4. Внутрижелудочковые потоки крови у больных с недостаточностью аортального клапана до и после хирургической коррекции порока / **Р. З. Зябирова**, В. А. Сандриков, Т. Ю. Кулагина, Н. В. Власова // Сборник тезисов Международной конференции «Спорные и нерешенные вопросы кардиологии 2020». М., 2020. С. 57.

5. Потоки крови в левом желудочке и аорте у больных аневризмой восходящего отдела аорты и недостаточностью аортального клапана до и после хирургического лечения / **Р. З. Зябирова**, В. А. Сандриков, Т. Ю. Кулагина, Ю. Н. Петрова // Бюллетень НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН «Сердечно-сосудистые заболевания». 2021. Т. 22, № 3. С. 117.

6. Кулагина, Т. Ю. Внутрижелудочковые потоки и оценка механики сокращения миокарда у пациентов с аортальной недостаточностью / Т. Ю. Кулагина, В. А. Сандриков, **Р. З. Зябирова** // Бюллетень НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН «Сердечно-сосудистые заболевания». 2021. Т. 22, № 3. С. 116.

**Список сокращений**

АК – аортальный клапан

АР – аортальная регургитация

ВАо – восходящий отдел аорты

ВТЛЖ – выносящий тракт левого желудочка

ДАД – диастолическое артериальное давление

КДР – конечный диастолический размер

КДО – конечный диастолический объем

ММЛЖ – масса миокарда левого желудочка

САД – систолическое артериальное давление

ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка

ЭхоКГ – эхокардиография

GLS – глобальная продольная систолическая функция левого желудочка

PSS – пиковый систолический стрейн

STE – speckle tracking эхокардиография

V, мм/с – скорость смещения сегментов миокарда левого желудочка и стенки аорты,

L, мм – параметры смещения сегментов аорты

Q, см/с – скорости внутрижелудочковых и внутрисосудистых потоков крови

S – фаза максимального изгнания левого желудочка

IS – фаза изоволюмического напряжения

D – фаза диастолического наполнения левого желудочка