

На правах рукописи

Усманова Лилия Зульфатовна

**Механика вращательного движения сердца как критерий оценки
сократительной способности миокарда
у пациентов кардиохирургического профиля**

3.1.15 - сердечно-сосудистая хирургия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2022

Работа выполнена в Государственном бюджетном учреждении Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского».

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор **Осиев Александр Григорьевич**

Официальные оппоненты:

Миронков Борис Леонтьевич - доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр трансплантологии и искусственных органов имени академика В.И. Шумакова» Министерства здравоохранения РФ, отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения, заведующий отделением.

Рафаели Ионатан Рафаелович - доктор медицинских наук, Центр кардиоангиологии, ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университета им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения РФ (Сеченовский Университет), отделение кардиоангиологии, сердечно-сосудистый хирург.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского» Министерства здравоохранения РФ.

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2023 г. в _____ часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.1.012.02, созданного на базе ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского», ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова», по адресу: 105203 г. Москва, ул. Нижняя Первомайская, д. 70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института усовершенствования врачей ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, по адресу: 105203, г. Москва, ул. Нижняя Первомайская, 65 и на сайте www.pirogov-center.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
объединенного диссертационного совета,
доктор медицинских наук, профессор

Матвеев Сергей Анатольевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) – одно из самых тяжелых и прогностически неблагоприятных осложнений заболеваний сердечно-сосудистой системы. По данным Российских эпидемиологических исследований, распространенность ХСН в общей популяции составила 7%, в том числе клинически выраженная — 4,5% (Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации, 2020). Медикаментозная терапия улучшает прогноз сердечной недостаточности (СН), но на определенной стадии утрачивает свою эффективность, и практикующие врачи часто сталкиваются с пациентами, у которых на фоне оптимально подобранного лечения продолжают прогрессировать симптомы СН.

При прогрессировании сердечной недостаточности и неэффективности медикаментозной терапии требуется восстановление или уменьшение последствий ремоделирования миокарда хирургическими методами лечения (Шевченко Ю.Л. и др., 2002; Ситникова М.Ю. и др., 2017; Бокерия Л.А. и др. 2018; Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации, 2020; Калюжин В.В. и др., 2021; Белов Ю.В. и др., 2021; Карташов Д.С. и др., 2022; Oh J.K. et al., 2013).

У пациентов с тяжелой ХСН по мере прогрессирования ремоделирования левого желудочка (ЛЖ) ухудшается сократительная способность миокарда (Кулагина Т.Ю. и др., 2018; Рубаненко А.О. и др., 2019; Белов Ю.В. и др., 2021; Зябирова Р.З. и др., 2021; Бокерия Л.А. и др., 2022; Wang Y. et al., 2021). В связи с этим, оценка сократительной способности миокарда является необходимым и обязательным этапом при выборе метода лечения у данной категории пациентов. С позиции механики сердца показателями сократительной способности левого желудочка являются: деформация, скорость деформации, ротация, скорость ротации, скручивание и поворот по оси (Павлюкова Е.Н. и др., 2015; Швец Д.А., Поветкин С.В., 2021; Mondillo S. et al., 2011; Cameli M. et al., 2013; Minatoguchi S. et al., 2019; Yuda S., 2021).

В настоящее время эхокардиография (ЭхоКГ) предоставляет большие возможности в оценке показателей механики сердца, позволяющих определить сократительную способность миокарда у пациентов с ХСН при планировании кардиохирургических вмешательств. ЭхоКГ позволяет получить важную информацию об анатомии и функции сердца – это оценка систолической и диастолической функции ЛЖ, обнаружение нарушений локальной сократимости левого желудочка, измерение фракции выброса ЛЖ (ФВ ЛЖ), выявление патологии клапанного аппарата сердца. В последние годы все больше используется трехмерная speckle-tracking эхокардиография (STE), которая обеспечивает более объемный и подробный анализ сердечной динамики (Берестень Н.Ф. и др., 2019; Швец Д.А., Поветкин С.В., 2021; Tops L.F. et al., 2017; Li Y. et al., 2020; Lisi M. et al., 2022).

Магнитно-резонансная томография (МРТ) сердца позволяет получить детальную информацию о морфологии сердца, внутрисердечной гемодинамике, функции желудочков, скорости и объеме кровотока по крупным сосудам, структуре миокарда. К методам, позволяющим проводить оценку функциональных параметров левого желудочка, кроме эхокардиографии и МРТ, относятся инвазивная вентрикулография, радионуклидная вентрикулография, однофотонная эмиссионная и мультисериальная компьютерная томография.

Использование результатов коронарной ангиографии (КАГ) для оценки сократительной способности миокарда в доступной литературе не встречено. Рентгеноконтрастная коронарная ангиография является обязательным методом диагностики в кардиохирургии. КАГ в большинстве случаев проводится пациентам: с развитием острого коронарного синдрома (ОКС), подозрением на ишемическую болезнь сердца (ИБС) и отсутствием эффекта от проводимого лечения.

Коронарная ангиография является обязательным диагностическим методом для подтверждения диагноза ОКС или его исключения для поиска альтернативных причин боли в грудной клетке (Острый инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST электрокардиограммы. Клинические рекомендации, 2020; Острый коронарный синдром без подъема сегмента ST электрокардиограммы. Клинические рекомендации, 2020). В большинстве случаев для пациентов с подозрением на ОКС коронарная ангиография является первичным этапом диагностики до выполнения ЭхоКГ и в таких ситуациях КАГ позволила бы повысить вероятность раннего выявления нарушения сократительной способности миокарда. Однако КАГ в виде ангиографического изображения не позволяет определять наличие или отсутствие нарушения сократительной способности миокарда.

Исходя из вышеизложенного, актуально создание и использование в практике методики математического анализа параметров механики сердца на протяжении сердечного цикла по ангиографическим изображениям коронарных артерий, позволяющей определить наличие или отсутствие нарушения сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля.

Решение этой важнейшей клинической задачи расширит современные представления о диагностических возможностях коронарной ангиографии в кардиохирургии и дополнит имеющиеся сведения о механике вращательного движения сердца.

Цель исследования

Разработка методики оценки механики вращательного движения сердца по данным коронарной ангиографии и обоснование ее применения в практике на основе изучения сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля.

Задачи исследования

1. Разработать методику оценки механики вращательного движения сердца, основанной на математических расчетах угла ротации сердца по данным коронарной ангиографии.
2. Оценить диагностическую значимость показателя угла ротации сердца для определения сократительной способности миокарда.
3. Изучить сократительную способность миокарда у пациентов с дилатационной кардиомиопатией и аневризмой левого желудочка с помощью разработанной методики.
4. На основе использования показателя угла ротации сердца изучить сократительную способность миокарда у пациентов с протезированными клапанами сердца.
5. Провести сравнительный анализ показателей оценки сократительной способности миокарда, рассчитанных по данным КАГ (угол ротации сердца) и Speckle-tracking ЭхоКГ (глобальная продольная деформация).

Научная новизна исследования

Впервые разработана принципиально новая методика оценки механики вращательного движения сердца, основанная на математических расчетах угла ротации по движению точек на поверхности сердца, определенных на коронарограмме в двух косых проекциях, позволяющая определить наличие или отсутствие нарушения сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля.

Впервые установлено, что показатель угла ротации сердца позволяет прогнозировать наличие нарушения сократительной способности миокарда с высокой аналитической чувствительностью и специфичностью.

Впервые на основе использования новой методики изучена сократительная способность миокарда у пациентов с дилатационной кардиомиопатией (ДКМП) и аневризмой левого желудочка (АЛЖ), а также у пациентов с протезированными клапанами сердца и доказано, что показатель угла ротации сердца ниже порогового значения свидетельствует о наличии нарушения сократительной способности миокарда у этих пациентов.

Впервые получены новые данные об особенностях изменения угла ротации сердца у пациентов с протезированными клапанами сердца.

Впервые установлено, что по возможности оценки сократительной способности миокарда у пациентов с ДКМП и АЛЖ показатель угла ротации сердца сопоставим с показателем глобальной продольной деформации, рассчитанным Speckle-tracking ЭхоКГ.

Практическая значимость работы

Разработанная методика оценки механики вращательного движения сердца, основанная на математических расчетах угла ротации сердца, по ангиографическим изображениям коронарных артерий на протяжении сердечного цикла, расширяет диагностические возможности коронарной ангиографии. Показатель угла ротации сердца служит предиктором ранней диагностики нарушения сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля.

Предложенная методика для определения сократительной способности миокарда, наряду с ЭхоКГ и другими диагностическими методами, может быть использована в клинической практике для комплексной оценки функционального состояния миокарда.

Расчет угла ротации сердца при проведении диагностической коронарной ангиографии пациентам: с развитием ОКС, подозрением на ИБС и отсутствием эффекта от проводимого лечения предоставляет дополнительную информацию для планирования дообследования уже с предположением наличия нарушения сократительной способности миокарда.

Компьютерная программа для автоматического расчета угла ротации сердца на основании данных коронарной ангиографии повышает оперативность получения врачами-кардиохирургами результатов исследований, необходимых для определения тактики дальнейшего обследования и лечения пациентов.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Использование разработанной методики оценки механики вращательного движения сердца по данным коронарной ангиографии в клинической практике позволяет рассчитывать показатель угла ротации сердца и прогнозировать на его основе наличие или отсутствие нарушения сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля.

2. Показатель угла ротации сердца ниже установленного порогового значения свидетельствует о наличии нарушения сократительной способности миокарда у пациентов с ДКМП и АЛЖ.

3. У пациентов с протезированными клапанами сердца показатель угла ротации сердца, определенный в послеоперационном периоде, позволяет оценить восстановление сократительной способности миокарда.

4. Диагностическая значимость угла ротации сердца в отношении определения наличия или отсутствия нарушения сократительной способности миокарда у пациентов с ДКМП и АЛЖ сопоставима с глобальной продольной деформацией, рассчитываемой методом Speckle-tracking эхокардиографии.

Внедрение полученных результатов

Полученные результаты внедрены в лечебный процесс Государственного бюджетного учреждения здравоохранения Республиканский кардиологический центр МЗ Республики Башкортостан, г. Уфа.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на III Российском Форуме по сердечной недостаточности и заболеваниям миокарда, 09-10 октября 2018 года, г. Уфа, Кардиоваскулярном саммите, 27-30 апреля 2019 года, г. Сеул (Корея).

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано 4 научные работы, в том числе в рецензируемых научных изданиях 2 научные статьи, 1 статья в иностранном журнале, 1 патент на изобретение.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 115 страницах печатного текста и состоит из введения, обзора литературы, 3 глав собственных исследований, в которых отражены: описание материалов и методов исследования, разработанная методика оценки механики вращательного движения сердца по данным коронарной ангиографии, результаты собственных исследований и их обсуждения, выводы и практические рекомендации. Список литературы содержит 178 источников, из них 89 отечественных и 89 зарубежных. Работа иллюстрирована 24 рисунками и 8 таблицами.

Личный вклад автора

Лично автором проведен обзор отечественной и иностранной научной литературы, разработаны дизайн и методология исследования, сформулированы и построены математические модели, проведен сбор материала, проведены хронологические измерения координат точек на коронарограммах и расчет кинематических параметров сердца. Автором самостоятельно проводился анализ полученных результатов, статистическая обработка, сформулированы выводы, основные положения, выносимые на защиту, и практические рекомендации, подготовка научных публикаций по теме диссертации.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достаточный объем наблюдений (120), использование современных методов обследования, тщательная статистическая обработка свидетельствуют о высокой достоверности выводов и рекомендаций. Выводы и практические рекомендации аргументированы и обоснованы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Клиническая характеристика и методы исследования пациентов

Исследование проводилось с 2017 г. по 2022 г. на базе ГБУЗ Республиканский кардиологический центр МЗ Республики Башкортостан, г. Уфа. В исследование были включены 120 пациентов, отобранные неслучайной целевой выборкой из базы данных пациентов, которым выполнена диагностическая коронарная ангиография (1920 пациентов). Данное исследование является одноцентровым клиническим

исследованием с ретроспективным включением пациентов. Дизайн исследования представлен на рисунке 1.



Оцениваемые факторы

клинические (возраст, ритм сердца, электрическая ось сердца, наличие нарушений ритма по электрокардиограмме или холтеровскому мониторингованию, артериальное давление по методу Короткова, наличие гипертрофии левого желудочка, частота сердечных сокращений, стадии хронической сердечной недостаточности, наличие артериальной гипертонии)
инструментальные (результаты электрокардиографии, эхокардиографии, Speckle-tracking эхокардиографии, коронарной ангиографии, проведенных в диагностических целях)

Изучаемые явления

Механика сердечных сокращений.
Новые показатели оценки сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля.

Статистический анализ:

ранговый критерий Крускала-Уоллиса, непарный двухвыборочный критерий Уилкоксона, корреляционный анализ по Спирмену, метод анализа ROC-кривых

Рисунок 1 - Дизайн исследования.

В соответствии с задачами исследования пациенты были разделены на четыре группы: 1) пациенты с дилатационной кардиомиопатией; 2) пациенты с аневризмой левого желудочка; 3) кардиохирургические пациенты (с протезированием аортального и митрального клапанов сердца); 4) контрольная группа (пациенты у которых при обследовании не выявлены заболевания сердца). Критерии включения в анализ: возраст более 18 лет, пациенты с дилатационной кардиомиопатией, пациенты без заболеваний сердца, пациенты с аневризмой левого желудочка, пациенты с протезированием аортального и митрального клапанов сердца. Критерии исключения из анализа: пациенты с нарушением проводимости и ритма сердца.

Клинико-демографические данные, включенных в исследование пациентов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Клинико-демографическая характеристика пациентов, включенных в исследование Me [q1; q3]

Показатели	Группы пациентов, включенных в исследование			
	ДКМП (n=30)	АЛЖ (n=30)	*Кардиохирургические (n=30)	**Контрольная (n=30)
Половое соотношение (муж.:жен.)	28:2	21:9	19:11	13:17
Возраст, лет	59 [55; 62]	57,5 [55; 65]	66 [60; 69]	53 [44,5; 58,8]
Стадия сердечной недостаточности				
ХСН I стадия	-	10 (33,3 %)	30 (100%)	-
ХСН IIa стадия	10 (33,3%)	12 (40 %)	-	-
ХСН IIb стадия	20 (66,7%)	8 (26,7 %)	-	-
Фракция выброса левого желудочка				
ФВ ЛЖ (Me)	30 [27; 33,8]	42,5 [30,8; 46,0]	64 [59,3; 66,8]	65 [62; 67,5]
ХСНнФВ (<40%)	28 (93%)	12 (40%)	-	-
ХСНпФВ (40-49%)	2 (7%)	17 (56,67%)	2 (7%)	-
ХСНсФВ (50% и более)	-	1 (3,33%)	28 (93,0%)	-
ФВ ЛЖ в норме (55% и более)	-	-	-	30 (100%)
КДР (Me)	6,35 [6,02; 6,6]	5,4 [5,1; 6,3]	5,1 [4,9; 5,4]	4,8 [4,6; 4,97]
КСР (Me)	5,2 [4,8; 5,6]	3,95 [3,7; 4,5]	3,4 [3,03; 3,5]	3,1 [3; 3,3]
Примечания: *- пациенты с протезированными клапанами сердца **- пациенты без заболеваний сердца				

В группе пациентов с ДКМП соотношение мужчин к женщинам – 28:2, основную часть пациентов составили мужчины. Медиана возраста пациентов

составила 59 [55; 62]. Тяжесть клинических проявлений по стадиям ХСН выглядела следующим образом: II А ст. – (33,3%), II Б ст. – (66,7%), медиана ФВ ЛЖ составила 30 [27; 33,8]. КДР – 6,35 [6,02; 6,6], КСР – 5,2 [4,8; 5,6] (Таблица 1).

В группе пациентов с АЛЖ медиана возраста пациентов составила 57,5 [55; 65]. В группе кардиохирургических пациентов соотношение мужчин к женщинам – 19:11, основную часть пациентов составили мужчины. У пациентов, включенных в группу АЛЖ, тяжесть клинических проявлений по стадиям ХСН распределилась следующим образом: I ст. – (33,3%), II А ст. – (40,0%), II Б ст. – (26,7%). Медиана ФВ ЛЖ составила 42,5 [30,8; 46,0], в том числе пациентов с низкой ФВ ЛЖ – 40,0%, с промежуточной ФВ ЛЖ – (56,67%), с сохраненной ФВ ЛЖ – (3,33%). КДР – 5,4 [5,1; 6,3], КСР – 3,95 [3,7; 4,5] (Таблица 1).

У всех пациентов, включенных в группу с протезированными клапанами сердца, ХСН соответствовал I стадии (100,0%). Медиана фракции выброса левого желудочка составила 64 [59,3; 66,8]. КДР – 5,1 [4,9; 5,4], КСР – 3,4 [3,03; 3,5] (Таблица 1).

В контрольную группу включены пациенты без заболеваний сердца. Медиана возраста составила 53 [44,5; 58,8]. Фракция выброса левого желудочка у всех пациентов $\geq 55\%$, медиана – 65 [62; 67,5]. КДР – 4,8 [4,6; 4,97], КСР – 3,1 [3; 3,3] (Таблица 1).

В связи с более молодым возрастом пациентов в контрольной группе, были выявлены небольшие различия между исследуемыми группами. Проводился статистический анализ влияния возраста исследуемых пациентов на угол вращения сердца. В результате анализа выявлено, что возраст пациентов, включенных в наше исследование не влияет на угол вращения сердца ($R = -0,099$, $p = 0,28$).

В исследование были включены данные коронарной ангиографии, электрокардиографии (ЭКГ), эхокардиографии и Speckle-tracking ЭхоКГ, проведенных в диагностических целях в соответствии с Клиническими рекомендациями МЗ РФ. В ходе исследования проводился ретроспективный анализ данных пациентов (в том числе оперированных) по 120 архивным историям болезни: клинических (возраст, пол, ритм сердца, электрическая ось сердца, наличие нарушений ритма по электрокардиограмме или холтеровскому мониторингу, артериальное давление по методу Короткова, наличие гипертрофии левого желудочка, частота сердечных сокращений, стадии хронической сердечной недостаточности, наличие артериальной гипертонии); результатов инструментальных обследований (электрокардиографии, эхокардиографии, Speckle-tracking эхокардиографии, коронарной ангиографии). Сведения о диагнозе также были получены по архивным историям болезни. В рамках данного исследования задача верификации диагноза ХСН не ставилась.

Механика вращательного движения сердца изучалась с помощью, разработанной нами методики, основанной на математических расчетах угла

ротации сердца по данным коронарной ангиографии, позволяющей определить наличие или отсутствие нарушения сократительной способности миокарда.

Собранный материал вносили в общую научную таблицу, где каждому наблюдению (пациенту) соответствовала одна-единственная строка, содержащая 56 столбцов с полученными значениями. В научную карту включены следующие показатели: номер коронарограммы, дата рождения, пол, диагноз, данные координат точек для расчета угла ротации, данные углов косых проекций, радиусы сердца, угол ротации, конечный диастолический размер (КДР), конечный систолический размер (КСР), фракция выброса ЛЖ, степень поражения коронарных артерий, степень поражения клапанов, стадия ХСН, наличие гипертонической болезни (ГБ), стадия ГБ, наличие ИБС, электрическая ось сердца (ЭОС), наличие зон а-/гипокинеза, наличие гипертрофии левого желудочка.

Оформленный таким образом материал позволил производить статистическую обработку, включая сравнения зависимых и независимых групп, корреляционный анализ, нелинейное оценивание. Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программных пакетов MS Excel 2010, R и StatTech v. 2.8.8. Использовались: ранговый критерий Крускала-Уоллиса, непарный двухвыборочный критерий Уилкоксона, корреляционный анализ по Спирмену (оценивали коэффициент корреляции и уровень достоверности корреляционного уравнения). Для оценки диагностической значимости количественных признаков при прогнозировании определенного исхода применялся метод анализа ROC-кривых. Разделяющее значение количественного признака в точке cut-off определялось по наивысшему значению индекса Юдена.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Методика оценки механики вращательного движения сердца по данным коронарной ангиографии

Разработана принципиально новая методика оценки механики вращательного движения сердца, основанная на математических расчетах угла ротации по движению точек на поверхности сердца, определенных на коронарограмме в двух косых проекциях (Патент на изобретение № 2679875 Российская Федерация «Способ ранней ангиографической диагностики сердечной недостаточности»).

Разработанная нами методика оценки механики вращательного движения сердца по данным коронарной ангиографии достигается путем получения математического описания трехмерной картины процессов скручивания и сокращения сердца по радиусу и оси при сжатии и расслаблении сердца с помощью коронарной ангиографии в двух косых проекциях (Рисунок 2). Новая методика основана на математических расчетах угла ротации по движению точек, определенных на поверхности сердца. Исходными данными для расчета

кинематических параметров сердца (угол ротации) являются хронологические измерения координат точек, сделанных в серии фотографических изображений в течение сердечного цикла, полученных с помощью встроенного в ангиографическую установку записывающего устройства с частотой съемки 24 кадра в 1 секунду.

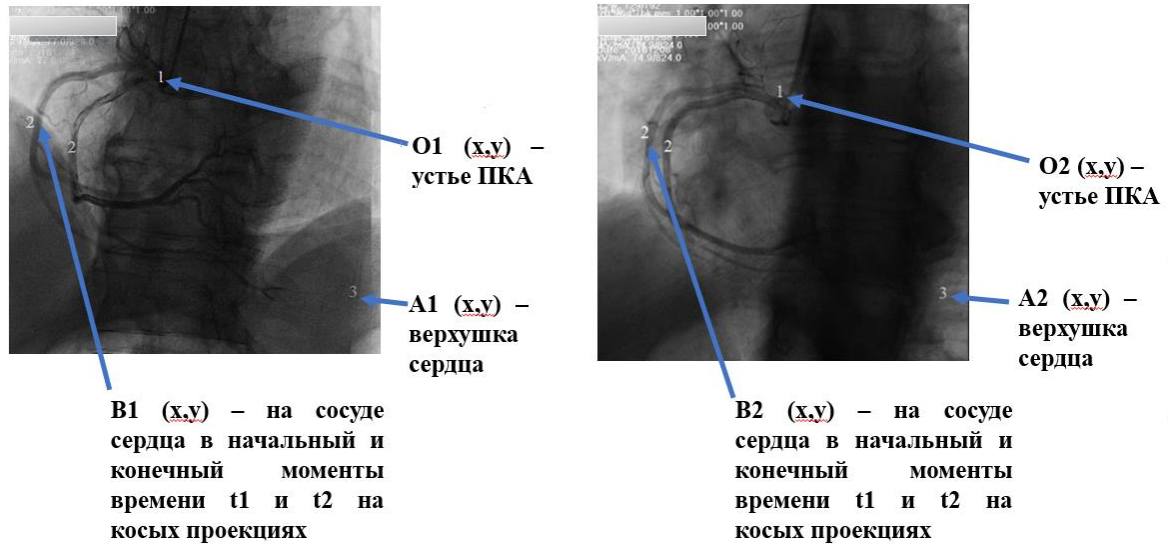


Рисунок 2. Две косые проекции, координаты точек в систолу и диастолу

На полученных изображениях выбираются координаты точек в систолу и диастолу. Координаты условно неподвижных точек сердца: $O(x, y)$ – устье правой коронарной артерии (ПКА), $A(x, y)$ – координаты точек на верхушке сердца; $B(x, y)$ – на сосуде сердца (ПКА) в начальный и конечный моменты времени t_1 и t_2 на косых проекциях (Рисунок 2).

На рисунке 3 представлена базовая система прямоугольных декартовых координат $OXYZ$.

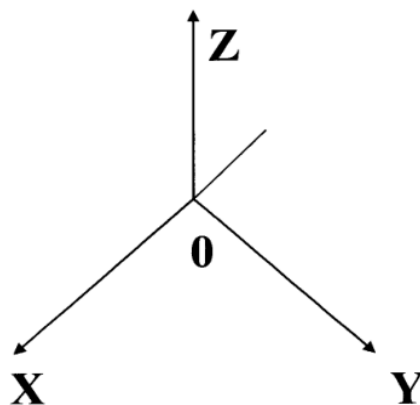


Рисунок 3 - Расположение осей базовой системы координат.

Расчеты всех геометрических и кинематических параметров сердца ведутся в некоторой базовой системе прямоугольных декартовых координат OXYZ. При этом принято, что ось OX проходит по срединной линии аорты до верхушки сердца. Ось OY проходит через центр фиброзного кольца, перпендикулярно оси OX, а ось OZ - перпендикулярно осям OX и OY, так, что образует с ними «левую тройку векторов» (Рисунок 3).

Следует отметить, что выбираемые прямоугольные системы координат не влияют на результаты расчетов угла ротации сердца.

Угол ротации сердца рассчитывается по формуле:

$$\varphi = \arccos \frac{x1R \cdot x2R + y1R \cdot y2R + z1R \cdot z2R}{\left| \bar{R}_{B1} \right| \cdot \left| \bar{R}_{B2} \right|} \text{ [град.]}$$

как угол между двумя векторами в пространстве, причем каждый из векторов соответствует расстоянию от B1 до O1A1 и расстоянию от B2 до O2A2 соответственно, рисунок 2.

Расчет кинематических параметров вращения сердца производится автоматически с помощью специальной программы для ЭВМ на основании занесенных в файл результатов измерений, полученных во время проведения коронарной ангиографии.

Диагностическая значимость показателя угла ротации сердца для оценки сократительной способности миокарда

Основной диагностической целью нового метода оценки механики вращательного движения сердца по данным коронарной ангиографии является количественное определение угла ротации сердца и эффективное разделение на его основе пациентов без- и с признаками нарушения сократительной способности миокарда.

Величину оптимального порогового значения угла ротации сердца для разделения лиц без нарушения и с нарушением сократительной способности миокарда определяли с помощью методики анализа ROC-кривых. Разделяющее пороговое значение в точке cut-off определялось по наивысшему значению индекса Юдена. Об эффективности разделения судили по величине показателей чувствительности (Se), % и специфичности (Sp), %. Площадь под ROC-кривой составила $0,983 \pm 0,017$ с 95% ДИ: 0,950 – 1,000. Полученная модель была статистически значимой ($p < 0,001$). Пороговое значение угла ротации в точке cut-off, которому соответствовало наивысшее значение индекса Юдена, составило 9,910 (Таблица 2).

Наличие нарушения сократительной функции миокарда прогнозировалось при значении угла ротации сердца ниже данной величины. Чувствительность и специфичность модели составили 95,6% и 100,0% соответственно.

Таблица 2 - Пороговые значения угла ротации сердца

Порог	Чувствительность (Se), %	Специфичность (Sp), %	PPV	NPV
11	97,8	53,3	86,3	88,9
10	97,8	73,3	91,7	91,7
10	97,8	80,0	93,6	92,3
10	97,8	83,3	94,6	92,6
10	96,7	83,3	94,6	89,3
10	96,7	86,7	95,6	89,7
10	95,6	86,7	95,6	86,7
10	95,6	100,0	100,0	88,2
6	58,9	100,0	100,0	44,8
6	56,7	100,0	100,0	43,5

Сущность методики поясняется следующими клиническими примерами.

Пример 1. Пациенту П. в условиях рентгеноперационной выполнена коронарная ангиография. Для оценки угла ротации взяты две точки по указанной методике. По расчетной формуле получен угол ротации [град]=1.51, что значительно меньше, чем пороговое значение угла ротации сердца – 9,9. Полученное низкое значение угла ротации сердца указало на наличие у пациента нарушения сократительной способности миокарда. Данные трансторакальной ЭхоКГ подтвердили у пациента наличие выраженного нарушения сократительной способности миокарда (КДР - 7.1 см, КСР - 6 см, ФВ ЛЖ - 27%).

Пример 2. Пациентке А. в условиях рентгеноперационной проведена коронарная ангиография. Для оценки угла ротации взяты две точки в двух косых проекциях. По расчетной формуле получен угол ротации сердца [град]=11.68, что больше, чем пороговое значение угла ротации сердца – 9,9. Полученное значение угла ротации указало на отсутствие у пациента нарушения сократительной способности миокарда. Данные трансторакальной ЭхоКГ (КДР - 4.6 см, КСР - 3.2 см, ФВ ЛЖ - 64%) подтвердили отсутствие нарушения сократительной способности миокарда у данного пациента.

Таким образом, разработанная нами методика оценки механики вращательного движения сердца, основанная на математических расчетах угла ротации по движению точек на поверхности сердца, определенных на коронарограмме в двух косых проекциях, дает возможность определить наличие или отсутствие нарушения сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля. Критерием оценки сократительной способности миокарда у обследуемых пациентов является показатель угла ротации сердца (φ). Если $\varphi[\text{град.}] \geq 9,9$, то определяется отсутствие нарушения сократительной способности миокарда, если $\varphi[\text{град.}] < 9,9$, то определяется наличие нарушения сократительной способности миокарда.

В ходе исследования изучена механика вращательного движения сердца у пациентов с ДКМП, АЛЖ и с протезированными клапанами сердца

С помощью разработанной методики оценки механики вращательного движения сердца произведен расчет угла ротации сердца у пациентов с ДКМП, АЛЖ, с протезированными клапанами сердца и контрольной группы. Показатели угла ротации сердца φ (град.) и ФВ ЛЖ у пациентов с ДКМП, АЛЖ и контрольной группы представлены в таблице 3.

Таблица 3. Показатели угла ротации сердца и ФВ ЛЖ у пациентов с ДКМП, АЛЖ и контрольной группы (Me [q1; q3])

Группы	Угол ротации сердца, φ (град.)	Фракция выброса левого желудочка, %
ДКМП (n=30)	4,41 [3,1; 5,8]	30 [27; 33,8]
АЛЖ (n=30)	5,91 [3,4; 7,7]	42,5 [30,8; 46]
*Контрольная группа (n=30)	10,97 [10,5; 12,2]	65 [62; 67,5]
Сравнение показателя угла ротации сердца и ФВ ЛЖ у пациентов исследуемых групп		
ДКМП – контрольная группа	(p<0,001)	(p<0,001)
АЛЖ – контрольная группа	(p<0,001)	(p<0,001)
ДКМП – АЛЖ	(p=0,59)	(p<0,001)
*- пациенты без заболеваний сердца		

Медиана показателя угла ротации сердца у пациентов с ДКМП составила 4,41 [3,1; 5,8], у пациентов с АЛЖ - 5,91 [3,4; 7,7], у пациентов контрольной группы - 10,97 [10,5; 12,2] (Таблица 3). При анализе выявлено, что угол ротации сердца у пациентов с ДКМП статистически значимо ниже (p<0,001), чем у пациентов контрольной группы. У пациентов с АЛЖ показатель угла ротации сердца также статистически значимо ниже (p<0,001), чем у пациентов без заболеваний сердца. При сравнении показателя угла ротации у пациентов с ДКМП и АЛЖ между собой статистически значимых различий не выявлено (p=0,59, таблица 3).

Из таблицы 3 видно, что медиана показателя ФВ ЛЖ по данным ЭхоКГ у пациентов с ДКМП составила 30 [27; 33,8], у пациентов с АЛЖ – 42,5 [30,8; 46], у пациентов контрольной группы - 65 [62; 67,5]. При сравнении групп выявлено, что ФВ ЛЖ у пациентов с ДКМП статистически значимо ниже ($p < 0,001$), чем у пациентов контрольной группы (Таблица 3). У пациентов с АЛЖ показатель ФВ ЛЖ также статистически значимо ниже ($p < 0,001$), чем у пациентов без заболеваний сердца (Таблица 3).

При анализе корреляционных взаимоотношений между углом ротации сердца и ФВ ЛЖ у пациентов с ДКМП, АЛЖ и контрольной группы выявлена сильная прямая корреляционная связь ($r = 0,8$, $p < 0,001$). Показатель угла ротации сердца ниже порогового значения свидетельствует о наличии нарушения сократительной способности миокарда у пациентов с ДКМП и АЛЖ.

Полученные нами результаты согласуются с данными литературы. Имеется ряд сообщений, обобщающих данные использования ЭхоКГ для оценки сердечной механики при различных патологических состояниях.

У пациентов с ХСН глобальная продольная деформация ЛЖ прогрессивно снижается по мере нарастания функционального класса сердечной недостаточности. Снижение глобальной продольной и циркулярной деформации коррелирует со сниженной ФВ ЛЖ. При ДКМП на фоне изменения формы ЛЖ (дилатация) происходит нарушение угла скручивания, что приводит к прогрессированию СН. У этих пациентов выраженность снижения показателей деформации коррелирует с ФВ ЛЖ. У пациентов с инфарктом миокарда снижения апикальной ротации и скручивания ЛЖ в первую очередь связаны со снижением циркулярной деформации. Большие трансмуральные инфаркты связаны со снижением систолического угла скручивания ЛЖ и скорости диастолического раскручивания, что коррелирует со сниженной ФВ ЛЖ (Павлюкова Е.Н. и др., 2015; Швец Д.А., Поветкин С.В., 2021; Lang R.M. et al., 2015; Pastore M.C. et al., 2021).

Показатели угла ротации сердца и ФВ ЛЖ у кардиохирургических пациентов и контрольной группы представлены в таблице 4.

В группе кардиохирургических пациентов, в которую были включены 26 человек (86,7%) после протезирования аортального клапана и 4 человека (13,3%) после протезирования митрального клапана, медиана показателя угла ротации сердца составила - (5,09 [2,7; 8,7]), что статистически значимо ниже, чем у пациентов из контрольной группы, ($p < 0,001$), где медиана показателя угла ротации сердца составила – (10,97 [10,5; 12,2]). При этом ФВ ЛЖ у данной группы пациентов в пределах нормальных значений (медиана – 64 [51; 66,8]). При сравнении группы кардиохирургических пациентов и контрольной группы статистически значимых различий показателя ФВ ЛЖ не выявлено ($p = 0,26$, таблица 4).

Таблица 4. Показатели угла ротации сердца и ФВ ЛЖ у кардиохирургических пациентов и контрольной группы (Me [q1; q3])

Группы	Угол ротации сердца, φ (град.)	Фракция выброса левого желудочка, %
*Кардиохирургические пациенты (n=30)	5,09 [2,7; 8,7]	64 [51; 66,8]
**Контрольная группа (n=30)	10,97 [10,5; 12,2]	65 [62; 67,5]
Сравнение показателя угла ротации сердца и ФВ ЛЖ у пациентов исследуемых групп		
Кардиохирургические пациенты - контрольная группа	(p<0,001)	(p=0,26)
*- пациенты с протезированными клапанами сердца		
**- пациенты без заболеваний сердца		

При корреляционном анализе взаимосвязи между углом ротации сердца и ФВ ЛЖ, полученным по данным ЭхоКГ, у кардиохирургических пациентов выявлена незначимая обратная корреляция ($r=-0,29$), не достигающая уровня статистической значимости ($p=0,12$).

Выявленные низкие значения угла ротации сердца у пациентов после протезирования клапанов сердца при сохранной ФВ ЛЖ могут быть связаны с еще не восстановленной сократительной функцией миокарда, что согласуется с литературными данными. Ряд исследователей указывают, что восстановление или некоторое увеличение сократительной функции миокарда после протезирования аортального и митрального клапана - это длительный процесс и во многом зависит от степени выраженности патологической деформации сердца до проведения хирургической коррекции стенозов (Бокерия, Л.А. и др., 2011; Евсеев Е.П. и др., 2018).

При проведении коронарной ангиографии у пациентов с протезированными клапанами сердца в послеоперационном периоде показатель угла ротации сердца позволит оценить восстановление сократительной способности миокарда.

Сравнительный анализ параметров сократительной способности миокарда у пациентов с ДКМП и АЛЖ, рассчитанных по данным КАГ (φ , град.) и Speckle-tracking ЭхоКГ – глобальная продольная деформация (GLS, %)

В анализ были включены результаты расчетов угла ротации сердца, глобальной продольной деформации и ФВ ЛЖ восьмерых пациентов: в том числе 3 человека из группы пациентов с ДКМП, 3 человека из группы пациентов с АЛЖ и 2 человека из контрольной группы (Таблица 5). Данные анализа корреляционных взаимоотношений между углом ротации сердца и ФВ ЛЖ в графическом виде представлены на рисунках 4, 5.

Таблица 5 - Параметры оценки сократительной способности миокарда, рассчитанные по данным КАГ и Speckle-tracking ЭхоКГ

Пациент	Диагноз и стадия ХСН	Угол ротации сердца φ (град.) КАГ	GLS (%) Speckle-tracking ЭхоКГ	ФВ ЛЖ (%)
(name1)	АЛЖ, ХСН I ст.	5.62°	15,28	46,0
(name2)	АЛЖ, ХСН I ст.	2.76°	14,74	42,0
(name3)	АЛЖ, ХСН IIА ст.	3.34°	10,2	30,0
(name4)	ДКМП, ХСН IIА ст.	5.33°	13,98	39,0
(name5)	ДКМП, ХСН IIБ ст.	3.84°	5,38	22,0
(name6)	ДКМП, ХСН IIБ ст.	4.07°	7,37	32,0
(name7)	Без заболеваний сердца	16.96°	20,22	66,0
(name8)		10.87°	16,77	62,0

В результате анализа выявлено, что у пациентов с ДКМП и АЛЖ показатель угла ротации сердца значительно ниже, чем пороговое значение (9,9), что подтверждает наличие у них нарушения сократительной способности миокарда. У этих же пациентов снижена и глобальная продольная деформация (<16,4% - нижняя граница нормы для приборов фирмы Phillips), что также подтверждает наличие у них нарушения сократительной способности миокарда. За нормальное значение продольной глобальной деформации были приняты показатели ($18,9 \pm 2,5\%$), рекомендованные для приборов фирмы Phillips (Takigiku K. et al., 2012).

Диаграмма рассеяния
Угол ротации сердца и ФВ ЛЖ

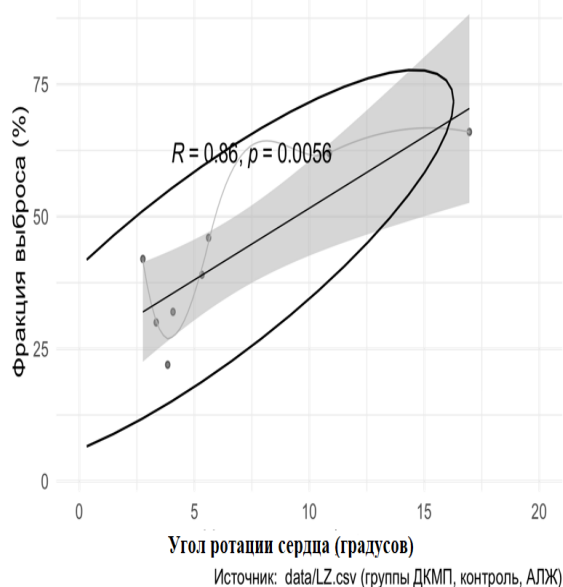


Рисунок 4 - Корреляционные взаимоотношения между углом ротации сердца и ФВ ЛЖ

Диаграмма рассеяния
Продольная глобальная деформация (Speckle-tracking ЭхоКГ) и ФВ ЛЖ

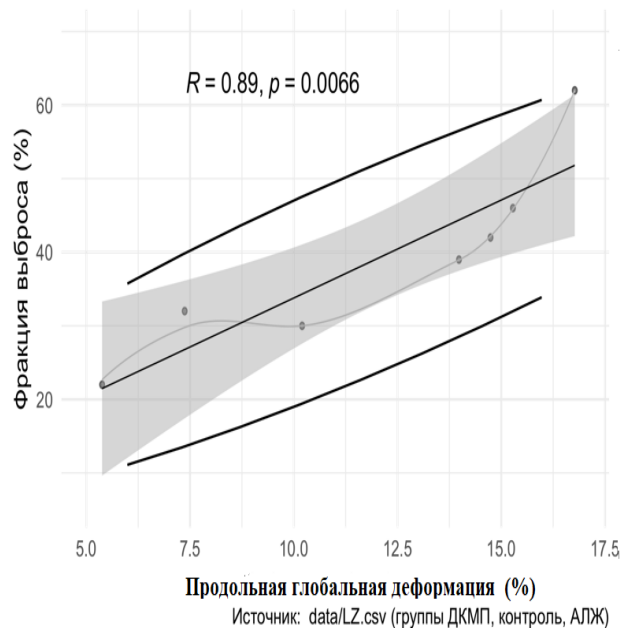


Рисунок 5 - Корреляционные взаимоотношения между глобальной продольной деформацией и ФВ ЛЖ

Таким образом, диагностическая значимость угла ротации сердца в отношении определения наличия нарушения сократительной способности миокарда у пациентов с ДКМП и АЛЖ сопоставима с глобальной продольной деформацией, рассчитываемой методом Speckle-tracking эхокардиографии. При корреляционном анализе выявлена высокая корреляционная связь как между углом ротации сердца и ФВ ЛЖ ($r=0,86$, $p=0,0056$), так и между глобальной продольной деформацией и ФВ ЛЖ ($r=0,89$, $p=0,0066$).

Заключение

В результате проведенного исследования получены новые данные, расширяющие современные представления о диагностических возможностях коронарной ангиографии в кардиохирургии. Впервые разработана принципиально новая методика оценки механики вращательного движения сердца, основанная на математических расчетах угла ротации сердца по данным коронарной ангиографии, позволяющая определять наличие или отсутствие нарушения сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля. Выполненное исследование дополняет имеющиеся сведения о механике вращательного движения сердца. Показатель угла ротации сердца служит предиктором ранней диагностики нарушения сократительной способности миокарда, и его диагностическая ценность повышается в сочетании с показателями эхокардиографии и других диагностических методов оценки функциональных параметров сердца.

На основе статистического анализа определено пороговое значение диагностического критерия (угла ротации сердца) для разделения лиц без нарушения и с нарушением сократительной способности миокарда. Установлено, что показатель угла ротации сердца позволяет оценить сократительную способность миокарда с высокой аналитической чувствительностью и специфичностью.

С помощью разработанной методики на достаточном клиническом материале изучена сократительная способность миокарда у пациентов с ДКМП и АЛЖ, а также у пациентов с протезированными клапанами сердца. Доказано, что показатель угла ротации сердца ниже установленного порогового значения свидетельствует о наличии нарушения сократительной способности миокарда у данной категории пациентов. Установлено, что показатели угла ротации сердца и глобальной продольной деформации, рассчитанные у одних и тех же пациентов с ДКМП и АЛЖ, тесно коррелируют со значениями фракции выброса левого желудочка и одинаково позволяют прогнозировать наличие нарушения сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля.

Внедрение разработанной методики оценки механики вращательного движения сердца по данным КАГ в клиническую практику позволит улучшить диагностику нарушения сократительной способности миокарда у пациентов, экстренно поступающих в кардиологический центр с подозрением на ОКС, в ситуациях, когда коронарная ангиография является первичным этапом диагностики

до проведения эхокардиографии. Расчет угла ротации сердца при проведении диагностической коронарной ангиографии пациентам с развитием ОКС предоставит дополнительную информацию для планирования дальнейшего обследования уже с предположением наличия нарушения сократительной способности миокарда.

Разработанная компьютерная программа автоматического расчета угла ротации сердца повысит оперативность получения результатов исследования, необходимых для определения тактики дальнейшего обследования и лечения пациентов кардиохирургического профиля.

ВЫВОДЫ

1. Разработана принципиально новая методика оценки механики вращательного движения сердца, основанная на математических расчетах угла ротации по движению точек на поверхности сердца, определенных на коронарограмме в двух косых проекциях, позволяющая определить наличие или отсутствие нарушения сократительной способности миокарда. Критерием оценки сократительной способности миокарда у обследуемых пациентов является показатель угла ротации сердца.
2. Оптимальное пороговое значение угла ротации сердца составило - 9,9, ($p < 0,001$). Наличие нарушения сократительной способности миокарда предполагается при значении угла ротации сердца ниже данной величины. Чувствительность и специфичность диагностического критерия составили 95,6% и 100,0% соответственно. Показатель угла ротации сердца служит предиктором ранней диагностики нарушения сократительной способности миокарда.
3. У пациентов с ДКМП и АЛЖ угол ротации сердца статистически значимо ниже, чем у пациентов контрольной группы ($p < 0,001$). Снижение показателя угла ротации сердца свидетельствует о наличии нарушения сократительной способности миокарда у данной категории пациентов. Между углом ротации сердца и ФВ ЛЖ выявлена сильная прямая корреляционная связь ($r = 0,8$, $p < 0,001$).
4. У пациентов с протезированными клапанами сердца при сохранной ФВ ЛЖ выявлены низкие значения угла ротации сердца (5,09 [2,7; 8,71]), что статистически значимо ниже, чем у пациентов контрольной группы ($p < 0,001$). Не выявлено значимых различий ФВ ЛЖ у пациентов с протезированными клапанами сердца и контрольной группы ($p = 0,26$). Между углом ротации сердца и ФВ ЛЖ выявлена незначимая обратная корреляционная связь ($r = -0,29$), не достигающая уровня статистической значимости ($p = 0,12$).
5. По возможности определения нарушения сократительной способности миокарда показатель угла ротации сердца сопоставим с показателем глобальной продольной деформации, рассчитанным Speckle-tracking ЭхоКГ. Одинаковое снижение этих показателей у пациентов с ДКМП и АЛЖ подтверждает наличие у них нарушения сократительной способности миокарда. Выявлена высокая

корреляционная связь как между углом ротации сердца и ФВ ЛЖ ($r=0,86$, $p=0,0056$), так и между глобальной продольной деформацией и ФВ ЛЖ ($r=0,89$, $p=0,0066$).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Показатель угла ротации сердца, имея высокую диагностическую чувствительность (95,6%) и специфичность (100%), рекомендуется для использования в практическом здравоохранении в качестве дополнительного критерия оценки сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля.
2. Экстренно поступающим в кардиологические стационары пациентам с подозрением на ОКС, у которых КАГ является первичным этапом диагностики до проведения эхокардиографии, рекомендуется провести расчёт угла ротации сердца для ранней диагностики нарушения сократительной способности миокарда.
3. Изменение показателя угла ротации сердца в сторону снижения от исходного значения в момент эндоваскулярного вмешательства на коронарных артериях может послужить ранним критерием выявления нарушения сократительной функции миокарда еще до появления клинических симптомов и изменений на ЭКГ, что позволит распознать осложнение вмешательства до применения дополнительных методов исследования.
4. При проведении коронарной ангиографии у пациентов с протезированными клапанами сердца в послеоперационном периоде рекомендуется определение угла ротации сердца для оценки восстановления сократительной способности миокарда.
5. Для повышения оперативности получения показателя угла ротации сердца, необходимого для определения тактики дальнейшего обследования и лечения пациентов, рекомендуется использовать компьютерную программу автоматического расчета параметров механики сердца на основании данных, полученных с помощью коронарной ангиографии.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

в рецензируемых научных изданиях:

1. Усманова Л.З. Угол вращения сердца в норме и патологии, его оценка при проведении коронарной ангиографии / Усманова Л.З., Осиев А.Г., Николаева И.Е., Бузаев И.В., Юлдыбаев Л.Х.// **Диагностическая и интервенционная радиология.** – 2020. – №1. – С.37 – 46.
2. Усманова Л.З. Угол ротации сердца как критерий оценки сократительной способности миокарда у пациентов кардиохирургического профиля / Усманова Л.З., Осиев А.Г., Николаева И.Е., Бузаев И.В., Юлдыбаев Л.Х.//**Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.** – 2022. – №4. – С.78 – 89.

В других изданиях:

3. Усманова Л.З. Систолический твист сердца у пациентов с дилатационной кардиомиопатией в сравнении с пациентами без сердечной недостаточности / L.Z.

Usmanova, A.G. Osiev, I.E. Nikolaeva, I.V. Buzaev, L.K. Yuldybaev. // **Journal of the American College of Cardiology**. - 2019. – Vol. 73. – Iss. 15. - С. 44-45

Патент

4. Способ ранней ангиографической диагностики сердечной недостаточности / Усманова Л.З., Николаева И.Е., Осиев А.Г., Плечев В.В., Бузаев И.В., Юлдыбаев Л.Х., Рисберг Р.Ю.// Патент на изобретение №2679875. – Бюлл. №5. – 2019.

СПИСОК ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ СОКРАЩЕНИЙ

АЛЖ — аневризма левого желудочка

ГБ – гипертоническая болезнь

ДКМП – дилатационная кардиомиопатия

ИБС – ишемическая болезнь сердца

ИМ – инфаркт миокарда

КАГ – коронарная ангиография

КДР – конечный диастолический размер

КСР – конечный систолический размер

ЛЖ – левый желудочек

МРТ – магнитно-резонансная томография

ОКС – острый коронарный синдром

ПКА - правая коронарная артерия

СН - сердечная недостаточность

ФВ ЛЖ - фракция выброса левого желудочка

ХСН – хроническая сердечная недостаточность

ХСНнФВ - ХСН со сниженной ФВ ЛЖ

ХСНпФВ - ХСН с промежуточной ФВ ЛЖ

ХСНсФВ - ХСН с сохраненной ФВ ЛЖ

ЧСС – частота сердечных сокращений

ЭКГ – электрокардиограмма, электрокардиография

ЭОС – электрическая ось сердца

ЭхоКГ – эхокардиография

Global Longitudinal Stain (GLS), % - глобальная деформация в продольном направлении

NPV - отрицательное прогностическое значение

PPV - положительное прогностическое значение

Se, % - чувствительность (Se), %

Sp, % - специфичность

STE - speckle-tracking эхокардиография

φ , ° - угол ротации сердца

Отпечатано в типографии ООО «Типография ФЕНИКС»
Тираж 100 экз. Заказ № 473.
РБ Уфа 450054, Проспект Октября, 71/1б.