

онирование ( $\leq 2$  мм для не стереотаксического аппарата и  $\leq 1$  мм для стереотаксического) и совпадение системы координат детектора и лечебного поля линейного ускорителя ( $\leq 2$  мм для не стереотаксического аппарата и  $\leq 1$  мм для стереотаксического) [5]. Операционные проверки и проверки изображений выполняются путем визуализации фиксированного фантома установленной геометрии с заданной дозой. Это позволяет быстро оценить работоспособность ЭДПИ и качество получаемого изображения.

Ежемесячный контроль качества включает также проверку технической безопасности и механической целостности. Такие параметры как, пространственное разрешение, контрастность, равномерность и шумы должны определяться специально для каждого типа ЭДПИ и для каждого отдельного лечебного учреждения с учетом его оснащенности.

Для отслеживания тенденции ухудшения качества изображения следует анализировать ежедневные результаты контроля качества. Кроме того, периодически (например, ежемесячно) следует подвергать контролю обслуживание диска и базы данных.

Быстрая проверка производительности программного обеспечения для выполнения количественного измерения должна проводиться ежегодно. Контроль качества программного обеспечения должен выполняться также при выходе обновлений программного ресурса, а также при каких-либо изменениях в системе ЭДПИ.

### **Заключение**

При выполнении программы гарантии качества ЭДПИ является быстрым, достаточно точным и простым методом верификации лечебных планов с объемной модуляцией интенсивности облучения. Технология ЭДПИ является важным инструментом для оценки точности позиционирования пациента на лечебном столе; определения соответствия доставляемого дозового распределения и распределения, предписанного планирующей системой; обеспечения высокого качества характеристик медицинского линейного ускорителя и, как следствие, служит гарантом эффективности лечения онкологических больных.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Титович, Е. В.* Оптимизация программы гарантии качества облучения пациентов по методике IMRT / Е.В. Титович, И.Г. Тарутин, А.А. Жигун // Медицинская физика. 2014;4:14–21.
2. *Тарутин, И. Г.* Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии / И.Г.Тарутин, Е.В. Титович. – Минск: Белорусская наука, 2014. – 176 с.
3. *Herman MG.* Clinical use of electronic portal imaging: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 58 / Michael G. Herman [et al.] // Medical Physics. 2001;1(2):38–57.
4. *Herman MG.* Guide to clinical use of electronic portal imaging / Michael G. Herman [et al.] // Journal of Applied Clinical Medical Physics. 2000;1(2):38–57.
5. *Klein EE.* Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators / Eric E. Klein [et al.] // Medical Physics. 2009;36:4197–4212.

## **КОНТРОЛЬ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ОТДЕЛЕНИИ РАДИОИЗОТОПНОЙ ДИАГНОСТИКИ**

## **CONTROL AND QUALITY ASSURANCE OF DIAGNOSTIC EQUIPMENT IN THE RADIOISOTOPE DIAGNOSTICS DEPARTMENT**

***Д. В. Шпак, Т. С. Чукова***

***D. V. Shpak, T. S. Cyikova***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
101dashka@mail.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Метод радионуклидной диагностики онкологических заболеваний, основанный на регистрации излучений при введении в организм больного радиофармпрепаратов, является одним из наиболее высокочувствительных и эффективных. Однако, в настоящее время в мире отсутствует универсальная программа гарантии качества подобного обследования пациентов в отделении ядерной медицины. Обоснована необходимость и актуальность разработки системы контроля и обеспечения качества диагностического оборудования в отделении радиоизотопной диагностики медицинского учреждения. Рассмотрены условия проведения контроля качества, этапы и алгоритмы ежедневного контроля качества, требования к обеспечению качества диагностических аппаратов, включающие кросс-калибровку томографа, проверку стабильности, испытание на гомогенность, проверку пиксельного шума, пространственной разрешающей способности и контрастности, проверку положения стола.

The method of radionuclide diagnostics of cancer diseases based on the registration of radiation when radiopharmaceuticals are injected into the patient's body is one of the most highly sensitive and effective. However, at present, there is no universal program for quality assurance of such examination of patients in the Department of Nuclear Medicine in the world. The necessity and relevance of developing a system of quality control and quality assurance of diagnostic equipment in the department of radioisotope diagnostics of a medical institution have been substantiated. The conditions of quality control, stages, and algorithms of daily quality control, requirements for quality assurance of diagnostic devices, including tomograph cross-calibration, stability check, homogeneity test, pixel noise check, spatial resolution and contrast, table position check are considered.

*Ключевые слова:* онкология, радиоизотопная диагностика, ядерная медицина, радиофармпрепараты, контроль качества, гарантия качества, диагностическое оборудование.

*Keywords:* oncology, radioisotope diagnostics, nuclear medicine, radiopharmaceuticals, quality control, quality assurance, diagnostic equipment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-142-146>

Одна из важнейших задач ядерной медицины состоит в выявлении метаболических нарушений в злокачественных новообразованиях и в окружающих тканях больного, что обеспечивает раннюю диагностику раковых опухолей и, как следствие, способствует успешному лечению заболевания. Методы функциональной визуализации опухолей в ядерной медицине принципиально отличаются от анатомо-топографических методов лучевой диагностики. Радионуклидная диагностика относится к высокочувствительным диагностическим методам ядерной медицины, с помощью которых можно одновременно получать информацию об анатомо-топографическом и функциональном состояниях организма больного.

Исследования больных в отделении радиоизотопной диагностики проводятся с использованием радиофармпрепаратов, вводимых непосредственно в организм пациента. Благодаря их способности накапливаться в исследуемых тканях организма и отображать динамику протекающих в них физиологических процессов можно обнаруживать и оценивать патологические функциональные изменения органов на молекулярном уровне на самых ранних стадиях, когда заболевание еще не имеет выраженной клинической картины. Радионуклидная диагностика не оказывает негативного воздействия на жизнедеятельность организма пациента, поскольку количество вводимого препарата столь мало, что не вызывают побочных эффектов; кроме того, она основана на внешней дистанционной радиометрии излучения.

Уникальные свойства современных радиофармпрепаратов для медико-биологических исследований в радиоизотопной диагностике получены благодаря использованию в качестве биологической метки важных ультракороткоживущих позитрон-излучающих радионуклидов ( $C^{11}$ ,  $N^{13}$ ,  $O^{15}$ ,  $F^{18}$ ) [1].

Радионуклидные методы диагностики используются для выявления онкологических заболеваний в тех случаях, когда изменения структуры опухоли либо не неспецифичны, либо не определяются. Кроме того, их применение оправдано для оценки реакции новообразования на проводимую терапию на ранних стадиях лечения в целях прогнозирования его результатов.

Радионуклидная диагностика в онкологии решает следующие задачи:

- дифференциальная диагностика злокачественных опухолей и доброкачественных новообразований;
- определение локализации опухоли и уточнение стадии процесса;
- выявление метастазов и рецидивов после проведенного лечения;
- оценка эффективности противоопухолевой терапии.

В Учреждении здравоохранения «Минский городской клинический онкологический диспансер» (МГКОД) отделение радиоизотопной диагностики располагает однофотонным эмиссионным томографом (ОФЭКТ) AnyScan S, однофотонным эмиссионным компьютерным томографом, совмещенным с рентгеновским компьютерным томографом (ОФЭКТ/КТ) Symbia Intevo, позитронно-эмиссионным компьютерным томографом, совмещенным с рентгеновским компьютерным томографом (ПЭТ/КТ) Biograph Horizon, кабинетом нефросцинтиграфии с гамма-камерой NephroCam; оснащено современным оборудованием для работы с радиофармпрепаратами [2]. Гамма-аппараты ОФЭКТ/КТ и ПЭТ/КТ позволяют наиболее эффективно проводить дифференциальную диагностику злокачественных и доброкачественных опухолей, определять распространенность новообразования, выявлять ранние рецидивы заболевания, оценивать эффективность проводимого лечения.

Разработка клинически приемлемой программы гарантии качества обследования пациентов со злокачественными новообразованиями с использованием радиофармпрепаратов в отделении радиоизотопной диагностики является актуальной проблемой ядерной медицины.

### **Важность процедур контроля качества и обеспечения качества**

При работе гамма-аппаратов ОФЭКТ/КТ и ПЭТ/КТ во время сканирования и калибровки происходит ионизирующее излучение. Поэтому очень важно каждое утро медицинскому физику правильно произвести процедуру контроля качества диагностического аппарата.

Главные требования правильной процедуры контроля качества, соблюдаемые при калибровке диагностических аппаратов:

- ограничить присутствие персонала в зоне облучения;
- не допускать излишнего радиоактивного излучения;
- соблюдать все необходимые требования по радиационному контролю, безопасности и отчетности, установленным учреждением.

Обеспечение контроля качества диагностических аппаратов способствует нормальной работоспособности системы. В противном же случае существует вероятность постановки неправильного диагноза. Для этого также регулярно производится калибровка и проверка изображений. Обеспечивая неизменно высокое качество изображений, нужно регулярно проводить контрольные измерения с целью оценки качества [3]. Контрольные проверки качества обычно выполняются в несколько этапов:

- ежедневные измерения для обеспечения качества;
- ежемесячные измерения для обеспечения качества (проверка стабильности);
- тест камеры;
- проверка компьютерно-томографического индекса дозы (Computed Tomography Dose Index, CTDI) (каждые 6 месяцев).

### Условия проведения контроля качества

Для проведения контроля качества потребуется набор источников радиоактивного излучения и следующих фантомов:

#### 1. Однородные фантомы с активностью.

Трехмерный однородный фантом Ge-68 представляет собой закрытый источник цилиндрической формы диаметром 20 см и длиной 27 см с активностью до 2,5 мКи. Он используется как с функцией TrueV, так и без нее в следующих случаях:

- во время приемочных испытаний для получения сведений о чувствительности и однородности изображения;
- для калибровки детектора ПЭТ, настройки и синхронизации времени;
- при тестовом сканировании.

Контроль качества системы (ежедневный контроль качества, настройка системы и пр.) откалиброван для использования фантома Ge-68 (20 × 27 см) с активностью до 2,5 мКи как на томографе стандартной конфигурации (3-кольцовая), так и для конфигурации с TrueV (4-кольцовая).

Период полураспада изотопа Ge-68 составляет 270,8 дней, поэтому необходимо тщательно контролировать замену источников.

#### 2. Однородный водный фантом.

Однородный водный фантом представляет собой цилиндр диаметром 20 см и длиной 20 см, который заполняется водным раствором с определенной активностью. Такие фантомы применяются в случаях:

- после процедур по обслуживанию томографа;
- во время приемочных испытаний для получения данных о частоте импульсов, чувствительности, однородности изображения и воспроизводимости измерений;
- для калибровки детекторов;
- для кросс-калибровки системы [1].

### Кросс-калибровка томографа

Этот процесс является важным при проведении процедуры контроля качества и описывает процесс кросс-калибровки томографа по калибратору дозы. Процедура кросс-калибровки томографа проводится в следующем порядке:

- запускается программа контроля качества томографа с частичной настройкой;
- вычисляется поправочный коэффициент кросс-калибровки (CCCF) с помощью фантома с радиоактивным раствором F-18 и встроенного инструмента кросс-калибровки системы;
- томограф калибруется, для того, чтобы убедиться в успешной кросскалибровке томографа по калибратору дозы;
- выполняется сканирование фантома с радиоактивным раствором с использованием стандартного протокола Cross Calibration (Кросс-калибровка) и числом импульсов 100000000;
- записывается Scan Start Time (Время начала сканирования) в инструмент кросс-калибровки.

Значение Calculated Specific Activity Scan Start (Рассчитанная удельная активность в начале сканирования) рассчитывается в рабочей таблице по формуле:

$$A_{calc}^{scan} = \frac{A_{assayed}}{V_{phantom}} * e^{-\ln 2 * \frac{tdelay}{110min}},$$

где  $A_{assayed}$  – чистая доза в (Бк);

$V_{phantom}$  – объем фантома в мл;

$tdelay$  – время задержки перед началом сканирования.

По завершении кросс-калибровочного сканирования фантома с радиоактивным раствором загружается изображение на карту задач Viewing (Просмотр). Результат оценивается медицинским физиком.

### **Ежедневный контроль качества диагностических аппаратов**

Ежедневно перед началом обследования необходимо проводить контроль качества гамма-аппаратов части КТ. При ежедневном контроле качества проверяются только три параметра с использованием водного фантома:

- КТ-значение воды рассчитывается в единицах Хаунсфилда (HU);
- пиксельный шум рассчитывается в виде стандартного отклонения;
- напряжения на трубке измеряются непосредственно на рентгеновской трубке. Эти измерения выполняются для всех имеющихся значений кВ.

### **Обеспечение качества диагностических аппаратов**

К обеспечению качества стоит обязательно отнести проверку стабильности гибридных гамма-аппаратов. Наряду с другими характерными параметрами те величины, которые подвергаются ежедневному контролю, проходят ежемесячную проверку на стабильность. Эти проверки проводятся с использованием полного набора фантомов.

Не реже одного раза в шесть месяцев должно проводиться измерение CTDI (индекс КТ-дозы). Измерение CTDI должно быть также проведено после любых работ по техническому обслуживанию, которые могут оказывать влияние на результаты проверки. Для ежемесячной проверки стабильности требуются следующие фантомы и принадлежности:

- Держатель фантома;
- Набор фантомов;
- Груз 100 кг;
- Рулетка с длиной ленты 40 см или более [1].

### **Проверка стабильности**

Проверка стабильности в себя включает следующие этапы:

#### *1. Проверка внутреннего светового прицела.*

При выполнении контроля качества определяется отклонение внутреннего светового прицела от текущей плоскости сечения.

#### *2. Проверка сагиттального и фронтального светового прицела.*

Фантом толщины среза позиционирован так, что сагиттальный и горизонтальный световые указатели помечают горизонтальный и вертикальный центр. При измерении в изображении определяется центр фантома. Результатом является отклонение от горизонтального и вертикального центра изображения до центра фантома.

#### *3. Проверка расположения предварительного изображения.*

#### *4. Проверка толщины среза.*

Толщина среза определяется с помощью фантома среза заданной толщины. Для каждого значения толщины среза создается томограмма фантома, на основании которой рассчитывается действительная толщина среза.

### **Испытание на гомогенность**

С помощью этой проверки контролируется гомогенность (однородность) КТ-значений в пределах пяти участков водяного фантома. Создается изображение водяного фантома. На изображении выделяется 5 интересных областей – одна центральная и четыре периферийных. Помимо интересных областей, на изображении представляются средние величины и стандартные (среднеквадратичные) отклонения КТ-значений. На изображении представляется расхождение между средними значениями, полученными для центральной и периферийных интересных областей.

### **Проверка пиксельного шума**

Пиксельный шум (шум дискретизации изображения) определяется по двум томограммам водяного фантома. Два изображения водяного фантома записываются с идентичными параметрами. На экране представляется разница, полученная по результатам первого и второго измерения. Выполняются оценки следующих параметров:

- Интересующая область;
- средняя величина КТ-значения;
- сигма-коэффициент (пиксельный шум).

### **Проверка MTF**

Пространственная разрешающая способность оценивается с помощью частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) (MTF – modulation transfer function). Эта функция описывает амплитуду контрастности структуры из чередующихся штрихов при различных локальных частотах относительно случая с идеальной передачей модуляции. Значение 2% MTF представляет собой локальную частоту, при которой контрастность структуры из периодически чередующихся штрихов этой локальной частоты уменьшается до 2%. На практике значения MTF определяются с помощью отдельной тонкой проволоочки.

MTF отображается графически как функция локальной частоты (пар линий/см). Кроме того, на экране показываются три характеристических значения 50% MTF, 10% MTF и 2% MTF.

### Проверка контрастности

С помощью этой проверки вы измерите шкалу контрастности путем измерения в воздухе и воде. Выполняется оценка центральной интересующей области, на дисплей выводится соответствующее среднее значение (ME) и стандартное отклонение (SD).

### Проверка положения стола

Используя данную процедуру контроля, проверяется, будет ли реальное положение стола пациента соответствовать тому положению, которое отображается на экране. Для проведения этого измерения устанавливается рулетка на подвижную часть стола пациента таким образом, чтобы метка 0 мм совпадала с неподвижной частью стола пациента. а после устанавливается на стол пациента груз весом 100 кг.

### Проверка воздуха CTDI

В рамках этой проверки измеряется доза по оси системы. Ионизационная камера зацентрирована в аксиальном направлении на оси системы. Плоскость среза должна проходить через центр камеры. К ионизационной камере подключен соответствующий дозиметр.

### Отчет ежедневного контроля качества

Изображения, полученные при измерениях Daily Quality (Качестве ежедневно), сохраняются в виде изображений «Quality Assurance Patient» в браузере пациентов. Новые изображения переписывают старые. Все значения измерений Daily Quality (Качество ежедневно) сохраняются в отчетах о проверке стабильности.

Достижение высоких стандартов эффективности и надежности радиоизотопной диагностики возможно только при условии разработки качественных протоколов обследования пациентов, создания методологии и порядка проведения процедур гарантии качества работы оборудования и алгоритмов диагностики злокачественных новообразований при использовании радиофармпрепаратов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Quality assurance and quality control in nuclear facilities and activities. – Vienna : IAEA, 2020. – 136 p.
2. Минский городской клинический онкологический диспансер: Отделение радиоизотопной диагностики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mgkod.by/o-dispansere/strukturnye-podrazdeleniya/struktura/719-otdelenie-radioizotopnoj-dagnostiki> . Дата доступа: 15.03.2021.
3. The management system for facilities and activities : Safety Requirements : No. GS-R-3. – Vienna : IAEA, 2006. – 48 p.

## АНАЛИЗ АССОЦИАЦИИ ВАРИАНТОВ ГЕНА VDR С УРОВНЕМ ВИТАМИНА D В СЫВОРОТКЕ ПАЦИЕНТОВ С КОСТНО-МЫШЕЧНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ ANALYSIS OF ASSOCIATION OF VDR GENE VARIANTS WITH SERUM VITAMIN D LEVEL IN PATIENTS WITH BONE-MUSCULAR DISEASE

**А. В. Яршевич<sup>1</sup>, П. М. Морозик<sup>1,2</sup>**

**A. Yarshevich<sup>1</sup>, P. Marozik<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ

г. Минск, Республика Беларусь

[perpu\\_rjaya@mail.ru](mailto:perpu_rjaya@mail.ru)

<sup>2</sup>Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Institute of Genetics and Cytology of the NAS Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Патология костно-мышечной системы рассматривается в ряду мультифакториальных заболеваний, патогенез которых является комплексным и обусловлен взаимодействием средовых и эндогенных факторов. Важную роль в прогрессировании патологии, играют нарушения в метаболизме и снижении чувствительности к витамину Д. Исследования последних двух десятилетий показали: разнообразные биологические действия активного метаболита витамина D – 1,25-дигидроксивитамина D (кальцитриола) – осуществляются посредством модуляции экспрессии генов, которые опосредованы взаимодействием с внутриклеточным рецептором витамина D (VDR).

VDR является продуктом соответствующего гена – VDR, который определяет его структуру и функциональную активность. В этом гене выявлено определенное количество полиморфных вариантов, которые могут влиять на экспрессию гена.