

УДК 616.1

<https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2026.v.7i2;71-88>

## Клинико-экономическая целесообразность КТ-технологий скрининга коронарного кальция и его значение в составе комбинированных профилактических программ типа BIG-3

Д.А. Андреев<sup>1\*</sup>, А.А. Завьялов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы, 115088, Российская Федерация, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 9

<sup>2</sup> Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Российская Федерация, г. Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23

\*Автор, ответственный за переписку, email: [AndreevDA@zdrav.mos.ru](mailto:AndreevDA@zdrav.mos.ru)

### Аннотация

**Введение.** До 34% всех смертей, обусловленных атеросклеротической болезнью, приходится на бессимптомных пациентов. Согласно прогнозным данным, к 2050 г. сердечно-сосудистые заболевания, хроническая обструктивная болезнь легких и рак легкого сохраняют лидирующие позиции в общей структуре причин смертности. Данные нозологии относятся к группе большой тройки (Big-3), накладывающей тяжелое социально-экономическое бремя на системы здравоохранения большинства стран. Компьютерная томография (КТ) позволяет диагностировать Big-3-патологии на латентных стадиях. Высказано предположение, что одномоментный скрининг нескольких заболеваний (Big-3-скрининг) в рамках одного сеанса КТ-сканирования органов грудной клетки способен повысить результативность обследования при минимальных дополнительных затратах. Предварительные оценки медицинских технологий подтверждают экономический потенциал Big-3-скрининга. **Материалы и методы.** В работе проанализированы технологические КТ-инновации в области оценки коронарного кальция, современные подходы на основе искусственного интеллекта (ИИ) к реализации комбинированных протоколов КТ-визуализации, а также вопросы клинико-экономической целесообразности внедрения данных программ. **Результаты.** Установлено, что прорывные технологические решения, такие как КТ с двойным источником излучения (DSCT) и фотонно-счетная томография (ФСТ), демонстрируют высокую воспроизводимость результатов скрининга коронарного кальциноза. Данные методы позволяют надежно оценивать выраженность коронарного кальциноза по протоколу низкодозной компьютерной томографии (НДКТ) без применения ЭКГ-синхронизации. Для медицинских центров, не оснащенных сканерами с высоким временным разрешением, альтернативой выступают алгоритмы ИИ. Они обеспечивают автоматическую градацию тяжести кальциноза коронарных артерий с параллельным контролем качества изображений, верификацией надежности полученного результата и определением показаний к выбору маршрутизации и проведению дополнительной стандартной визуализации. **Заключение.** Совершенствование режимов выполнения КТ-скрининга, а также критериев включения и исключения пациентов должно основываться на результатах клинических исследований и математического моделирования. Это позволит сбалансировать клинико-экономическую пользу и ятрогенные риски и обосновать целесообразность оценки коронарного кальция в программах типа BIG-3.

**Ключевые слова:** компьютерная томография; скрининг; коронарный атеросклероз; рак легкого; ХОБЛ; искусственный интеллект

**Для цитирования:** Андреев Д.А., Завьялов А.А. Клинико-экономическая целесообразность КТ-технологий скрининга коронарного кальция и его значение в составе комбинированных профилактических программ типа BIG-3. *Здоровье мегаполиса*. 2026;7(2):71-88. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2026.v.7i2;71-88>

© Андреев Д.А., Завьялов А.А., 2026

© Это произведение доступно по лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike («Атрибуция-СохранениеУсловий») 4.0 Всемирная.

УДК 616.1

<https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2026.v.7i2:71-88>

## Clinical and Economic Considerations of CT Coronary Calcium Screening and Its Role in Integrated BIG 3 Preventive Strategies

Dmitry A. Andreev<sup>1\*</sup>, Aleksander A. Zavyalov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management of Moscow Healthcare Department, 9, Sharikopodshipnikovskaya ul., 115088, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (SRC – FMBC), 23, Marshal Novikov ul., 123098, Moscow, Russian Federation

\*Corresponding author, email: [AndreevDA@zdrav.mos.ru](mailto:AndreevDA@zdrav.mos.ru)

### Abstract

**Introduction.** Asymptomatic individuals account for almost 34% of all atherosclerosis-related deaths. Prognostic data says that cardiovascular diseases, chronic obstructive pulmonary disease, and lung cancer will continue to dominate the overall structure of causes of death until 2050. These conditions form the Big-3 Group, imposing a significant socioeconomic burden on the healthcare systems of most countries. CT-based methods enable the diagnosis of Big-3 diseases at the latent stage. It is suggested that single screening for multiple diseases (Big-3 screening) performed within one chest CT scan session improves the efficiency of examination at minimal additional cost. The economic potential of Big-3 screening has been demonstrated in early-stage technology assessments. **Materials and methods.** The authors analyzed CT innovations for coronary calcium scans, current AI-driven approaches to integrating combined protocols for CT imaging, and clinical effectiveness and cost-effectiveness of implementing these tools. **Results.** Advanced technology, such as dual-source computed tomography (DSCT) and photon-counting computed tomography (PCCT), showed a high reproducibility of coronary calcium screening results. These techniques allow the reliable evaluation of calcium score using the protocol for non-ECG-gated low-dose computed tomography (LDCT). Medical centers not equipped with high-resolution CT scanners can use AI algorithms instead. Such algorithms enhance the automatic grading of coronary calcium severity while also assessing the quality of images, validating the reliability of results, and making decisions on next steps in the patient journey, including further standard imaging tests. **Conclusion.** The optimization of protocols for CT screening, as well as patient inclusion and exclusion criteria, must be guided by the results of clinical trials and mathematical modeling. This will balance clinical and economic benefits against iatrogenic risks, thereby establishing the feasibility of coronary artery calcium screening within BIG-3-type strategies.

**Keywords:** computed tomography; screening; coronary atherosclerosis; lung cancer; COPD; artificial intelligence

**For citation:** Andreev D.A., Zavyalov A.A. Clinical and Economic Considerations of CT Coronary Calcium Screening and Its Role in Integrated BIG 3 Preventive Strategies. *City Healthcare*. 2026;7(2):71-88. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2026.v.7i2:71-88>

## Введение

Несмотря на существенный прогресс в профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний, почти у 50% ранее бессимптомных пациентов первое клиническое проявление ишемической болезни сердца по-прежнему представлено острым коронарным синдромом или внезапной сердечной смертью, что указывает на недостаточную чувствительность существующих стратегий стратификации риска [1, 2].

Кардиоваскулярная патология входит в группу так называемых трех социально значимых нозологий – Big-3 (большая тройка «киллеров») наряду с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) и раком легкого (РЛ). Прогнозы до 2050 г. показывают: заболевания группы Big-3 займут первые места в общей структуре причин смертности [3]. Вместе с тем у пациентов с РЛ, эмфиземой и ХОБЛ сердечно-сосудистые заболевания остаются существенным фактором летальности, что подчеркивает необходимость комбинирования диагностических подходов, направленных на одновременную оценку кардиоваскулярной опасности и онкопульмонального риска в рамках единой системы профилактики [4].

Общими характеристиками патологий группы Big-3 считаются длительный период бессимптомного (латентного) течения и факторы риска: возраст, поведенческие детерминанты (табакокурение, малоподвижный образ жизни, погрешности в диете) или воздействие окружающей среды (загрязнение воздуха, табачный дым в помещении, профессиональные вредности, воздействие радона и др.) [5]. Ранняя инструментальная диагностика и профилактика (например, изменение образа жизни, отказ от табакокурения и др.), своевременное начало лечения заболеваний группы Big-3 способны улучшить общий прогноз и выживаемость, снизить преждевременную смертность [6].

Современные технологии КТ-визуализации позволяют эффективно диагностировать Big-3-нозологии. Низкоинтенсивная компьютерная томография (НДКТ) грудной клетки, используемая для скрининга рака легких (биомаркер – прогрессирование узелковых образований в легких), позволяет выявлять ХОБЛ (биомаркер – эмфизема, утолщение стенок бронхов, задержка остаточного воздуха) на ранних стадиях, а также оценивать степень риска развития кардиоваскулярных заболеваний (биомаркер – кальцификация коронарных артерий) [4, 5]. НДКТ является перспективной технологией для использования в программах массового скрининга, так как она неинвазивна, оказывает невысокую лучевую нагрузку и малозатратна по сравнению с другими методами визуализации.

Стандартная КТ – распространенный метод визуализации прогрессирующего атеросклероза, применяемый для диагностики ИБС у пациентов без явной клинической симптоматики [7]. КТ-оценка коронарного кальция является простым, рутинным и воспроизводимым тестом, чьи преимущества включают возможность выявления пациентов с более высоким кардиологическим риском с целью назначения профилактики статинами [8]. Одновременно внедрение популяционного скрининга лиц с высоким риском РЛ с использованием НДКТ ожидаемо снижает смертность от рака как минимум на 20% [9].

Существует вероятность, что наличие оптимальных протоколов скрининга нескольких заболеваний во время одного сеанса КТ-сканирования может повысить результативность обследования при незначительном уровне дополнительных затрат [10]. При этом в предварительной оценке комбинированных методик был продемонстрирован экономический потенциал одномоментного скрининга нозологий группы Big-3 [10].

Цель подготовки статьи – анализ и систематизация представлений о клинических аспектах и экономической целесообразности программ изолированного и комбинированного скрининга по типу Big-3 по результатам аналитического исследования опубликованных сведений.

## Материалы и методы

Сбор релевантной информации осуществлялся с использованием экосистем Google, MS Copilot и библиографической базы PubMed. В поисковых запросах применялись ключевые слова «коронарный», «кальциноз», «компьютерная томография», «рак легкого», ХОБЛ, и др.

## Результаты

### Медицинская технология коронарного скоринга с определением индекса Агатстона

Кальцификация коронарных артерий является надежным предиктором неблагоприятных сердечно-сосудистых событий у пациентов с бессимптомным течением на протяжении 10 лет независимо от традиционных факторов риска и остается стабильной в разных возрастных и этнических группах. Это подтверждено данными мультиэтнического исследования атеросклероза (MESA) [11].

Атеросклеротические поражения эпикардальных коронарных артерий обычно приводят к кальцификации, которая служит их надежным маркером. Исключение составляют ряд состояний, например хроническая болезнь почек, при кото-

рой коронарная кальцификация может развиваться и без выраженного атеросклероза [12]. Процесс кальцификации артерий после стадии формирования жировых полосок иногда наблюдается уже со второй декады жизни. Кальциноз коронарных артерий атеросклеротического генеза затрагивает преимущественно внутреннюю оболочку сосуда (туника интима) в отличие от другой природы процесса кальцификации в средней оболочке сосуда (туника медиа) [13]. Отложение кальция в коронарных артериях сопровождается уменьшением перфузии миокарда и другими негативными последствиями.

Кальциноз интимы коронарных артерий намного чаще наблюдается у пожилых людей и связан с такими факторами риска, как сахарный диабет (СД), артериальная гипертензия, дислипидемия, мужской пол, табакокурение и гиперфосфатемия, тогда как кальциноз средней оболочки коронарных артерий также обусловлен возрастом и наличием СД, но дополнительно ассоциируется с нарушением функции почек, гиперкальциемией, гиперфосфатемией и длительным пребыванием на гемодиализе [14].

Процедура визуализации коронарного кальция, или метод Агатстона [15], в стандартном исполнении относительно проста и включает бесконтрастную КТ, которая не требует специальной подготовки пациента. В идеале пациент должен быть способен следовать инструкциям и задерживать дыхание на 3–5 сек., неподвижно находясь в положении лежа во время сканирования. Эффективная доза облучения низкая (обычно <1 мЗв), что сопоставимо с лучевой нагрузкой при скрининговой маммогра-

фии [16]. Толщина среза обычно устанавливается от 2,5 до 3 мм. Уровень кальциноза определяется путем расчета индекса Агатстона, отражающего одновременно плотность и площадь кальцификатов (общий суммарный объем кальциноза) следующим образом: площадь кальциевого очага умножают на соответствующий фактор максимальной плотности, а затем суммируются данные по всем выявленным участкам кальцификации. Установлены оценочные коэффициенты плотности, выраженные в единицах Хаунсфилда (HU): 130–199 HU: 1; 200–299 HU: 2; 300–399 HU: 3; 400+ HU: 4. Результаты оценки кальцификации интерпретируются по шкале: 0 – не выявлено; 1–99 – легкая; 100–399 – умеренная; более 400 – тяжелая [13]. К другим специфическим методам количественного измерения кальцификации коронарных артерий относятся детекция кальциевого объема или плотности кальциевых очагов; визуальная оценка; оценка массы кальция и оценка вовлеченности сегмента [13].

Классический метод Агатстона имеет существенные ограничения, в частности неоптимальные воспроизводимость и пространственное разрешение; кроме того, он не учитывает новые режимы получения и реконструкции изображений с помощью современных сканеров. Очевидна потребность в дальнейшем совершенствовании методов оценки коронарного кальциноза (табл. 1) [17].

#### Дальнейшее совершенствование методики Агатстона

Текущую оценку индекса Агатстона можно усовершенствовать за счет одновременного учета средних и пиковых плотностей кальция, вари-

**Таблица 1.** Ограничения КТ-сканирования коронарных артерий, основанного на классическом методе Агатстона  
**Table 1.** Limitations of coronary CT imaging using the Agatston score

Фактор	Ограничения и возможные искажения
Толщина реконструкции (около 3 мм)	Небольшие или недостаточно плотные кальцинаты могут не достигать диагностического порога (130 HU) из-за частичного объемного эффекта. Увеличение толщины слоя снижает воспроизводимость повторных измерений. Хуже подходят для детальной 3D-оценки по сравнению с тонкими срезами
Стандартное напряжение трубки (120 кВп)	При таком режиме сложнее снижать лучевую нагрузку, чем при низкоэнергетических протоколах. Чувствительность к выявлению слабовыраженной кальцификации ниже, чем при сниженных значениях кВп
Максимальная плотность внутри кальцината	Повышенный шум приводит к росту пиковых значений плотности, тогда как средняя плотность остается стабильной. Это ограничивает использование низкодозных режимов, тонких реконструкций и некоторых вариантов итеративной реконструкции
Пороговые значения (130/200/300/400 HU)	Шаговая дискретизация шкалы не учитывает непрерывный характер изменения плотности бляшек
Суммарная оценка всех очагов	Присвоение одинаковой значимости кальцинатам в разных сегментах коронарного русла не отражает реального клинического вклада каждого участка в общий риск

Источник: адаптировано из [17].  
Source: adapted from [17].

абельности плотностных показателей и их связи с традиционными факторами риска атеросклеротических сердечно-сосудистых заболеваний (АССЗ), в особенности у пациентов с низкой кальциевой нагрузкой (часто «молодые» и нестабильные очаги низкой плотности) [18].

Плотность кальцинированных очагов демонстрирует обратную корреляцию с уязвимостью поражений и риском АССЗ в популяционных когортах при учете возраста и площади бляшек [18]. Отмечено, что измерения характеристик коронарного кальциноза более воспроизводимы, если использовать параметр средней плотности кальция по сравнению с пиковой плотностью кальция. Включение текстурных и морфологических КТ-особенностей кальцинированных бляшек, выходящих за рамки проведения традиционного метода Агатстона, может способствовать формированию более комплексных цифровых оценок коронарного кальциноза.

Помимо минимального порога обнаружения плотности кальция в 130 HU, важно также учитывать наличие максимального предела пиковой плотности для взвешивания баллов коронарного кальциноза (в настоящее время применяется коэффициент – 4 для всех очагов > 400 HU). Хотя оценки по традиционному методу Агатстона обладают высокой предиктивной ценностью, текущий метод подсчета может приводить к неправильной классификации риска АССЗ у лиц с высокоплотными бляшками и потенциально может быть оптимизирован путем интерпретации патофизиологического значения плотности кальция с учетом возраста, анатомического расположения очагов и их гемодинамических последствий, исходного риска и факта применения терапии статинами [19].

Со временем методы КТ-оценки коронарного кальция значительно совершенствовались от электронно-лучевой томографии и одноисточниковых мультidetекторных систем к более продвинутым технологиям, таким как двухисточниковая КТ и фотонно-счетная КТ. Эти технические достижения создали предпосылки для потенциального внедрения кардиоваскулярного скрининга в программы раннего выявления РЛ (табл. 2) [20].

### **Роль индекса Агатстона в оценке риска сердечно-сосудистых осложнений, обусловленных атеросклерозом**

КТ позволяет проводить оценку кальцификации коронарных артерий, хотя не все атеросклеротические очаги являются кальцинированными. Отмечено, что некальцинированные бляшки обычно не представляют высокий риск и не вызывают коронарную окклюзию, поскольку объем стеноза артерии при этом, как правило, не превышает 25%. Результаты скоринга коронарного

кальциноза путем расчета индекса Агатстона рассматриваются в качестве более важных, чем итоги других простых и доступных неинвазивных методов инструментальной визуализации, независимых предикторов развития больших неблагоприятных кардиоваскулярных событий, и определяют стратегии первичной кардиоваскулярной профилактики (табл. 3) [13, 18].

### **Международные рекомендации по выбору стратегий скоринга коронарного кальция в рамках кардиоваскулярной профилактики и их экономическая оценка**

Результаты оценки кардиоваскулярного риска имеют важное клиническое значение, обосновывая принятие решений о назначении или эскалации лекарственной профилактики АССЗ. Например, назначение статинов, доказавших высокую эффективность, требует строгой оценки индивидуальных рисков из-за возможных побочных эффектов [42, 43].

Неблагоприятные сердечно-сосудистые события чаще наблюдаются у пациентов, относящихся к нижней границе спектра категорий риска просто потому, что они представляют большую часть населения, и это явление иногда называют парадоксом Роуза. Создание эффективного скринингового алгоритма остается непростой задачей, сосредоточенной на тонком переопределении риска у пациентов пограничной или промежуточной группы. Хотя применение метода Агатстона позволяет уточнить стратификацию рисков, его выполнение ассоциировано со значительными затратами. Кроме того, избыточный скрининг на основе КТ может повысить вероятность развития злокачественных новообразований из-за воздействия рентгеновских лучей [12]. Поэтому важен правильный отбор пациентов в КТ-скрининг с применением обоснованных критериев включения.

В рекомендациях АСС/АНА 2018 г. по контролю уровня холестерина предлагается определять индекс Агатстона в системе первичной профилактики АССЗ у взрослых с промежуточным риском или с отдельными случаями пограничного риска, если решение о применении статинов остается неопределенным (класс рекомендаций IIa, уровень доказательности B-NR). В руководстве ESC/EAS 2021 г. по контролю уровня холестерина также отмечено, что подсчет индекса коронарного кальция может быть использован для уточнения классификации риска (класс рекомендаций IIb, уровень доказательности B). Подробнее в публикации [43].

В медицинской литературе представлены результаты изучения клинико-экономической рациональности некоторых стратегий КТ-скоринга коронарного кальция (табл. 4). Инкрементальные

**Таблица 2.** Хронология появления технологических КТ-инноваций в визуализации и количественной оценке коронарного кальция  
**Table 2.** Timeline of CT innovations in medical imaging and quantitative assessment of coronary calcium

<b>КТ С ФОТОННО-СЧЕТНЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ</b> <b>(Photon-Counting CT, PCCT)</b> <b>Обеспечивает временное разрешение 66 мс и время оборота 250 мс.</b> <b>Технология использует детекторы, регистрирующие отдельные рентгеновские фотоны, что повышает пространственное разрешение, снижает шум и улучшает контрастность, особенно при оценке мелких кальцинов и движущихся коронарных структур</b>	
2023	<b>Eberhard et al. [21]:</b> КТ с фотонно-счетными детекторами 1-го поколения обеспечивают высокую точность расчета индекса коронарного кальция при использовании моноэнергетических реконструкций и демонстрируют стабильность результатов оценки кальциевого индекса <u>даже при существенно сниженных дозах облучения</u>
2021	<b>Shwartz et al. [22]:</b> PCCT 1-го поколения vs DSCT 3-го поколения. При одинаковом временном разрешении (66 мс) и времени оборота (250 мс) PCCT обеспечивает аналогичную точность оценки кальциноза коронарных артерий <u>но при более низкой лучевой нагрузке</u>
<b>КТ С ДВУМЯ ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ</b> <b>(Dual-Source CT, DSCT)</b> <b>Временное разрешение 66–83 мс (1e/2e/3e поколения DSCT); время вращения 250–330 мс</b>	
2017	<b>Vonder et al. [23]:</b> DSCT 1, 2 и 3-го поколений Для 1-го поколения характерны временное разрешение 83 мс, время оборота 330 мс и коллимация 64 × 0,6 мм; для 2-го – 75, 280 мс и 128 × 0,6 мм; для 3-го – 66, 250 мс и 196 × 0,6 мм соответственно. Все поколения обеспечивали сопоставимую выявляемость кальцинов, однако 3-е поколение демонстрировало наивысшую воспроизводимость при моделировании движения коронарных артерий и позволяло надежно регистрировать прогрессирование кальциноза, начиная с увеличения более чем на 3,4%. Массовый (mass) кальциевый индекс оказывался менее чувствительным к артефактам движения по сравнению с объемным (volume) и шкалированием по Агатстону
2014	Исследование <b>ROBINSCA [24], [25]:</b> 2-е поколение DSCT с: а) высокопитчевым спиральным режимом (pitch 3–4, при ЧСС <65 уд./мин.; или б) последовательным режимом при нерегулярном ритме либо ЧСС >65 уд./мин., с ЭКГ-триггерингом на 60% интервала R–R, применения для оценки индекса коронарного кальция у 13 000 бессимптомных пациентов. Обнаружено: стратификация риска по индексу кальция относилась к категории высокого риска и приводила к более редким рекомендациям профилактического лечения по сравнению с моделью SCORE
2012	<b>Dey et al. [26]:</b> 1-е поколение DSCT: НДКТ в режиме 100 kV (~1 mSv) сопровождался повышением уровня шума, однако обеспечивал сопоставимые значения индекса и неизменность категорий риска по Агатстону по сравнению со стандартным протоколом 120 kV (~1,7 mSv)
2007	<b>Groen et al. [27]:</b> 1-е поколение DSCT vs. EBТ и 64 MDCT: ЭКГ-синхронизированная DSCT по качеству наиболее близка к EBТ; DSCT демонстрировала на 50% меньше искажений от движений сердца, чем 64-MDCT, хотя в целом EBТ оказалась наименее подвержена искажениям; толщина среза 0,6 мм уменьшает артефакты движения при MDCT и DSCT.
<b>МУЛЬТИСПИРАЛЬНАЯ КТ</b> <b>(Multi-Detector CT, MDCT)</b> <b>временное разрешение 83–300 мс (4–320 срезные системы); время оборота 270–800 мс</b>	
2013	<b>Deprez et al. [28]:</b> 256-MDCT; временное разрешение 135 мс, время оборота 270 мс. НДКТ с низким kV: отмечается завышение индекса Агатстона, обусловленное изменением оценок плотности кальция при модификации kV
2009	<b>Budoff et al. [29]:</b> 4/16/64-MDCT vs EBТ. 16/64-MDCT временное разрешение 160-400 мс, время вращения 330-500 мс. Сравнение EBТ & 4-MDCT из исследования MESA с 16/64-MDCT: 16/64-MDCT – схожая вариабельность с EBТ. EBТ ↑ уровни шума. 16- & 64-MDCT ↑ вариабельность и ↑ артефакты движения (временное разрешение <100 мс EBТ). Вариабельность между производителями КТ-систем: сканеры с лучшим временным разрешением - ↓ артефакты движения и ↓ вариабельность при повторных сканированиях
2011   2007	<b>Groen et al. [30], [31]:</b> 320-MDCT vs EBТ Временное разрешение / время оборота – 175/350 мс (2007) и 137/275 мс (2011); для обеспечения соответствия показателей индекса кальция по Агатстону на 320-MDCT данным EBТ требуются следующие параметры: напряжение на трубке 100 kV, толщина среза / инкремент = 3,0/3,0 мм и ядро реконструкции FC12

2007	<b>Greuter et al. [32]: 64-MDCT временное разрешение 83-165 мс, время оборота 370-400 мс</b> Кальциевый индекс по итогам 64-MDCT коррелировал с EBТ, но снижался на 2–10% (последовательный и спиральный режимы), что может приводить к ошибочной классификации пациентов в более низкие категории риска при использовании тех же пороговых значений
	<b>Groen et al. [33]: 64-MDCT временное разрешение 83-165 мс, время оборота 330 мс; вариабельность кальциевого индекса увеличивалась с ростом ЧСС (<math>\pm 5\%</math> в покое vs 18–25% при 110 уд./мин.) и была минимальной при более тонких срезах на 64-MDCT; наибольшая вариабельность результатов при любых условиях сканирования отмечалась для кальциноватов низкой плотности</b>
2000	<b>MultiEthnic Study of Atherosclerosis, EBТ &amp; 4-MDCT [34], [35], [36]</b> У бессимптомной популяции в США использовали EBТ и 4-MDCT для скрининга коронарного кальция 4-MDCT: 50% R-R, временное разрешение 250–300 мс, время оборота 500–800 мс. EBТ: 80% R-R, временное разрешение 50–100 мс. EBТ выдавала больше шума (8,3% vs 2,0%), тогда как MDCT больше артефактов движения (4,5% vs 14,1%)
<b>ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТОМОГРАФИЯ (Electron-Beam Tomography, EBТ) Временное разрешение 50–100 мс, отсутствие механического вращения рентгеновской трубки</b>	
1997	<b>Rotterdam Coronary Calcification Study [37], [38], [39]</b> EBТ Применение EBТ (временное разрешение 100 мс, ЭКГ-синхронизация в фазу 80% R-R интервала). Более высокий индекс коронарного кальция ассоциировался с повышенным риском развития сердечно-сосудистых заболеваний
1990	<b>Agatston et al. [15]</b> EBТ Впервые предложен индекс Агатстона. EBТ, временное разрешение 100 мс, ЭКГ-синхронизация в фазу 80% R-R интервала, срез 3 мм, 130 kVp, 630 mA
1989	<b>Tanenbaum et al. [40]</b> Чувствительность метода EBТ в выявлении кальциноза коронарных артерий у пациентов с отягощенным сердечно-сосудистым анамнезом составила 88%, при этом отмечалось повышение чувствительности по мере увеличения тяжести патологического процесса

**Примечание.** Технологии визуализации, применяемые для количественной оценки коронарного кальция, последовательно совершенствовались от электронно-лучевой томографии (electron-beam tomography, EBТ) к мультиспиральной компьютерной томографии (multidetector computed tomography, MDCT), двухисточниковой КТ (dual-source computed tomography, DSCT) и фотонно-счетной КТ (photon-counting computed tomography, PCCT). Представленная таблица суммирует данные исследований, последовательно оценивавших диагностическую эффективность и техническую воспроизводимость этих методик – от фантомных моделей до крупных популяционных когорт – с учетом ключевых параметров, включая временное разрешение (temporal resolution, TR) и время оборота (rotation time, RT), определяющих точность количественной оценки коронарного кальция. ROBINSCA – Risk Or Benefit IN Screening for Cardiovascular Disease), R-R (интервал между двумя последовательными комплексами R на электрокардиограмме, отражающий длительность сердечного цикла).

Источник: адаптировано из Walstra et al. 2025 [20]; лицензия: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.  
Source: adapted from Walstra et al. 2025 [20]; license: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

коэффициенты «затраты–эффективность» (ICER) для проведения кальциевого скоринга в разных исследованиях составили 15 900, 37 400 и 45 300 долл. за один год жизни, скорректированный по качеству (QALY), по сравнению с отсутствием скрининга (все значения приведены в долларах США по состоянию на 2021 г.) [10].

Наличие сопутствующих заболеваний, таких как СД, отражается на принятии терапевтических решений. Например, традиционные калькуляторы сердечно-сосудистого риска, такие как объединенные когортные уравнения и SCORE2-Diabetes, трактуют СД как категориальный эквивалент риска, предполагая одинаково высокий риск АССЗ у всех пациентов с этой патологией [47]. Согласно действующим рекомендациям ADA и ACC/AHA, всем пациентам с СД в возрасте 40–75 лет показана как минимум терапия статинами средней интенсивности независимо от уровня коронарного кальция. При наличии дополнительных факторов сердечно-сосудистого риска предпочтение следует отдавать высокоинтенсивной статинотерапии [48]. Тем не менее у многих

пациентов с СД в течение десятилетий не развиваются сердечно-сосудистые осложнения, тогда как у других преждевременные проявления ИБС возникают даже при оптимальном гликемическом контроле [49].

Микросимуляционное моделирование показывает, что профилактика с использованием оценки коронарного кальция у взрослых с СД (40–75 лет) является экономически эффективной по сравнению с лечением, основанным на традиционных рекомендациях. Базовый ICER около 35–50 тыс. долл. США за QALY и <25 тыс. долл. США за QALY в анализе чувствительности (например, снижение стоимости оценки индекса Агатстона или улучшение приверженности лечению в группах с ненулевым индексом Агатстона). Экономия возникает за счет эскалации терапии, когда индекс Агатстона  $\geq 100$ , и деэскалации в случаях, когда результаты = 0, что позволяет рассматривать методику оценки коронарного кальция в качестве «термометра» риска [49]. Рекомендации по назначению лекарственной профилактики по итогам КТ-скоринга коронарного кальция у пациентов с СД обсуждаются в работе [49].

**Таблица 3.** Роль традиционного метода Агатстона в международных рекомендациях  
**Table 3.** Role of the traditional Agatston score in international guidelines

Регион или организация	Описание роли оценки коронарного кальциноза
Общий тренд: США, Канада	Дополнительный инструмент для уточнения необходимости назначения статинов у пациентов с промежуточным уровнем риска
Профессиональные сообщества США (NLA, SCCT)	Агатстон = 0 обычно интерпретируется как отсутствие необходимости в назначении статинов с последующей переоценкой через 3-7 лет (NLA); при значениях Агатстона >100 рекомендуется высокоинтенсивная гиполипидемическая терапия, а в отдельных случаях в сочетании с низкими дозами аспирина (81 мг)
USPSTF (США)	Недостаточно данных, чтобы рекомендовать рутинное использование метода Агатстона в дополнение к традиционной оценке риска ACC3 у бессимптомных взрослых
Великобритания	Инструмент уточнения показаний к гиполипидемической терапии, может применяться у бессимптомных пациентов при наличии признаков ишемии на ЭКГ
Европа	Инструмент реклассификации (повышения или понижения) категории риска у пациентов (например, у пациентов с СД 1-го типа моложе 35 лет и СД 2-го типа моложе 50 лет, при длительности диабета менее 10 лет и отсутствии других факторов риска)
Австралия	Метод уточнения риска, особенно при семейной отягощенности или при другихстораживающих признаках; а также у пациентов высокого риска, отказывающихся от лечения
Китай	Метод, помогающий определить целесообразность назначения аспирина в первичной кардиоваскулярной профилактике
Япония	Инструмент прогнозирования при умеренном и высоком риске; рекомендации опираются на локальные данные

**Сокращения:** NLA (National Lipid Association) – Национальная ассоциация по изучению липидов; SCCT (Society of Cardiovascular Computed Tomography) – Общество кардиоваскулярной КТ; USPSTF (United States Preventive Services Task Force) – Рабочая группа США по профилактике.

**Примечание:** удвоение индекса Агатстона обычно отражает повышение вероятности ACC3 на 14% при условии неизменности сопутствующих факторов риска. Международные профессиональные сообщества пока не достигли единого консенсуса относительно применения результатов кальциевого скрининга для назначения ацетилсалициловой кислоты в рамках первичной профилактики [16].

Источник: адаптировано из [41].  
 Source: adapted from [41].

### Роль ИИ в комбинированных программах скрининга

Известно, что в рамках программ скрининга РЛ обычно применяется неконтрастная, не синхронизированная с ЭКГ, низкодозная КТ грудной клетки. Имеющиеся данные не подтверждают стабильное и одинаково высокое качество визуализации коронарных артерий при использовании негейтированных, т.е. выполняемых без ЭКГ-синхронизации, КТ-протоколов для комбинированного скрининга легких и сердечно-сосудистых заболеваний. Такой протокол существенно ограничивает качество визуализации и точность сегментации коронарных артерий. При этом кальцинаты другой локализации, например, в области аортального клапана или перикарда, могут ошибочно классифицироваться как коронарный кальциноз. Надежные результаты в таких условиях продемонстрированы только для высокопитчевых систем с высокой временной разрешающей способностью – томографов 2-го и 3-го поколений с двойным источником (DSCT), а также фотонно-счетных КТ (PCCT, см. табл. 2).

Современные ИИ-алгоритмы снижают риск подобных ошибок за счет предварительной сег-

ментации анатомических структур сердца. В научной литературе растет интерес к полностью автоматизированным системам количественной оценки коронарного кальциноза на неконтрастных, не синхронизированных низкодозных КТ. Большинство автоматизированных ИИ-систем для оценки коронарного кальциноза обеспечивают точное количественное определение коронарного кальция и позволяют эффективно стратифицировать участников скрининга легких на группы низкого и высокого сердечно-сосудистого риска, не увеличивая нагрузку на врача. Вместе с тем значительное разнообразие программных решений, различающихся по алгоритмам, качеству и функциональным характеристикам, подчеркивает необходимость их обязательной валидации перед внедрением в клиническую практику [20].

### Программа **Big-3:** концепция включения КТ-скрининга коронарного атеросклероза и ХОБЛ в программы раннего выявления рака легкого

В научной литературе поднимаются вопросы клинико-экономической целесообразности организации комплексного популяционного ис-

**Таблица 4.** Примеры изучения экономической целесообразности стратегий кальциевого скрининга  
**Table 4.** Examples for investigating the cost-effectiveness of several strategies for coronary calcium scoring

Анализируемые стратегии	Затраты на скрининг	Метод моделирования / дополнительные затраты <sup>1</sup> / прирост эффективности (QALY)	ICER US\$ (2021) / порог готовности платить за QALY / скрининг рентабельный?
Критерии назначения статинов при PCE $\geq 2\%$ и индексе Агатстона $> 0$ по сравнению с только PCE $\geq 7,5\%$ у пациентов с преждевременной ИБС в семейном анамнезе <sup>2</sup>	US\$374: КТ-сканирование, клинический осмотр, оценка липидного профиля, лечение радиационно-индуцированного рака и затраты, связанные со случайными находками	Микросимуляция / на пациента: US\$145 / 0,0097 QALY	\$15 914 / US\$50 000 / Да Venkataraman (2021) [44]
Кальциевый скрининг при промежуточном риске ИБС vs текущая практика: события, связанные с ИБС и не-ИБС, у лиц с промежуточным риском без дополнительной профилактики	US\$105: кальциевый скрининг	Когортная модель Маркова / на пациента: US\$4,670 / 0,13 QALY	\$45 258 / US\$50 000 / Да <sup>3</sup> van Kempen (2011) [45]
Кальциевый скрининг vs текущая практика (без моделирования дополнительных вмешательств)	US\$20 и до US\$325 включительно + US\$80: определение факторов сердечно-сосудистого риска по Фрамингему, включая проведение лабораторного обследования (биохимический профиль) и очную консультацию врача	Микросимуляция / на пациента: US\$328 / 0,01 QALY	\$37 392 / - / Да Van Kempen (2016) [46]

**Примечания:** <sup>1</sup> – учитывают все последующие затраты: дополнительную диагностику при положительных результатах, лечение выявленных ранних стадий, предотвращенные затраты на лечение поздних стадий, возможные осложнения и ложноположительные результаты, долгосрочные медицинские расходы, а также непрямые затраты при анализе с позиции общества;

<sup>2</sup> – на показатель ICER для стратегии с применением кальциевого скрининга основное влияние оказывали затраты на проведение КТ-исследования и назначение статинов; при этом ICER улучшался в отдельных подгруппах пациентов: у мужчин, лиц старше 60 лет и при 10-летнем риске по PCE  $\geq 7,5\%$ ; стратегия проведения КТ-сканирования кальция у пациентов с низким риском (10-летний риск  $< 5\%$ ) или в возрасте 40–50 лет не демонстрировала экономическую целесообразность (Venkataraman P. et al., 2021, [44]);

<sup>3</sup> – в целом, принимая во внимание четыре изученные стратегии профилактики, скрининг коронарного кальция методом КТ демонстрировал вероятность экономической целесообразности у мужчин со средним риском ИБС, тогда как для женщин со сравнимым риском его рентабельность не подтверждалась (van Kempen et al., 2011, [45]).

Источник: адаптировано из [10].  
 Source: adapted from [10].

следования методом низкодозной КТ в рамках одномоментного скрининга заболеваний органов грудной полости, включая атеросклероз коронарных артерий, РЛ и ХОБЛ – так называемый Big-3-скрининг [4, 5, 50]. Сторонники идеи комбинированной КТ-диагностики органов грудной полости обосновывали данный подход прежде всего необходимостью повышения экономической эффективности массового скрининга рака легкого [10]. В исследовании LUMASCAN (LUng Cancer Screening, MArkers and low-dose computed tomography SCANner) показана осуществимость комбинированного скрининга РЛ, ХОБЛ и сердечно-сосудистых заболеваний. Его централизованная организация обеспечивала высокую вовлеченность участников и эффективную координацию работы медицинских специалистов [51].

В сложившейся ранее практике (данные 2019 г.) [4] количественная оценка каждого биомаркера для диагностики патологий группы Big-3 выполняется на основе отдельных КТ-исследований,

параметры которых специально оптимизированы под конкретный тип биомаркера. Существующие протоколы отличаются по режимам сканирования и реконструкции, что обеспечивает высокую точность измерений.

Теоретически возможно выполнить все три исследования последовательно в рамках одного визита, применив каждый протокол поочередно. Такой подход организационно прост и основан на использовании валидированных стандартных методик. Однако суммарная лучевая нагрузка при выполнении трех полноценных диагностических протоколов может превысить допустимые значения для скрининговых программ (ориентировочно 2,3 мЗв, с максимально допустимым уровнем около 5 мЗв) [4].

Создание единого комбинированного протокола, который позволил бы одновременно получать корректные количественные данные по всем биомаркерам, представляет собой значительную техническую и методологическую задачу. Унифи-

кация параметров сканирования неизбежно связана с компромиссами, которые могут негативно сказаться на качестве изображений, воспроизводимости и устойчивости измерений. В качестве базовой платформы для разработки комбинированного протокола «3 в 1» может быть выбран либо протокол кальциевого скоринга, либо протокол для выявления легочных узлов в зависимости от клинических задач и предпочтений.

Прежде чем переходить к практической реализации такого объединенного протокола, необходимо до конца определить, как использование сниженного тока трубки и измененного шага спирали (pitch), характерных для низкодозных режимов, влияет на количественную оценку биомаркеров эмфиземы и коронарного кальция [4].

Представляется важным изучить, каким образом может измениться оптимальная целевая популяция для скрининга при переходе от программ раннего КТ-выявления РЛ к многофакторным (мультидисциплинарным) скрининговым стратегиям. Примерами наиболее известных исследований эффективности скрининга РЛ методом НДКТ являются Национальное исследование по скринингу рака легкого (National Lung Screening Trial, NLST) в США и Нидерландско-Левенское исследование по скринингу РЛ (Nederlands-Leuvens Longkanker Screenings Onderzoek, NELSON [52]) в Европе (табл. 5).

Предварительные оценки медицинских технологий показывают, что комбинированный скрининг сердечно-сосудистых заболеваний и ХОБЛ обладает более высокой экономической эффективностью по сравнению с изолированным скринингом

рака легкого. Максимально допустимые затраты на человека для внедрения скрининга РЛ при пороге готовности общества платить (WTP) в размере €20 000/QALY составляли €113; при включении ХОБЛ, ССЗ или обоих состояний этот показатель возрастал в 2–8,5 раза. Сценарные анализы показывают: отбор групп высокого риска ИБС повышает экономическую эффективность скрининга больше, чем фокус на ХОБЛ. Расширение критериев отбора может повысить выявляемость раннего РЛ за пределами действующих критериев. Однако расширение критериев скрининга потребует проведения дополнительного числа КТ-исследований. Экономическое преимущество комбинированного скрининга перед изолированным скринингом РЛ обусловлено превентивным потенциалом выявления кардиоваскулярной патологии. При этом итоговая эффективность затрат критически зависит от демографических и клинических характеристик обследуемой популяции, что является ключевым фактором для оптимизации подобных мультидисциплинарных программ [54].

#### **Идея включения скрининга рака легкого в программы КТ-скоринга коронарного кальция: анализ «затраты – эффективность»**

Jiang и соавт. предположили, что включение визуализации и оценки верхних легочных полей при выполнении КТ-скоринга коронарного кальция (развернутое КТ органов грудной полости) может привести к повышению эффективности затрат. Авторы отметили, что традиционная КТ, регистрирующая проявления коронарной болезни сердца (ИБС), одновременно позволяет выяв-

**Таблица 5.** Пример наиболее известных исследований эффективности скрининговых программ РЛ  
**Table 5.** Most well-known studies on the efficiency of lung screening programs

	NLST	NELSON
Страна	США	Нидерланды, Бельгия
Дизайн	Ежегодная НДКТ vs рентгенография ОГК на протяжении трех лет	НДКТ на момент включения, а затем на 1, 3 и 5,5-м годах наблюдения vs отсутствие скрининга
Размер выборки	>53 000	~15 800
Возраст включения	55–74	50–74
Табакокурение	≥30 пачка-лет; отказ ≤15 лет	>15 сиг./сут. × >25 лет или >10 сиг./сут. × >30 лет; в настоящее время курят или бросили ≤10 лет назад
Подход к оценке узлов	Диаметр	Объем и время удвоения объема
Основной результат	↓ смертности от РЛ на ~20% при НДКТ [9]	↓ смертности от РЛ на ~24% у мужчин в условиях скрининга [9]
Примеры анализа «затраты – эффективность»	Симуляция на данных NLST: ICER = 17 119 €/QALY vs без скрининга; WTP = 20 000 €/QALY (Нидерланды) [53]	Симуляция на данных NELSON: ICER = 5 169 €/QALY vs без скрининга; WTP = 20 000 €/QALY (Нидерланды) [53]

Составлено авторами.  
Compiled by the author.

**Таблица 6.** Результат симуляции Монте-Карло: 10 000 итераций [7]  
**Table 6.** Monte Carlo Simulation Result of 10,000 iterations [7]

Медиана [10–90-й перцентили]	Изолированное КТ	Развернутое КТ грудной полости
Эффективность (QALY)	14,51 [14,34–14,67]	14,54 [14,38–14,70]
Затраты (\$)	747 [616–875]	1023 [861–1190]
ICER (\$/QALY)	10 447 [8039 – 13 186] - обычно считается экономически оправданным, поскольку это значение ICER < порога \$50 000/QALY (cost-effectiveness threshold)	

Источник: адаптировано из [7].  
 Source: adapted from [7]

лять узелковые образования в срединных и нижних отделах легких (обнаруживаются у 10–18% бессимптомных пациентов, проходящих обследование в связи с ИБС) [7]. При этом стандартный объем обследования не включает верхние легочные поля, где чаще всего встречаются первичные злокачественные новообразования [55].

Было показано, что развернутое КТ-сканирование грудной клетки является экономически выгоднее традиционного, поскольку оно позволяет выявлять РЛ (табл. 6). Для окончательного подтверждения его эффективности необходимо проведение проспективных исследований [7].

## Заключение

Дефицит ресурсов здравоохранения в сочетании с расширяющимися возможностями новых инструментов НДКТ, позволяющих диагностировать несколько патологий в рамках одного исследования, подчеркивает растущую значимость оценки мультимедицинских скрининговых подходов. НДКТ занимает в этом контексте особое место благодаря невысокой затратности, простоте и доступности, минимизированной лучевой нагрузке, неинвазивности и широкому спектру диагностических возможностей. Тем не менее остается открытым вопрос о том, как может измениться оптимальная группа для скрининга (критерии включения / исключения) при переходе от фрагментированных программ к междисциплинарным моделям. Кроме того, для включения оценки сердечно-сосудистого риска в скрининг РЛ обычно требуется точное определение кальциевого индекса на тех

же неконтрастных, негейтированных низкодозных КТ.

Относительно новые технологии, такие как КТ с двойным источником (DSCT) и фотонно-счетные томографы, демонстрируют высокую воспроизводимость оценки коронарного кальциноза, позволяя надежно определять индекс кальция по одному негейтированному низкодозному исследованию, что делает их перспективным инструментом для оппортунистической сердечно-сосудистой диагностики в рамках программ скрининга РЛ [10, 20].

Для центров, не располагающих сканерами с высокой временной разрешающей способностью, методы на основе ИИ могут стать практичной альтернативой: они позволяют автоматически выполнять количественную оценку кальция коронарных артерий и одновременно анализировать качество изображения, указывая на надежность полученного результата, а также на необходимость выполнения дополнительной стандартной визуализации [20]. Отмечается потребность в валидации ИИ-протоколов скрининга.

Приоритетом остается систематическое изучение баланса весомой пользы и неблагоприятных ятрогенных последствий различных протоколов комбинированного лучевого скрининга, включая риски радиационно-индуцированного канцерогенеза и гипердиагностики [10]. При проведении клинико-экономических оценок необходимо учитывать сложность конкурирующих рисков и выраженную гетерогенность заболеваний в целевой популяции. Требуется формирование многоуровневой доказательной базы, интегрирующей результаты клинических исследований и математического моделирования.

## Список литературы

1. Muhlestein J.B., Knowlton K.U., Le V.T. et al. Coronary Artery Calcium Versus Pooled Cohort Equations Score for Primary Prevention Guidance. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2022;15(5):843-855. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.11.006>
2. Gómez-Díaz D., Díez-Villanueva P., López-Melgar B. et al. Role of Coronary Artery Calcium Score CT in Risk Stratification of Asymptomatic Individuals. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. 2025;12(11):442. <https://doi.org/10.3390/jcdd12110442>
3. Xia C., Rook M., Pelgrim G.J. et al. Early imaging biomarkers of lung cancer, COPD and coronary artery disease in the general population: rationale and design of the ImaLife (Imaging in Lifelines) Study. *European Journal of Epidemiology*. 2020;35(1):75-86. <https://doi.org/10.1007/s10654-019-00519-0>
4. Heuvelmans M.A., Vonder M., Rook M. et al. Screening for Early Lung Cancer, Chronic Obstructive Pulmonary Disease, and Cardiovascular Disease (the Big-3) Using Low-dose Chest Computed Tomography. *Journal of Thoracic Imaging*. 2019;34(3):160-169. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000379>
5. Spinnato P. Low-Dose Computed Tomography Screening Proposal for the “Big-3 Diseases”: Lung Cancer, Chronic Obstructive Pulmonary Disease, and Cardiovascular Disease. *Academic Radiology*. 2021;28(1):46-48. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2020.07.035>
6. Ravara S. Efficiency and cost-effectiveness of lung cancer screening: is combined screening of Big-3 diseases a major opportunity? *European Radiology*. 2024;35(6):2932-2934. <https://doi.org/10.1007/s00330-024-11179-4>
7. Jiang B., Linden P.A., Gupta A. et al. Conventional Computed Tomographic Calcium Scoring vs full chest CTCS for lung cancer screening: a cost-effectiveness analysis. *BMC Pulmonary Medicine*. 2020;20(1):187. <https://doi.org/10.1186/s12890-020-01221-8>
8. Fentanes E., Cainzos Achirica M., Nasir K. et al. The Role of Coronary Artery Calcium Testing for Value-Based Clinical Trials in Primary Prevention. *Current Atherosclerosis Reports*. 2021;23(12):73. <https://doi.org/10.1007/s11883-021-00969-6>
9. de Koning H.J., van der Aalst C.M., de Jong P.A. et al. Reduced Lung-Cancer Mortality with Volume CT Screening in a Randomized Trial. *New England Journal of Medicine*. 2020;382(6):503-513. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1911793>
10. Behr C.M., Oude Wolcherink M.J., IJzerman M.J. et al. Population-Based Screening Using Low-Dose Chest Computed Tomography: A Systematic Review of Health Economic Evaluations. *PharmacoEconomics*. 2023;41(4):395-411. <https://doi.org/10.1007/s40273-022-01238-3>
11. Silverman M.G., Blaha M.J., Krumholz H.M. et al. Impact of coronary artery calcium on coronary heart disease events in individuals at the extremes of traditional risk factor burden: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *European Heart Journal*. 2014;35(33):2232-2241. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehf508>
12. van der Bijl P., Kuneman J., Bax J.J. Coronary artery calcium scoring in the general population. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging*. 2022;24(1):36-37. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeac201>
13. Mohan J., Shams P., Bhatti K. et al. Coronary Artery Calcification. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519037/> (Accessed 2025 Dec 16).
14. Madhavan M.V., Tarigopula M., Mintz G.S. et al. Coronary Artery Calcification: Pathogenesis and Prognostic Implications. *Journal of the American College of Cardiology*. 2014;63(17):1703-1714. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.01.017>
15. Agatston A.S., Janowitz W.R., Hildner F.J. et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *Journal of the American College of Cardiology*. 1990;15(4):827-832. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(90\)90282-T](https://doi.org/10.1016/0735-1097(90)90282-T)
16. Lee E., Koh S., Sia C.-H. Coronary artery calcium scoring in primary care. *Singapore Medical Journal*. 2025;66(3):163-166. <https://doi.org/10.4103/singaporemedj.SMJ-2024-211>
17. Willemink M.J., van der Werf N.R., Nieman K. et al. Coronary artery calcium: A technical argument for a new scoring method. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2019;13(6):347-352. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2018.10.014>
18. Razavi A.C., Agatston A.S., Shaw L.J. et al. Evolving Role of Calcium Density in Coronary Artery Calcium Scoring and Atherosclerotic Cardiovascular Disease Risk. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2022;15(9):1648-1662. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2022.02.026>

19. Blaha M.J., Mortensen M.B., Kianoush S. et al. Coronary Artery Calcium Scoring: Is It Time for a Change in Methodology? *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2017;10(8):923-937. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.05.007>
20. Walstra A.N.H., Gratama J.W.C., Heuvelmans M.A. et al. Early detection of cardiovascular disease in chest population screening: challenges for a rapidly emerging cardiac CT application. *British Journal of Radiology*. 2025;98(1175):1912-1922. <https://doi.org/10.1093/bjr/tqaf195>
21. Eberhard M., Mergen V., Higashigaito K. et al. Coronary Calcium Scoring with First Generation Dual-Source Photon-Counting CT – First Evidence from Phantom and In-Vivo Scans. *Diagnostics*. 2021;11(9):1708. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11091708>
22. Schwartz F.R., Daubert M.A., Molvin L. et al. Coronary Artery Calcium Evaluation Using New Generation Photon-counting Computed Tomography Yields Lower Radiation Dose Compared With Standard Computed Tomography. *Journal of Thoracic Imaging*. 2023;38(1):44-45. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000685>
23. Vonder M., Pelgrim G.J., Huijse S.E.M. et al. Coronary artery calcium quantification on first, second and third generation dual source CT: A comparison study. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2017;11(6):444-448. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2017.09.002>
24. Vonder M., van der Aalst C.M., Vliegenthart R. et al. Coronary Artery Calcium Imaging in the ROBINSCA Trial. *Academic Radiology*. 2018;25(1):118-128. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2017.07.010>
25. van der Aalst C.M., Denissen S.J.A.M., Vonder M. et al. Screening for cardiovascular disease risk using traditional risk factor assessment or coronary artery calcium scoring: the ROBINSCA trial. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging*. 2020;21(11):1216-1224. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa168>
26. Dey D., Nakazato R., Pimentel R. et al. Low radiation coronary calcium scoring by dual-source CT with tube current optimization based on patient body size. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2012;6(2):113-120. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2011.12.008>
27. Groen J.M., Greuter M.J.W., Vliegenthart R. et al. Calcium scoring using 64-slice MDCT, dual source CT and EBT: a comparative phantom study. *International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2008;24(5):547-556. <https://doi.org/10.1007/s10554-007-9282-0>
28. Deprez F.C., Vlassenbroek A., Ghaye B. et al. Controversies about effects of low-kilovoltage MDCT acquisition on Agatston calcium scoring. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2013;7(1):58-61. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2012.11.006>
29. Budoff M.J., McClelland R.L., Chung H. et al. Reproducibility of Coronary Artery Calcified Plaque with Cardiac 64-MDCT: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *American Journal of Roentgenology*. 2009;192(3):613-617. <https://doi.org/10.2214/AJR.08.1242>
30. Groen J.M., Kofoed K.F., Zacho M. et al. Calcium score of small coronary calcifications on multidetector computed tomography: Results from a static phantom study. *European Journal of Radiology*. 2013;82(2):e58-e63. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.09.018>
31. Kang E.-J. Clinical Applications of Wide-Detector CT Scanners for Cardiothoracic Imaging: An Update. *Korean Journal of Radiology*. 2019;20(12):1583. <https://doi.org/10.3348/kjr.2019.0327>
32. Greuter M.J.W., Dijkstra H., Groen J.M. et al. 64 slice MDCT generally underestimates coronary calcium scores as compared to EBT: A phantom study. *Medical Physics*. 2007;34(9):3510-3519. <https://doi.org/10.1118/1.2750733>
33. Groen J.M., Greuter M.J., Schmidt B. et al. The Influence of Heart Rate, Slice Thickness, and Calcification Density on Calcium Scores Using 64-Slice Multidetector Computed Tomography: A Systematic Phantom Study. *Investigative Radiology*. 2007;42(12):848-855. <https://doi.org/10.1097/RLI.0b013e318154c549>
34. Budoff M.J., McClelland R.L., Nasir K. et al. Cardiovascular events with absent or minimal coronary calcification: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *American Heart Journal*. 2009;158(4):554-561. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2009.08.007>
35. Bild D.E., Bluemke D.A., Burke G.L. et al. Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis: Objectives and Design. *American Journal of Epidemiology*. 2002;156(9):871-881. <https://doi.org/10.1093/aje/kwf113>
36. Carr J.J., Nelson J.C., Wong N.D. et al. Calcified Coronary Artery Plaque Measurement with Cardiac CT in Population-based Studies: Standardized Protocol of Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA) and Coronary Artery Risk Development in Young Adults (CARDIA) Study 1. *Radiology*. 2005;234(1):35-43. <https://doi.org/10.1148/radiol.2341040439>

37. Vliëgenthart R., Oudkerk M., Hofman A. et al. Coronary Calcification Improves Cardiovascular Risk Prediction in the Elderly. *Circulation*. 2005;112(4):572-577. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.104.488916>
38. Elias-Smale S.E., Proença R.V., Koller M.T. et al. Coronary Calcium Score Improves Classification of Coronary Heart Disease Risk in the Elderly: The Rotterdam Study. *Journal of the American College of Cardiology*. 2010;56(17):1407-1414. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.06.029>
39. Hofman A., Brusselle G.G.O., Murad S.D. et al. The Rotterdam Study: 2016 objectives and design update. *European Journal of Epidemiology*. 2015;30(8):661-708. <https://doi.org/10.1007/s10654-015-0082-x>
40. Tanenbaum S.R., Kondos G.T., Veselik K.E. et al. Detection of calcific deposits in coronary arteries by ultrafast computed tomography and correlation with angiography. *American Journal of Cardiology*. 1989;63(12):870-872. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(89\)90060-X](https://doi.org/10.1016/0002-9149(89)90060-X)
41. Golub I.S., Termeie O.G., Kristo S. et al. Major Global Coronary Artery Calcium Guidelines. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2023;16(1):98-117. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2022.06.018>
42. Schwarz E., Tambè V., De Simoni S. et al. Coronary Calcium Scoring as Prediction of Coronary Artery Diseases with Low-Dose Dual-Source CT. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. 2025;12(11):425. <https://doi.org/10.3390/jcdd12110425>
43. Андреев Д.А., Камынина Н.Н. Риск-ориентированная стратегия – путь к повышению эффективности кардиоваскулярной профилактики и рациональному использованию ресурсов первичного звена здравоохранения. *Здоровье мегаполиса*. 2025;6(4):86-101. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2025.v.6i4-1;86-101>
44. Venkataraman P., Kawakami H., Huynh Q. et al. Cost-Effectiveness of Coronary Artery Calcium Scoring in People With a Family History of Coronary Disease. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2021;14(6):1206-1217. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.11.008>
45. van Kempen B.J.H., Spronk S., Koller M.T. et al. Comparative Effectiveness and Cost-Effectiveness of Computed Tomography Screening for Coronary Artery Calcium in Asymptomatic Individuals. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011;58(16):1690-1701. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.05.056>
46. van Kempen B.J.H., Ferket B.S., Steyerberg E.W. et al. Comparing the cost-effectiveness of four novel risk markers for screening asymptomatic individuals to prevent cardiovascular disease (CVD) in the US population. *International Journal of Cardiology*. 2016;203:422-431. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.10.171>
47. Scilletta S., Di Marco M., Miano N. et al. Cardiovascular risk profile in subjects with diabetes: Is SCORE2-Diabetes reliable? *Cardiovascular Diabetology*. 2025;24(1):222. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02769-7>
48. Virani S.S., Newby L.K., Arnold S.V. et al. 2023 AHA/ACC/ACCP/ASPC/NLA/PCNA Guideline for the Management of Patients With Chronic Coronary Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2023;148(9):e9-e119. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001168>
49. Irannejad K., Budoff M. Coronary Calcium Scoring in Diabetes: Recalibrating Cardiovascular Risk in 2025. *Journal of Diabetes*. 2025;17(12):e70178. <https://doi.org/10.1111/1753-0407.70178>
50. Behr C., Koffijberg H., IJzerman M. et al. Willingness to participate in combination screening for lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease and cardiovascular disease in four European countries. *European Radiology*. 2023;34(7):4448-4456. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10474-w>
51. Gendarme S., Maitre B., Hanash S. et al. Beyond lung cancer screening, an opportunity for early detection of chronic obstructive pulmonary disease and cardiovascular diseases. *JNCI Cancer Spectrum*. 2024;8(5):pkae082. <https://doi.org/10.1093/jncics/pkae082>
52. de Nijs K., ten Haaf K., Hubert J. et al. Stage- and histology-specific sensitivity for the detection of lung cancer of the NELSON screening protocol—A modeling study. *International Journal of Cancer*. 2025;157(11):2248-2258. <https://doi.org/10.1002/ijc.70045>
53. ten Berge H., Willems B., Pan X. et al. Cost-effectiveness analysis of a lung cancer screening program in the Netherlands: a simulation based on NELSON and NLST study outcomes. *Journal of Medical Economics*. 2024;27(1):1197-1211. <https://doi.org/10.1080/13696998.2024.2404359>
54. Behr C.M., Koffijberg H., Degeling K. et al. Can we increase efficiency of CT lung cancer screening by combining with CVD and COPD screening? Results of an early economic evaluation. *European Radiology*. 2022;32(5):3067-3075. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08422-7>

55. Perandini S., Soardi G., Motton M. et al. Distribution of Solid Solitary Pulmonary Nodules within the Lungs on Computed Tomography: A Review of 208 Consecutive Lesions of Biopsy-Proven Nature. *Polish Journal of Radiology*. 2016;81:146-151. <https://doi.org/10.12659/PJR.895417>. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27103946/>

## References

- Muhlestein J.B., Knowlton K.U., Le V.T. et al. Coronary Artery Calcium Versus Pooled Cohort Equations Score for Primary Prevention Guidance. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2022;15(5):843-855. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.11.006>
- Gómez-Díaz D., Díez-Villanueva P., López-Melgar B. et al. Role of Coronary Artery Calcium Score CT in Risk Stratification of Asymptomatic Individuals. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. 2025;12(11):442. <https://doi.org/10.3390/jcdd12110442>
- Xia C., Rook M., Pelgrim G.J. et al. Early imaging biomarkers of lung cancer, COPD and coronary artery disease in the general population: rationale and design of the ImaLife (Imaging in Lifelines) Study. *European Journal of Epidemiology*. 2020;35(1):75-86. <https://doi.org/10.1007/s10654-019-00519-0>
- Heuvelmans M.A., Vonder M., Rook M. et al. Screening for Early Lung Cancer, Chronic Obstructive Pulmonary Disease, and Cardiovascular Disease (the Big-3) Using Low-dose Chest Computed Tomography. *Journal of Thoracic Imaging*. 2019;34(3):160-169. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000379>
- Spinnato P. Low-Dose Computed Tomography Screening Proposal for the “Big-3 Diseases”: Lung Cancer, Chronic Obstructive Pulmonary Disease, and Cardiovascular Disease. *Academic Radiology*. 2021;28(1):46-48. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2020.07.035>
- Ravara S. Efficiency and cost-effectiveness of lung cancer screening: is combined screening of Big-3 diseases a major opportunity? *European Radiology*. 2024;35(6):2932-2934. <https://doi.org/10.1007/s00330-024-11179-4>
- Jiang B., Linden P.A., Gupta A. et al. Conventional Computed Tomographic Calcium Scoring vs full chest CTCS for lung cancer screening: a cost-effectiveness analysis. *BMC Pulmonary Medicine*. 2020;20(1):187. <https://doi.org/10.1186/s12890-020-01221-8>
- Fentanes E., Cainzos Achirica M., Nasir K. et al. The Role of Coronary Artery Calcium Testing for Value-Based Clinical Trials in Primary Prevention. *Current Atherosclerosis Reports*. 2021;23(12):73. <https://doi.org/10.1007/s11883-021-00969-6>
- de Koning H.J., van der Aalst C.M., de Jong P.A. et al. Reduced Lung-Cancer Mortality with Volume CT Screening in a Randomized Trial. *New England Journal of Medicine*. 2020;382(6):503-513. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1911793>
- Behr C.M., Oude Wolcherink M.J., IJzerman M.J. et al. Population-Based Screening Using Low-Dose Chest Computed Tomography: A Systematic Review of Health Economic Evaluations. *PharmacoEconomics*. 2023;41(4):395-411. <https://doi.org/10.1007/s40273-022-01238-3>
- Silverman M.G., Blaha M.J., Krumholz H.M. et al. Impact of coronary artery calcium on coronary heart disease events in individuals at the extremes of traditional risk factor burden: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *European Heart Journal*. 2014;35(33):2232-2241. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehf508>
- van der Bijl P., Kuneman J., Bax J.J. Coronary artery calcium scoring in the general population. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging*. 2022;24(1):36-37. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeac201>
- Mohan J., Shams P., Bhatti K. et al. Coronary Artery Calcification. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519037/> (Accessed 2025 Dec 16).
- Madhavan M.V., Tarigopula M., Mintz G.S. et al. Coronary Artery Calcification: Pathogenesis and Prognostic Implications. *Journal of the American College of Cardiology*. 2014;63(17):1703-1714. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.01.017>
- Agatston A.S., Janowitz W.R., Hildner F.J. et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *Journal of the American College of Cardiology*. 1990;15(4):827-832. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(90\)90282-T](https://doi.org/10.1016/0735-1097(90)90282-T)
- Lee E., Koh S., Sia C.-H. Coronary artery calcium scoring in primary care. *Singapore Medical Journal*.

- 2025;66(3):163-166. <https://doi.org/10.4103/singaporemedj.SMJ-2024-211>
17. Willeminck M.J., van der Werf N.R., Nieman K. et al. Coronary artery calcium: A technical argument for a new scoring method. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2019;13(6):347-352. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2018.10.014>
  18. Razavi A.C., Agatston A.S., Shaw L.J. et al. Evolving Role of Calcium Density in Coronary Artery Calcium Scoring and Atherosclerotic Cardiovascular Disease Risk. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2022;15(9):1648-1662. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2022.02.026>
  19. Blaha M.J., Mortensen M.B., Kianoush S. et al. Coronary Artery Calcium Scoring: Is It Time for a Change in Methodology? *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2017;10(8):923-937. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.05.007>
  20. Walstra A.N.H., Gratama J.W.C., Heuvelmans M.A. et al. Early detection of cardiovascular disease in chest population screening: challenges for a rapidly emerging cardiac CT application. *British Journal of Radiology*. 2025;98(1175):1912-1922. <https://doi.org/10.1093/bjr/tqaf195>
  21. Eberhard M., Mergen V., Higashigaito K. et al. Coronary Calcium Scoring with First Generation Dual-Source Photon-Counting CT—First Evidence from Phantom and In-Vivo Scans. *Diagnostics*. 2021;11(9):1708. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11091708>
  22. Schwartz F.R., Daubert M.A., Molvin L. et al. Coronary Artery Calcium Evaluation Using New Generation Photon-counting Computed Tomography Yields Lower Radiation Dose Compared With Standard Computed Tomography. *Journal of Thoracic Imaging*. 2023;38(1):44-45. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000685>
  23. Vonder M., Pelgrim G.J., Huijsse S.E.M. et al. Coronary artery calcium quantification on first, second and third generation dual source CT: A comparison study. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2017;11(6):444-448. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2017.09.002>
  24. Vonder M., van der Aalst C.M., Vliegenthart R. et al. Coronary Artery Calcium Imaging in the ROBINSCA Trial. *Academic Radiology*. 2018;25(1):118-128. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2017.07.010>
  25. van der Aalst C.M., Denissen S.J.A.M., Vonder M. et al. Screening for cardiovascular disease risk using traditional risk factor assessment or coronary artery calcium scoring: the ROBINSCA trial. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging*. 2020;21(11):1216-1224. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa168>
  26. Dey D., Nakazato R., Pimentel R. et al. Low radiation coronary calcium scoring by dual-source CT with tube current optimization based on patient body size. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2012;6(2):113-120. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2011.12.008>
  27. Groen J.M., Greuter M.J.W., Vliegenthart R. et al. Calcium scoring using 64-slice MDCT, dual source CT and EBT: a comparative phantom study. *International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2008;24(5):547-556. <https://doi.org/10.1007/s10554-007-9282-0>
  28. Deprez F.C., Vlassenbroek A., Ghaye B. et al. Controversies about effects of low-kilovoltage MDCT acquisition on Agatston calcium scoring. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2013;7(1):58-61. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2012.11.006>
  29. Budoff M.J., McClelland R.L., Chung H. et al. Reproducibility of Coronary Artery Calcified Plaque with Cardiac 64-MDCT: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *American Journal of Roentgenology*. 2009;192(3):613-617. <https://doi.org/10.2214/AJR.08.1242>
  30. Groen J.M., Kofoed K.F., Zacho M. et al. Calcium score of small coronary calcifications on multidetector computed tomography: Results from a static phantom study. *European Journal of Radiology*. 2013;82(2):e58-e63. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.09.018>
  31. Kang E.-J. Clinical Applications of Wide-Detector CT Scanners for Cardiothoracic Imaging: An Update. *Korean Journal of Radiology*. 2019;20(12):1583. <https://doi.org/10.3348/kjr.2019.0327>
  32. Greuter M.J.W., Dijkstra H., Groen J.M. et al. 64 slice MDCT generally underestimates coronary calcium scores as compared to EBT: A phantom study. *Medical Physics*. 2007;34(9):3510-3519. <https://doi.org/10.1118/1.2750733>
  33. Groen J.M., Greuter M.J., Schmidt B. et al. The Influence of Heart Rate, Slice Thickness, and Calcification Density on Calcium Scores Using 64-Slice Multidetector Computed Tomography: A Systematic Phantom Study. *Investigative Radiology*. 2007;42(12):848-855. <https://doi.org/10.1097/RLI.0b013e318154c549>
  34. Budoff M.J., McClelland R.L., Nasir K. et al. Cardiovascular events with absent or minimal coronary calcification: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *American Heart Journal*. 2009;158(4):554-561. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2009.08.007>

35. Bild D.E., Bluemke D.A., Burke G.L. et al. Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis: Objectives and Design. *American Journal of Epidemiology*. 2002;156(9):871-881. <https://doi.org/10.1093/aje/kwf113>
36. Carr J.J., Nelson J.C., Wong N.D. et al. Calcified Coronary Artery Plaque Measurement with Cardiac CT in Population-based Studies: Standardized Protocol of Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA) and Coronary Artery Risk Development in Young Adults (CARDIA) Study 1. *Radiology*. 2005;234(1):35-43. <https://doi.org/10.1148/radiol.2341040439>
37. Vliëgenthart R., Oudkerk M., Hofman A. et al. Coronary Calcification Improves Cardiovascular Risk Prediction in the Elderly. *Circulation*. 2005;112(4):572-577. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.104.488916>
38. Elias-Smale S.E., Proença R.V., Koller M.T. et al. Coronary Calcium Score Improves Classification of Coronary Heart Disease Risk in the Elderly: The Rotterdam Study. *Journal of the American College of Cardiology*. 2010;56(17):1407-1414. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.06.029>
39. Hofman A., Brusselle G.G.O., Murad S.D. et al. The Rotterdam Study: 2016 objectives and design update. *European Journal of Epidemiology*. 2015;30(8):661-708. <https://doi.org/10.1007/s10654-015-0082-x>
40. Tanenbaum S.R., Kondos G.T., Veselik K.E. et al. Detection of calcific deposits in coronary arteries by ultrafast computed tomography and correlation with angiography. *American Journal of Cardiology*. 1989;63(12):870-872. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(89\)90060-X](https://doi.org/10.1016/0002-9149(89)90060-X)
41. Golub I.S., Termeie O.G., Kristo S. et al. Major Global Coronary Artery Calcium Guidelines. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2023;16(1):98-117. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2022.06.018>
42. Schwarz E., Tambè V., De Simoni S. et al. Coronary Calcium Scoring as Prediction of Coronary Artery Diseases with Low-Dose Dual-Source CT. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. 2025;12(11):425. <https://doi.org/10.3390/jcdd12110425>
43. Andreev D.A., Kamynina N.N. Risk-Oriented Strategy as the Way to Improve the Effectiveness of Cardiovascular Prevention and the Rational Use of Primary Healthcare Resources. *City Healthcare*. 2025;6(4):86-101. (In Russ.) <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2025.v6i4-1;86-101>
44. Venkataraman P., Kawakami H., Huynh Q. et al. Cost-Effectiveness of Coronary Artery Calcium Scoring in People With a Family History of Coronary Disease. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2021;14(6):1206-1217. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.11.008>
45. van Kempen B.J.H., Spronk S., Koller M.T. et al. Comparative Effectiveness and Cost-Effectiveness of Computed Tomography Screening for Coronary Artery Calcium in Asymptomatic Individuals. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011;58(16):1690-1701. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.05.056>
46. van Kempen B.J.H., Ferket B.S., Steyerberg E.W. et al. Comparing the cost-effectiveness of four novel risk markers for screening asymptomatic individuals to prevent cardiovascular disease (CVD) in the US population. *International Journal of Cardiology*. 2016;203:422-431. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.10.171>
47. Scilletta S., Di Marco M., Miano N. et al. Cardiovascular risk profile in subjects with diabetes: Is SCORE2-Diabetes reliable? *Cardiovascular Diabetology*. 2025;24(1):222. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02769-7>
48. Virani S.S., Newby L.K., Arnold S.V. et al. 2023 AHA/ACC/ACCP/ASPC/NLA/PCNA Guideline for the Management of Patients With Chronic Coronary Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2023;148(9):e9-e119. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001168>
49. Irannejad K., Budoff M. Coronary Calcium Scoring in Diabetes: Recalibrating Cardiovascular Risk in 2025. *Journal of Diabetes*. 2025;17(12):e70178. <https://doi.org/10.1111/1753-0407.70178>
50. Behr C., Koffijberg H., IJzerman M. et al. Willingness to participate in combination screening for lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease and cardiovascular disease in four European countries. *European Radiology*. 2023;34(7):4448-4456. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10474-w>
51. Gendarme S., Maitre B., Hanash S. et al. Beyond lung cancer screening, an opportunity for early detection of chronic obstructive pulmonary disease and cardiovascular diseases. *JNCI Cancer Spectrum*. 2024;8(5):pkae082. <https://doi.org/10.1093/jncics/pkae082>
52. de Nijs K., ten Haaf K., Hubert J. et al. Stage- and histology-specific sensitivity for the detection of lung cancer of the NELSON screening protocol—A modeling study. *International Journal of Cancer*. 2025;157(11):2248-2258. <https://doi.org/10.1002/ijc.70045>
53. ten Berge H., Willems B., Pan X. et al. Cost-effectiveness analysis of a lung cancer screening program in the Netherlands: a simulation based on NELSON and NLST study outcomes. *Journal of Medical Economics*. 2024;27(1):1197-1211. <https://doi.org/10.1080/13696998.2024.2404359>

54. Behr C.M., Koffijberg H., Degeling K. et al. Can we increase efficiency of CT lung cancer screening by combining with CVD and COPD screening? Results of an early economic evaluation. *European Radiology*. 2022;32(5):3067-3075. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08422-7>
55. Perandini S., Soardi G., Motton M. et al. Distribution of Solid Solitary Pulmonary Nodules within the Lungs on Computed Tomography: A Review of 208 Consecutive Lesions of Biopsy-Proven Nature. *Polish Journal of Radiology*. 2016;81:146-151. <https://doi.org/10.12659/PJR.895417>. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27103946/>

## Информация о статье

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование проводилось без спонсорской поддержки.

## Сведения об авторах

**Андреев Дмитрий Анатольевич** – канд. наук, аналитик ГБУ «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы»; <http://orcid.org/0000-0003-0745-9474>

**Завьялов Александр Александрович** – д-р мед. наук, профессор, руководитель Онкологического центра ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна», профессор; <http://orcid.org/0000-0003-1825-1871>

## Вклад авторов

Д.А. Андреев – сбор и анализ данных, написание и подготовка рукописи, составление списка литературы; А.А. Завьялов – научное редактирование и одобрение текста статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Для корреспонденции

Андреев Дмитрий Анатольевич  
[AndreevDA@zdrav.mos.ru](mailto:AndreevDA@zdrav.mos.ru)

Статья поступила 16.02.2026  
Принята к печати 19.05.2026  
Опубликована 26.06.2026

## Article info

**Conflict of interest:** Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

**Funding:** the authors received no financial support for the research.

## About authors

**Dmitry A. Andreev** – Cand. Sci. in Medicine, Analyst of the Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management of Moscow Healthcare Department; ORCID: 0000-0003-0745-9474

**Aleksander A. Zavyalov** – D. Sci. in Medicine, Professor, Head of the Oncology Center, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (SRC – FMBC), ORCID: 0000-0003-1825-1871

## Authors' contributions

D.A. Andreev – data collection and analysis, writing and preparation of the manuscript, compilation of the reference list; A.A. Zavyalov – scientific editing and approval of the article text.

The authors read and approved the final version of the manuscript.

## Corresponding author

Dmitry A. Andreev  
[AndreevDA@zdrav.mos.ru](mailto:AndreevDA@zdrav.mos.ru)

Received 16.02.2026  
Accepted for publication 19.05.2026  
Published 26.06.2026