

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-119-132>

Плотность кальцификации при компьютерной томографии в зависимости от параметров сканирования: фантомное исследование

© Николаев А.Е.^{1*}, Коркунова О.А.¹, Блохин И.А.¹, Петрайкин А.В.¹,
 Никифорова М.В.², Гирько А.О.³, Дягилева Е.А.⁴, Сучилова М.М.¹,
 Груздев И.С.⁵, Першина Е.С.⁶, Силин А.Ю.¹, Гомболевский В.А.¹, Морозов С.П.¹

¹ ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”; 125124 Москва, ул. Расковой, д. 16/26, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО “Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

³ ГБУЗ “Московский клинический научный центр имени А.С. Логинова ДЗ города Москвы”; 111123 Москва, шоссе Энтузиастов, 86, Российская Федерация

⁴ ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); 119991 Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Российская Федерация

⁵ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, Российская Федерация

⁶ ГБУЗ города Москвы “ГКБ №1 имени Н.И. Пирогова ДЗ города Москвы”; 119049 Москва, Ленинский проспект, 8, Российская Федерация

Цель исследования: оценить на фантомах изменения плотности, индекса Агатстона, объемного коронарного индекса, массы фосфата коронарного кальция при разных параметрах сканирования.

Материал и методы. В исследовании использовались 8 инсулиновых шприцев объемом 1 мл, наполненных раствором гидроортофосфата калия, с разными характеристиками плотности. В дальнейшем данные шприцы на равном расстоянии друг от друга были помещены в два фантома: фантом 1-го типа – бокс, заполненный водой, фантом 2-го типа – Chest Phantom N1 “LUNGMAN”.

Фантомы были просканированы при помощи компьютерного томографа Philips Ingenuity Elite 128 срезов по протоколам с разным напряжением (80, 100, 120, 140 кВ), силой тока (27–45, 166, 330–400 мА), толщиной среза (0,625, 1, 2,5, 3 мм).

Результаты. Получены показатели плотности, индекса Агатстона при различных параметрах сканирования (напряжение, сила тока, толщина среза) для разных факторов плотности кальцификации в фантомах 1-го и 2-го типа.

Результаты представлены в виде таблицы со средними значениями плотности, стандартным отклонением (SD), индексом Агатстона коронарного кальция и параметрами сканирования.

Заключение. Исследование демонстрирует вариативность показателей факторов коронарного кальция при их оценке на различных параметрах сканирования. Полученную информацию возможно использовать на практике для более точного подсчета коронарного кальция вне зависимости от параметров сканирования.

Ключевые слова: коронарный кальций, ультра-НДКТ, низкодозная компьютерная томография, скрининг рака легкого, факторы кальцификации

Конфликт интересов: авторы заявляют, что предмет и содержание данного исследования не затрагивают конкурирующих интересов.

Финансирование: исследование не финансировалось какими-либо источниками.

Для цитирования: Николаев А.Е., Коркунова О.А., Блохин И.А., Петрайкин А.В., Никифорова М.В., Гирько А.О., Дягилева Е.А., Сучилова М.М., Груздев И.С., Першина Е.С., Силин А.Ю., Гомболевский В.А., Морозов С.П. Плотность кальцификации при компьютерной томографии в зависимости от параметров сканирования: фантомное исследование. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (4): 119–132.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-119-132>

Поступила в редакцию: 18.03.2020. **Принята к печати:** 31.05.2020. **Опубликована online:** 10.12.2020.



Calcification density on computed tomography depending on scanning parameters: phantom study

© Aleksandr E. Nikolaev^{1*}, Olga A. Korkunova¹, Ivan A. Blokhin¹, Alexey V. Petraykin¹, Marina V. Nikiforova², Aleksandr O. Gir'ko³, Elena A. Dyagileva⁴, Maria M. Suchilova¹, Ivan S. Gruzdev⁵, Ekaterina S. Pershina⁶, Anton Yu. Silin¹, Viktor A. Gomboleviskiy¹, Sergey P. Morozov¹

¹ Research and Practical Clinical center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; 16/26, Raskovoy str., Moscow, 125124, Russian Federation

² Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of Russia; 1, Ostriviyanova str., Moscow, 117997, Russian Federation

³ Moscow Clinical Scientific Center named after Loginov; 86, Enthusiasts hw., Moscow, 111123, Russian Federation

⁴ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University); 8, b.2, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russian Federation

⁵ A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery; 27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., Moscow, 117997, Russian Federation

⁶ Pirogov City Clinical Hospital №1; 8, Leninsky Prospekt, 117049, Moscow, Russian Federation

Purpose of research. The aim of the study is to evaluate changes in density, Agatston score, Volume and Mass scores of coronary calcium at different scanning parameters using phantom measurement.

Materials and methods. 8 1-ml insulin syringes filled with potassium hydroorthophosphate solution of different densities were used in the study. The syringes were placed at regular intervals into two phantoms: type 1 phantom – container filled with water; type 2 phantom – Chest Phantom N1 “LUNGMAN”. The phantoms were scanned with a Philips Ingenuity Elite CT 128 scanner using protocols with different voltages (80, 100, 120, 140 kV), amperage (27–45, 166, 330–400 mA), and slice thickness (0.625, 1, 2.5, 3 mm).

Results. Density and Agatston indexes were obtained at different scanning parameters (voltage, amperage, slice thickness) for different factors of calcification density in both phantoms.

The results are presented as a table with mean density values, standard deviation (SD), Agatston score of coronary calcium, and scanning parameters.

Conclusion. The study demonstrates the influence of various scanning parameters on coronary artery calcium scoring results. The obtained information can be used in practice for more accurate quantification of coronary artery calcium, regardless of the scanning parameters.

Keywords: coronary calcium, ultra-LDCT, low-dose computed tomography, lung cancer screening, calcification factors

Conflict of interest: the authors state that the subject and content of this study do not affect competing interests.

Financing: the study was not funded by any sources.

For citation: Nikolaev A.E., Korkunova O.A., Blokhin I.A., Petraykin A.V., Nikiforova M.V., Gir'ko A.O., Dyagileva E.A., Suchilova M.M., Gruzdev I.S., Pershina E.S., Silin A.Yu., Gomboleviskiy V.A., Morozov S.P. Calcification density on computed tomography depending on scanning parameters: phantom study. *Medical Visualization*. 2020; 24 (4): 119–132. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-119-132>

Received: 18.03.2020.

Accepted for publication: 31.05.2020.

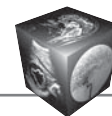
Published online: 10.12.2020.

Введение

Одной из наиболее частых причин смертности в развитых странах является ишемическая болезнь сердца (ИБС), предиктор которой – степень кальцификации коронарных артерий. В международных популяционных исследованиях отражена взаимосвязь между показателем коронарного кальциноза и развитием осложнений сердечно-сосудистых заболеваний [1].

Стратификация риска ИБС у некоторых категорий больных возможна с помощью определения степени кальцификации коронарных артерий. При показателе кальциевого индекса более 300 ед. по шкале Агатстона имеется высокая вероятность наличия гемодинамически значимых стенозов, а следовательно, и высокий риск ИБС [1–3].

Также повышенный риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, таких как артериальная



гипертензия, инфаркт миокарда, и развитие их осложнений (вплоть до летальных исходов) ассоциированы с кальцификацией грудного отдела аорты. В зарубежных исследованиях степень аортальной кальцификации проводится по методике Агатстона [4].

В рутинной практике для выявления кальцинированных, смешанных и мягких бляшек при исследовании коронарных артерий выполняются компьютерная томография (КТ) с ЭКГ-синхронизацией (для оценки первого типа бляшек), а также КТ-коронарография (для оценки всех типов бляшек). Кальцификация коронарных артерий часто встречается при рутинной КТ, что является клинически важной случайной находкой [5].

В работах зарубежных и российских авторов показана возможность раннего выявления клинически значимых изменений сердечно-сосудистой системы, включая кальцификацию коронарных артерий, с помощью скрининговой низкодозовой компьютерной томографии (НДКТ) органов грудной клетки [6–8].

Выявление коронарного кальциноза целесообразно проводить в виде дополнительного обследования в рамках программ скрининга, используя либо визуальную оценку, либо количественную, если это позволяет качество изображений [9]. Пациентам, в анамнезе которых отсутствуют симптомы ИБС, в последние годы рекомендовано проведение скрининга с оценкой индекса коронарного кальция [1].

Методики подсчета коронарного индекса

В настоящее время широко используемыми методами оценки коронарного кальция являются оценка кальциевого индекса (КИ) по методике Агатстона, объемного КИ, массы фосфата кальция.

Кальциевый индекс по методике Агатстона является методикой количественной оценки степени кальцификации коронарных артерий по результатам КТ. Артур Агатстон в 1990 г. предложил данный стандартизованный подсчет КИ по сумме индексов на разных срезах, равных произведению площади участка кальцификации в проекции коронарной артерии на фактор плотности [10].

$$\text{КИ} = (S_1 \cdot F_1) + (S_2 \cdot F_2) + (S_3 \cdot F_3) + \dots,$$

где S – площадь кальцинации, F – фактор плотности.

Факторы плотности:

- для кальцификатов плотностью 130–199 HU фактор плотности составляет 1;
- для кальцификатов плотностью 200–299 HU фактор плотности составляет 2;

- для кальцификатов плотностью 300–399 HU фактор плотности составляет 3;

- для кальцификатов плотностью от 400 HU фактор плотности составляет 4.

В 1999 г. J.A. Rumberger и соавт. представили классическую градацию тяжести кальциноза коронарных артерий у бессимптомных пациентов, которая также направляла дальнейшую тактику ведения пациента [11]. T.Q. Callister и соавт. в 1998 г. предложили алгоритм расчета объемного КИ (суммарный объем всех вокселей) – произведение объема одного вокселя на разных КТ-срезах на все воксели с плотностью >130 HU.

Объемный КИ =

$$= (V_1 \cdot N_1) + (V_2 \cdot N_2) + (V_3 \cdot N_3) + \dots,$$

где V – объем кальцината, N – число вокселей с плотностью >130 HU.

Масса фосфата кальция была предложена в 1997 г. H.C. Yoon и рассчитывается как сумма всех кальцинатов в проекции коронарных артерий, масса которых исчисляется соответственно в миллиграммах [12].

Предпосылки для вариативности измерений

КТ является крупнейшим источником излучения в развитых странах [13], так как на нее приходится наибольшая суммарная эффективная доза ($>50\%$) от всех радиологических исследований, несмотря на то что КТ составляет 15% от всех методов медицинской визуализации [14, 15].

Принцип ALARA в рамках задачи по оптимизации эффективной дозы с учетом клинических показаний привел к созданию низкодозовых протоколов КТ. При этом основным аспектом являлось сохранение такого качества изображений, которое не сказывалось бы негативно при их интерпретации [16]. Важно отметить, что изменения, вносимые в протоколы сканирования, ведут к изменению параметров плотности органов и тканей, визуализируемых на компьютерной томограмме. Данный факт был наглядно продемонстрирован в исследовании, проведенном D.J. Rhee и соавт. [17].

В данном исследовании было показано, что шум влияет на изображение значительно, чем разность сечений от различных энергий фотонов, так как для большинства структур разность плотностей одинакова, за исключением воздуха из-за его низкой плотности [17].

Поскольку НДКТ – диагностический метод с низким уровнем лучевой нагрузки, он используется повсеместно, особенно в скрининге рака легких, педиатрической радиологии, визуализации сердца с итеративной реконструкцией, лучевой терапии, гибридной визуализации. Поэтому рентгено-



логам важно достоверно оценивать плотность по данным КТ и НДКТ.

Недавно появилось оригинальное решение: спектральная КТ, имеющая детектор, ретроспективно генерирующий несколько слоев спектральных данных за одно низкодозовое сканирование. Полностью адаптированное решение, готовое к работе на практике, обеспечивает высокое диагностическое качество [18]. Надежность клинических результатов повышается, и уже при первом сканировании возможен правильный диагноз.

В медицинской литературе мы не нашли сведений об изменениях плотности гиперденсных структур, индекса Агатстона в зависимости от изменения напряжения, силы тока, толщины среза во время сканирования, готовых к использованию в качестве практического пособия врачами-рентгенологами.

Цель исследования

Оценить на фантомах изменения плотности, индекса Агатстона коронарного кальция при разных параметрах сканирования (напряжение, сила тока, толщина среза).

Материал и методы

Для исследования 8 инсулиновых шприцев были наполнены раствором гидроортофосфата калия с разными характеристиками плотности (табл. 1).

В дальнейшем данные шприцы на равном расстоянии друг от друга были помещены в бокс (фантом 1-го типа), заполненный водой, а также помещены в Chest Phantom N1 "LUNGMAN" и прикреплены вокруг сердца (фантом 2-го типа), которые представлены на рис. 1.

Таблица 1. Характеристики плотности 8 инсулиновых шприцев, наполненных раствором гидроортофосфата калия
Table 1. Density characteristics of the eight insulin syringes filled with potassium hydroorthophosphate solution

№ шприца	1	2	3	4	5	6	7	8
Плотность, мг/мл	50	100	150	200	250	350	400	450

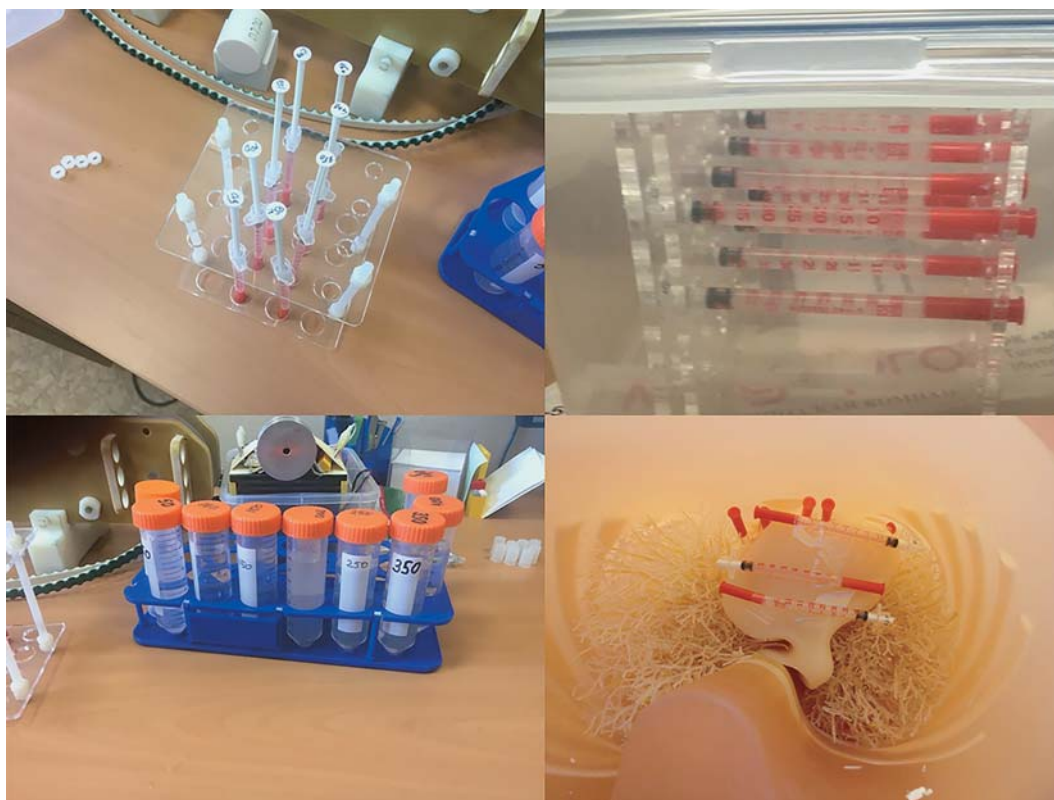
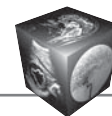


Рис. 1. Представлены фантомы 1-го и 2-го типа.

Fig. 1. Type 1 and type 2 phantoms.



В дальнейшем фантомы были просканированы при помощи компьютерного томографа Philips Ingenuity Elite 128 срезов по протоколам с разным напряжением (80, 100, 120, 140 кВ), силой тока (27–45, 166, 330–400 мА), толщиной среза (0,625, 1, 2,5, 3 мм), что представлено в табл. 2, 3 для фантома 1-го и 2-го типа соответственно.

Ретроспективный анализ изображений в стандарте DICOM 3 проведен с помощью программного обеспечения OsiriX MD (v.5.5.1 64-bit). Плотность содержимого шприца измерялась в аксиальном сечении в центре шприца в фантомах 1-го и 2-го типа, как представлено на рис. 2. Для количественной оценки коронарного кальция применяли плагины Coronary Calcium (см. рис. 2).

Для фантома 1-го типа изучались плотностные и количественные показатели для шприцев № 2, 3, 5, 7, а для фантома 2-го типа – № 2, 4, 6, 8. Из оценки шприцы № 1, 4, 6, 8 для фантома 1-го типа и № 1, 3, 5, 7 для фантома 2-го типа были исключены по разным причинам, представленным ниже.

Шприц № 1 для фантома 1-го типа был исключен по причине низких плотностных показателей (меньше на 40 ед.Н, чем нижний крайний показатель для фактора 1 кальцификации). Для фантома 1-го типа из оценки шприцы № 4, 6 были исключены по причине пограничной плотности – 299 и 499 ед.Н для стандартного сканирования на

предмет оценки коронарного кальция. Шприц № 8 для фантома 1-го типа был исключен по причине высоких плотностных показателей, а именно больше на 100 ед.Н., чем максимальный показатель для фактора 4 кальцификации.

Для фантома 2-го типа из оценки были исключены шприцы № 3, 5, 7 по причине перпендикулярного расположения в базальной части сердца по отношению к остальным шприцам, что повлекло нелинейное увеличение при оценке плотности и количественных показателей. Шприц № 1 для фантома 2-го типа, несмотря на вертикальное схожее расположение по отношению к шприцам № 2, 4, 6, 8, был исключен из оценки по причине совокупности высокого уровня шума и низких плотностных показателей, что не позволяло проводить количественную оценку индекса Агатстона, объемного коронарного индекса, массы коронарного кальция.

Оценку индекса Агатстона и плотности определяли на 10 последовательных срезах в шприцах № 2, 3, 5, 7 для фантома 1-го типа, № 2, 4, 6, 8 для фантома 2-го типа. Плотность внутри шприца измерялась при помощи установки круга площадью 10 мм² в центре шприца. В центре шприца в фантомах 1-го и 2-го типа устанавливали курсор для полуавтоматической оценки, как представлено на изображении 2. Стандартное отклонение для оценки уровня шума исследования измерялось

Таблица 2. Протоколы сканирования для фантома 1-го типа

Table 2. The scanning protocols for type 1 phantom

Протокол сканирования	Вольтаж, кВ	Толщина среза, мм	Сила тока, мА
№1a	140	0,625	27
№1b	140	1	27
№1c	140	2,5	27
№1d	140	3	27
№2a	140	0,625	330
№2b	140	1	330
№2c	140	2,5	330
№2d	140	3	330
№3a	120	0,625	385
№3b	120	1	385
№3c	120	2,5	385
№3d	120	3	385
№4a	100	0,625	385
№4b	100	1	385
№4c	100	2,5	385
№4d	100	3	385
№5a	80	0,625	166
№5b	80	1	166
№5c	80	2,5	166
№5d	80	3	166

Таблица 3. Протоколы сканирования для фантома 2-го типа

Table 3. The scanning protocols for type 2 phantom

Протокол сканирования	Вольтаж, кВ	Толщина среза, мм	Сила тока, мА
№1a	140	0,625	27
№1b	140	1	27
№1c	140	2,5	27
№1d	140	3	27
№2a	140	0,625	333
№2b	140	1	333
№2c	140	2,5	333
№2d	140	3	333
№3a	120	0,625	389
№3b	120	1	389
№3c	120	2,5	389
№3d	120	3	389
№4a	100	0,625	389
№4b	100	1	389
№4c	100	2,5	389
№4d	100	3	389
№5a	80	0,625	400
№5b	80	1	400
№5c	80	2,5	400
№5d	80	3	400

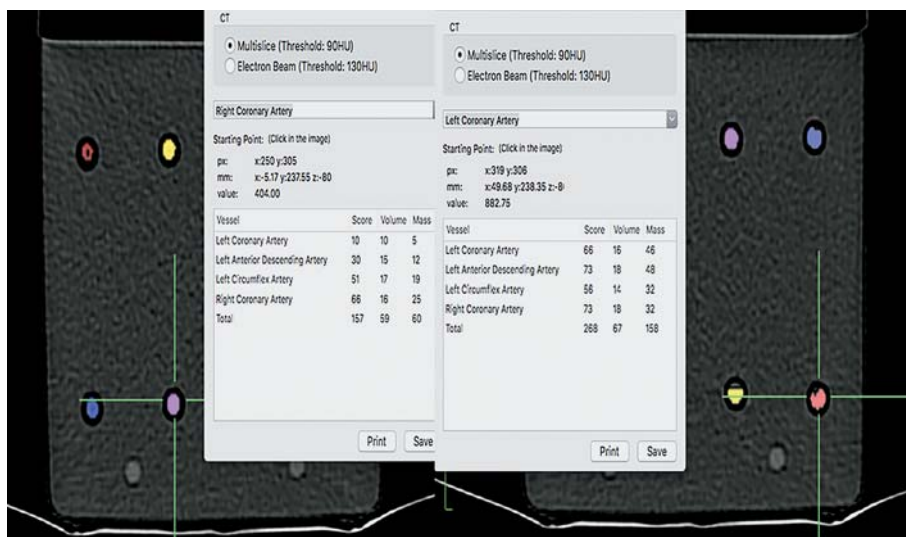


Рис. 2. Полуавтоматический анализ коронарного кальция в фантоме 1-го типа.

Fig. 2. Semi-automatic coronary calcium analysis for type 1 phantom.

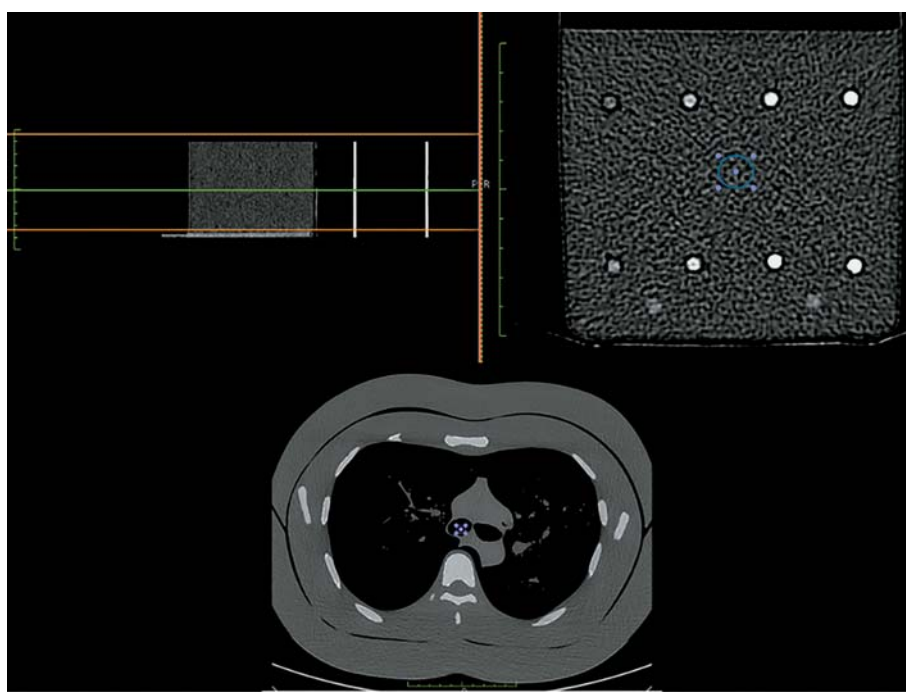


Рис. 3. Оценка стандартного отклонения на фантоме 1-го и 2-го типа.

Fig. 3. Evaluation of standard deviation for type 1 and type 2 phantoms.

в условном центре исследования, как представлено на рис. 3, с одинаковой площадью круга 1 см². В дальнейшем статистическая обработка данных была произведена в программе Microsoft Excel.

Результаты исследования

Представлены результаты измерений плотности, индекса Агатстона при различных параметрах сканирования (напряжение, сила тока, толщина среза) для разных факторов плотности кальцификации в фантомах 1-го и 2-го типа. Результаты приведены в виде таблиц со средними значениями плотности, стандартным отклонением (SD),

индексом Агатстона коронарного кальция и параметрами сканирования.

Для фантомов 1-го типа (табл. 4) и 2-го типа (табл. 5) представлены изменения показателей плотности и индекса Агатстона на изображениях с толщиной среза 1 мм, но с разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ.

Для фантомов 1-го типа (табл. 6) и 2-го типа (табл. 7) представлены изменения показателей плотности и индекса Агатстона на изображениях с толщиной среза 0,625 мм, но с разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ.

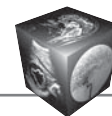


Таблица 4. Вариабельность плотности (Density), индекса Агатстона (Agatston), стандартного отклонения (SD) при КТ с толщиной среза 1 мм, но разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ для фантома 1-го типа

Table 4. Variability of density, Agatston score, and standard deviation (SD) on 1-mm-thick CT with different voltages when comparing standard CT and ultra-LDCT for type 1 phantom

Протокол	Стандартная КТ	У-НДКТ	Протокол №2b – 140 кВ	Протокол №3b – 120 кВ	Протокол №4b – 100 кВ	Протокол №5b – 80 кВ
SD центр	6,022	43,29	9,283	11,07	11,6	76,94
Density for №2	142,8	133,8	112,9	140,6	173	230,8
Agatston for №2	130	185	132	147	264	306
Density for №3	218	211,4	192,1	218,4	255,6	294,8
Agatston for №3	306	294	297	312	485	544
Density for №5	351,3	346,4	329,1	353,2	409,8	499
Agatston for №5	708	720	566	715	713	727
Density for №7	555	532,8	510,6	556,2	674,3	753,4
Agatston for №7	773	768	753	763	784	806

Таблица 5. Вариабельность плотности (Density), индекса Агатстона (Agatston), стандартного отклонения (SD) при КТ с толщиной среза 1 мм, но разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ для фантома 2-го типа

Table 5. Variability of density, Agatston score, and standard deviation (SD) on 1-mm-thick CT with different voltages when comparing standard CT and ultra-LDCT for type 2 phantom

Протокол	Стандартная КТ	У-НДКТ	Протокол №2b – 140 кВ	Протокол №3b – 120 кВ	Протокол №4b – 100 кВ	Протокол №5b – 80 кВ
SD центр	13,69	83,9	19,61	20,59	23,22	75,5
Density for №2	130,5	103	123,2	132,5	151,6	192,3
Agatston for №2	155	177	151	157	164	322
Density for №4	203,3	183,1	175,7	205,3	240,9	297,3
Agatston for №4	361	404	384	380	381	554
Density for №6	347,3	331,6	306,2	344	390,7	485,6
Agatston for №6	593	689	613	620	832	815
Density for №8	599,3	549,1	543,3	606,2	700,4	850,8
Agatston for №8	892	897	912	912	907	922

Таблица 6. Вариабельность плотности (Density), индекса Агатстона (Agatston), стандартного отклонения (SD) при КТ с толщиной среза 0,625 мм, но разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ для фантома 1-го типа

Table 6. Variability of density, Agatston score, standard deviation (SD) on 0.625-mm-thick CT with different voltages when comparing standard CT and ultra-LDCT for type 1 phantom

Протокол	Стандартная КТ	У-НДКТ	Протокол №1a – 140 кВ	Протокол №2a – 140 кВ	Протокол №3a – 120 кВ	Протокол №4a – 100 кВ	Протокол №5a – 80 кВ
SD центр	6,022	43,29	41	7,314	10,33	10,84	76,79
Density for №2	142,8	133,8	149,4	114	141,7	175,5	221,1
Agatston for №2	130	185	193	67	87	141	141
Density for №3	218	211,4	208,1	191,8	229,7	256,6	294,4
Agatston for №3	306	294	298	154	160	247	260
Density for №5	351,3	346,4	374,5	301,4	355,4	403,7	518,3
Agatston for №5	708	720	680	621	718	720	731
Density for №7	555	532,8	545,3	511,4	555,3	667,4	784,1
Agatston for №7	773	768	771	761	756	784	802



Таблица 7. Вариабельность плотности (Density), индекса Агатстона (Agatston), стандартного отклонения (SD) при КТ с толщиной среза 0,625 мм, но разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ для фантома 2-го типа

Table 7. Variability of density, Agatston score, standard deviation (SD) on 0.625-mm-thick CT with different voltages when comparing standard CT and ultra-LDCT for type 2 phantom

Протокол	Стандартная КТ	У-НДКТ	Протокол №1а – 140 кВ	Протокол №2а – 140 кВ	Протокол №3а – 120 кВ	Протокол №4а – 100 кВ	Протокол №5а – 80 кВ
SD центр	13,69	83,9	85,32	21,92	21,68	26,34	60,52
Density for №2	130,5	103	117,2	115,9	136,8	148,5	190,8
Agatston for №2	155	177	83	79	82	82	168
Density for №4	203,3	183,1	191,2	173,7	202,9	238,9	292
Agatston for №4	361	404	211	186	188	189	285
Density for №6	347,3	331,6	316,6	308,6	347,3	393,3	475,5
Agatston for №6	593	689	377	304	315	416	411
Density for №8	599,3	549,1	528,6	546	605,5	698,3	852,2
Agatston for №8	892	897	455	445	446	462	473

Таблица 8. Вариабельность плотности (Density), индекса Агатстона (Agatston), стандартного отклонения (SD) при КТ с толщиной среза 2,5 мм, но разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ для фантома 1-го типа

Table 8. Variability of density, Agatston score, standard deviation (SD) on 2.5-mm-thick CT with different voltages when comparing standard CT and ultra-LDCT for type 1 phantom

Протокол	Стандартная КТ	У-НДКТ	Протокол №1с – 140 кВ	Протокол №2с – 140 кВ	Протокол №3с – 120 кВ	Протокол №4с – 100 кВ	Протокол №5с – 80 кВ
SD центр	6,022	43,29	22,56	6,823	6,022	7,767	39,92
Density for №2	142,8	133,8	137,9	117,7	142,8	156,8	170,5
Agatston for №2	130	185	138	128	130	269	290
Density for №3	218	211,4	200,1	185,1	218	219,6	287
Agatston for №3	306	294	294	296	306	470	507
Density for №5	351,3	346,4	355,8	329,7	351,3	407,4	484,7
Agatston for №5	708	720	632	527	708	720	718
Density for №7	555	532,8	519,2	485,2	555	639,2	729
Agatston for №7	773	768	768	768	773	781	796

Таблица 9. Вариабельность плотности (Density), индекса Агатстона (Agatston), стандартного отклонения (SD) при КТ с толщиной среза 2,5 мм, но разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ для фантома 2-го типа

Table 9. Variability of density, Agatston score, standard deviation (SD) on 2.5-mm-thick CT with different voltages when comparing standard CT and ultra-LDCT for type 2 phantom

Протокол	Стандартная КТ	У-НДКТ	Протокол №1с – 140 кВ	Протокол №2с – 140 кВ	Протокол №3с – 120 кВ	Протокол №4с – 100 кВ	Протокол №5с – 80 кВ
SD центр	13,69	83,9	48,67	8,783	13,69	15,7	45,89
Density for №2	130,5	103	120,2	118,8	130,5	147,8	177,3
Agatston for №2	155	177	118	149	155	160	318
Density for №4	203,3	183,1	184	186,7	203,3	236,4	293,5
Agatston for №4	361	404	314	325	361	365	544
Density for №6	347,3	331,6	310,8	309,1	347,3	391	480,7
Agatston for №6	593	689	575	594	593	806	815
Density for №8	599,3	549,1	541	551,3	599,3	679,1	850,3
Agatston for №8	892	897	871	882	892	912	927

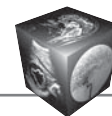


Таблица 10. Вариабельность плотности (Density), индекса Агатстона (Agatston), стандартного отклонения (SD) при КТ с толщиной среза 3 мм, но разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ для фантома 1-го типа

Table 10. Variability of density, Agatston score, standard deviation (SD) on 3-mm-thick CT with different voltages when comparing standard CT and ultra-LDCT for type 1 phantom

Протокол	Стандартная КТ	У-НДКТ	Протокол №1d – 140 кВ	Протокол №2d – 140 кВ	Протокол №3d – 120 кВ	Протокол №4d – 100 кВ	Протокол №5d – 100 кВ
SD центр	6,022	43,29	21,48	5,832	4,351	8,161	31,36
Density for №2	142,8	133,8	128,8	142,2	142,9	137	192
Agatston for №2	130	185	122	127	129	267	281
Density for №3	218	211,4	203,43	206,6	223,7	239,3	303
Agatston for №3	306	294	284	302	306	482	495
Density for №5	351,3	346,4	349	326,1	323,6	397,5	496,5
Agatston for №5	708	720	603	518	705	718	714
Density for №7	555	532,8	535,4	508	497,9	661,8	773
Agatston for №7	773	768	761	768	776	786	798

Таблица 11. Вариабельность плотности (Density), индекса Агатстона (Agatston), стандартного отклонения (SD) при КТ с толщиной среза 3 мм, но разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ для фантома 2-го типа

Table 11. Variability of density, Agatston score, standard deviation (SD) on 3-mm-thick CT with different voltages when comparing standard CT and ultra-LDCT for type 2 phantom

Протокол	Стандартная КТ	У-НДКТ	Протокол №1d – 140 кВ	Протокол №2d – 140 кВ	Протокол №3d – 120 кВ	Протокол №4d – 100 кВ	Протокол №5d – 100 кВ
SD центр	13,69	83,9	47,06	9,759	12,95	14,09	55,39
Density for №2	130,5	103	119,4	119	132,9	145,4	187,2
Agatston for №2	155	177	122	146	157	159	320
Density for №4	203,3	183,1	183	187,6	210,4	238	293,4
Agatston for №4	361	404	339	260	359	364	552
Density for №6	347,3	331,6	306,6	308,1	341,4	387,7	487
Agatston for №6	593	689	586	583	585	800	791
Density for №8	599,3	549,1	523,8	546,2	595,1	696,6	841
Agatston for №8	892	897	847	895	875	895	923

Для фантомов 1-го типа (табл. 8) и 2-го типа (табл. 9) представлены изменения показателей плотности и индекса Агатстона на изображениях с толщиной среза 2,5 мм, но с разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ.

Для фантомов 1-го типа (табл. 10) и 2-го типа (табл. 11) представлены изменения показателей плотности и индекса Агатстона на изображениях с толщиной среза 3 мм, но с разным напряжением в сравнении со стандартной КТ и ультра-НДКТ.

Обсуждение

При изменениях напряжения при схожих остальных параметрах сканирования (толщина среза, сила тока) плотность содержимого внутри шприца повышается при снижении напряжения, как представлено на рис. 4 в сравнении со стандартным и ультранизкодозным протоколом, что обуславливает переход по плотностям из одного

фактора в более высокий или низкий фактор по отношению к стандартному протоколу, что особенно важно для факторов 1 и 2. При напряжении 120–140 кВ в формировании рентгеновской плотности кальция участвует только комптоновское рассеивание, тогда как при 80 кВ дополнительно включается фотоэлектрический эффект. Следовательно, повышение плотности при 80 кВ закономерно.

Тем не менее при сопоставлении показателей на стандартном протоколе сканирования (толщина среза 3 мм, напряжение 120 кВ, сила тока 366 мА) для оценки коронарного кальция и ультранизкодозного протокола (толщина среза 1 мм, напряжение 140 кВ, сила тока 27 мА), используемого в скрининге рака легкого, отмечается для фантома 1-го типа незначительное снижение на –3,55, –8,95, –0,71, –6,90% для факторов 1, 2, 3, 4 соответственно, что представлено на рис. 5.

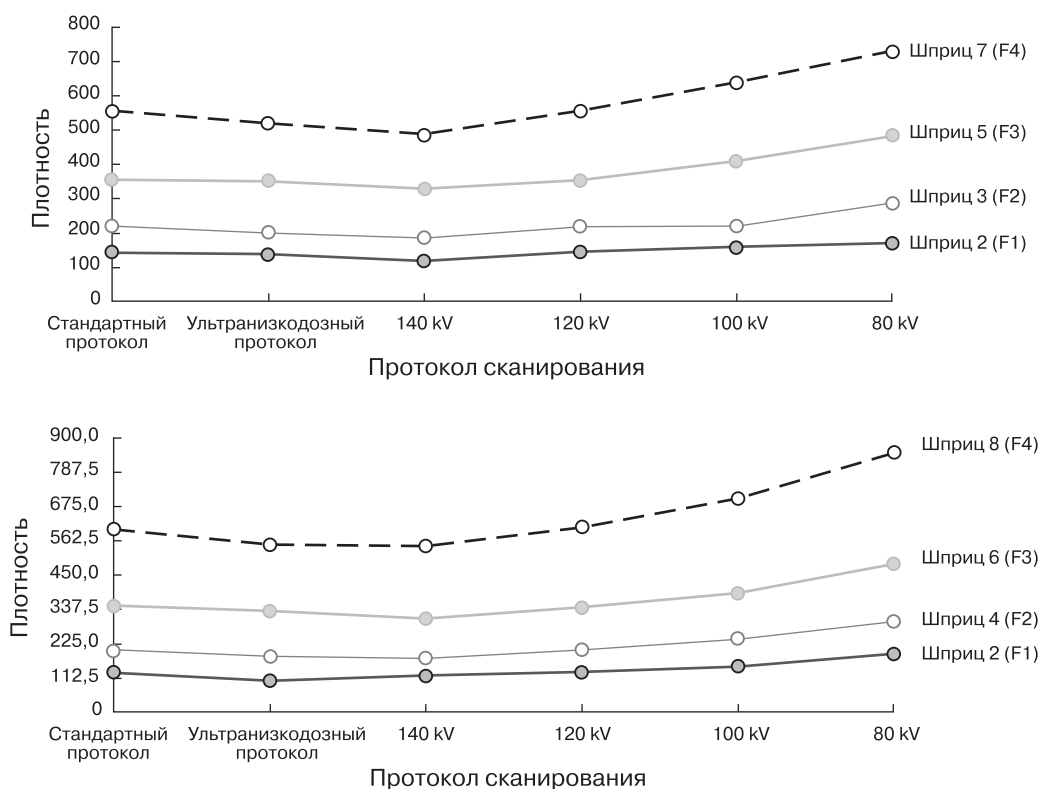


Рис. 4. Графики изменения плотностных показателей для фактора 1 (F1), фактора 2 (F2), фактора 3 (F3), фактора 4 (F4) в зависимости от повышения напряжения и в сравнении со стандартным и ультранизкодозным протоколами для фантомов 1-го и 2-го типа.

Fig. 4. Density change charts for Factor 1 (F1), Factor 2 (F2), Factor 3 (F3), and Factor 4 (F4) depending on the increase in voltage when comparing standard and ultra-low-dose protocols for type 1 and type 2 phantoms.

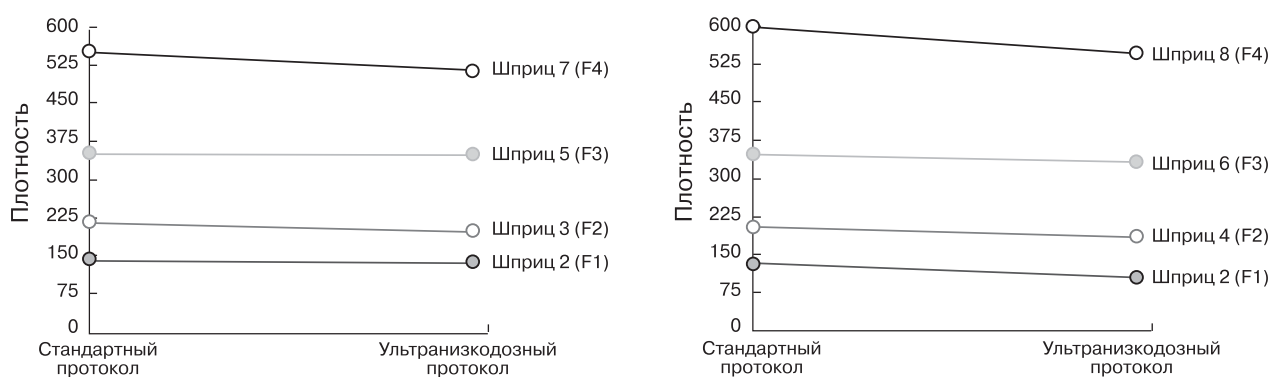


Рис. 5. Графики изменений плотностных показателей для фактора 1 (F1), фактора 2 (F2), фактора 3 (F3), фактора 4 (F4) в сравнении со стандартным и ультра-низкодозным протоколами для фантомов 1-го и 2-го типа.

Fig. 5. Density change charts for Factor 1 (F1), Factor 2 (F2), Factor 3 (F3), and Factor 4 (F4) when comparing standard and ultra-low-dose protocols for type 1 and type 2 phantoms.

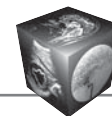


Таблица 12. Абсолютные ошибки по плотности и индексу Агатстона при сравнении ультра-НДКТ и стандартного протокола сканирования

Table 12. Absolute density and Agatston score errors when comparing ultra-LDCT and standard scanning protocol

	Абсолютная ошибка по модулю для фантома 1-го типа	Абсолютная ошибка по модулю для фантома 2-го типа
SD центр	86,09%	83,68%
Agatston for № 2	29,73%	12,43%
Agatston for № 3,4	4,08%	10,64%
Agatston for № 5,6	1,67%	13,93%
Agatston for № 7,8	0,65%	0,56%
Средняя абсолютная ошибка показателей Агатстона для фантомов 1-го и 2-го типа	9,03%	9,39%
Density for № 2	6,73%	26,70%
Density for № 3,4	3,12%	11,03%
Density for № 5,6	1,41%	4,73%
Density for № 7,8	4,17%	9,14%
Средняя абсолютная ошибка показателей плотности для фантомов 1-го и 2-го типа	3,86%	12,90%

Таблица 13. Поправочные коэффициенты для фантомов 1-го и 2-го типа

Table 13. Correlation factors for type 1 and type 2 phantoms

Фактор кальцификации	Поправочный коэффициент для фантома 1-го типа	Поправочный коэффициент для фантома 2-го типа
1	1,0673	1,267
2	1,0312	1,1103
3	1,0141	1,0473
4	1,0417	1,0914

При сканировании фантома 2-го типа отмечается высокий шум на изображениях, что влияет на показатели при сопоставлении со стандартным протоколом и составляет 12,43, 10,64, 3,93, 0,56%.

Большое стандартное отклонение на ультра-НДКТ в сравнении со стандартными изображениями обуславливает высокий уровень шума, что, по нашим данным, приводит к высоким значениям абсолютной ошибки индекса Агатстона для шприца № 2, несмотря на низкую абсолютную ошибку при сравнении плотностей, и что в большей степени обусловлено пограничным пороговым значением в 130 ед.Н (табл. 12). Тем не менее поправочные коэффициенты для факторов кальцификации возможно использовать при полуавтоматическом или полностью автоматическом подсчете коронарного кальция на изображениях ультра-НДКТ (менее 1 мЗв) с целью снижения средней абсолютной ошибки индекса Агатстона (табл. 13).

Заключение

Исследование демонстрирует изменчивость показателей факторов коронарного кальция при их оценке на различных параметрах сканирования. Полученную информацию возможно исполь-

зовать на практике в виде таблиц и диаграмм для более точного подсчета коронарного кальция на нестандартных параметрах сканирования КТ. Выведенные поправочные коэффициенты позволяют более точно оценивать изменения коронарной кальцификации при использовании нестандартных протоколов, что особенно важно для интерпретации ультранизкодозных изображений для скрининга рака легкого.

Список литературы

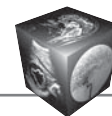
1. Greenland P., Blaha M.J., Budoff M.J., Erbel R., Watson K.E. Coronary calcium score and cardiovascular risk. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 72 (4): 434–447. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.05.027>
2. Detrano R., Guerci A.D., Carr J.J., Bild D.E., Burke G., Folsom A.R., Liu K., Shea S., Szklo M., Bluemke D.A., O'Leary D.H., Tracy R., Watson K., Wong N.D., Kronmal R.A. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups. *N. Engl. J. Med.* 2008; 358 (13): 1336–1345. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa072100>
3. Shaw L.J., Raggi P., Callister T.Q., Berman D.S. Prognostic value of coronary artery calcium screening in asymptomatic smokers and non-smokers. *Eur. Heart J.* 2006; 27 (8): 968–975. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehi750>
4. Eisen A., Tenenbaum A., Koren-Morag N., Tanne D., Shemesh J., Imazio M., Fisman E.Z., Motro M., Schwam-



- menthal E., Adler Y. Calcification of the thoracic aorta as detected by spiral computed tomography among stable angina pectoris patients: association with cardiovascular events and death. *Circulation*. 2008; 118 (13): 1328–1334. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.712141>
5. Pakdaman M.N., Rozanski A., Berman D.S. Incidental coronary calcifications on routine chest CT: Clinical implications. *Trends Cardiovasc. Med*. 2017; 27: 475–480. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2017.04.004>
6. Arcadi T., Maffei E., Sverzellati N., Mantini C., Guaricci A.I., Tedeschi C., Martini Ch., La Grutta L., Cademartiri F. Coronary artery calcium score on low-dose computed tomography for lung cancer screening. *Wld J. Radiol*. 2014; 286 (6): 381–387. <https://doi.org/10.4329/wjrv.v6.i6.381>
7. Першина Е.С., Синицын В.Е., Мершина Е.А., Архипова И.М., Семитко С.П., Иванов В.А. Неинвазивная оценка фракционного резерва кровотока у пациентов с ишемической болезнью сердца по данным компьютерной томографии: первые результаты клинического применения. Сравнение с данными инвазивного измерения. *Медицинская визуализация*. 2018; 22 (2): 47–55. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2018-2-47-55>
8. Николаев А.Е., Гомболевский В.А., Гончар А.П., Шапиев А.Н., Лайпан А.Ш., Морозов С.П. Случайные находки при скрининге рака легкого методом низкодозной компьютерной томографии. *Туберкулез и болезни легких*. 2018; 96 (11): 60–68. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2018-96-11-60-67>
9. Николаев А.Е., Шапиев А.Н., Блохин И.А., Рамазанова Д.М., Шапиева А.Н., Гомболевский В.А., Низовцова Л.А. Новые подходы к оценке изменений коронарных артерий при мультиспиральной компьютерной томографии. *Российский кардиологический журнал*. 2019; 12: 124–130. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-12-124-130>
10. Agatson A.S., Janovitz W.R., Hildner F.J., Zusmer N.R., Viamonte M.Jr. Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J. Am. Coll. Cardiol*. 1990; 15: 827–832. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(90\)90282-t](https://doi.org/10.1016/0735-1097(90)90282-t)
11. Rumberger J.A., Brundage B.H., Rader D.J., Kondos G. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons. *Mayo Clin. Proc*. 1999; 74: 243–252. <https://doi.org/10.4065/74.3.243>
12. Yoon H.C., Goldin J.G., Greaser L.E.(3rd), Sayre J., Fonarow G.C. Interscan variation in coronary artery calcium calcification in a large asymptomatic patient population. *Am. J. Roengenol*. 2000; 174: 803–809. <https://doi.org/10.2214/ajr.174.3.1740803>
13. Mayer C., Meyer M., Fink C., Schmidt B., Sedlmair M., Schoenberg S.O., Henzler T. Potential for radiation dose savings in abdominal and chest CT using automatic tube voltage selection in combination with automatic tube current modulation. *Am. J. Roentgenol*. 2014; 203 (2): 292–299.
14. Schauer D.A., Linton O.W. National Council on Radiation Protection and Measurements report shows substantial medical exposure increase. *Radiology*. 2009; 253 (2): 293–296. <https://doi.org/10.1148/radiol.11102376>
15. Sodickson A., Baeyens P.F., Andriole K.P., Prevedello L.M., Nawfel R.D., Hanson R., Khorasani R. Recurrent CT, cumulative radiation exposure, and associated radiation-induced cancer risks from CT of adults. *Radiology*. 2009; 251 (1): 175–184. <https://doi.org/10.1148/radiol.2511081296>
16. International Commission on Radiological Protection. Radiological protection in medicine: ICRP publication 105. *Ann. ICRP*. 2007; 37 (6): 1–63. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2008.08.001>
17. Rhee D., Kim S.-W., Moon Y.M., Kim J.K., Jeong D.H. Effects of the Difference in Tube Voltage of the CT Scanner on Dose Calculation. *J. Korean Phys. Soc*. 2015; 67 (1). <https://doi.org/10.3938/jkps.67.123>
18. McCollough C.H., Leng S., Yu L., Fletcher J.G. Dual- and multi-energy CT: principles, technical approaches, and clinical applications. *Radiology*. 2015; 276 (3): 637–653. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015142631>

References

1. Greenland P., Blaha M.J., Budoff M.J., Erbel R., Watson K.E. Coronary calcium score and cardiovascular risk. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2018; 72 (4): 434–447. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.05.027>
2. Detrano R., Guerci A.D., Carr J.J., Bild D.E., Burke G., Folsom A.R., Liu K., Shea S., Szklo M., Bluemke D.A., O'Leary D.H., Tracy R., Watson K., Wong N.D., Kronmal R.A. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups. *N. Engl. J. Med*. 2008; 358 (13): 1336–1345. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa072100>
3. Shaw L.J., Raggi P., Callister T.Q., Berman D.S. Prognostic value of coronary artery calcium screening in asymptomatic smokers and non-smokers. *Eur. Heart J*. 2006; 27 (8): 968–975. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehi750>
4. Eisen A., Tenenbaum A., Koren-Morag N., Tanne D., Shemesh J., Imazio M., Fisman E.Z., Motro M., Schwammenthal E., Adler Y. Calcification of the thoracic aorta as detected by spiral computed tomography among stable angina pectoris patients: association with cardiovascular events and death. *Circulation*. 2008; 118 (13): 1328–1334. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.712141>
5. Pakdaman M.N., Rozanski A., Berman D.S. Incidental coronary calcifications on routine chest CT: Clinical implications. *Trends Cardiovasc. Med*. 2017; 27: 475–480. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2017.04.004>
6. Arcadi T., Maffei E., Sverzellati N., Mantini C., Guaricci A.I., Tedeschi C., Martini Ch., La Grutta L., Cademartiri F. Coronary artery calcium score on low-dose computed tomography for lung cancer screening. *Wld J. Radiol*. 2014; 286 (6): 381–387. <https://doi.org/10.4329/wjrv.v6.i6.381>
7. Pershina E.S., Sinitsin V.E., Mershina E.A., Arkhipova I.M., Semitko S.P., Ivanov V.A. Non-invasive FFR derived from standard acquired coronary computed tomography angiography (CTA) datasets (FFRCT) for the diagnosis of myocardial ischemia in patients with coronary artery disease (CAD): first data of clinical use. Comparison with invasive measurement. *Medical Visualization*. 2018; 22 (2): 47–55. (In Russian) <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2018-2-47-55>
8. Nikolaev A.E., Gombolevskiy V.A., Gonchar A.P., Shapiev A.N., Laypan A.S., Morozov S.P. Random findings on lung cancer screening by low-dose computed tomography. *Tuberculosis and lung diseases*. 2018; 96 (11): 60–68. (In Russian) <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2018-96-11-60-67>
9. Nikolaev A.E., Shapiev A.N., Blokhin I.A., Ramazanova D.M., Shapieva A.N., Gombolevskij V.A., Nizovtsova L.A. New approaches for assessing coronary changes in multi-layer



- spiral computed tomography. *Russian Journal of Cardiology*. 2019; (12): 124–130. (In Russian) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-12-124-130>.
10. Agatson A.S., Janovitz W.R., Hildner F.J., Zusmer N.R., Viamonte M.Jr. Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1990; 15: 827–832. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(90\)90282-t](https://doi.org/10.1016/0735-1097(90)90282-t)
 11. Rumberger J.A., Brundage B.H., Rader D.J., Kondos G. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons. *Mayo Clin. Proc.* 1999; 74: 243–252. <https://doi.org/10.4065/74.3.243>
 12. Yoon H.C., Goldin J.G., Greaser L.E.(3rd), Sayre J., Fonarow G.C. Interscan variation in coronary artery calcium calcification in a large asymptomatic patient population. *Am. J. Roengenol.* 2000; 174: 803–809. <https://doi.org/10.2214/ajr.174.3.1740803>
 13. Mayer C., Meyer M., Fink C., Schmidt B., Sedlmair M., Schoenberg S.O., Henzler T. Potential for radiation dose savings in abdominal and chest CT using automatic tube voltage selection in combination with automatic tube current modulation. *Am. J. Roentgenol.* 2014; 203 (2): 292–299.
 14. Schauer D.A., Linton O.W. National Council on Radiation Protection and Measurements report shows substantial medical exposure increase. *Radiology*. 2009; 253 (2): 293–296. <https://doi.org/10.1148/radiol.11102376>
 15. Sodickson A., Baeyens P.F., Andriole K.P., Prevedello L.M., Nawfel R.D., Hanson R., Khorasani R. Recurrent CT, cumulative radiation exposure, and associated radiation-induced cancer risks from CT of adults. *Radiology*. 2009; 251 (1): 175–184. <https://doi.org/10.1148/radiol.2511081296>
 16. International Commission on Radiological Protection. Radiological protection in medicine: ICRP publication 105. *Ann. ICRP*. 2007; 37 (6): 1–63. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2008.08.001>
 17. Rhee D., Kim S.-W., Moon Y.M., Kim J.K., Jeong D.H. Effects of the Difference in Tube Voltage of the CT Scanner on Dose Calculation. *J. Korean Phys. Soc.* 2015; 67 (1). <https://doi.org/10.3938/jkps.67.123>
 18. McCollough C.H., Leng S., Yu L., Fletcher J.G. Dual- and multi-energy CT: principles, technical approaches, and clinical applications. *Radiology*. 2015; 276 (3): 637–653. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015142631>

Для корреспонденции*: Николаев Александр Евгеньевич – 125124 Москва, ул. Расковой, д. 16/26. ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”. Тел.: +7-930-348-30-48. E-mail: a.e.nikolaev@yandex.ru

Николаев Александр Евгеньевич – младший научный сотрудник отдела развития качества радиологии ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5151-4579>. SPIN: 1320-1651. E-mail: a.e.nikolaev@yandex.ru

Коркунова Ольга Андреевна – младший научный сотрудник отдела развития качества радиологии ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5831-3742>. SPIN: 6879-129. E-mail: oa.korkunova@gmail.com

Блохин Иван Андреевич – младший научный сотрудник отдела развития качества радиологии ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>. SPIN: 3306-1387. E-mail: blokhin.ioann@gmail.com

Петрайкин Алексей Владимирович – канд. мед. наук, доцент, старший научный сотрудник отдела разработки средств контроля и технического мониторинга ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>, SPIN 6193-1656. E-mail: a.petraikin@npcmr.ru

Никифорова Марина Владиславовна – ординатор кафедры лучевой диагностики и терапии ФГАОУ ВО “РНИМУ имени Н.И. Пирогова” Минздрава России”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8933-6544>. SPIN: 1086-5509. E-mail: marina.nikif.802@mail.ru

Гирько Александр Олегович – ординатор ГБУЗ “МКНЦ имени А.С. Логинова ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1320-2368>. E-mail: girko.alexandr@gmail.com

Дягилева Елена Александровна – ординатор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГАОУ ВО “Первый МГМУ имени И.М. Сеченова” Минздрава России (Сеченовский Университет). <https://orcid.org/0000-0001-9247-4665>. E-mail: lenadtgileva@mail.ru

Сучилова Мария Максимовна – младший научный сотрудник отдела развития качества радиологии ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1117-0294>. SPIN: 4922-1894. E-mail: maria.suchilova@gmail.com

Груздев Иван Сергеевич – аспирант ФГБУ “НМИЦ хирургии имени А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>. SPIN: 3350-0832. E-mail: gruzdev_van@mail.ru

Першина Екатерина Сергеевна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог, руководитель Центра лучевой диагностики ГБУЗ “ГКБ № 1 имени Н.И. Пирогова ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3952-6865>. SPIN: 7311-9276. E-mail: pershina86@mail.ru

Силин Антон Юрьевич – руководитель отдела развития ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”. <https://orcid.org/0000-0003-4952-2347>. SPIN: 4411-87. E-mail: a.silin@npcmr.ru

Гомболевский Виктор Александрович – канд. мед. наук, руководитель отдела развития качества радиологии ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>. SPIN: 6810-3279. E-mail: gombolevskiy@npcmr.ru

Морозов Сергей Павлович – доктор мед. наук, профессор, директор ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”. <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>. SPIN: 8542-1720. E-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru



Contact*: Aleksandr E. Nikolaev – 16/26, Raskova str., Moscow 125124. State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow “Research and Practical Clinical center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department”. Phone: +7-930-348-30-48. E-mail: a.e.nikolaev@yandex.ru

Aleksandr E. Nikolaev – researcher of Department of quality of radiology, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5151-4579>. SPIN: 1320-1651. E-mail: a.e.nikolaev@yandex.ru

Olga A. Korkunova – researcher of the Department of quality of radiology, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5831-3742>. SPIN: 6879-129. E-mail: oa.korkunova@gmail.com

Ivan A. Blokhin – researcher of Department of quality of radiology, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>. SPIN: 3306-1387. E-mail: blokhin.ioann@gmail.com

Alexey V. Petraykin – Cand. of Sci. (Med.), Docent, expert-radiologist, senior researcher, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>, SPIN 6193-1656. E-mail: a.petraikin@npcmr.ru

Marina V. Nikiforova – resident of Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8933-6544>. SPIN: 1086-5509. E-mail: marina.nikif.802@mail.ru

Aleksandr O. Gir'ko – resident of Moscow Clinical Scientific Center named after Loginov MHD, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1320-2368>. E-mail: girko.alexandr@gmail.com

Elena A. Dyagileva – resident of Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University). <https://orcid.org/0000-0001-9247-4665>. E-mail: lenadtdgileva@mail.ru

Maria M. Suchilova – researcher of Department of quality of radiology, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1117-0294>. SPIN: 4922-1894. E-mail: maria.suchilova@gmail.com

Ivan S. Gruzdev – resident of Institute of Surgery named after A. V. Vishnevskogo, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>. SPIN: 3350-0832. E-mail: gruzdev_van@mail.ru

Ekaterina S. Pershina – Cand. of Sci. (Med.), radiologist, head of Radiology center, Pirogov City Clinical Hospital №1, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3952-6865>. SPIN: 7311-9276. E-mail: pershina86@mail.ru

Anton Yu. Silin – Head of Development Department, researcher of Department of quality of radiology, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4952-2347>. SPIN: 4411-87. E-mail: a.silin@npcmr.ru

Viktor A. Gombolevskij – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Radiology Quality Development Division, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>. SPIN: 6810-3279. E-mail: gombolevskiy@npcmr.ru

Sergey P. Morozov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>. SPIN: 8542-1720. E-mail: npcmr@zdrav.mos.ru