

Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1149>

Варианты снижения лучевой и йодной нагрузки при МСКТ-аортографии перед хирургическим вмешательством на аорте и аортальном клапане

© Малахова М.В. *, Галян Т.Н., Ховрина А.В., Чарчян Э.Р., Ховрин В.В.

ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского»; 119991 Москва, ГСП-1, Абрикосовский пер., д. 2, Российская Федерация

Цель исследования: сравнение протоколов МСКТ-аортографии с кардиосинхронизацией и их модификация для снижения лучевой и йодной нагрузки на пациента.

Материал и методы. В ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского» была выполнена МСКТ-аортография 95 пациентам (57 мужчин и 38 женщин, средний возраст составил $61,4 \pm 15,6$ года) с использованием протоколов двух- и трехзонного сканирования и выбором значения напряжения на рентгеновской трубке (80 и 100 kV) в зависимости от антропометрических характеристик пациента, а именно индекса массы тела (ИМТ). Были проведены сравнение параметров DLP (Dose Length Product, произведение дозы на длину) – поглощенная доза за все МСКТ-исследование с учетом протяженности области сканирования и количества повторных сканирований), эффективной дозы (Е), времени и протяженности сканирования, а также подсчет количества вводимого контрастного препарата между группами, обследованными с применением двух- и трехзонного протокола при напряжении на рентгеновской трубке 80 и 100 kV.

Результаты. Анализ полученных данных показал, что значения DLP и Е были статистически достоверно ниже при использовании протокола МСКТ-аортографии, состоящего из трех зон сканирования (при 80 kV $p = 0,008$, при 100 kV $p < 0,001$). При этом отсутствовала достоверная разница протяженности области исследования в группах с одинаковым напряжением на рентгеновской трубке ($p = 0,55$), в группе с трехзонным протоколом время сканирования было достоверно ниже ($p < 0,001$) и составляло $9,4 \pm 0,5$ с / $10,24 \pm 0,9$ с (80 kV / 100 kV), что позволило существенно снизить лучевую нагрузку (до 40%) и объем вводимого контрастного препарата (на 20%).

Заключение. Использование трехзонного протокола МСКТ-аортографии с индивидуальным выбором напряжения на рентгеновской трубке оправданно и позволяет значительно снизить лучевую и йодную нагрузку в сравнении с двухзонным сканированием при сохранении высокого качества получаемых изображений.

Ключевые слова: МСКТ-аортография, аорта, ангиография, лучевая нагрузка, йодная нагрузка, кардиосинхронизация

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

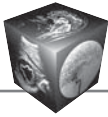
Для цитирования: Малахова М.В., Галян Т.Н., Ховрина А.В., Чарчян Э.Р., Ховрин В.В. Варианты снижения лучевой и йодной нагрузки при МСКТ-аортографии перед хирургическим вмешательством на аорте и аортальном клапане. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (2): 81–90. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1149>

Поступила в редакцию: 05.03.2022. Принята к печати: 26.04.2022. Опубликовано online: 15.05.2022.

Reduced of radiation exposure and iodine load at CT angiography of the aorta before aortic and aortic valve replacement surgery

© Mariia V. Malakhova*, Tatiana N. Galyan, Alena V. Khovrina, Eduard R. Charchyan, Valery V. Khovrin

Petrovsky Russian Research Center of Surgery; 2, Abrikosovsky lane, Moscow 119991, Russian Federation



Objective. The comparison of protocols of computed tomography (CT) angiography of the aorta and their modification in conditions of radiation and iodine load reducing on the patient.

Methods. In 95 patients (57 men, 38 women, mean age 61.4 ± 15.6 years) CT angiography of the aorta was performed using two- and three-zone scanning protocols with the voltage value on the X-ray tube (80 and 100kV) depending on the anthropometric measure namely body mass index (BMI). We compared dose length product parameters (DLP), effective dose (E), time and duration of scanning, as well as counting the amount of injected contrast agent (CM) between groups examined using a two-zone and three-zone protocols at an X-ray tube voltage of 80 and 100kV.

Results. Analysis of the data obtained showed that the DLP and E values were statistically significantly lower with the CT angiography of the aorta protocol, which consisted of three scanning zones (at 80kV $p = 0.008$; at 100kV $p < 0.001$). At the same time, there was no significant difference in the length of the study area in groups with the same voltage on the X-ray tube ($p = 0.55$), in the group with a three-zone protocol, the scanning time was significantly lower ($p < 0.001$) and amounted to 9.4 ± 0.5 sec/ 10.24 ± 0.9 sec (80/100kV), which made it possible to significantly reduce radiation exposure up to 40% and the amount of injected contrast agent by 20%.

Conclusions. The use of a three-zone CT-angiography of the aorta protocol with individual selection of voltage of the X-ray tube is justified and allows a significant reduction of radiation and iodine exposure compared to two-zone scanning while maintaining the high images quality.

Keywords: CT angiography of the aorta, radiation exposure, iodine exposure

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Malakhova M.V., Galyan T.N., Khovrina A.V., Charchyan E.R., Khovrin V.V. Reduced of radiation exposure and iodine load at CT angiography of the aorta before aortic and aortic valve replacement surgery. *Medical Visualization*. 2022; 26 (2): 81–90. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1149>

Received: 05.03.2022.

Accepted for publication: 26.04.2022.

Published online: 15.05.2022.

Введение

Стеноз аортального клапана (АК) один из самых распространенных пороков сердца, составляет 3–6% всех врожденных пороков [1], как приобретенный встречается у 2% населения в возрасте от 65 до 75 лет и у 6% – старше 75 лет [2], причем в 4 раза чаще у мужчин [1–3]. Единственным эффективным методом лечения стеноза АК является протезирование клапана [4]. В связи с наличием тяжелой сопутствующей патологии и высоким хирургическим риском практически трети пациентов выполняется транскатетерная имплантация АК (ТИАК). Аневризма восходящего отдела аорты (ВА) зачастую “сопровождает” патологию АК, при этом ежегодно аневризма грудной аорты выявляется в 60–100 случаев на миллион населения с прогрессирующим ростом заболеваемости [5].

Мультиспиральная компьютерная томография аорты (МСКТ-аортография) с внутривенным контрастированием и кардиосинхронизацией играет центральную роль в диагностике патологических изменений аорты, в том числе корня и АК. В настоящее время по данным МСКТ-аортографии оценивают размеры фиброзного кольца, корня и анатомию всей торакоабдоминальной аорты, рассчитывают угол аорты, а также изучают выраженность кальцификации АК и периферический операционный доступ [6, 7].

Согласно рекомендациям, МСКТ-аортография на этапе подготовке к ТИАК должна быть выполнена с ЭКГ-синхронизацией с захватом в обязательном порядке сегментов корня аорты и артерии

подвздошно-бедренного сегмента [8]. В случае контроля результатов лечения МСКТ-аортография с ЭКГ-синхронизацией требуется для детального анализа возникающих осложнений [9].

В клинической практике наиболее часто применяются два протокола МСКТ-аортографии, отвечающих заданным требованиям: 1) с двумя зонами сканирования, включающее ЭКГ-синхронизированное исследование шеи и грудной клетки, последующее спиральное сканирование брюшной аорты и подвздошно-бедренного сегмента; 2) протокол с тремя зонами сканирования включает спиральное сканирование шеи и верхнего отдела грудной клетки, далее исследование сердца с ЭКГ синхронизацией и спиральное сканирование торакоабдоминальной аорты с захватом подвздошно-бедренного сегмента [8].

Цель исследования

Апробация трехзонного протокола МСКТ-аортографии с кардиосинхронизацией, его сравнение с двухзонным протоколом и их модификация для снижения лучевой и йодной нагрузки на пациента с сохранением диагностической ценности изображения.

Материал и методы

В ФГБНУ “Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского” в период с января 2021 г. по январь 2022 г. было обследовано 95 пациентов (57 (60%) мужчин и 38 (40%) женщин, средний возраст составил $61,48 \pm 15,68$ года).

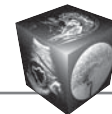


Таблица 1. Общая характеристика пациентов, которым выполнена МСКТ-аортография по протоколу АКВА и АКВА 2.0
Table 1. Patient characteristics and CT angiography of the aorta AVAA (Aortic Valve And Aorta) and AVAA 2.0 protocols

Показатель Parameter	Группа / Group			
	1-я – АКВА 80 1 – AVAA 80	2-я – АКВА 100 2 – AVAA 100	3-я – АКВА 2.0 80 3 – AVAA 2.0 80	4-я – АКВА 2.0 100 4 – AVAA 2.0 100
Количество пациентов Number of patients	23	30	28	14
Пол, м/ж Sex, m/f	12/11	19/11	14/14	12/2
Возраст, годы Age, years	54,5 ± 18,98 (19–80)	63,7 ± 10,7 (42–82)	64,57 ± 14,78 (25–83)	62,07 ± 11,0 (44–77)
ИМТ, кг/м ² BMI, kg/m ²	25,1 ± 2,5 (20,08–31,74)	31,6 ± 4,1 (22,58–43,58)	24,08 ± 4 (17,99–35,63)	31,92 ± 4,2 (25,89–37,55)
Уровень креатинина, мкмоль/л Creatinine, μmol/l	79,26 ± 23,98 (56–105)	89,58 ± 19,4 (54–138)	81,56 ± 21,45 (61–112)	85,67 ± 20,86 (59–118)
СКФ, мл/мин/1,73 м ² GFR ml/min/1,73 m ²	87,35 ± 25,81 (55–133)	72,12 ± 18,78 (45–113)	82,34 ± 20,78 (49–115)	84,31 ± 21,74 (51–120)
ЧСС, в минуту Heart rate	70,39 ± 8,7 (52–85)	71,03 ± 6,17 (60–80)	70,56 ± 7,5 (54–80)	70,87 ± 7,61 (56–81)

Таблица 2. Характеристика пациентов с учетом выявленных патологических изменений при МСКТ-аортографии
Table 2. Patient characteristics by the revealed pathological changes in CT angiography of the aorta

Патологические изменения Pathological changes	Количество пациентов Number of patients
Стеноз АК / Aortic valve stenosis:	67
с аневризмой корня и ВА / with root and ascending aortic aneurysm;	49
с расслоением I–III тип по DeBakey / with dissection type I–III by DeBakey	5
Двустворчатый АК в сочетании с аневризмой ВА Bicuspid aortic valve with ascending aortic aneurysm	6
Комбинированный порок АК Combined defect aortic valve	7
Сочетанный порок АК и митрального клапана Combined aortic and mitral valve defect	10
Аневризма торакоабдоминальной аорты Thoracoabdominal aortic aneurysm	3
Хроническая интрамуральная гематома Chronic intramural hematoma	1
Отрыв клапаносодержащего кондуита ВА на фоне бактериального эндокардита Ascending aorta valved conduit rupture in the presence of infective endocarditis	1

Подробная характеристика пациентов представлена в табл. 1, 2.

Всем пациентам была выполнена МСКТ-аортография с внутривенным контрастированием с кардиосинхронизацией на компьютерном томографе Revolution Evo (General Electric, USA). Критериями включения в исследование были: мужчины и женщины старше 18 лет; пациенты с клапанной патологией; отсутствие тяжелых аллергических реакций на йод и нормальная скорость клубочковой фильтрации (СКФ). Критерии не включения: наличие тяжелых аллергических

реакций на йод; резко сниженная функция почек (СКФ до 30 мл/мин/1,73 м²); частота сердечных сокращений (ЧСС) > 75 в минуту и нарушения ритма сердца, затрудняющие достоверную интерпретацию состояния корня аорты.

Из всего числа обследованных больных было выделено 4 группы, из которых в 1-ю и 2-ю группы вошли пациенты с применением двухзонного протокола МСКТ исследования (условно обозначены АКВА – Аортальный Клапан и Вся Аорта), при этом в 1-й и 2-й группах сканирование проводилось с разным напряжением на рентгеновской

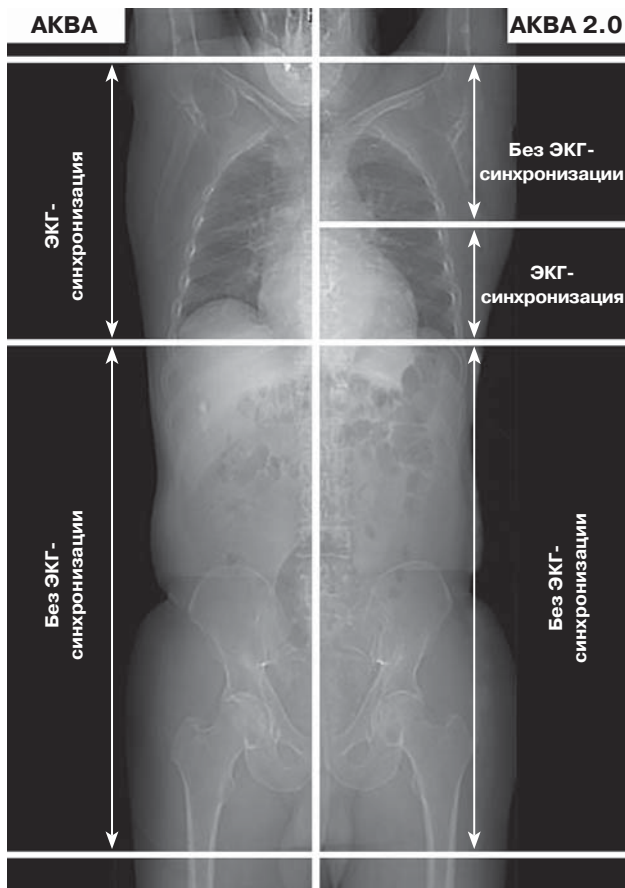


Рис. 1. Схема определения границ исследования и последовательности выбора зон сканирования при протоколах АКВА и АКВА 2.0.

Fig. 1. The scheme for determining the boundaries during the study and the sequence for selecting the scanning areas AVAA and AVAA 2.0 protocols.

трубке – 80 и 100 kV соответственно. По аналогичному принципу были сформированы 3-я и 4-я группы с трехзонным протоколом МСКТ-аортографии (условно АКВА 2.0, см. табл. 1). Выбор значения kV осуществлялся с учетом ИМТ каждого пациента: ИМТ < 27,7 кг/м² – 80 kV, ИМТ > 27,7 кг/м² – 100 kV. Верхняя граница начала сканирования во всех группах установлена проекционно на угол нижней челюсти, нижняя – на середину верхней трети бедра [8] (рис. 1).

Как видно из схемы (см. рис. 1), протоколы МСКТ-аортографии отличаются количеством зон сканирования, что влияет на протяженность ЭКГ-синхронизированного участка сканирования: АКВА – область шеи и грудной клетки, АКВА 2.0 – область сердца.

Объем вводимого контрастного препарата Омнипак (Йогексол) с концентрацией йода в растворе 350 мг/мл рассчитывался по формуле: время сканирования (с) + время задержки сканирования (с) × скорость введения (мл/с). После округления значений объем контрастного вещества (КВ) в 1-й и 2-й группах составлял 100 мл, в 3-й и 4-й группах – 80 мл, при этом скорость введения 4,5 мл/с и болюс физиологического раствора были неизменны. Все исследования выполнялись на инспираторной задержке дыхания, в краниокаудальном направлении сканирования.

Запуск начала сканирования производился автоматически с использованием Bolus Tracking при достижении +100 HU в просвете нисходящей грудной аорты.

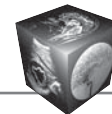
Параметры сканирования представлены в табл. 3.

Таблица 3. Параметры сканирования при проведении МСКТ-аортографии с использованием протоколов АКВА и АКВА 2.0

Table 3. CT angiography of the aorta scan parameters of “AVAA” and “AVAA 2.0” protocols

Параметры сканирования Scan Parameters	Группа / Group			
	1-я – АКВА 80 1 – AVAA 80	2-я – АКВА 100 2 – AVAA 100	3-я – АКВА 2.0 80 3 – AVAA 2.0 80	4-я – АКВА 2.0 100 4 – AVAA 2.0 100
Время вращения трубки, мс Rotation time, ms	0,35		0,35	
Напряжение на рентгеновской трубке, kV Voltage on the X-ray tube, kV	80	100	80	100
Pitch	0,516; 0,984	0,516; 0,984	0,516; 0,984	0,516; 0,984
Сила тока, mAs Amperage, mAs	Автоматическая модуляция Automatic modulation		Автоматическая модуляция Automatic modulation	
ASiR*	+	+	+	+

* ASiR (Adaptive Statistical Iterative Reconstruction) – адаптивная статистическая итеративная реконструкция. Применяется при реконструкции полученных данных для снижения уровня контраст-шум (CNR).



Для расчета эффективной дозы (E) использовалась формула: $E = DLP \times e$, где DLP – произведение поглощенной дозы на длину за одно сканирование, мГрхсм; e – дозовый коэффициент, для торакоабдоминальной области составлял $0,017 \text{ мЗв/мГр} \times \text{см}$ [10].

Субъективная оценка качества изображений осуществлялась тремя врачами-рентгенологами независимо друг от друга с использованием оценочной шкалы (“отличное качество”, “удовлетворительное” и “неудовлетворительное”). Для объективной оценки качества с помощью ROI определялась средняя внутриаортальная плотность ($BAП_{mean}$, HU) и SD (HU) на уровне корня аорты, перешейка и бифуркации аорты. Контрастирование считали оптимальным при $BAП_{mean} > 200 \text{ HU}$ и $SD < 30 \text{ HU}$ [11, 12].

Статистическое различие значений переменных было оценено с помощью критерия t Стьюдента для парных выборок (после проверки распределения признаков на соответствие закону нормальному распределению по критерию Колмогорова–Смирнова). Влияние ИМТ и времени сканирования на значение эффективной дозы (E) у пациентов было проанализировано с помощью линейной регрессии. Все значения при $p < 0,05$ считались достоверными. Статистические расчеты выполнялись с помощью программного обеспечения (Statistica v. 10, Statsoft, USA).

Результаты

Оптимальное качество исследования с достаточным равномерным контрастированием торакоабдоминальной аорты на протяжении было достигнуто у 95 пациентов (100%) (рис. 2, 3).

При сравнении 1-й и 2-й групп, где не было отличий по полу ($p = 0,414$), возрасту ($p = 0,029$) и времени сканирования ($p = 0,605$), при значимом отличии ИМТ ($p < 0,001$) отмечалась достоверная разница уровня DLP и E ($p < 0,001$). В 1-й группе пациентов удалось снизить DLP и E в 2,7 раза. Объем вводимого КВ в обеих группах составлял 100 мл (табл. 4).

Не было выявлено статистически значимой разницы во времени сканирования между 3-й и 4-й группами ($9,4 \pm 0,5$ и $10,24 \pm 0,9$ с ($p = 0,307$) соответственно). При этом была отмечена достоверная разница в значении DLP и E ($p < 0,001$), что обусловлено различием в антропометрических характеристиках пациентов ($p < 0,001$) и как следствие разной протяженностью сканирования ($p < 0,001$). Объем вводимого КВ в 3-й и 4-й группах составлял 80 мл (табл. 5).

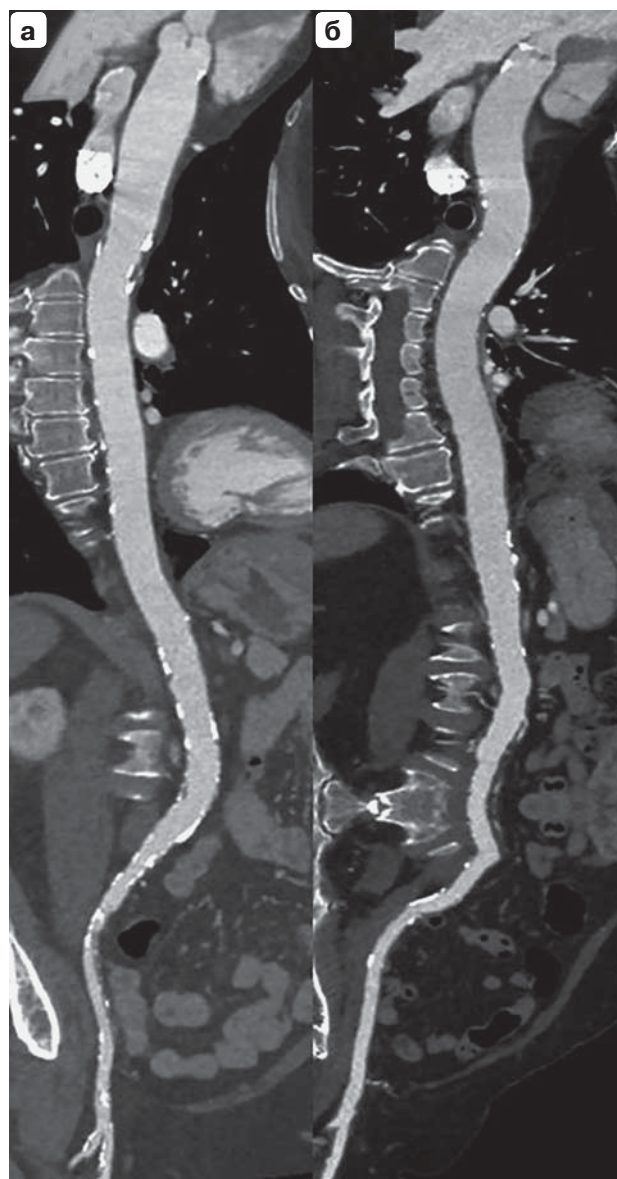


Рис. 2. МСКТ-аортография. Сравнение MPR-реконструкций торакоабдоминальной аорты и проксимального подвздошно-бедренного сегмента, полученных с использованием протокола АКВА 2.0. **а** – напряжение на рентгеновской трубке 80 kV, ИМТ=25,2 кг/м²; **б** – напряжение на рентгеновской трубке 100 kV, ИМТ=32,9 кг/м².

Fig. 2. CT angiography of the aorta. Comparison of MPR reconstructions of the thoracoabdominal aorta and proximal iliofemoral segment obtained using the AVAA 2.0 protocol. **a** – voltage on the X-ray tube 80 kV, BMI=25,2 kg/m²; **b** – voltage on the X-ray tube 100 kV, BMI=32,9 kg/m².

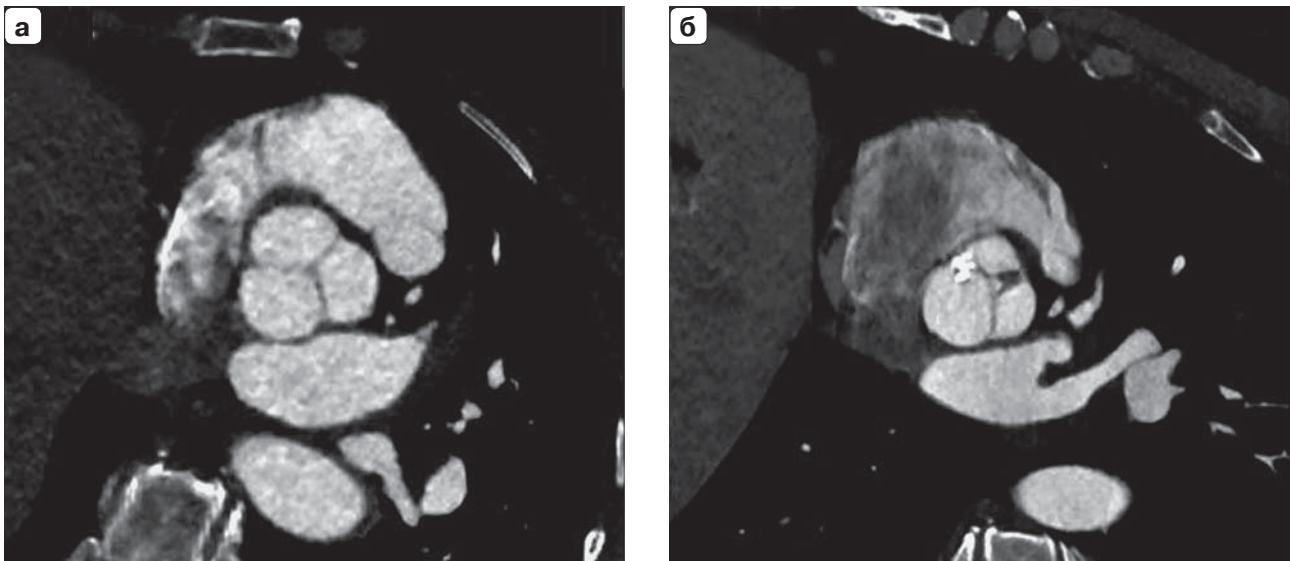


Рис. 3. МСКТ-аортография. Детализация структур корня аорты при разном напряжении на рентгеновской трубке. **а** – 80 кВ, ИМТ = 24,8 кг/м²; **б** – 100 кВ, ИМТ = 37,5 кг/м².

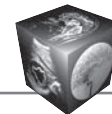
Fig. 3. CT angiography of the aorta. Images of the aorta root structure using different voltage on the X-ray tube. **a** – 80 kV, BMI = 24,8 kg/m²; **b** – 100 kV, BMI = 37,5 kg/m².

Таблица 4. Данные пациентов, обследованных по протоколу АКВА

Table 4. Patient characteristics examined according to the AVAA protocol

Показатель Parameter	Группа / Group		p p-value
	1-я группа – АКВА 80 1 – AVAA 80 (n = 23)	2-я группа – АКВА 100 2 – AVAA 100 (n = 30)	
Пол (м/ж) Sex, m/f	12/11	19/11	0,414
Возраст, годы Age, years	54,5 ± 18,98 (19–80)*	63,7 ± 10,7 (42–82)	0,029
ИМТ, кг/м ² BMI, kg/m ²	25,1 ± 2,5 (20,08–31,74)	31,6 ± 4,1 (22,58–43,58)	<0,001
DLP, мГр × см DLP, mGy × cm	403,7 ± 57,95 (381,1–441,9)	1081,4 ± 142 (866,84–1326,08)	<0,001
E, мЗв E, mSv	6,86 ± 0,99 (6,48–7,51)	18,38 ± 2,41 (14,73–22,54)	<0,001
Протяженность сканирования, мм Scan length, mm	688,4 ± 60,8 (557,25–832,375)	758,9 ± 82,5 (600,625–931,25)	0,001
Время сканирования, с Duration of scanning, sec	18,4 ± 1,67 (15,47–21,08)	18,7 ± 1,42 (16,37–21,69)	0,605
Объем КВ, мл CM volume, ml	100	100	1

* Среднее значение ± стандартное отклонение (минимальное и максимальное значение).

**Таблица 5.** Данные пациентов, обследованных по протоколу АКВА 2.0**Table 5.** Patient characteristics examined according to the AVAA 2.0 protocol

Показатель Parameter	Группа / Group		p p-value
	3-я – АКВА 2.0 80 3 – AVAA 2.0 80 (n = 28)	4-я – АКВА 2.0 100 4 – AVAA 2.0 100 (n = 14)	
Пол (м/ж) Sex, m/f	14/14	12/2	0,025
Возраст, годы Age, years	64,57 ± 14,78 (25–83)	62,07 ± 11,0 (44–77)	0,298
ИМТ, кг/м ² BMI, kg/m ²	24,08 ± 4 (17,99–35,63)	31,92 ± 4,2 (25,89–37,55)	<0,001
DLP, мГр × см DLP, mGy × cm	380,6 ± 27,5 (328,04–424,2)	649,9 ± 122,3 (539,94–946,06)	<0,001
E, мЗв E, mSv	6,47 ± 0,47 (5,58–7,21)	11,04 ± 2,08 (9,18–16,08)	<0,001
Протяженность сканирования, мм Scan length, mm	678,36 ± 43,01 (621–750,625)	750,98 ± 65,4 (666,875–946,06)	<0,001
Время сканирования, с Duration of scanning, sec	9,4 ± 0,5 (8,7–10,32)	10,24 ± 0,9 (9,3–11,4)	0,307
Объем КВ, мл CM volume, ml	80	80	1

Таблица 6. Сравнение данных пациентов, обследованных по протоколу АКВА и АКВА 2.0 с напряжением на рентгеновской трубе 80 kV**Table 6.** Comparison the patient characteristics data examined according to the AVAA, AVAA 2.0 protocols with an X-ray tube voltage 80 kV

Показатель Parameter	Группа / Group		p p-value
	1-я – АКВА 80 1 – AVAA 80 (n = 23)	3-я – АКВА 2.0 80 3 – AVAA 2.0 80 (n = 28)	
Пол (м/ж) Sex, m/f	12/11	14/14	0,88
Возраст, годы Age, years	54,5 ± 18,98 (19–80)	64,57 ± 14,78 (25–83)	0,028
ИМТ, кг/м ² BMI, kg/m ²	25,1 ± 2,5 (20,08–31,74)	24,08 ± 4 (17,99–35,63)	0,652
DLP, мГр × см DLP, mGy × cm	403,7 ± 57,95 (381,1–441,9)	380,6 ± 27,5 (328,04–424,2)	0,008
E, мЗв E, mSv	6,86 ± 0,99 (6,48–7,51)	6,47 ± 0,47 (5,58–7,21)	0,008
Протяженность сканирования, мм Scan length, mm	688,4 ± 60,8 (557,25–832,375)	678,36 ± 43,01 (621–750,625)	0,551
Время сканирования, с Duration of scanning, sec	18,4 ± 1,67 (15,47–21,08)	9,4 ± 0,5 (8,7–10,32)	<0,001
Объем КВ, мл CM volume, ml	100	80	0,05

**Таблица 7.** Сравнение данных пациентов, обследованных по протоколу АКВА и АКВА 2.0 с напряжением на рентгеновской трубке 100 kV**Table 7.** Comparison the patient characteristics data examined according to the AVAA, AVAA 2.0 protocols with an X-ray tube voltage 100 kV

Показатель Parameter	Группа / Group		p p-value
	2-я – АКВА 100 2 – AVAA 100 (n=30)	4-я – АКВА 2.0 100 4 – AVAA 2.0 100 (n=14)	
Пол (м/ж) Sex, m/f	19/11	12/2	0,121
Возраст, годы Age, years	63,7 ± 10,7 (42–82)	62,07 ± 11,0 (44–77)	0,655
ИМТ, кг/м ² BMI, kg/m ²	31,6 ± 4,1 (22,58–43,58)	31,92 ± 4,2 (25,89–37,55)	0,842
DLP, мГр × см DLP, mGy × cm	1081,4 ± 142 (866,84–1326,08)	649,9 ± 122,3 (539,94–946,06)	<0,001
E, мЗв E, mSv	18,38 ± 2,41 (14,73–22,54)	11,04 ± 2,08 (9,18–16,08)	<0,001
Протяженность сканирования, мм Scan length, mm	758,9 ± 82,5 (600,625–931,25)	750,98 ± 65,4 (666,875–946,06)	0,755
Время сканирования, с Duration of scanning, sec	18,7 ± 1,42 (16,37–21,69)	10,24 ± 0,9 (9,3–11,4)	<0,001
Объем КВ, мл CM volume, ml	100	80	<0,05

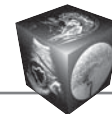
Сравнение в 1-й и 3-й группах (табл. 6) показало, что при отсутствии значимой разницы в ИМТ и протяженности сканирования время исследования в 3-й группе существенно ниже ($p < 0,001$). Это позволило уменьшить объем вводимого КВ, сократив его на 20%. Разница во времени сканирования связана с переключением значения pitch (Pitch – отношение сдвига стола за полную (360°) ротацию рентгеновской трубки к общей коллимации пучка рентгеновского излучения) между участком спирального сканирования и ЭКГ-синхронизированной областью и как следствие изменением скорости исследования.

В сравнении параметров 2-й и 4-й групп (табл. 7) отсутствовала достоверная разница значений ИМТ ($p = 0,842$), протяженности сканирования ($p = 0,755$), но были различия DLP ($p < 0,001$) и времени сканирования ($p < 0,001$). Таким образом, при использовании трехфазного протокола с напряжением на рентгеновской трубке 100 kV удалось снизить лучевую нагрузку на 40%, а объем вводимого КВ на 20%.

Обсуждение

Результаты, основанные на применении МСКТ-аортографии с использованием трехзонного протокола и выбором низких значений напряжения на рентгеновской трубке, свидетельствуют о значительном снижении лучевой и йодной нагрузки на пациента в сравнении с двухзонным [13]. При этом использование алгоритмов итеративной реконструкцией в полном объеме сохраняет высокое качество изображения торакоабдоминальной аорты [14]. Полученные нами данные сопоставимы с результатами, описанными в мировой литературе [15, 16].

Поскольку за счет сокращения ЭКГ-синхронизированной области (только зона проекции сердца) время сканирования уменьшено, можно добиться существенного снижения объема КВ. Исходя из опыта авторов Европейского общества сердечно-сосудистых радиологов, может считаться достаточным объем 50 мл КВ и скорость введения 3–4 мл/с для диагностической визуализации [17]. Это условие особенно актуально в случаях



необходимого контрастного исследования у пациентов со сниженной функцией почек.

Индивидуальный выбор значения напряжения на рентгеновской трубке оправдан, поскольку при низких параметрах kV не происходит ухудшение качества получаемых данных. В то же время использование низкого вольтажа приводит к усилению контрастности [18].

В нашей работе при выполнении МСКТ-аортографии мы использовали ретроспективную ЭКГ-синхронизацию. Однако есть способы дополнительной редуциции эффективной дозы при применении проспективной кардиосинхронизации при сканировании области сердца.

Заключение

Использование трехзонного протокола с ЭКГ-синхронизацией при проведении МСКТ-аортографии, дополненное выбором оптимального значения напряжения на рентгеновской трубке с учетом порогового ИМТ пациента, позволяет снизить лучевую нагрузку на 40%, а объем вводимого контрастного препарата на 20%. Применение алгоритмов итеративной реконструкции является необходимым условием для оптимизации протокола и позволяет сохранить диагностическую ценность получаемых изображений. Данный подход дает возможность широко и безопасно применять трехзонный протокол МСКТ-аортографии с кардиосинхронизацией на этапах обследования пациентов перед хирургическим вмешательством на аорте и аортальном клапане.

Участие авторов

Малахова М.В. – проведение исследования, сбор и обработка данных, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Галян Т.Н. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Ховрина А.В. – сбор и обработка данных.

Чарчян Э.Р. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Ховрин В.В. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Malakhova M.V. – conducting research, collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text

preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Galyan T.N. – concept and design of the study, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

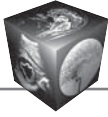
Khovrina A.V. – collection and analysis of data.

Charchyan E.R. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Khovrin V.V. – concept and design of the study, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Врожденный клапанный стеноз аорты (КАА): Клинические рекомендации МЗ РФ, 2016. Congenital valvular aortic stenosis (VAS): Clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2016. (In Russian)
2. lung B., Baron G., Butchart E.G. et al. A prospective survey of patients with valvular heart disease in Europe: The Euro Heart Survey on Valvular Heart Disease. *Eur. Heart J.* 2003; 24 (13): 1231–1243. [http://doi.org/10.1016/s0195-668x\(03\)00201-x](http://doi.org/10.1016/s0195-668x(03)00201-x)
3. Myung, K. Park Aortic stenosis. In: Myung K. Park, MD // *Pediatric Cardiology for Practitioners*, 2008: 248–257. ISBN-13: 978-0323014441; ISBN-10: 0323014445
4. Иванов В.А., Евсеев Е.П., Айдамиров Я.А. Результаты протезирования при стенозе аортального клапана у пациентов со сниженной сократительной способностью миокарда левого желудочка. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2016; 9 (5): 52–57. <https://doi.org/10.17116/kardio20169552-57>
5. Ivanov V.A., Evseev E.P., Aidamirov I.A. The outcomes of aortic valve replacement in patients with aortic stenosis and reduced left ventricular contractility. *Kardiologiya i Serdechno-Sosudistaya Khirurgiya.* 2016; 9 (5): 52–57. <https://doi.org/10.17116/kardio20169552-57> (In Russian)
5. Clift P.F., Cervi E. A review of thoracic aortic aneurysm disease. *Echo Res. Pract.* 2019; 7 (1): R1–R10. <https://doi.org/10.1530/ERP-19-0049>
6. Leon M.B., Smith C.R., Mack M. et al. Transcatheter aortic-valve implantation for aortic stenosis in patients who cannot undergo surgery. *N. Engl. J. Med.* 2010; 363: 1597–1607. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1008232>
7. Smith C.R., Leon M.B., Mack M.J. et al. Transcatheter versus surgical aortic-valve replacement in high-risk patients. *N. Engl. J. Med.* 2011; 364: 2187–2198. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1103510>
8. Blanke P., Weir-McCall J.R., Achenbach S. et al. Computed Tomography Imaging in the Context of Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI)/Transcatheter Aortic Valve Replacement (TAVR): An Expert Consensus Document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2019; 12: 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.12.003>
9. Малахова М.В., Прохорова Е.А., Куличкин А.С., Бриль К.Р., Ван Е.Ю., Дзеранова А.Н., Галян Т.Н., Ховрин В.В., Чарчян Э.Р. Диагностика отрыва клапано-содержащего кондуита восходящего отдела аорты



- и его успешное хирургическое лечение. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102 (6): 383–389. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-6-383-389>
- Malakhova M.V., Prokhorova E.A., Kulichkin A.S., Bril' K.R., Van E.Yu., Dzeranova A.N., Galyan T.N., Khovrin V.V., Charchyan E.R. Diagnosis and Successful Surgical Treatment of Ascending Aorta Valved Conduit Rupture. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102 (6): 383–389. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-6-383-389> (In Russian)
10. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. Методические указания МУ 2.6.1.2944–11: 74–100.
Control of effective doses of irradiation of patients during medical X-ray examinations. MU 2.6.1.2944–11: 74–100 guidelines. (In Russian)
 11. Solbak M.S., Henning M.K., England A. et al. Impact of iodine concentration and scan parameters on image quality, contrast enhancement and radiation dose in thoracic CT. *Eur. Radiol. Exp.* 2020; 4 (1): 57. <https://doi.org/10.1186/s41747-020-00184-z>
 12. Ghekiere O., Salgado R., Buls N. et al. Image quality in coronary CT angiography: challenges and technical solutions. *Br. J. Radiol.* 2017; 90 (1072): 20160567. <https://doi.org/10.1259/bjr.20160567>
 13. Кондратьев Е.В., Кармазановский Г.Г. МСКТ-ангиография: Оптимизированные протоколы исследования коронарных артерий, сердца, аорты, сосудов шеи и головного мозга. М.: ВИДАР, 2011. 88 с.
Kondratiev E.V., Karmazanovsky G.G. CT angiography: Optimized protocols of computed tomography angiography of the coronary arteries, the heart, the aorta, the vessels of the neck and brain. Moscow: Vidar, 2011. 88 p. (In Russian)
 14. Кондратьев Е.В., Кармазановский Г.Г., Широков В.С., Вишневецкая А.В., Швец Е.В. Низкодозовая КТ-ангиография аорты и периферических артерий: эффекты алгоритма итеративной реконструкции на качество получаемых изображений. *Медицинская визуализация*. 2013; 5: 11–22.
Kondratyev E.V., Karmazanovsky G.G., Shirokov V.S., Vishnevskaya A.V., Shvets E.V. Low Radiation Dose MDCT Angiography of the Aorta and Peripheral Arteries: Effect of Hybrid Iterative Reconstruction Technique on Image Quality. *Medical Visualisation*. 2013; 5: 11–22. (In Russian)
 15. Shnayien S., Bressemer K.K., Beetz N.L. et al. Radiation Dose Reduction in Preprocedural CT Imaging for TAVI/TAVR Using a Novel 3-Phase Protocol: A Single Institution's Experience. *Rofo*. 2020; 192 (12): 1174–1182. <http://doi.org/10.1055/a-1150-7646>
 16. Talei Franzesi C.R., Ippolito D., Riva L. et al. Diagnostic value of iterative reconstruction algorithm in low kV CT angiography (CTA) with low contrast medium volume for transcatheter aortic valve implantation (TAVI) planning: image quality and radiation dose exposure. *Br. J. Radiol.* 2018; 91 (1092): 20170802. <http://doi.org/10.1259/bjr.20170802>
 17. Francone M., Budde R.P.J., Bremerich J. et al. CT and MR imaging prior to transcatheter aortic valve implantation: standardisation of scanning protocols, measurements and reporting—a consensus document by the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR). *Eur. Radiol.* 2019. <http://doi.org/10.1007/s00330-019-06357-8>
 18. Meyer M., Haubenreisser H., Schoepf U.J. et al. Closing in on the K edge: coronary CT angiography at 100, 80, and 70 kV—initial comparison of a second- versus a third-generation dual-source CT system. *Radiology*. 2014; 273 (2): 373–382. <http://doi.org/10.1148/radiol.14140244>

Для корреспонденции*: Малахова Мария Владимировна – 119991 Москва, Абрикосовский пер., д. 2. Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского. Тел.: +7-916-441-54-34. E-mail: mmv989@yandex.ru

Малахова Мария Владимировна – врач-рентгенолог ФГБНУ “Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-9985-3753>

Галян Татьяна Николаевна – канд. мед. наук, заведующая отделением рентгенодиагностики и компьютерной томографии ФГБНУ “Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского”, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-4751-5119>

Ховрина Алена Валерьевна – ординатор ФГБНУ “Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского”, Москва. <http://orcid.org/0000-0001-8629-6356>

Чарчян Эдуард Рафаэлович – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий I кардиохирургическим отделением ФГБНУ “Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского”, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-3164-2877>

Ховрин Валерий Владиславович – доктор мед. наук, главный научный сотрудник ФГБНУ “Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-6720-4126>

Contact*: Mariia V. Malakhova – 2, Abrikosovsky lane, Moscow, 119991, Russian Federation. Petrovsky Russian Research Center of Surgery. Phone: +7-916-441-54-34. E-mail: mmv989@yandex.ru

Mariia V. Malakhova – doctor of X-ray and CT diagnostic department of Petrovsky National Research Center of Surgery, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-9985-3753>

Tatiana N. Galyan – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher and head of X-ray and CT diagnostic department of Petrovsky National Research Center of Surgery, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-4751-5119>

Alena V. Khovrina – resident of Petrovsky National Research Center of Surgery, Moscow. <http://orcid.org/0000-0001-8629-6356>

Eduard R. Charchyan – Corresponding-member of RAS, Professor, Doct. of Sci. (Med.), Chief of aortic surgery department of Petrovsky National Research Center of Surgery, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-3164-2877>

Valery V. Khovrin – Doct. of Sci. (Med.), Chief researcher of X-ray and CT diagnostic department of Petrovsky National Research Center of Surgery, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-6720-4126>