

Оригинальная статья

Обеспечение и контроль качества исследований на аппарате ОФЭКТ/КТ GE Discovery 670 DR

[Садуакасова А.Б.](#)¹, [Баймуканова А.Е.](#)², [Наурызбаева А.А.](#)^{3*}, [Магзумов А.Б.](#)⁴

Received: 27 June 2025

Revised: 02 September 2025

Accepted: 15 September 2025

Published: 30 September 2025

Citation: Aigul Saduakassova, Assel Baymukanova, Adeliya Naurzbayeva, Almas Magzumov. (Obespechenie i kontrol' kachestva issledovaniy na apparate OFeKT/KT GE Discovery 670 DR) Ensuring and Monitoring the Quality of Research on the SPECT/CT GE Discovery 670 DR) [in Russian]. Cent Asian J Med Pract & Res 2025, 98 (3), cajmpr002. <https://doi.org/10.70439/2075-8790.2025.98.3.002>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



¹ Руководитель Центра ядерной медицины, Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан, Астана, Казахстан

² Старший клинический физик Центра ядерной медицины, Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан, Астана, Казахстан

³ Клинический физик Центра ядерной медицины, Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан, Астана, Казахстан

⁴ Клинический физик Центра ядерной медицины, Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан, Астана, Казахстан

* Корреспондирующий автор: adeliya.naurzbayeva22@gmail.com

Резюме

Целью данной работы являлось разработка и реализация программы обеспечения и контроля качества для гибридной системы однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с интегрированной компьютерной томографией — GE Discovery 670 DR, а также оценка количественных характеристик системы. Работа выполнена в соответствии со стандартами Национальной ассоциации производителей электрооборудования, рекомендациями Международного агентства по атомной энергии и Европейской ассоциации ядерной медицины и включала ежедневные, еженедельные и регламентные испытания. Оценивались основные параметры системы: однородность, энергетическое и пространственное разрешение, чувствительность, центр вращения и стабильность работы. Средняя интегральная неоднородность составила 2,1–2,8%, энергетическое разрешение — 8,7–9,2%, чувствительность — 72 имп/с/МБк, что полностью соответствует нормативным требованиям. Для количественной калибровки применялся фантом NEMA IEC Body Phantom. Проведены измерения коэффициентов восстановления активности и стандартизованных показателей накопления. Показано, что увеличение числа итераций, и оптимизация коррекции рассеяния повышают точность количественной оценки активности, особенно для мелких объектов, однако приводят к росту шумов, что требует баланса между визуальным качеством и точностью. Разработаны практические рекомендации по использованию двух реконструкционных протоколов: диагностического — для визуальной оценки, и количественного — для расчета стандартизированного значения накопления радиофармпрепарата и других метрик qSPECT. Полученные результаты подтвердили стабильность и воспроизводимость работы системы, а также возможность ее применения для количественного анализа в клинической практике. Таким образом, строгое соблюдение программы QA/QC обеспечивает надежную эксплуатацию аппарата GE Discovery 670 DR и позволяет использовать однофотонную эмиссионную компьютерную томографию с рентгеновской компьютерной томографией не только для качественной диагностики, но и для точной количественной визуализации.

Ключевые слова: однофотонная эмиссионная компьютерная томография с рентгеновской компьютерной томографией, GE Discovery 670 DR, контроль

качества, количественная однофотонная эмиссионная компьютерная томография, Национальная ассоциация производителей электрооборудования, стандартизированное значение накопления радиофармпрепарата, Коэффициенты восстановления высокоскоростной активности, чувствительность, реконструкция.

1. Введение

Обеспечение высокого качества изображений в однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с интегрированной рентгеновской компьютерной томографией (ОФЭКТ/КТ) имеет решающее значение для достоверной диагностики и эффективного лечения. Гибридные ОФЭКТ/КТ системы, такие как GE Discovery 670 DR, позволяют совмещать функциональную сцинтиграфию с анатомической КТ визуализацией, предоставляя ценные данные о распределении радиофармпрепаратов в организме и локализации патологических изменений. Однако для того, чтобы прибор успешно выполнял эти задачи, необходимо строгое соблюдение программ обеспечения качества и проведения контроля качества.

Обеспечение качества (QA) включает в себя систему мер, направленных на предотвращение появления брака или ошибок на всех этапах исследований; это управление качеством процесса, создающее уверенность в том, что оборудование и методики работают правильно. Контроль качества (QC) представляет собой набор регулярных тестов и процедур, предназначенных для выявления и устранения дефектов в работе оборудования, то есть контроля качества конечного «продукта» – получаемых изображений. В ядерной медицине QA/QC особенно важны из-за сложности гамма-камер и гибридных систем: любые отклонения в их работе могут привести к артефактам на изображениях, ложной интерпретации и, как следствие, неправильной тактике лечения пациента.

Современные международные организации разработали стандарты и руководства, регламентирующие программу обеспечения и контроля качества в ядерной медицине. В частности, Национальная ассоциация производителей электрооборудования (National Electrical Manufacturers Association, NEMA) определяет методики измерения основных характеристик гамма-камер (пространственное разрешение, однородность, чувствительность, энергетическое разрешение и др.), Европейская ассоциация

ядерной медицины (European Association of Nuclear Medicine) выпустила рекомендации по проведению регулярных QC-тестов и стандартизации протоколов исследований, а Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) в серии публикаций подробно описало процедуры контроля качества ОФЭКТ-оборудования [1-3]. Все эти документы сходятся в том, что регулярный контроль качества – необходимое условие безопасной эксплуатации ОФЭКТ/КТ и получения достоверных количественных показателей. Гибридные ОФЭКТ/КТ системы, помимо стандартных задач планарной сцинтиграфии, все шире используются для количественной (квантификационной) оценки накопления радиофармпрепаратов – так называемой qSPECT [4]. В отличие от традиционной качественной визуализации, количественный ОФЭКТ позволяет определять абсолютную активность в очагах поражения, вводя в практику такие метрики как стандартизированное накопление (Standardized Uptake Value), коэффициенты восстановления (Recovery Coefficients) и другие параметры, аналогичные применяемым в позитронно-эмиссионной томографии/компьютерная томография (ПЭТ/КТ). Для корректной работы количественных методик требуется тщательная калибровка системы и выполнение дополнительного комплекса QA/QC процедур [4-13].

Настоящая работа посвящена описанию строгой программы обеспечения и контроля качества исследований на ОФЭКТ/КТ GE Discovery 670 DR. Представлены структура и результаты программы QC, включающей ежедневные, еженедельные и регламентные тесты, а также оценка количественных характеристик системы (чувствительность, точность измерения активности, воспроизводимость показателей и стандартизированный уровень захвата (SUV))) [8-10, 13-15].

2. Материалы и методы

Аппарат и оборудование

Исследования проводились на гибридном ОФЭКТ/КТ сканере GE Discovery 670 DR (GE Healthcare), установленном в отделении

радиоизотопной диагностики Центра ядерной медицины (г. Астана, Казахстан). Данная система оснащена двумя плоскими сцинтилляционными детекторами (NaI(Tl) кристаллы) большой

площади, расположенными на вращающейся гентри, и интегрированным КТ-модулем. Гамма-камера работала с коллиматорами типа «низкоэнергетические высокоразрешающие» (Low energy high resolution) для радионуклида ^{99m}Tc . Регистрации выполнялись в режиме ОФЭКТ по полному вращению 360° , с типичными параметрами клинического протокола: 60 проекций (шаг 6°) по 20 с каждая, матрица 256×256 , ширина основного энергетического окна $140,5 \text{ кВ} \pm 10\%$. Для обеспечения количественной точности применялся алгоритм реконструкции GE Q.Metrix (OSEM 2D с учетом коллиматорного размытия, внесения поправок на поглощение и рассеяние). Важной особенностью является возможность задания коэффициента поправки на рассеянное излучение (scatter correction factor): использовался стандартный для ^{99m}Tc SCF = 1,10 (соответствует множителю $k \approx 0,47$) и экспериментальный SCF = 0,41 ($k \approx 0,18$), оптимизированный под геометрию фантома [13-19]. Реконструкция проводилась с различными итерационными наборами (подробно описано ниже). КТ выполнялся на встроенном 16-срезовом томографе (120 кВ, ток 80 мА, коллимация $16 \times 1,25 \text{ мм}$), используемом как для анатомической привязки, так и для коррекции ослабления гамма-излучения.

Фантомы и источники

Для реализации программы контроля качества применялись следующие эталонные источники и фантомы: точечный источник ^{99m}Tc – использовался для ежедневного экспресс-контроля камеры (интегральная однородность, настройка энергии) и тестов калибровки чувствительности. Источник готовили из раствора ^{99m}Tc (пертехнетат) в шприце малого объема, активностью порядка 20–40 МБк, имитируя точечный коллиматорный пучок. Фантом корпуса (NEMA IEC Body Phantom) – цилиндрический фантом (диаметр 216 мм) с 6 вставками сферическими камерами различных

диаметров (10, 13, 17, 22, 28 и 37 мм). Применялся для оценки количественной точности ОФЭКТ. Фантом заполнялся водным раствором ^{99m}Tc -пертехнетата с активностями, создающими контраст «очаг/фон» $\sim 8:1$: каждая сфера – $\sim 80 \text{ кБк/мл}$, фон – $\sim 10 \text{ кБк/мл}$. В центре фантома устанавливалась полистироловая вставка, имитирующая неактивное легкое (объем $\sim 2\%$ (об)). Эта стандартная конфигурация соответствует рекомендациям NEMA и Международной электротехнической комиссии (International Electrotechnical Commission) для проверки воспроизводимости квантитативной реконструкции. Фантом для КТ-калибровки – многоцелевой фантом, включающий модули для проверки геометрии изображения, масштабного коэффициента, однородности и пространственного разрешения КТ. В частности, в фантоме имелся шаблон с высококонтрастными линиями (решетка), служащий для оценки лимита разрешения и линейности изображения.

Программа контроля качества

В нашем центре разработан регламент QC, охватывающий ежедневные, еженедельные и более редкие специальные проверки. Основные элементы программы контроля качества: Ежедневный контроль качества (Daily QC) – проводится перед началом клинических исследований каждый день. Процедура Daily QC на GE Discovery 670 DR включает (Рисунок 1):

а) проверку фонового счета детекторов (отсутствие фоновой радиации или загрязнений на кристалле);

б) установку точечного источника ^{99m}Tc без коллиматоров и запуск автоматического режима intrinsic flood-набора. Система собирает изображение равномерного облучения детекторов ($\sim 1\text{--}2 \text{ млн. импульсов}$) и выполняет оценку энергии фотопика.

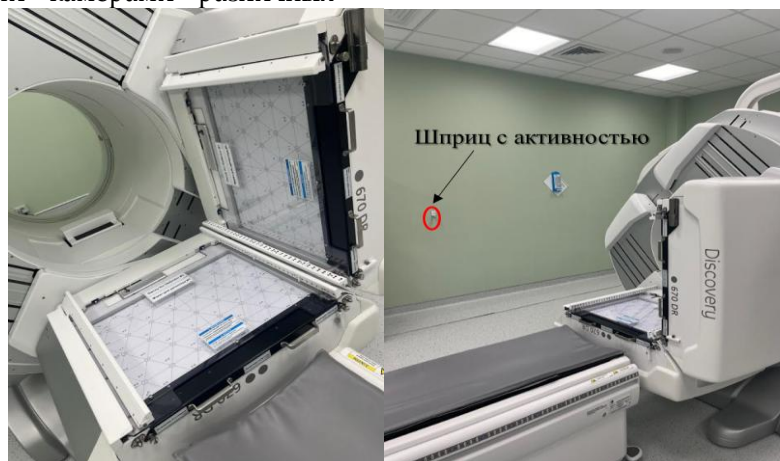


Рисунок 1 – Проведение ежедневной калибровки

В случае смещения энергетического окна производится автоподстройка усиления (energy gain) – т.е. перенастройка (Periodic Retuning) (Рисунок 2). Автоматическая процедура перенастройки включает циклическую калибровку усиления по оси Z для каждого детектора, корректируя положение 140 кэВ пиковой линии до эталона. После перенастройки система повторно выполняет контрольное облучение и сравнивает

однородность до/после – ожидается улучшение качества при необходимости самокалибровки. Таким образом, ежедневный QC гарантирует стабильность энергии и базовой однородности детекторов. В конце Daily QC формируется отчет, отображающий значения интегральной однородности и энергетического разрешения, которые должны быть в допусках.

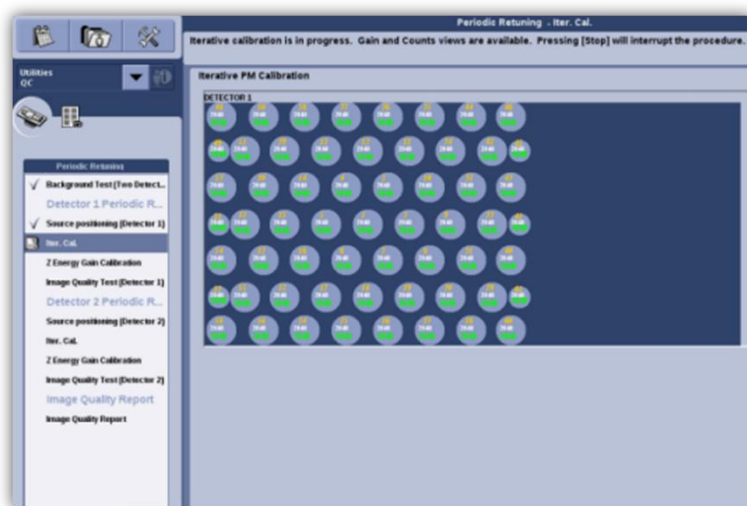


Рисунок 2 – Перенастройка

Еженедельные тесты – раз в неделю (или при подозрении на проблему) выполняются углубленные проверки: центр вращения (Center of rotation) (Рисунок 3). Центр вращения проверяется с помощью точечного источника, размещенного вне центра вращения гентри, либо с помощью специального COR-фантома (например, крест из

источников). Камера выполняет 360° ОФЭКТ-сканирование, после чего вычисляется смещение проекции изображения точечного источника от идеальной окружности. Допустимое смещение обычно $\leq \pm 1$ мм; при превышении выполняется сервисная юстировка центр вращения.

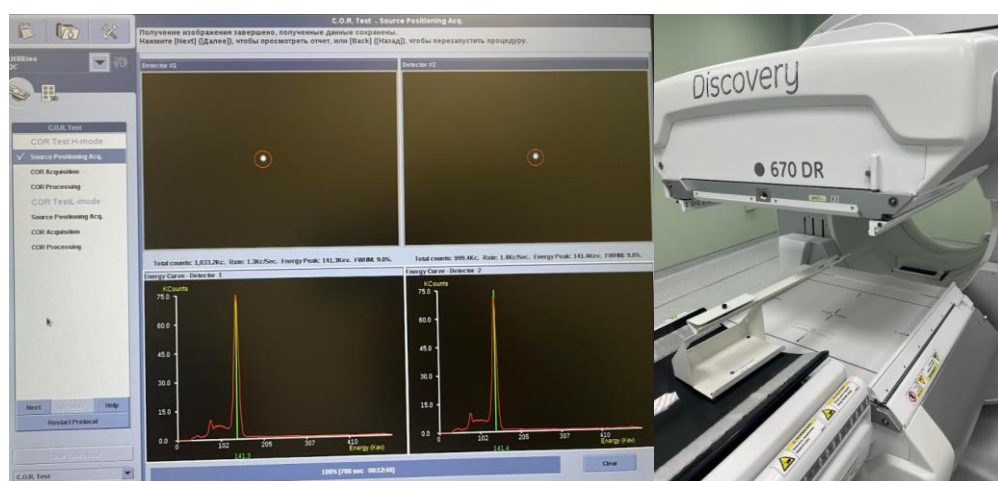


Рисунок 3 – Центр вращения

Ежемесячные/ежеквартальные тесты – более развернутые испытания по протоколам приемочного контроля: измерение чувствительности гамма-камеры (cps/МБк),

пространственного разрешения и линейности изображений. Чувствительность измеряется в соответствии с методикой NEMA NU1: точечный источник ^{99m}Tc (~10 МБк) размещается в центре

поля зрения на фиксированном расстоянии, коллиматор – открытый (для внутреннего измерения) или LEHR (для внешнего измерения); подсчитывается чистый счет (cps) и нормируется на активность, получая S (имп/с на МБк) [1]. Для Discovery 670 DR, по нашим данным, планарная чувствительность составила ~72 имп/с/МБк (среднее по двум детекторам), что совпадает с литературными значениями для аналогичных систем. Разрешение проверяется с помощью свинцовых решеток (бар-фантом) или проволочных источников: визуально оценивается минимальная четко различимая структура. Линейность КТ оценивается посредством специальных модулей фантома: например, проверкой совпадения координат линий решетки с эталонной разметкой.

Количественная калибровка (QF-фактор): для возможности вычисления абсолютной концентрации активности (в Бк/мл) по данным ОФЭКТ была выполнена калибровка по фантомному объекту. Расчет коэффициента пересчета количественных данных калибровочного коэффициента QF (Quality factor) проводился по формуле:

$$QF = \frac{1}{S \cdot T \cdot V_{Voxel}}$$

где S – чувствительность системы (имп/с на МБк), T – эффективное время сбора данных (с), V_{Voxel} – объем одного вокселя реконструированного изображения (мл). В нашем случае $T = 1200$ с (полное время ОФЭКТ-сканирования), $V_{Voxel} = 0.01079$ мл. Этот коэффициент применялся в программном обеспечении при реконструкции (модуль Q.Metrix) для конвертации отсчетов в абсолютные значения активности в каждом вокселе [10]. После реконструкции проводился анализ распределения активности по VOI (Volume of Interest).

Для оценки точности количественной визуализации применялись метрики, предложенные в литературе: Коэффициент восстановления (hot spot recovery coefficient) – отношение измеренной активности в горячей области к истинной известной активности в ней [11,16,17]. Вычислялся по формуле:

$$HSRC = \frac{AC_{rec.sphere}}{AC_{real.sphere}}$$

где $AC_{(rec.sphere)}$ – средняя реконструированная активностная концентрация в объеме сферы фантома, $AC_{(real.sphere)}$ – истинная концентрация. Идеальное значение $HSRC=1$ означает полное восстановление активности;

значения <1 свидетельствуют о потерях (например, из-за эффекта объема, сглаживания и др.) [11,16,17].

Отношение «сигнал/шум» (signal-to-noise ratio, SNR) – характеризует контрастную заметность горячего очага на фоне шума. Определялось как разность средних значений в очаге и фоне, деленная на стандартное отклонение (шум) в фоне:

$$SNR = \frac{AC_{rec.sphere} - AC_{rec.BG}}{SD_{rec.BG}}$$

где $AC_{(rec.BG)}$ и $SD_{(rec.BG)}$ – соответственно среднее и стандартное отклонение активности в большом ROI фона фантома. Чем выше SNR, тем лучше очаг выделяется из шумового фона. Процент шумов $N\%$ – относительный шум в фоновой области изображения, рассчитывался как отношение стандартного отклонения к среднему фону, в процентах:

$$N [\%] = \frac{SD_{rec.BG}}{AC_{rec.BG}} \cdot 100\%$$

Кроме того, для оценки воспроизводимости системной квантификации обсуждается метрика SUV. SUV широко применяется в ПЭТ, но в ОФЭКТ/КТ также вводится для сопоставимости количественных измерений. SUV рассчитывается для выделенного очага как отношение активностной концентрации в нем к введенной активности, нормированной на массу пациента. Обычно используют формулу:

$$SUV = \frac{AC_{rec} \cdot m_{patient}}{A_{inj}}$$

где AC_{rec} – измеренная концентрация активности (кБк/мл) в очаге, A_{inj} – активность введенного радиофармпрепарата (кБк) и $m_{patient}$ – масса пациента (г).

Таким образом, SUV является безразмерной величиной (при подстановке m в граммах) и показывает долю от введенной активности, пришедшую на единицу массы/объема ткани.

В исследовании фантомов мы оперируем эквивалентом SUV, сравнивая AC_{rec} с известной концентрацией в фантоме; в клинических же условиях SUV позволяет проводить количественное сравнение накопления в разных исследованиях и у разных пациентов. В дальнейшем разделе обсуждение будут приведены примеры применения SUV в клинике.

Программа QC на аппарате GE Discovery 670 DR разработана в соответствии с международными стандартами NEMA, рекомендациями МАГАТЭ и инструкциями производителя. Ниже приводится структура программы и допустимые нормативы, с которыми сравнивались наши измерения.

Внутренняя однородность

Проверяется ежедневно по данным теста с точечным источником без коллиматора (Daily QC). Визуально оценивается отсутствие артефактов (например, «холодных» пятен из-за сбоя фотоумножителей, краевых эффектов и др.). Количественно рассчитываются интегральная и дифференциальная неоднородность в центральной области обзора (Central field of view, CFOV, 75% диаметра) и общей области обзора детектора (Uniformity field of view, UFOV) [1,20-23]. По рекомендациям МАГАТЭ и EANM, результаты внутренней однородности следует оценивать, как визуально, так и с помощью этих числовых метрик. Допустимые пределы интегральной неоднородности обычно не превышают 5% для UFOV (по стандартам NEMA) [1]. В нашем случае, средняя интегральная неоднородность, полученная в ежедневных тестах, составила 2,1% (UFOV) и 1,7% (CFOV) для детектора 1, а для детектора 2 – 2,8% (UFOV) и 2,7% (CFOV). Эти значения значительно ниже предела 5%, то есть однородность детекторов отличная. Дифференциальная неоднородность не превышала 0,2–0,3% на обоих детекторах.

Энергетическая калибровка и разрешение

Ежедневный контроль подтверждает правильность установки энергетического окна на 140 кэВ. При необходимости система автоматически сдвигает окна (retuning), чтобы центр фотопика ^{99m}Tc совпал с номиналом. После калибровки измеряется энергетическое разрешение детекторов – ширина пика по уровню половинной высоты (Full Width at Half Maximum), выраженная в процентах от энергии. В норме для ^{99m}Tc (140 кэВ) FWHM должен быть порядка 9–10% для современных NaI детекторов. В наших испытаниях FWHM составил 9,2% и 9,15% (для детекторов 1 и 2 соответственно) до перенастройки, и улучшился до 8,84% и 8,73% после автокалибровки, что соответствует паспортным значениям (допустимо до ~10%). Таким образом, энергетическое разрешение удовлетворяет критерию – детекторы способны эффективно различать фотопик ^{99m}Tc без значительного захвата рассеянного излучения.

Чувствительность системы

Ежемесячно (после каждой замены детекторов или технического обслуживания) выполняется

проверка чувствительности по методике NEMA. Точечный источник ^{99m}Tc (~10 МБк) помещается в центр поля, камера работает без коллиматора на расстоянии ~5 длины коллиматора от источника (чтобы избежать мертвой зоны), собирается спектр за 1 минуту. Для обоих детекторов получены близкие результаты: 71,7 и 72,8 имп/с/МБк, средняя системная чувствительность $S = 72,3 \text{ cps/MBq}$. Этот параметр использован в калибровке QF и подтверждает соответствие характеристик заявленным для Discovery 670 DR.

Пространственное разрешение и центр вращения

Ежемесячно проверялся центр вращения (COR) и разрешающая способность системы. COR-тест по точечному источнику показал очень малые смещения: рассчитанные поправки ΔX и ΔY составили всего +0,12 мм и -0,10 мм для 1-го и 2-го детектора соответственно. Эти величины значительно меньше допустимого порога в 1 мм, что свидетельствует о точной механической юстировке системы; после внесения этих небольших поправок в ПО артефакты вращения (кольцевые) отсутствуют. Проверка разрешения выполнялась на планарных изображениях решетчатого фантома: гамма-камера уверенно различала группы коллиматорных прорезей до 4–5 мм (LEHR), что соответствует нормативному значению ~4,0 мм для данного типа коллиматоров на расстоянии 10 см. Пространственное разрешение КТ-модуля оценивалось с использованием модуля фантома с линиями: удалось визуализировать структуры до 1,0 мм, и все прямые линии отображались без искривлений или смещений по осям, т.е. линейность КТ в пределах пикселя. Тест линейности/разрешения КТ пройден успешно, отклонений геометрии не обнаружено [21].

Таким образом, проведенные регулярные QC испытания подтвердили исправность и высокое качество работы ОФЭКТ/КТ GE Discovery 670 DR.

Ни один из параметров не вышел за пределы рекомендуемых стандартов NEMA/EANM/IAEA, а фактически большинство показателей (однородность, чувствительность, разрешение) оказались значительно лучше минимальных требований. Ниже приводятся результаты количественных оценок, полученных с помощью фантомных исследований.

3. Результаты

Результаты тестов качества изображения

Перед началом количественных измерений был выполнен полный цикл проверок QA, как описано выше (Рисунок 4). Механический осмотр

аппарата не выявил повреждений, все механизмы перемещения гентри и стола работали гладко. Ежедневный внутренний тест однородности дал равномерное распределение счета по каждому

детектору; интегральная однородность составила 1,72% (CFOV) и 2,11% (UFOV) для детектора 1, а 2,71% (CFOV) и 2,79% (UFOV) для детектора 2 [16,19].

Эти значения существенно ниже пороговых 5%, свидетельствуя об отсутствии значимых неоднородностей.

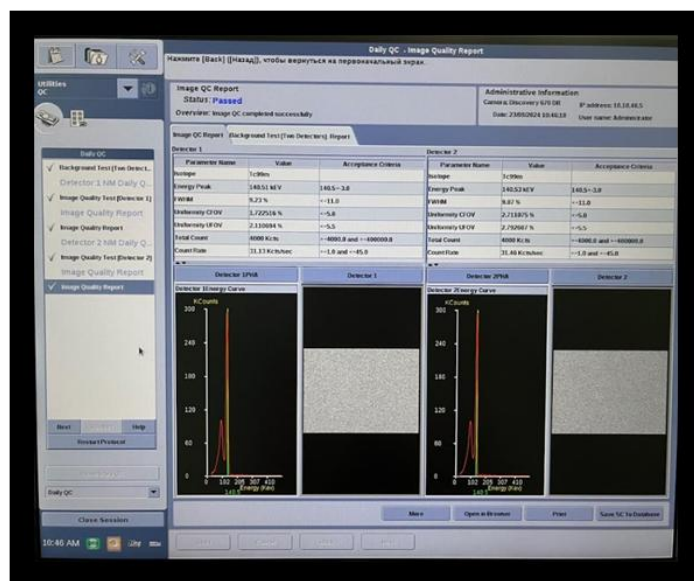


Рисунок 4 – Результаты тестов качества изображения

Энергетическое разрешение детекторов, измеренное по ширине фотопика ^{99m}Tc , оказалось равным 8,8% и 8,7%, что не превышает допустимый диапазон 9–10%. После ежедневной перенастройки (retuning) центр энергетического окна точно совпал с 140 кэВ, что подтверждалось визуализацией фотоэлектрического пика на уровне номинала (рисунок спектра). Показатели COR после юстировки составили $\Delta X \approx 0,12$ мм, $\Delta Y \approx 0,10$ мм, что привело к заметному улучшению четкости ОФЭКТ-изображений: исчезли прежние едва уловимые кольцевые артефакты, слегка проявлявшиеся при значении $\Delta X \sim 1$ мм. КТ-калибровка подтвердила высокое качество томографа: тестовый объект с параллельными линиями воспроизведен на реконструированных КТ-срезах без искажений (линейность $\sim 100\%$), расстояние между линиями точно соответствовало реальному (масштабный коэффициент 1,00), что соответствует стандартам NEMA для КТ-модулей. Таким образом, все плановые проверки QA/QC подтвердили готовность системы к проведению количественной ОФЭКТ калибровки.

Точность количественной ОФЭКТ (фантомные измерения)

Проведены сканирования фантома NEMA IEC с горячими сферами для оценки восстановления активности и влияния параметров реконструкции. Известное значение активностной концентрации в сферах составляло 85,1 кБк/мл, в фоне – 10,6 кБк/мл

(отношение $\sim 8:1$). Реконструированные 3D-данные (после применения калибровочного коэффициента QF) позволили измерить среднюю восстановленную концентрацию ACres в каждой сфере и в фоновой области. Без введения каких-либо дополнительных поправок на потерю разрешения, было отмечено ожидаемое недовосстановление активности в небольших сферах: все реконструкции дали ACres меньше истинного, особенно для мелких объемов.

Как иллюстрирует рисунок 5 (А), коэффициент коррекции пространственного разрешения (High Spatial Resolution Correction, HSRC) сильно зависит от размера объекта: для самой маленькой сферы (0,5 мл, диаметр ~ 10 мм) HSRC составляет всего около 0,17–0,20 ($\approx 17\%$ от настоящей активности), тогда как для крупнейшей (26,5 мл, ~ 37 мм) – около 0,85–0,90.

Видно, что увеличение итераций и уменьшение фактора рассеяния улучшают восстановление активности, особенно для мелких объектов [18,20]. В нашей работе при стандартной реконструкции (2 итерации, 10 подмножеств, SCF 1,10) получено ACres $\sim 14,8$ кБк/мл для объема 0,5 мл (HSRC $\sim 0,17$) и 72,3 кБк/мл для 26,5 мл (HSRC $\sim 0,85$). Разница весьма существенна – мелкие объекты теряют ~ 80 –85% активности из-за эффекта частичного объема (ПЭЧ) и сглаживания при реконструкции.

Даже между двумя наибольшими сферами наблюдается достоверное различие: сфера 11,5 мл (диаметр ~22 мм) имела HSRC = 0,85, что на 0,03 ниже, чем у сферы 26,5 мл (HSRC = 0,88), при прочих равных [21,24]. Этот результат статистически значим ($p=0,01$), то есть увеличение размера очага даже с 22 мм до 37 мм заметно улучшает восстановление

сигнала. Данные подтверждают, что без специальных коррекций мелкие очаги существенно недооцениваются по активности; подобное поведение также известно в ПЭТ и требует применения методов поправки на разрешение (recovery correction) для количественного анализа мелких метастазов [25].

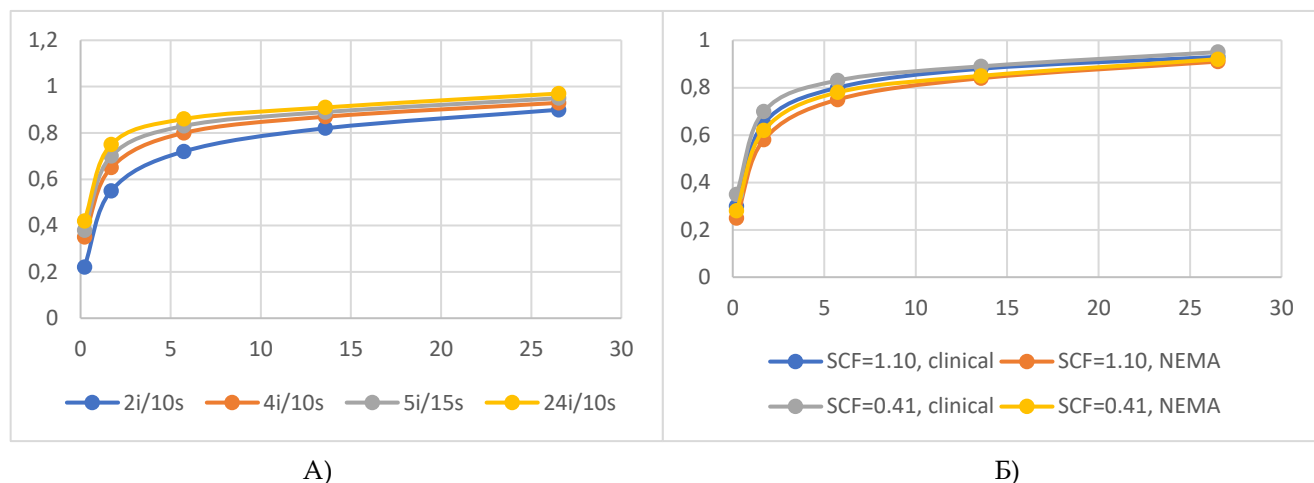


Рисунок 5 – Коэффициенты коррекции пространственного разрешения (High Spatial Resolution Correction, HSRC) в горячих сферах фантома в зависимости от объема (диаметра) при различных параметрах реконструкции. (А) Кривые HSRC для клинического протокола (60 проекций) при разном числе итераций (2i/10s, 4i/10s, 5i/15s, 24i/10s) с коэффициентом рассеяния SCF = 1,10. (Б) HSRC для фиксированного набора итераций (24i/10s) при разных условиях: клинический vs. NEMA-протокол съемки и SCF = 1,10 vs. 0,41

Влияние параметров реконструкции на точность и шум

Вторым этапом оценивалось, как изменение числа итераций и коэффициента рассеяния влияет на восстановление активности и уровень шума. При увеличении общего числа итераций (с 2 до 24) наблюдался рост оцениваемой активности в сферах (т.е. уменьшение систематического занижения) – на графике рисунка 5(А) кривые HSRC заметно поднимаются вверх при переходе от 2i к 24i, особенно для малых сфер. Например, для самой маленькой сферы медианный HSRC вырос с ~0,12 до ~0,20 при увеличении итераций с 2 до 24 ($\Delta\text{HSRC} \approx +0,08$). В целом по всем сферам увеличение с 2i до 24i привело к росту HSRC в среднем на 0,13 ($p=0,03$). Количественно, смещение реконструированной активности относительно истинной сократилось с -17,1% до -9,4% при переходе от 2 до 24 итерационных шагов. То есть, большее число итераций повышает точность квантификации (уменьшая недооценку активности). Аналогично, изменение параметра SCF (поправка на рассеяние) повлияло на результат: при использовании объект-специфичного SCF = 0,41 вместо стандартного 1,10, занижение активности в крупных объектах

уменьшилось примерно вдвое. Так, для самой большой сферы при SCF 1,10 ACres был на 16,3% ниже истинного, а при SCF 0,41 – лишь на 8,4% ниже.

Это объяснимо: меньший SCF означает более агрессивную коррекцию рассеянного излучения, что добавляет больше счета в очаги (особенно крупные), приближая их значение к реальному. Рисунок 5 (Б) показывает, что при SCF 0,41 кривые HSRC немного выше, чем при 1,10, особенно для крупных объемов (разница ~0,06–0,08). Статистически отмечено увеличение HSRC на ~0,07 (экв. +5,9 кБк/мл) при использовании SCF 0,41 против 1,10 ($p=0,03$) для клинического протокола. Таким образом, индивидуальная оптимизация коррекции рассеяния улучшает количественные результаты, что совпадает с выводами других авторов [14,17,19].

Обратной стороной увеличения итераций и «усиления» сигнала является рост шумов. Наименьший уровень шумов и самый высокий SNR мы получили на минимальном числе итераций – 2i (с доп. фильтрацией) и при повышенном SCF 0,41.

Этот режим соответствует диагностическому протоколу (который в клинике используется для визуального анализа) и показал максимальный SNR ~23–25 для больших сфер. Напротив, при 24 итерациях SNR для тех же объектов падает до ~5–6 (снижение на 74–80%).

В целом, при увеличении числа итераций SNR значительно уменьшается – например, переход от 2i к 24i снизил средний SNR по сферам на 76% ($p < 0,0001$). Это отражает возрастание статистического шума в результате «перереконструкции». При фиксированном количестве итераций применение SCF 0,41 чуть повышает SNR относительно SCF 1,10 (в среднем +1,3...1,6 единицы, $p = 0,03$), т.е. более сильная коррекция рассеяния не приводит к ухудшению отношения сигнал/шум, а даже немного улучшает его благодаря увеличению контраста очаг/фон. Нами также измерено относительное шумовое

пятно N% в фоновой области: при 2i/10s N~21–25%, а при 24i/10s – возрастает до 106–116%(!), т.е. фон становится сравним с сигналом по величине колебаний. Эти цифры соответствуют визуальным наблюдениям: изображения с 24 итерациями выглядели сильно зернистыми, в то время как 2 итерации + фильтр давали гладкую картину.

Клинические примеры применения количественных параметров

На основе полученных характеристик была проведена пробная клиническая оценка на пациентах с различными нозологиями: В исследовании костей скелета с ^{99m}Tc -фосфонатами (остеосцинтиграфия) для нескольких очагов определены SUVmax и SUVmean. Например, в очаге метастатического поражения тела позвонка SUVmax достигал 28,7, тогда как в доброкачественных дегенеративных изменениях не превышал 15,4 (Рисунок 6).

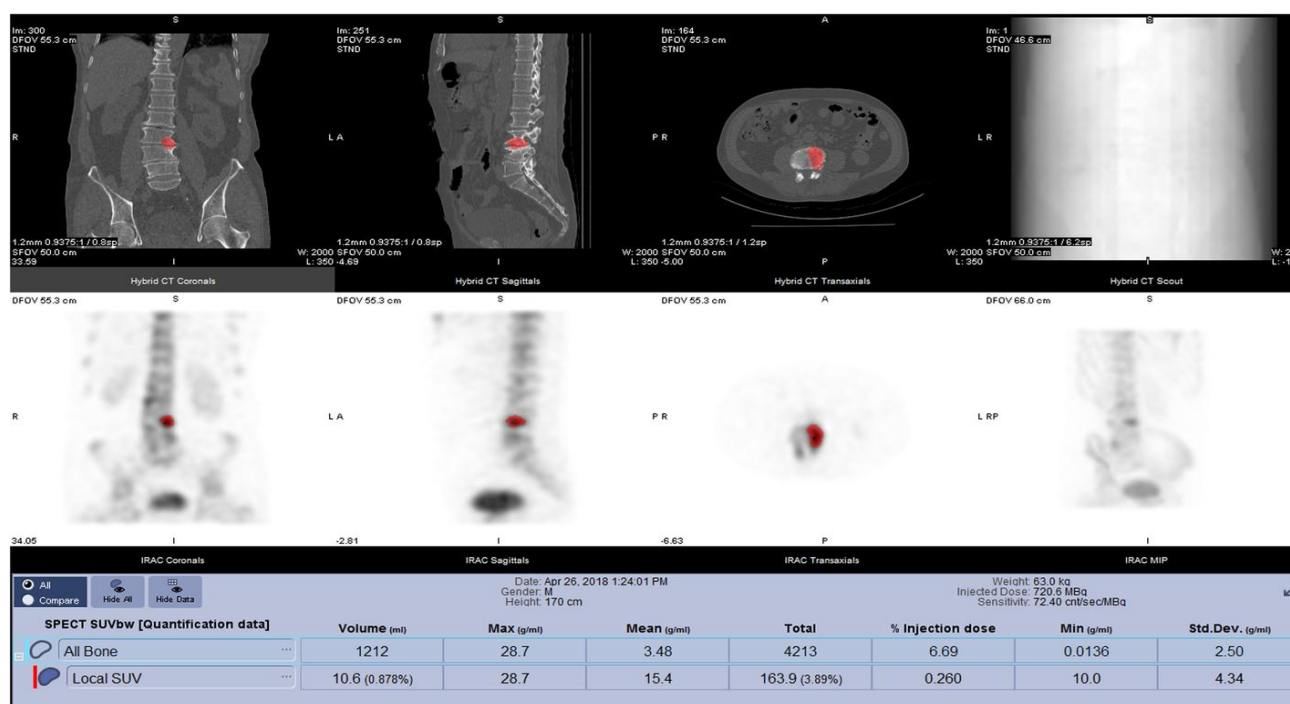


Рисунок 6 – Остеосцинтиграфия. Очаг метастатического поражения тела позвонка SUVmax

4. Обсуждение

Выполненное исследование подтверждает критическую важность регулярного контроля качества для работы ОФЭКТ/КТ комплекса. Даже небольшие отклонения, обнаруженные в ходе QA-тестов (например, смещение энергетического окна и центра вращения), могли бы при игнорировании привести к существенным артефактам и ошибкам количественного анализа. Нами показано, что строгая программа QC позволяет поддерживать параметры системы в пределах, существенно

превышающих минимальные требования. Так, однородность детекторов после калибровки составила ~2%, что гораздо лучше исторических нормативов (<5%). Это обеспечило отсутствие зарегистрированных артефактов на ОФЭКТ изображениях и минимальную необходимость в программной корректировке (фильтрации) для получения диагностически качественных сканов.

Энергетическое разрешение ~9% гарантирует эффективное отделение фото-пика ^{99m}Tc от рассеянного излучения, что служит основой для корректной работы алгоритмов двойного окна рассеяния (DEW).

Результаты фантомной части работы согласуются с данными других авторов по количественному ОФЭКТ. Kupitz и др. на аналогичном приборе GE 670 показали недовосстановление активности ~16% для больших объемов и до 80% для мелких при стандартной реконструкции [17]. Наши данные практически идентичны: HSRC ~0,88 (недобор 12%) для 37 мм сферы и ~0,17 (недобор 83%) для 10 мм сферы. Такая величина частично обусловлена фундаментальным пределом разрешающей способности сцинтиляционных камер (порядка 7–8 мм с LEHR коллиматором) – объекты меньше ~3 размеров FWHM не могут быть количественно оценены без поправок. Решением этой проблемы может служить введение коэффициентов восстановления (RC-факторов) при расчете активности небольших очагов. Исследование Geworski и др. показало принципиальную реализуемость поправки на частичный объем в эмиссионной томографии: рассчитав заранее RC для разных размеров, можно повышать точность оценки активности мелких поражений до 10–15% [19]. В нашем случае это могло бы означать умножение измеренной активности 10-мм очага на ~5–6 (т.к. RC~0,17) для приближения к истинной. В практической клинике, однако, такие коррекции следует применять с осторожностью и только если измеряемый очаг достаточно контурирован и изолирован от близких структур. EANM в своих новых рекомендациях по количественному ОФЭКТ подчеркивает, что SUVmax маленьких очагов зачастую искажен из-за низкого RC и статистического шума, поэтому более надежным показателем может служить SUVpeak – средний SUV в небольшом объеме (например, сфере 1 мл), который менее зависит от разрешения и шумов. SUVpeak в нашем фантоме составил ~0,8 для большой сферы при 2 итерациях и ~0,6 при 24 итерациях, демонстрируя устойчивое поведение (изменение меньше, чем у SUVmax). Это подтверждает целесообразность использования SUVpeak для повышения воспроизводимости результатов.

Другим важным выводом является необходимость компромисса между

количественной точностью и качеством изображения. Мы экспериментально убедились, что протокол реконструкции, оптимальный для количественного анализа, отличается от протокола для визуальной диагностики. Для получения правильных цифр активности требуются больше итераций, минимизация фильтрации и жесткие поправки на рассеяние – но такие настройки приводят к росту шумов и могут ухудшить восприятие изображения радиологом. Наоборот, сглаживающие фильтры и малое число итераций дают красивую «чистую» картинку, удобную для анализа формы очага, но недооценивают интенсивность накопления. В частности, упомянутый ранее SUV очень чувствителен к параметрам реконструкции: увеличение сглаживания ведет к снижению SUVmax, а повышение итераций – к росту SUV, но с увеличением разброса результатов. В руководстве EANM 2023 рекомендуют применять две отдельные реконструкции при гибридном исследовании: одну – оптимизированную под количественный анализ (с максимальными поправками и калибровкой), другую – под визуальную диагностику (с фильтрацией для подавления шумов). Поэтому в практике нашего отделения мы сейчас используем двойной протокол: данные ОФЭКТ реконструируем дважды – для вычислений SUV/активностей (полностью откорректированный qSPECT) и для просмотра врачом (обычный ОФЭКТ с фильтрацией). Количественные показатели SUVmean, SUVmax, рассчитанные на первом, затем сопоставляются с визуальной картиной на втором, что обеспечивает всестороннюю оценку.

Такой подход соответствует рекомендациям EANM и позволяет получать максимум информации от гибридного исследования.

Таким образом, проведенная работа продемонстрировала, что тщательное обеспечение качества – не формальность, а необходимое условие достоверной количественной ОФЭКТ/КТ визуализации. Регулярные испытания позволили выявить и своевременно откорректировать малейшие отклонения (сдвиг энергии и центра вращения), а также убедиться в том, что система откалибрована правильно (верно измеряет Бк/мл).

Полученные количественные показатели (чувствительность, SUV, RC и др.) соответствуют международным данным, подтверждая высокое

качество аппарата GE Discovery 670 DR и корректность наших методик.

5. Выводы

Выполненная работа подтвердила, что система качества, включающая плановый контроль качества оборудования, критически важна для успешного проведения ОФЭКТ/КТ-исследований. На примере гибридного сканера GE Discovery 670 DR показано, что регулярные тесты (ежедневные, еженедельные, ежемесячные) позволяют обеспечить стабильную работу детекторов, точность калибровки и высокое качество изображений. Полученные числовые параметры – однородность ~2%, энергетическое разрешение ~9%, чувствительность ~72 cps/MBq, пространственное разрешение ~4–7 мм – лежат в пределах нормативных требований или лучше их, что достигнуто благодаря строго соблюдаемой программе QC.

Наша работа подтвердила рекомендацию выполнять отдельные протоколы реконструкции для количественного анализа и визуализации, чтобы не жертвовать ни точностью чисел, ни читабельностью изображения. При внедрении такой практики ОФЭКТ/КТ становится инструментом не только качественным, но и количественным, сближаясь по возможностям с

ПЭТ/КТ. Однако достижимо это только при условии безукоризненного контроля качества. Регулярный контроль качества аппарата должен начинаться с момента установки и продолжаться на протяжении всего срока эксплуатации, с документированием всех результатов и периодическим их пересмотром. Выполнение этих требований обеспечивает своевременное выявление дефектов системы и их устранение до того, как они повлияют на пациентов. Настоящая работа служит свидетельством того, что тщательное соблюдение QA/QC протоколов позволяет эксплуатировать ОФЭКТ/КТ комплекс на максимуме его возможностей, гарантируя точность и надежность как визуальной, так и количественной информации.

Вклад авторов: Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с данным исследованием.

Финансирование. Внешних источников финансирования данного исследования нет.

Литература

1. National Electrical Manufacturers Association. (2018). NEMA Standards Publication NU 1-2018: Performance Measurements of Gamma Cameras. Rosslyn Virginia: National Electrical Manufacturers Association. https://www.nema.org/docs/default-source/standards-document-library/nema_nu_1_2018-contents-and-scope.pdf?sfvrsn=d93985ea_201
2. Dickson, J. C., Armstrong, I. S., Gabiña, P. M., Denis-Bacelar, A. M., Krizsan, A. K., Gear, J. M., Van den Wyngaert, T., de Geus-Oei, L. F., & Herrmann, K. (2023). EANM practice guideline for quantitative SPECT-CT. European journal of nuclear medicine and molecular imaging, 50(4), 980–995. <https://doi.org/10.1007/s00259-022-06028-9>
3. International Atomic Energy Agency. (2009). Quality assurance for SPECT systems (Human Health Series No. 6). IAEA. <https://www.iaea.org/publications/8119/quality-assurance-for-spect-systems>
4. Halim, F., Yahya, H., Jaafar, K. N., & Mansor, S. (2021). Accuracy Assessment of SUV Measurements in SPECT/CT: A Phantom Study. Journal of nuclear medicine technology, 49(3), 250–255. <https://doi.org/10.2967/jnmt.120.259168>
5. Mutuleanu, M. D., Paun, D. L., Lazar, A. M., Petroiu, C., Trifanescu, O. G., Anghel, R. M., & Gherghe, M. (2023). Quantitative vs. Qualitative SPECT-CT Diagnostic Accuracy in Bone Lesion Evaluation-A Review of the Literature. Diagnostics (Basel, Switzerland), 13(18), 2971. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13182971>
6. Rubello, D., & Colletti, P. M. (2018). SUV Harmonization Between Different Hybrid PET/CT Systems. Clinical nuclear medicine, 43(11), 811–814. <https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002284>
7. Peters, S. M. B., van der Werf, N. R., Seghers, M., et al. (2019). Towards standardization of absolute SPECT/CT quantification: A multi-center and multi-vendor phantom study. EJNMMI Physics, 6(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s40658-019-0268-5>

8. Monsef, A., Ay, M. R., Sheikhzadeh, P., Geramifar, P., Rahmim, A., & Ghafarian, P. (2022). Harmonization based on quantitative analysis of standardized uptake value variations across PET/CT scanners: a multicenter phantom study. *Nuclear medicine communications*, 43(9), 1004–1014. <https://doi.org/10.1097/MNM.0000000000001598>
9. Zeintl, J., Vija, A. H., Yahil, A., Hornegger, J., & Kuwert, T. (2010). Quantitative accuracy of clinical 99mTc SPECT/CT using ordered-subset expectation maximization with 3-dimensional resolution recovery, attenuation, and scatter correction. *Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine*, 51(6), 921–928. <https://doi.org/10.2967/jnumed.109.071571>
10. de Nijs, R., Lagerburg, V., Klausen, T. L., & Holm, S. (2014). Improving quantitative dosimetry in (177)Lu-DOTATATE SPECT by energy window-based scatter corrections. *Nuclear medicine communications*, 35(5), 522–533. <https://doi.org/10.1097/MNM.0000000000000079>
11. Hutton, B. F., Buvat, I., & Beekman, F. J. (2011). Review and current status of SPECT scatter correction. *Physics in medicine and biology*, 56(14), R85–R112. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/56/14/R01>
12. Bailey D.L., Willowson K.P. An Evidence-Based Review of Quantitative SPECT Imaging and Potential Clinical Applications. *J Nucl Med*. 2013;54(1):83–89.
13. Nakahara, T., Daisaki, H., Yamamoto, Y., Imori, T., Miyagawa, K., Okamoto, T., Owaki, Y., Yada, N., Sawada, K., Tokorodani, R., & Jinzaki, M. (2017). Use of a digital phantom developed by QIBA for harmonizing SUVs obtained from the state-of-the-art SPECT/CT systems: a multicenter study. *EJNMMI research*, 7(1), 53. <https://doi.org/10.1186/s13550-017-0300-5>
14. Willowson, K., Bailey, D. L., & Baldock, C. (2008). Quantitative SPECT reconstruction using CT-derived corrections. *Physics in medicine and biology*, 53(12), 3099–3112. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/53/12/002>
15. Hagiwara, A., Fujita, S., Ohno, Y., & Aoki, S. (2020). Variability and Standardization of Quantitative Imaging: Monoparametric to Multiparametric Quantification, Radiomics, and Artificial Intelligence. *Investigative radiology*, 55(9), 601–616. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000666>
16. Glatting, G., & Lassmann, M. (2011). Nuclear medicine dosimetry: quantitative imaging and dose calculations. *Zeitschrift für medizinische Physik*, 21(4), 246–247. <https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2011.07.005>
17. Kupitz, D., Wissel, H., Wuestemann, J., Bluemel, S., Pech, M., Amthauer, H., Kreissl, M. C., & Grosser, O. S. (2021). Optimization of SPECT/CT imaging protocols for quantitative and qualitative 99mTc SPECT. *EJNMMI physics*, 8(1), 57. <https://doi.org/10.1186/s40658-021-00405-3>
18. McDougald, W. A., Miyaoka, R. S., Alessio, A. M., Harrison, R. L., & Lewellen, T. K. (2016). A study of SPECT/CT camera stability for quantitative imaging. *EJNMMI physics*, 3(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s40658-016-0150-7>
19. Geworski, L., Knoop, B. O., de Cabrejas, M. L., Knapp, W. H., & Munz, D. L. (2000). Recovery correction for quantitation in emission tomography: a feasibility study. *European journal of nuclear medicine*, 27(2), 161–169. <https://doi.org/10.1007/s002590050022>
20. Ljungberg, M., & Pretorius, P. H. (2018). SPECT/CT: an update on technological developments and clinical applications. *The British journal of radiology*, 91(1081), 20160402. <https://doi.org/10.1259/bjr.20160402>
21. Ljungberg, M., & Pretorius, P. H. (2018). SPECT/CT: an update on technological developments and clinical applications. *The British journal of radiology*, 91(1081), 20160402. <https://doi.org/10.1259/bjr.20160402>
22. Ljungberg, M. (2021). Quantitative SPECT Imaging. In: Khalil, M.M. (eds) *Basic Sciences of Nuclear Medicine*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65245-6_18
23. Kangasmaa, T. S., Constable, C., & Sohlberg, A. O. (2021). Quantitative bone SPECT/CT reconstruction utilizing anatomical information. *EJNMMI physics*, 8(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40658-020-00348-1>
24. Dewaraja, Y. K., Frey, E. C., Sgouros, G., Brill, A. B., Roberson, P., Zanzonico, P. B., & Ljungberg, M. (2012). MIRD pamphlet No. 23: quantitative SPECT for patient-specific 3-dimensional dosimetry in internal radionuclide therapy. *Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine*, 53(8), 1310–1325. <https://doi.org/10.2967/jnumed.111.100123>
25. Demirkaya, O., & Al Mazrou, R. (2007). Performance test data analysis of scintillation cameras. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 54(5), 1506–1515. <https://doi.org/10.1109/TNS.2007.906162>

БФЭКТ/КТ GE Discovery 670 DR аппаратында зерттеулердің сапасын қамтамасыз ету және бақылау

[Садуакасова А.Б.](#) ¹, [Баймуканова А.Е.](#) ², [Наурызбаева А.А.](#) ³, [Магзумов А.Б.](#) ⁴

¹ Ядролық медицина орталығының жетекшісі, Қазақстан Республикасы Президентінің Іс басқармасы Медициналық орталығының ауруханасы, Астана, Қазақстан

² Ядролық медицина орталығының аға клиникалық физигі, Қазақстан Республикасы Президентінің Іс басқармасы Медициналық орталығының ауруханасы, Астана, Қазақстан

³ Ядролық медицина орталығының клиникалық физигі, Қазақстан Республикасы Президентінің Іс басқармасы Медициналық орталығының ауруханасы, Астана, Қазақстан

⁴ Ядролық медицина орталығының клиникалық физигі, Қазақстан Республикасы Президентінің Іс басқармасы Медициналық орталығының ауруханасы, Астана, Қазақстан

Түйіндеме

Жұмыстың мақсаты интеграцияланған компьютерлік томография — GE Discovery 670 DR бар бірфотонды эмиссиялық компьютерлік томографияның гибриді жүйесі үшін сапаны қамтамасыз ету және бақылау (QA/QC) бағдарламасын әзірлеу және іске асыру, сондай-ақ жүйенің сандық сипаттамаларын бағалау болды. Жұмыс электр жабдықтарын өндірушілердің ұлттық қауымдастығының стандарттарына, Атом Қуаты Халықаралық Агенттігі және Еуропалық ядролық медицина ассоциациясының ұсыныстарына сәйкес орындалды, күнделікті, апталық және регламенттік сынақтарды қамтыды. Жүйенің негізгі параметрлері бағаланды: біртектілік, энергетикалық және кеңістіктік ажыратымдылық, сезімталдық, айналу орталығы және жұмыс тұрақтылығы. Орташа интегралды гетерогенділік 2,1–2,8%, энергетикалық ажыратымдылық — 8,7–9,2%, сезімталдық — 72 имп/с/МБк құрады, бұл нормативтік талаптарға толық сәйкес келеді. Сандық калибрлеу үшін NEMA IEC Body Phantom фантомы қолданылды. Белсенділікті қалпына келтіру коэффициенттерін және стандартталған жинақтау көрсеткіштерін өлшеу жүргізілді. Итерация санының артуы және шашырауды түзетуді оңтайландыру белсенділіктің сандық дәлдігін арттырады. Әсіресе кішігірім нысандар үшін, бірақ шудың өсуіне әкеледі, бұл визуалды сапа мен дәлдік арасындағы тепе-теңдікті қажет етеді. Диагностикалық — визуалды бағалау үшін және сандық — SUV және басқа qSpect көрсеткіштерін есептеу үшін екі қайта құру хаттамасын қолдану бойынша тәжірибелік ұсынымдар жасалды. Алынған нәтижелер жүйенің тұрақтылығы мен қайталанымдылығын, сондай-ақ оны клиникалық тәжірибеде сандық талдау үшін қолдану мүмкіндігін растады. Осылайша, QA/QC бағдарламасының қатаң сақталуы GE Discovery 670 DR аппаратының сенімді жұмысын қамтамасыз етеді және сапалы диагностика үшін ғана емес, сонымен қатар дәл сандық визуализация үшін бірфотонды эмиссиялық компьютерлік томография/ компьютерлік томография пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: бірфотонды эмиссиялық компьютерлік томография/компьютерлік томография, GE Discovery 670 DR, сапаны бақылау, сандық бірфотонды эмиссиялық компьютерлік томография, электр жабдықтарын өндірушілердің ұлттық қауымдастығы, стандартталған қабылдау мәндері, Жоғары жылдамдықтағы белсенділікті қалпына келтіру коэффициенттері, сезімталдық, қайта құру.

Ensuring and Monitoring the Quality of Research on the SPECT/CT GE Discovery 670 DR

[Aigul Saduakassova](#)¹, [Assel Baymukanova](#)², [Adeliya Naurzbayeva](#)³, [Almas Magzumov](#)⁴

¹ Head of the Center for Nuclear Medicine, Medical Centre Hospital of the President's Affairs Administration of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

² Senior Clinical Physicist at the Center for Nuclear Medicine, Medical Centre Hospital of the President's Affairs Administration of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

³ Clinical Physicist at the Center for Nuclear Medicine, Medical Centre Hospital of the President's Affairs Administration of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

⁴ Clinical Physicist at the Center for Nuclear Medicine, Medical Centre Hospital of the President's Affairs Administration of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

Abstract

The objective of this study was to develop and implement a quality assurance and control (QA/QC) program for the GE Discovery 670 DR hybrid single-photon emission computed tomography system with integrated computed tomography module, as well as to evaluate the system's quantitative performance. The study performed in accordance the National Electrical Manufacturers Association, the International Atomic Energy Agency, and the European Association of Nuclear Medicine, recommendations, and included daily, weekly, and routine testing. The key system

parameters evaluated included homogeneity, energy and spatial resolution, sensitivity, center of rotation, and operational stability. The average integrated nonuniformity was 2.1–2.8%, the energy resolution was 8.7–9.2%, and the sensitivity was 72 cps/MBq, fully compliant with regulatory requirements. A National Electrical Manufacturers Association International Electrotechnical Commission Body Phantom used for quantitative calibration. High-speed activity recovery coefficients and standardized uptake values were measured. It shown that increasing the number of iterations and optimizing scatter correction improve the accuracy of quantitative activity assessment, especially for small objects, but also leads to increased noise, requiring a balance between visual quality and accuracy. Practical recommendations developed for the use of two reconstruction protocols: a diagnostic protocol for visual assessment and a quantitative protocol for calculating standardized uptake values and other quantitative single-photon emission computed tomography metrics. The results confirmed the stability and reproducibility of the system, as well as its suitability for quantitative analysis in clinical practice. Thus, strict adherence to the quality assurance and quality control program ensures reliable operation of the GE Discovery 670 DR and enables the use of single-photon emission computed tomography with integrated computed tomography not only for high-quality diagnostics but also for accurate quantitative imaging.

Keywords: single-photon emission computed tomography with integrated computed tomography, GE Discovery 670 DR, quality control, quantitative single-photon emission computed tomography, National Electrical Manufacturers Association, standardized uptake values, High-speed activity recovery coefficients, sensitivity, reconstruction.