

На правах рукописи

КАРАПЕТЯН НАРЕК ГРИГОРЬЕВИЧ

**РОТАЦИОННАЯ АНГИОКАРДИОГРАФИЯ И
ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ И
ЛЕЧЕНИИ ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ СЕРДЦА**

сердечно-сосудистая хирургия – 14.01.26

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

МОСКВА, 2015

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Научный Центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научные руководители:

доктор медицинских наук,
академик РАН

Бокерия Лео Антонович

доктор медицинских наук

Пурсанов Манолис Георгиевич

Официальные оппоненты:

Абугов Сергей Александрович - доктор медицинских наук, профессор, отделение рентгенохирургии и аритмологии Федерального Государственного Бюджетного Научного Учреждения «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского», руководитель отделения (специальность «сердечно-сосудистая хирургия» – 14.01.26).

Ковалев Сергей Алексеевич - доктор медицинских наук, профессор, Кардиохирургический центр Бюджетного учреждения здравоохранения Воронежской области «Воронежская областная клиническая больница № 1», руководитель центра (специальность «сердечно-сосудистая хирургия» – 14.01.26).

Ведущая организация: Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского».

Защита диссертации состоится « » _____ 2015 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д001.015.01 при Федеральном Государственном бюджетном учреждении «Научный центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева» МЗ РФ по адресу: 121552, Москва, Рублевское шоссе 135, конференц-зал No 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального Государственного бюджетного учреждения «Научный центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева» МЗ РФ и на сайтах ФГБУ «НЦССХ им А.Н. Бакулева» МЗ РФ www.bakulev.ru и Высшей Аттестационной Комиссии (ВАК) <http://vak.ed.gov.ru>

Автореферат разослан « » _____ 2015 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета,
доктор медицинских наук

Газизова Динара Шавкатовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Для визуализации сердечно-сосудистой системы у пациентов с врожденными пороками сердца (ВПС) используют различные инвазивные и неинвазивные методы исследования. Каждый метод обладает своими достоинствами и ограничениями. К наиболее часто используемым неинвазивным методам диагностики врожденных пороков сердца относятся рентгенологическое исследование, ЭХО-КГ, МСКТ и МРТ [Белоконь Н.А. 1990; E. Buskens, 1996; Бокерия Л.А. 2000; Беспалова Е.Д. 2003; Тюрин И.Е. 2003; Вишнякова М.В. 2005; A. Turner 2005; Календер В. 2006; G.J. Morgan 2008]. Несмотря на все преимущества и достоинства вышеуказанных методов, они не позволяют получить точных данных о гемодинамической характеристике пороков, что часто диктует необходимость направления пациентов на инвазивное исследование. Двухмерная ангиокардиография (АКГ) и катетеризация сердца выполняются у многих больных со сложными пороками сердца для определения как анатомической картины, так и изменений гемодинамики [И.Х. Рабкин 1977; Freedom R.M. 1997; Hamdan, M. A. 2001]. При АКГ исследовании для выявления всех патологических изменений сложного ВПС нередко требуется использование дополнительных проекций, что, как следствие, ведет к увеличению объема введенного контрастного вещества, увеличению дозы рентгеновского излучения, времени исследования, а у маленьких детей и к увеличению времени анестезии и введенного количества наркотических препаратов. Вышеуказанное продиктовало необходимость поиска путей улучшения качества визуализации и снижения воздействия неблагоприятных факторов воздействия ангиокардиографии. В кардиологии первые упоминания

об использовании ротационной ангиокардиографии и трехмерного моделирования (3D PA) принадлежат специалистам, занимающимся вопросами чрескожных коронарных вмешательств, а также аритмологии [Orlov MV 2006; J-Y Wielandts 2010, Garcia J.A. 2009]. В последнее время в клинической практике возрос интерес к 3D PA при диагностике и эндоваскулярном лечении ВПС, которое только начинается. В доступной нам литературе имеется небольшой ряд работ, освещающих данный раздел на небольшой группе пациентов, а в отечественной литературе вовсе отсутствует. Также имеются различные сообщения об удачном использовании 3D PA при эндоваскулярных вмешательствах по поводу различных ВПС (G. Rigatelli et al. 2007; Kapins et. al. 2010; Berman et al. в 2011; Glöckler M. Et al. В 2011). Тем не менее, все сообщения указывают на то, что 3D PA является перспективным, безопасным и точным методом визуализации при диагностике и лечении ряда ВПС. Однако до конца остаются неясными все горизонты возможностей метода, и спектр ВПС и сосудов, которые могут быть подвержены данному исследованию с максимальной информативностью. Не освещены методика и тактика, технические нюансы подготовки пациентов для выполнения исследования. Вышеуказанное продиктовало необходимость и цель проведения исследования.

Цель исследования:

изучить возможности ротационной ангиографии и 3 D моделирования в визуализации сердца и крупных сосудов во время диагностических и эндоваскулярных вмешательств по поводу различных врожденных пороков сердца и сравнить 3D PA со стандартной двухмерной АКГ. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие

задачи:

1. Разработать методические и технические аспекты выполнения 3D РА у пациентов с врожденными пороками сердца.
2. Оценить качество визуализации, безопасность, преимущества и недостатки 3D РА при диагностике и лечении различных врожденных пороков сердца, по сравнению с двухмерной ангиокардиографией.
3. Разработать показания к выполнению 3D РА у пациентов с врожденными пороками сердца.
4. Сформулировать практические рекомендации по использованию 3D РА у пациентов с различными врожденными пороками сердца.

В диссертационной работе анализировались и сравнивались результаты 3D РА и АКГ исследований у 150 пациентов с различными врожденными пороками сердца, разделенных на 6 групп в зависимости от области интереса, которым были выполнены 176 ротационных ангиокардиографий с последующим моделированием.

Научная новизна.

Работа является первым исследованием в России на достаточном количестве пациентов, анализирующим возможности применения 3D РА при диагностике и лечении ВПС. Определены ВПС, при которых 3D РА имеет наибольшую информативность. Показана безопасность выполнения 3D РА у пациентов во всех возрастных группах (от 6 месяцев до 65 лет). Также продемонстрированы преимущества 3D РА при выполнении эндоваскулярных вмешательств. Систематизированы и подробно проанализированы причины получения некачественных трехмерных моделей и приведены способы их устранения.

Практическая значимость.

В ходе исследования разработана методика выполнения 3D РА у пациентов с различными ВПС. Подробно описаны технические

тонкости, настройки при 3D РА в различных группах пациентов с ВПС. Для уменьшения продолжительности кривой обучения выведены формулы для расчета скорости введения контрастных смесей при 3D РА, также рассчитаны параметры временной высокочастотной электрокардиостимуляции и пропорции разведения контрастного вещества в разных возрастных группах во время выполнения 3D РА. Разработаны практические рекомендации для рационального использования 3D РА при диагностике и лечении различных ВПС.

Положения, выносимые на защиту.

1. Ротационная ангиокардиография и 3 D моделирование являются более качественным и достаточно безопасным инвазивным методом визуализации сердца и крупных сосудов у пациентов с врожденными пороками сердца, по сравнению со стандартной АКГ.
2. Использование метода приводит к снижению количества неблагоприятных факторов, таких как доза облучения и количество введений контрастного вещества при исследовании.
3. 3D РА часто позволяет получить дополнительную информацию, не выявляемую при двухмерной АКГ.
4. Широкое внедрение в клиническую практику данного метода позволит наиболее полно исследовать пациентов с различными врожденными пороками сердца, что, в свою очередь, будет способствовать улучшению качества лечения больных.

Реализация результатов исследования.

Работа выполнена в отделении рентгено-хирургических методов исследования и лечения сердца и сосудов (руководитель – д.м.н., академик РАН Б.Г. Алесян), отделении хирургического лечения ВПС у детей старше 3-х лет (руководитель - д.м.н., академик РАН В.П.

Подзолков), рентгено-диагностическом отделении (руководитель - д.м.н., проф. В.Н. Макаренко), отделении экстренной хирургии новорожденных (руководитель - д.м.н., академик РАН Бокерия Л.А.), отделении реконструктивной хирургии новорожденных и детей первого года жизни (руководитель - д.м.н., проф. Ким А.И.), отделении интенсивной кардиологии недоношенных и грудных детей (руководитель – д.м.н., проф. Туманян М.Р.), отделении хирургического лечения заболевания сердца с прогрессирующей легочной гипертензией (руководитель д.м.н., проф. Горбачевский С.В.), отделении врожденных пороков сердца детей раннего возраста (руководитель д.м.н., проф. Зеленикин М.А.), отделении неотложной хирургии врожденных пороков сердца детей раннего возраста (руководитель - д.м.н., проф. Шаталов К.В.) ФГБУ «Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» МЗ РФ (директор – д.м.н., профессор, акад. РАН Л.А. Бокерия).

Апробация работы.

Результаты исследования ранее были доложены в виде 5 устных докладов на научных конференциях с международным участием (IV Ежегодная научно-практическая конференция с международным участием: Актуальные вопросы интервенционной радиологии. Сложный пациент, Санкт-Петербург 2013; XIX Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов, Москва 2013 г; 4-ый конгресс по рентген-эндоваскулярной диагностике и лечению, Москва, 2014 г, XIX Ежегодная сессия Научного Центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева, Москва 2015 г; Московский международный курс по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению TCT Russia 2015). Также были выполнены 2 стендовых доклада на XX Всероссийском съезде сердечно-сосудистых хирургов и XIX Ежегодной сессии

Научного Центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева в 2014. По итогам XX Всероссийского съезда сердечно-сосудистых хирургов доклад, выполненный по теме диссертации («Ротационная ангиокардиография и трехмерное моделирование при в диагностике и лечении обструктивной патологии легочных артерий»), награжден дипломом лауреата на лучший стендовый доклад. Апробация работы состоялась на объединенной конференции отделений ВПС у детей старшего возраста, отделения рентгенохирургических исследований и лечения заболеваний сердца и сосудов, рентгенодиагностического отделения ФГБУ «НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» МЗ РФ 04 марта 2015 г.

Сведения о полноте публикаций.

По теме диссертации опубликованы 9 печатных работ, среди которых 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки РФ. Все работы опубликованы в соавторстве. Личный вклад соискателя состоял в подборе больных, их обследовании, выборе и анализе полученных данных, а также в написании работ.

Структура работы.

Диссертационная работа состоит из 4 глав, изложена на 176 страницах, включает 14 таблиц и 59 рисунков. Список литературы включает 110 источников, из них 28 - отечественных и 82 - зарубежных. Разделами работы являются: введение, обзор литературы, главы, посвященные клинической характеристике пациентов и методам исследования, главы посвященной результатам исследования, обсуждению полученных результатов, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка источников литературы.

Основное содержание работы

Материалы и методы

В период с 2010 по 2014 гг. в отделении рентгенохирургических методов диагностики и лечения сердца и сосудов НЦССХ им. А.Н. Бакулева у 150 пациентов с различными ВПС были выполнены 176 3D РА, которые сравнивались с данными ангиокардиографического исследования тех же пациентов. Средний возраст больных был $15,9 \pm 8,6$ лет (от 0,5 до 65 лет), масса тела составила в среднем $28,9 \pm 12,2$ кг (от 5,8 кг до 91 кг). Больных мужского пола было 90 (60 %), женского – 60 (40 %). Полученные результаты анализировались при помощи следующих критериев сравнения 3D РА и АКГ: качество визуализации, наличие дополнительной информации, доза излучения, количество использованного контрастного вещества, время исследования и наличие дополнительной информации. Среди 150 больных, вошедших в исследование, 73 были с некорригированными ВПС (таблица 1) и 77 - после различных паллиативных и радикальных хирургических вмешательств, в том числе 21, после частичной и полной гемодинамической коррекции порока (таблица 2).

Таблица 1.

Распределение пациентов без ранее выполненных операций

Врожденный порок сердца	n	%
Пороки конотрункуса	20	27,4
Тетрада Фалло	10	13,7
Атрезия легочной артерии	5	6,8
Единственный желудочек	1	1,35
Двойное отхождение сосудов от правого желудочка	4	5,5
«Бледные пороки»	6	8,2

Открытый артериальный роток	2	2,7
Частичный аномальный дренаж легочных вен	1	1,35
Прорыв синуса Вальсальвы	2	2,7
Реканализация дефекта аорто-легочной перегородки	1	1,35
Обструкция выводного отдела левого желудочка	17	23,3
Гипертрофическая кардиомиопатия	14	19,2
Подклапанный стеноз аорты	3	4,1
Патология аорты и легочных артерий	27	37
Сужения аорты	19	26
Стенозы легочных артерий	9	12,3
Аневризма аорты	2	2,7
Всего	73	100

Таблица 2.

Пациенты с ранее выполненными операциями

Операции при различных ВПС	n	%
После радикальных коррекций пороков	32	41,6
Тетрада Фалло	14	18,2
Общий артериальный ствол	12	15,6
Двойное отхождение сосудов от правого желудочка	1	1,3
Транспозиция магистральных артерий (оп. Switch)	3	3,9
Транспозиция магистральных артерий (оп. Растели)	1	1,3
Аортальный порок (оп. Росса)	2	2,6
Атрезия легочной артерии	1	1,3
Тотальный аномальный дренаж легочных вен в ВПВ	1	1,3
Двустворчатый клапан аорты	2	2,6
Пациенты после гемодинамической коррекции	21	27,3
Двунаправленный каво-пульмональный анастомоз	15	19,5
Атрезия трикуспидального клапана		
Единственный желудочек	5	6,5
Двойное отхождение сосудов от правого		

желудочка	6	7,8
Гемодинамическая коррекция по Фонтену	4	5,2
Единственный желудочек		
Двойное отхождение сосудов от правого желудочка	6	6,5
	2	2,6
	4	5,2
Реконструкция путей оттока правого желудочка	15	19,5
Атрезия легочной артерии	8	10,4
Тетрада Фалло	7	9,1
Подключично-легочный анастомоз	4	5,2
Тетрада Фалло	2	2,6
Двойное отхождение сосудов от правого желудочка	1	1,3
Синдром гипоплазии левых отделов сердца	1	1,3
Всего	77	100

3D РА и АКГ исследования выполнялись на одной специализированной ангиокардиографической установке фирмы GE Healthcare модели Innova 3100 с электронно-оптическим усилителем, телевизионными мониторами с частотой 15 – 30 кадров в секунду. Обработка ротационных ангиокардиограмм с последующим трехмерным моделированием проводилась с использованием встроенного программного обеспечения InnovaVolumeViewer с размером матрицы для реконструкции – 512 x 512 вокселей.

Результаты исследования

Учитывая множество ВПС у пациентов, включенных в исследование, для анализа результатов все модели были распределены на 6 групп, в зависимости от области интереса: легочные артерии,

выводной отдел правого желудочка, аорта, коммуникации между магистральными артериями и между аортой и левым желудочком, магистральные вены и выводной отдел левого желудочка. Пациенты, имевшие более чем одну область интереса, включались для сравнительного анализа в несколько групп.

I. Легочные артерии. В данную группу (n = 41) входили больные с обструктивной патологией легочных артерий (ЛА), а именно: периферическими стенозами ЛА (рис. 1 а,б), стенозами бифуркации ЛА, а также со стенозами основных ветвей ЛА. Качество визуализации 3D РА при исследовании сужений долевых и сегментарных ветвей легочных артерий было значительно выше, чем на стандартной АКГ в 86,1% случаев, при бифуркационных стенозах ЛА - в 77,8 % случаев. При стенозах основных ветвей ЛА значимой разницы в качестве визуализации между 3 D РА и АКГ не было получено. В 17,1% случаях была получена дополнительная информация, которая не была выявлена при двухмерной АКГ. Время исследования при 3D РА составило в среднем $12,9 \pm 3,0$ минуты, при АКГ - $16,1 \pm 3,0$ минуты ($p=0,022$). При 3D РА было использовано в среднем $47,7 \pm 13,1$ мл контрастного вещества, а при АКГ – $48,2 \pm 17,8$ мл ($p=0,78$). В среднем количество контрастного вещества в расчете на единицу массы тела при АКГ составило 2,59 мл/кг, а при 3D РА – 2,9 мл/кг. При исследовании одного сегмента ЛА при АКГ потребовалось в среднем 2,5 введения контрастного вещества, в то время как при моделировании - 1 введение контрастной смеси. При 3D РА доза излучения была в среднем $427,4 \pm 151,0$ сГр/см², в то время как при АКГ - $917,7 \pm 220,0$ сГр/см² ($p=0,00005$). При эндоваскулярных вмешательствах 3D РА за однократное введение контрастного вещества позволяло наиболее полно исследовать характер и протяженность стеноза ЛА и выбрать

наиболее оптимальную проекцию для выполнения транслюминальной баллонной ангиопластики (ТЛБАП) и стентирования, тем самым также снижая как дозу облучения, так и время исследования и введенный объем контрастного вещества.

II. Выводной отдел правого желудочка. Больные данной группы (n = 50) подразделялись на 3 подгруппы, в зависимости от состояния выводного отдела правого желудочка (ВОПЖ): без ранее выполненных операций, после радикальных коррекций пороков конотрункуса, а также после паллиативных операций без пластики ДМЖП. 3D РА позволяла за одно введение контрастной смеси оценить состояние ВОПЖ, системы легочной артерии (гипоплазии и стенозы) и аорты (тип дуги аорты, порядок отхождения брахиоцефальных артерий), их пространственное взаиморасположение, а также наличие коммуникаций между ними (ОАП, анастомоз Блелока). У больных без ранее выполненных оперативных вмешательств 3D модели не имели явных преимуществ в качестве визуализации и во всех случаях и были оценены одинаково с АКГ. Но если при 3D РА требуется только одно введение контрастной смеси, для визуализации всей анатомии ВОПЖ, состояния конусной перегородки, легочных артерий, взаиморасположения магистральных сосудов и наличия коммуникаций между ними, то при стандартной АКГ необходимо выполнение множества введений контрастного вещества, увеличения времени исследования, а также дозы излучения. При обследовании пациентов после радикальных и паллиативных операций, было выявлено, что во всех случаях модели были выше по качеству визуализации стандартных АКГ при исследовании аневризм (рис. 1 в,г) и стенозов

дистального отдела кондуитов, использованных ранее при операциях. Наличие дополнительной информации сопровождало 3D РА исследование в 31,3 % случаев. Отложения кальция и ранее имплантированные стенты не давали возможность правильной оценки внутреннего просвета кондуитов на трехмерных моделях, однако наравне с АКГ, ротационная ангиокардиографии позволяла оценить как степень кальциноза ВОПЖ, так и внутренних его просвет. Объем использованного контрастного вещества при 3D РА составил $44,1 \pm 4,8$ мл, при АКГ исследовании – $39,1 \pm 6,1$ мл ($p=0,31$). При 3D РА доза ионизирующего излучения была в среднем $349,2 \pm 240,9$ сГр.см², при стандартной АКГ - $793,1 \pm 435$ сГр.см² ($p=0,0015$). Количество контрастного вещества в расчете на единицу массы тела при двухмерной АКГ составило 2,79 мл/кг, в то время как при 3 D РА – 3,1 мл/кг. Время исследования при 3D РА составило в среднем $13,4 \pm 2,6$ минуты, при выполнении двухмерной АКГ - $15,8 \pm 2,4$ минуты ($p=0,02$).

III. Патология аорты. Исследование в данной группе ($n = 21$) выполнялось пациентам с сужениями и аневризматическими расширениями аорты. 3D РА показала себя как качественный метод визуализации восходящей части, дуги и перешейка аорты. 3D РА позволяла исследовать за одно введение контрастной смеси патологические изменения во всех плоскостях, в том числе получая качественное изображение брахиоцефальных артерий, а также визуализировать всю сеть коллатеральных артерий при выраженных сужениях аорты. Во всех случаях были получены трехмерные модели высокого качества, которые ни в одном случае не уступали по качеству двумерным АКГ, а в 14% случаев при сложной анатомии сужения аорты (кинкинг, рис. 1 д,е) их качество превосходило двумерные

АКГ. 3D PA приводила к выявлению важной дополнительной информации, по сравнению с АКГ в 28 % случаев, что объясняется трехмерным характером исследования и возможностью получения неограниченного количества ангуляций. До операции при выполнении стентирования аорты модели позволяли полностью оценить область вмешательства, а после операции – раскрытие стента, симметричность и его форму во всех плоскостях. Во время выполнения 3 D PA разброс значений дозы излучения колебался от 80 до 1005 сГр.см², среднее 636,5 ± 325 сГр.см². При двухмерной АКГ - от 150 до 2234 сГр.см², в среднем 373,6 ± 181 сГр.см² (p=0,043). Время исследования при 3D PA колебалось от 16 до 24 минут, в среднем 16,6 ± 2,1 минуты, в то время как при выполнении двухмерной ангиокардиографии - от 10 до 18 минут, в среднем 12 ± 2,2 минуты (p=0,97). При выполнении 3 D PA аорты было использовано от 40 до 50 мл, в среднем 44,1 мл ± 4,8 мл контрастного вещества. При двухмерной ангиокардиографии от 25 до 52 мл, в среднем 39,1 ± 6,1 мл (p = 0,11).

IV Коммуникации между магистральными артериями, а также аортой и камерами сердца. В этой подгруппе имелись больные с различными патологическими и ятрогенными сообщениями между магистральными артериями (табл. 1) а также аортой и левым желудочком (n = 16). В данной группе в 56 % случаев 3D PA оказалась более качественным методом визуализации, но в 31% случаев уступала по качеству двухмерной АКГ. Выполненный анализ некачественных моделей показал, что при малом диаметре сообщения (открытый артериальный проток, большие аорто-легочные коллатеральные артерии) и наличии металлических предметов в зоне интереса (парапротезные фистулы) выполнение 3D PA не целесообразно. При эндоваскулярных вмешательствах 3D PA позволяла выбрать наиболее оптимальные проекции, что сокращало в свою очередь время

вмешательства и количество использованного контрастного вещества. В 25 % случаев была получена важная дополнительная информация. При выполнении 3D PA время исследования было в среднем $14 \pm 3,4$ минуты, при выполнении двухмерной АКГ - в среднем $14,1 \pm 2,7$ минуты ($p=0,95$). При выполнении 3 D PA было использовано в данной группе пациентов в среднем $49,3 \text{ мл} \pm 16,5 \text{ мл}$ контрастного вещества, а при двухмерной АКГ - $51,3 \text{ мл} \pm 17,3 \text{ мл}$ ($p=0,81$). В среднем количество контрастного вещества в расчете на единицу массы тела при двухмерной АКГ составило $2,54 \text{ мл/кг}$, в то время как при 3 D PA – $2,59 \text{ мл/кг}$. Доза облучения во время выполнения 3 D PA была ниже, чем при стандартной АКГ, и составляла в среднем $534,1 \pm 218 \text{ сГр.см}^2$, при двухмерной АКГ - $990,8 \pm 456 \text{ сГр.см}^2$ ($p = 0,049$).

V Магистральные вены. Большинство пациентов данной группы ($n = 24$) составляли больные после двунаправленного каво-пулмонального анастомоза и гемодинамической коррекции по Фонтену. 3D PA показала себя безопасным методом, позволяющим получить качественную визуализацию полых вен, легочных вен, а также легочных артерий у пациентов после гемодинамических коррекций сложных ВПС за однократное введение контрастной смеси. Качество визуализации 3D PA было выше, чем стандартных АКГ, в 33,3% исследованных моделей, а 66,7 % случаев – качество моделей и стандартных АКГ было оценено одинаково. Ни в одном случае модели не уступали по качеству стандартным АКГ. В 16 % случаях модели привнесли важную дополнительную информацию, которая не определялась при стандартной АКГ магистральных вен. При эндоваскулярных вмешательствах 3D PA позволяла исследовать характер и протяженность области интереса и выбрать оптимальную проекцию для выполнения вмешательств или планирования будущей

хирургической операции. Время исследования при выполнении 3D PA было в среднем $13,3 \pm 4,2$ минуты, при двухмерной АКГ - $19 \pm 9,7$ минуты ($p=0,16$). Для 3D PA потребовалось введение в среднем $61,1 \text{ мл} \pm 23,7 \text{ мл}$ контрастного вещества, а при двухмерной АКГ - $53,7 \text{ мл} \pm 24,7 \text{ мл}$ ($p=0,69$). Количество контрастного вещества в расчете на единицу массы тела при двухмерной АКГ составило $2,96 \text{ мл/кг}$, в то время как при 3D PA – $2,78 \text{ мл/кг}$. Доза ионизирующего излучения 3 D PA и стандартной АКГ составила $568,5 \pm 285 \text{ сГр.см}^2$ и $1026,3 \pm 509 \text{ сГр.см}^2$ соответственно ($p = 0,0076$).

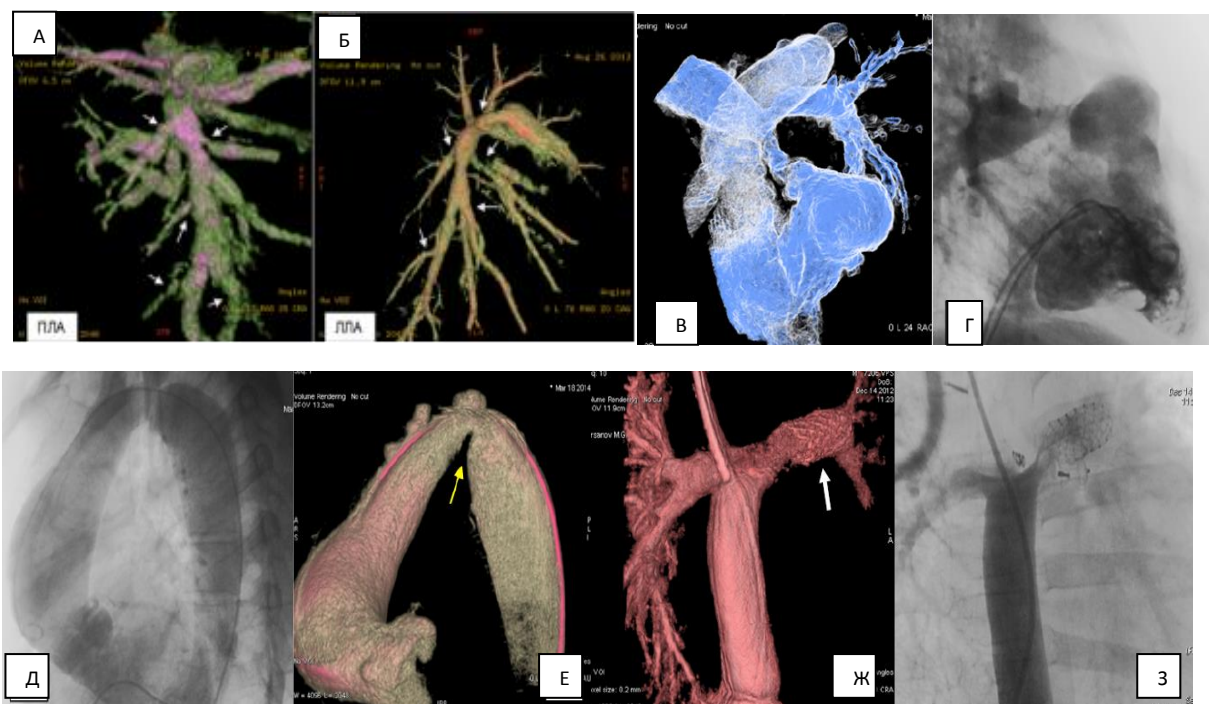
VI Выводной отдел левого желудочка. В эту группу исследуемых были включены больные ($n = 17$) с обструктивной патологией на уровне выводного тракта левого желудочка - гипертрофической кардиомиопатией и подаортальными мембранами. При исследовании удавалось получать трехмерные модели, представляющие собой внутренний слепок полости левого и правого желудочков, что позволяло точно судить о форме и толщине межжелудочковой перегородки. В то время как двухмерные АКГ, выполненные из правого и левого желудочков отдельно, позволяют только косвенно судить о форме межжелудочковой перегородки со стороны каждого из желудочков. Модели также позволяли за одно введение контрастной смеси исследовать конусную перегородку, состояние выводного тракта обоих желудочков, проксимальные отделы магистральных артерий и их взаиморасположение. На стандартных АКГ размеры анатомических образований могут быть искажены вследствие того, что выбранная проекция не всегда оказывается перпендикулярной исследуемому образованию. При 3D PA имелась возможность выполнения измерений в выбранной на модели максимально перпендикулярной к области интереса проекции, что

крайне важно для выбора объема резекции при выполнении будущего хирургического вмешательства. Также 3D РА позволяла прижизненно диагностировать клифтинговые сообщения между желудочками, что часто является патанатомической находкой. Трехмерные модели выполненные из одного желудочка (левого или правого), не давали возможности оценивать толщину межжелудочковой перегородки, тогда как бивентрикулярная 3D РА позволяла проводить эти расчеты. Модели пациентов с ГКМП в 71,4 % случаев превосходили стандартные АКГ по качеству визуализации, и в 28,6 % случаев – были сопоставимы. Ни в одном случае модели пациентов не уступали по качеству стандартным АКГ. У пациентов с подаортальной мембраной все 3D РА были выше по качеству визуализации и более информативны, чем двухмерные АКГ. Более высокое качество визуализации 3D РА в данной подгруппе пациентов достигалось благодаря ротационной ангиокадиографии, т.к. модели представляли собой трехмерное изображение по типу «минус-ткань», что позволяло лишь косвенно судить о мембранах. Время исследования при выполнении 3D РА было в среднем $12,3 \pm 4,6$ минуты, при двухмерной АКГ – $15,1 \pm 4,1$ минуты ($p=0,073$). Для 3 D РА потребовалось введение в среднем $45,1 \text{ мл} \pm 16,1 \text{ мл}$ контрастного вещества, а при двухмерной АКГ - $48,8 \text{ мл} \pm 17 \text{ мл}$ ($p=0,053$). Доза ионизирующего излучения 3 D РА и стандартной АКГ составила $492 \pm 185 \text{ сГр.см}^2$ и $698 \pm 207 \text{ сГр.см}^2$ соответственно ($p = 0,027$).

Некачественные 3D РА. Был проведен анализ причин возникновения некачественных моделей и выделены несколько групп технических ошибок и погрешностей, из-за которых качество моделей могут снижаться:

1. Неточности установки задержки флюорографии;
2. Малый объем контрастной смеси, необходимой для исследования;
3. Отсутствие ЭКС или неадекватная частота навязки ритма;
4. Нарушения пропорции разведения контрастного вещества;
5. Выполнение 3D РА при наличии металлосодержащих предметов вблизи области интереса, приводящих к образованию трехмерных «бликов».

В ходе выполнения данного исследования была отработана методика выполнения 3D РА, подобраны настройки и параметры построения моделей, выведены формулы для расчетов скорости инфузии контрастной смеси, параметры пропорций контрастной смеси и выполнения ЭКС, подробные описания которых в доступной нам литературе не были обнаружены. Этим объясняется наличие кривой обучаемости при освоении методики.



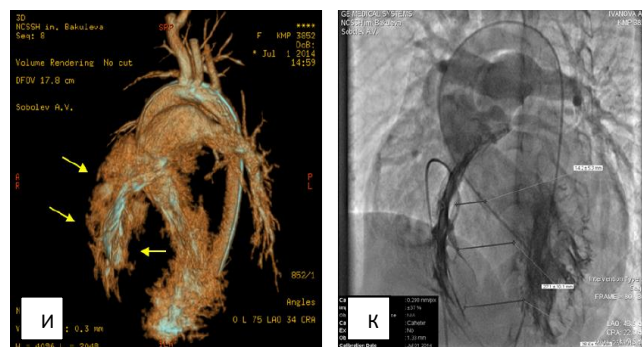


Рис 1. Трехмерные модели пациентов с различными ВПС: а,б - периферические стенозы ЛА; в, г – модель и стандартная АКГ аневризмы ВОПЖ после реконструкции путей оттока правого желудочка по поводу тетрады Фалло; д, е – кинкинг аорты; ж, з – модель и АКГ пациента после операции Фонтена по поводу единственного желудочка сердца; и, к – модель и стандартная АКГ пациента с ГОКМП.

ВЫВОДЫ

1. 3D РА является новым этапом в инвазивной диагностике пациентов с различными ВПС, обладающая двумя взаимодополняющими модальностями (3D РА и ротационной ангиокардиографией), которая позволяет при однократном введении контрастного вещества получить неограниченное количество ангиуляций исследуемой области.
2. Показаниями для выполнения 3D РА являются пациенты с врожденной патологией сердца (патологией конотрункуса; с аневризмами выводного отдела правого желудочка после реконструктивных операций; с гипертрофической кардиомиопатией и подклапанным стенозом аорты) и сосудов (стенозами легочных артерий, со сложными формами коарктации аорты; после операций ДКПА и Фонтена, сужениями системных вен).
3. 3D РА превосходит по качеству визуализации двухмерную ангиокардиографию у пациентов с ВПС: с периферическими

стенозами ЛА в 86,1 % случаев: стенозами бифуркации ствола ЛА - в 77,8 % случаев; с патологией конотрункуса - в 70 % случаев; при наличии крупных патологических коммуникаций между магистральными артериями, а также между аортой и полостями сердца - в 56 % случаев; при аневризмах выводного отдела правого желудочка, а также при обструкции выводного отдела левого желудочка и исследовании венозной системы в подавляющем большинстве случаев.

4. Качество визуализации 3D РА и двухмерной АКГ сопоставимы при исследовании пациентов с патологией аорты, при сужениях кондуитов между правым желудочком и легочной артерией, при наличии сужений в основных ветвях правой и левой ЛА.

5. 3D РА уступает двухмерным АКГ по качеству визуализации при исследовании межсосудистых коммуникаций и парапротезных фистул небольших размеров (менее 4 мм).

6. За счет возможности оценки нескольких областей исследования, а также ротации трехмерных моделей во всех плоскостях 3D РА способствует получению дополнительной важной информации, по сравнению с двухмерной АКГ.

7. 3D РА должна являться первичным методом исследования у пациентов, подвергающихся эндоваскулярным операциям благодаря более полной и качественной оценке исследуемой области, а также выбору наиболее оптимальной ангиографической проекции для последующего эндоваскулярного вмешательства.

8. 3D РА является безопасным методом диагностики, который по сравнению с двухмерной АКГ, значительно снижает дозу рентгеновского излучения ($503,4 \pm 350$ сГр/см² при 3D РА и $820,8 \pm 400$ сГр/см² при АКГ, $p = 0,036$), при этом не увеличивает время

исследования (в среднем $14,1 \pm 10$ минут при 3D РА и $15,1 \pm 9$ минут при АКГ) и объем использованного контрастного вещества ($49,9 \pm 35$ мл при 3D РА и $47,8 \pm 38$ мл при АКГ).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Одним из обязательных условий получения качественных трехмерных моделей является постоянное и тугое контрастирование исследуемой области за все время ротации электронно-оптического преобразователя.
2. На качество визуализации трехмерных моделей положительное влияние оказывают ЭКС, точное соблюдение пропорции контрастной смеси (от 60:40 до 70:30, в зависимости от возрастной категории пациентов) и скорости ее введения, правильный выбор задержки флюорографии. Нарушение одного из этих параметров приводит к снижению качества 3D РА.
3. Наиболее оптимальным условием для проведения 3D РА является выполнение одновременной высокочастотной ЭКС с достижением ЧСС, при которой происходит снижение системного давления на 20-30 % от исходного.
4. Наличие включений кальция и металлических предметов в области исследования (клипсы, стенты, искусственные клапаны, металлосодержащие катетеры) приводит к снижению качества и появлению трехмерных бликов на моделях, но не влияет на информативность ротационных ангиокардиограмм.
5. Для расчета скорости введения контрастной смеси мы рекомендуем пользоваться формулой: для пациентов до 15 кг включительно - $V = 2f + 2k / T_z + 5$; для пациентов свыше 15 кг - $V = f + 1,6k / T_z + 5$, где V – скорость инфузии мл/сек; k – объем контрастного вещества в мл, равен значению массы тела пациента выраженной в кг; f – объем физиологического раствора в мл, равен значению массы тела пациента выраженной в кг; T_z – время задержки флюорографии в

секундах. Скорость введения контрастной смеси, как правило, должна быть от 8 до 18 мл в секунду.

6. При исследовании патологии венозной системы, аорты, а также при би- и моноventрикулярной 3D РА у пациентов с ГКМП ЭКС можно не проводить, не теряя качества визуализации трехмерных моделей.

7. 3D РА является оператор-зависимой методикой визуализации, при которой имеется кривая обучаемости, и соблюдение вышеуказанных практических рекомендаций может сократить ее продолжительность.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Алекян Б. Г., Пурсанов М. Г., Карапетян Н. Г., Шахбазян К. Р. Новые технологии в визуализации врожденных пороков сердца: ротационная ангиография и 3D-моделирование у пациентки при стентировании дистального отдела кондуита и правой легочной артерии. Детские болезни сердца и сосудов. 2013; 3: 60.
2. Бокерия Л. А., Алекян Б. Г., Пурсанов М. Г., Карапетян Н. Г. Ротационная ангиокардиография и трехмерное моделирование в диагностике и лечении врождённых пороков сердца. IV Ежегодная научно-практическая конференция с международным участием: Актуальные вопросы интервенционной радиологии. Сложный пациент. Материалы конференции. 2013. С. 30
3. Бокерия Л. А., Алекян Б. Г., Пурсанов М. Г., Карапетян Н. Г. Ротационная ангиография и 3D-моделирование в диагностике и лечении врожденных пороков сердца (обзор литературы). Бюллетень НЦССХ им А.Н. Бакулева РАМН «Сердечно-сосудистые заболевания». 2013. 14 (6): 14-19
4. Бокерия Л. А., Алекян Б. Г., Пурсанов М. Г., Карапетян Н. Г. Ротационная ангиокардиография и трехмерное моделирование в

- диагностике и лечении врождённых пороков сердца. Бюллетень НЦССХ им А.Н. Бакулева РАМН «Сердечно-сосудистые заболевания». 2013. 14 (6): 225
5. Алекян Б. Г., Пурсанов М. Г., Чуева Е. П., Карапетян Н. Г. Успешное стентирование сужения правой легочной артерии у больного со сложным врожденным пороком сердца с использованием ротационной ангиокардиографии и 3D-моделирования. Детские болезни сердца и сосудов. 2014; 1: 27 – 31
 6. Бокерия Л. А., Алекян Б. Г., Пурсанов М. Г., Карапетян Н. Г. Ротационная ангиокардиография и 3D-моделирование в диагностике и лечении обструктивной патологии легочных артерий. Бюллетень НЦССХ им А.Н. Бакулева РАМН «Сердечно-сосудистые заболевания». 2014. 15 (3): 122
 7. Бокерия Л. А., Алекян Б. Г., Пурсанов М. Г., Карапетян Н. Г. Ротационная ангиокардиография и 3D-моделирование в диагностике и лечении обструктивной патологии легочных артерий. Анналы хирургии. 2014; 6: 15-23
 8. Бокерия Л. А., Алекян Б. Г., Пурсанов М. Г., Карапетян Н. Г. Ротационная ангиокардиография и 3D-моделирование в диагностике и лечении обструктивной патологии легочных артерий. Бюллетень НЦССХ им А.Н. Бакулева РАМН «Сердечно-сосудистые заболевания». 2014. 15 (6): 191
 9. Бокерия Л. А., Алекян Б. Г., Пурсанов М. Г., Карапетян Н. Г. Ротационная ангиокардиография и 3D-моделирование в диагностике и лечении патологии выводного отдела правого желудочка. Бюллетень НЦССХ им А.Н. Бакулева РАМН «Сердечно-сосудистые заболевания». 2015: 16(3): 129