

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра



В.В. Колбанов

23 октября 2006 г.

Регистрационный № 056-0606

**ПРОТОКОЛ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ
АППАРАТОВ И ПРИБОРОВ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ**

инструкция по применению

УЧРЕЖДЕНИЕ-РАЗРАБОТЧИК: ГУ «Научно-исследовательский институт онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова»

АВТОРЫ: д-р техн. наук, проф. И.Г. Тарутин, канд. мед. наук
Б.Д. Шитиков, вед. инженер В.Н. Апанович, инженер Н.В. Боева

Минск 2007

В настоящее время достижение высоких стандартов эффективности и надежности в практике ядерной медицины, также как и в других областях медицины, базируется на соответствующих технологиях, гарантирующих необходимое качество проводимых исследований.

Концепция понятия «гарантия качества» в ядерной медицине подразумевает получение идеального конечного результата (изображения) при выполнении исследования, которое будет свободным от ошибок и артефактов при минимальной дозе, полученной пациентом. Понятие «контроль качества» обозначает выполнение некоторых основных контрольно-измерительных процедур для подтверждения того, что каждое проведенное исследование будет качественным.

В связи с этим требования гарантии качества в ядерной медицине должны распространяться на все аспекты методов и технологий, используемых в клинической практике. В частности, контролю качества должны быть подчинены следующие этапы выполнения исследования:

- приготовление радиоизотопной метки;
- приготовление и введение радиофармпрепарата (РФП);
- дозиметрический контроль;
- монтажные и профилактические работы диагностических приборов и аппаратов ядерной медицины;
- контроль качества применяемых для исследований аппаратов и приборов;
- методики проведения исследований;
- радиационная защита пациентов;
- анализ и интерпретация полученных результатов;
- отчеты о проведенных исследованиях и архивирование данных отчетов.

В перечень проверяемых аппаратов и приборов входят γ -камеры различных типов, включая томографические камеры, калибраторы активности (дозкалибраторы), радиографические установки и приборы для измерений *in vivo* и *in vitro* (γ - и β -счетчики).

Разработанный протокол контроля качества работы приборов и аппаратов ядерной медицины является важнейшим компонентом

обширной программы качественного и безопасного предоставления услуг населению Республики Беларусь в области радиационной медицины. Создание такого протокола предусмотрено Программой ограничения медицинского облучения, принятой Минздравом Республики Беларусь 25.06.2000 г. (постановление № 20), а также проектом ВУЕ 6/007 «Создание системы гарантии качества и контроля качества аппаратов и приборов для получения медицинских изображений», выполняемым в рамках технического сотрудничества с Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ). Протокол учитывает рекомендации ведущих международных организаций, имеющих большой опыт работы в области ядерной медицины.

1. Приборы и аппараты ядерной медицины. Параметры, подлежащие контролю

Таблица 1

Перечень типов аппаратов и приборов, применяемых
в ядерной медицине

Наименование аппарата, прибора	Параметры, подлежащие контролю
Планарные γ -камеры	<ol style="list-style-type: none"> 1. Техническое состояние 2. Фотопик окна по энергии 3. Неоднородность поля 4. Собственное пространственное разрешение 5. Системное пространственное разрешение 6. Чувствительность γ-камеры 7. Максимальный счет 8. Экранировка детекторов

<p>Томографические γ-камеры (с функцией SPECT)</p>	<p>Контролируются все вышеуказанные параметры. Для планарных γ-камер и дополнительно:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Девиация центра вращения 2. Размер пикселя 3. Томографическая чувствительность и угловая неравномерность 4. Пространственное разрешение 5. Системное пространственное разрешение и контраст
<p>Дозкалибраторы (измерители активности)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Техническое состояние 2. Фон 3. Эффективность (чувствительность) измерения 4. Линейность воспроизведения результатов измерения
<p>Аппараты для измерения γ-излучения in vivo (рентгенографические установки, аппараты определения функции щитовидной железы и т. д.)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Техническое состояние 2. Калибровка по энергии. 3. Тест на функционирование измерителя скорости счета 4. Разрешение по энергии 5. Чувствительность 6. Линейность регистрирующего устройства 7. Равномерность скорости движения бумаги регистрирующего устройства
<p>Аппараты и системы для исследований in vitro</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Калибровка по энергии 2. Разрешение по энергии (% FWHM) на половине ширины фотопика 3. Чувствительность 4. Точность счета 5. Линейность по энергии 6. Интегральный фон

1.1. Проверка технического состояния аппарата и комплектации

- проверить состояние детекторов на наличие повреждений, состояние защиты и крепления;
- проверить консоль управления γ -камерой, функционирование ручек настройки, кнопок управления и т. д.;
- проверить состояние и функционирование дисплейных устройств и аппаратов печати снимков;
- проверить функционирование пульта управления движением детекторов и стола пациента;
- проверить коллиматоры на возможное повреждение;
- проверить состояние соединительных кабелей, разъемов, предохранителей, сетевых автоматов, аварийных выключателей;
- проверить наличие инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию.

Данная проверка должна установить возможные повреждения во время транспортировки и комплектность аппарата согласно контракту.

1.2. Проверка настройки γ -камеры на фотопик

Контроль настройки на фотопик предназначен для проверки работоспособности многоканального анализатора и соответствующей настройки на энергетический спектр используемых изотопов.

1.2.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- точечный источник используемого изотопа активностью 4 МБк в контейнере;
- защитная пластина, устанавливаемая на поверхность кристалла.

1.2.2. Проведение измерения (приложение 1):

- удалить коллиматор;
- установить защитную пластину на поверхность кристалла, если точечный источник будет расположен вертикально;
- установить точечный источник выбранного изотопа на расстоянии не менее 5-кратной длины поля зрения;
- в зависимости от модели γ -камеры проконтролировать расположение фотопика (-ов) в окне многоканального анализатора спектра или произвести настройку на фотопик (Peaking);
- распечатать полученное значение энергии фотопика.

1.2.3. Обработка результатов

Визуальная оценка положения энергетического спектра: пик должен находиться в пределах энергетического окна анализатора спектра. Положение пика должно соответствовать выбранной энергии изотопа.

В камерах, где есть «автопик», значения поправок расположения пика документируются (значения регулировки основного уровня и ширины окна).

1.3. Оценка собственной неравномерности поля зрения без коллиматора (intrinsic)

Данное измерение предназначено для количественной оценки пространственных флуктуаций равномерности поля зрения γ -камеры.

1.3.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- точечный источник используемого изотопа ^{99m}Tc или ^{113m}In активностью 10-20 МБк в контейнере, дающий счет в диапазоне 30 000 имп./с при ширине окна многоканального анализатора спектра 20%;

- защитная пластина на поверхность кристалла;

- приспособление для установки точечного источника.

1.3.2. Проведение измерения (приложение 1):

- удалить коллиматор;

- установить защитную пластину на поверхность кристалла, если точечный источник будет расположен вертикально;

- проверить расположение пика многоканального анализатора спектра при 20% окне;

- провести набор статического изображения на 15000 К импульсов, для цифрового процессора использовать матрицу 64x64 с диаметром изображения 60 пикселей, т. е. при этих условиях в центральном пикселе должно быть около 4000 импульсов.

1.3.3. Обработка результатов

Визуально оценить полученное изображение на предмет наличия флуктуаций по яркости и плотности.

Произвести сглаживание изображения (при возможности по девяти точкам). Определить границы центрального поля зрения (CFOV), которое ограничено симметрично 75% длины радиуса

от центрального пикселя до границы изображения, и границы используемого поля зрения (UFOV), которое ограничено симметрично 95% длины радиуса от центрального пикселя до границы изображения.

Определить максимум N_{max} и минимум N_{min} счета в пикселях, лежащих в границе между центральным (CFOV) и используемым полем зрения (UFOV), и рассчитать интегральную неравномерность (IU) по формуле:

$$IU = \frac{N_{max} - N_{min}}{N_{max} + N_{min}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

Определить разность в максимальном счете для 6 смежных пикселей по координатам X и Y (строки и столбцы), лежащих в границе между центральным (CFOV) и используемым полем зрения (UFOV) и рассчитать дифференциальную неравномерность (DU) по формуле:

$$DU = \frac{N_{Hi} - N_{Low}}{N_{Hi} + N_{Low}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где DU – дифференциальная неравномерность;

N_{Hi} и N_{Low} – счет в пикселе, дающий наивысшее и минимальное значение разности.

На современных γ -камерах имеется специальное программное обеспечение, позволяющее автоматически вычислить интегральную (IU) и дифференциальную неравномерность (DU). Обработка результатов построена на положениях и формулах, указанных выше.

1.3.4. Анализ результатов

Сравнить полученные результаты (интегральную (IU) и дифференциальную неравномерность (DU)) с паспортными данными. При разнице результатов 10% и более возможна

и необходима коррекция неоднородности поля. При разнице 20% и более работа γ -камеры недопустима, и должны быть приняты меры для устранения неисправности.

1.4. Оценка собственного пространственного разрешения (intrinsic)

Пространственное разрешение характеризует способность γ -камеры отчетливо воспроизводить мелкие детали объекта исследования. Пространственное разрешение обычно измеряется на полной ширине окна на половине максимума изотопа (FWHM) (приложение 3). Большое значение этого показателя увеличивает размытость изображения, меньшее – указывает на хорошую разрешающую способность детектора. Большинство γ -камер типа «Anger» имеет пространственное разрешение 6-8 мм на поверхности коллиматора высокого разрешения.

1.4.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- точечный источник активностью 20-40 МБк, ^{99m}Tc в растворе;
- PLES-фантом (приложение 4);
- защитная пластина на поверхности кристалла.

1.4.2. Проведение измерения (приложение 1):

- настроить γ -камеру на фотопик;
- снять коллиматор и установить защитную пластину на детектор;
- установить PLES-фантом таким образом, чтобы линии совпали с осью X;
- выполнить статическое изображение для γ -камеры с малым полем зрения – 1000 К импульсов, для γ -камеры с большим полем зрения – 2000 К, при максимальной матрице;
- перевернуть PLES-фантом на 90° таким образом, чтобы линии совпадали с осью Y.

1.4.3. Обработка результатов

Визуально оценить полученное изображение на предмет наличия флуктуаций по яркости, плотности, линейности. По профилю определить собственное пространственное разрешение (intrinsic) на полной ширине окна на половине максимума изотопа (FWHM), используя формулу:

$$\text{FWHM} = 1,75B, \quad (3)$$

где B – ширина трансмиссионной линии PLES-фантома (мм).

1.4.4. Анализ результатов

Сравнить полученные результаты собственного пространственного разрешения (intrinsic) с паспортными данными.

При разнице результатов 10% и более возможна и необходима коррекция собственного пространственного разрешения (intrinsic).

При разнице более 10% работа γ -камеры запрещена.

1.5. Оценка системного пространственного разрешения (extrinsic)

Системное пространственное разрешение подразумевает контрольное измерение в комплексе «Коллиматор + Детектор».

1.5.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- поверхностный источник (FLOOD PHANTOM) активностью 200 МБк, ^{99m}Tc в растворе (наполняемый фантом) или ^{57}Co такой же активности;

- 4-квadrантный бар-фантом (приложение 6).

1.5.2. Проведение измерения:

- настроить γ -камеру на фотопик;

- установить коллиматор с высоким разрешением (Low Energy High Resolution);

- установить 4-квadrантный бар-фантом таким образом, чтобы линии совпадали с осями X и Y;

- получить статическое изображение с набором числа импульсов: для γ -камеры с малым полем зрения – 2000 К импульсов, для γ -камеры с большим полем зрения – 4000 К, при матрице 512 или 1024;

- перевернуть 4-квadrантный бар-фантом на 90° и повторить получение статического изображения;

- повторить вышеуказанные действия 8 раз для оценки всех 4 квадрантов фантома;

- поднять детектор на расстояние 10 см от бар-фантома и провести измерения, указанные выше;

- установить коллиматор с высокой чувствительностью (High Sensitivity) и провести аналогичное контрольное измерение.

1.5.3. Обработка результатов

Визуально оценить полученное изображение на предмет наличия флуктуаций по яркости и плотности, линейности и количеству

видимых трансмиссионных линий. По профилю оценить системное пространственное разрешение (extrinsic) на полной ширине окна на половине максимума изотопа (FWHM), используя формулу:

$$\text{FWHM} = 1,75B, \quad (4)$$

где B – ширина самой узкой видимой трансмиссионной линии бар-фантома (мм).

1.5.4. Анализ результатов

Сравнить полученные результаты системного пространственного разрешения (extrinsic) с паспортными данными. При разнице результатов 10% и более возможна и необходима коррекция системного пространственного разрешения (extrinsic). При разнице более 10% работа γ -камеры недопустима, и должны быть приняты меры для устранения неисправности.

1.6. Оценка собственного пространственного разрешения (intrinsic) – альтернативный метод (приложение 8)

1.6.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- линейные источники, заполненные удельной активностью не менее 40 МБк/мл $^{99\text{m}}\text{Tc}$ в растворе;
- защитная пластина на поверхность кристалла.

1.6.2. Проведение измерения:

- снять коллиматор и установить защитную пластину на детектор;
- настроить γ -камеру на фотопик, установить 20% окно;
- снять коллиматор и установить защитную пластину на детектор;
- установить линейный источник таким образом, чтобы линии источника совпадали с осями X и Y детектора на расстоянии 1 см от его поверхности;
- провести статическое исследование с набором импульсов при максимальной матрице: для γ -камеры с малым полем зрения – 1000 К импульсов, для γ -камеры с большим полем зрения – 2000 К (максимальный счет в пикселе должен быть 10 К), сохранить изображение в памяти;
- при необходимости использования функции «ZOOM» изображение источника должно быть в пределах границы экрана дисплея, при этом следует учитывать максимальный счет в пикселе;

- установить линейный источник таким образом, чтобы линии источника совпадали с осями X и Y детектора на расстоянии 10 см от поверхности коллиматора;

- произвести аналогичное контрольное измерение на расстоянии 1 см.

1.6.3. Обработка результатов

Визуально оценить полученное изображение на предмет наличия флуктуаций по яркости, плотности, линейности. По профилю на полной ширине окна на половине максимума изотопа (FWHM) оценить собственное пространственное разрешение (intrinsic) в 3 точках по всей длине линейного источника, соответственно по осям X и Y. Вычислить среднее арифметическое значение собственного пространственного разрешения (intrinsic).

1.6.4. Анализ результатов

Собственное пространственное разрешение (intrinsic) должно быть не менее 3 мм. Сравнить полученные результаты собственного пространственного разрешения (intrinsic) с паспортными данными. При разнице 10% и более возможна и необходима коррекция собственного пространственного разрешения (intrinsic). При разнице более 10% работа γ -камеры запрещена.

1.7. Оценка собственного пространственного разрешения (intrinsic) с учетом рассеяния

1.7.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- линейные источники, заполненные удельной активностью не менее 40 МБк ^{99m}Tc в растворе;

- емкость с водой диаметром и высотой около 15 см;

- защитная пластина на поверхность кристалла.

1.7.2. Проведение измерения (приложение 1):

- снять коллиматор и установить защитную пластину на детектор;

- настроить γ -камеру на фотопик, установить 20% окно;

- установить линейный источник в емкость с водой таким образом, чтобы его линии совпадали с осями X и Y детектора на расстоянии 1 см от его поверхности;

- провести статическое исследование с набором импульсов: для γ -камеры с малым полем зрения – 1000 К импульсов, для γ -камеры с большим полем зрения – 2000 К (максимальный счет в пикселе

должен быть 10 К), при максимальной матрице сохранить изображение в памяти;

- при необходимости можно использовать функцию «ZOOM». Изображение источника должно быть в пределах границы экрана дисплея и при этом необходимо учитывать максимальный счет в пикселе;

- установить линейный источник таким образом, чтобы его линии совпадали с осями X и Y на расстоянии 10 см от поверхности коллиматора;

- провести аналогичное контрольное измерение на расстоянии 1 см.

1.7.3. Обработка результатов

Визуально оценить полученное изображение на предмет наличия флуктуаций по яркости, плотности, линейности. По профилю на полной ширине окна на половине максимума изотопа (FWHM) определить собственное пространственное разрешение (intrinsic) в трех точках по всей длине линейного источника, соответственно по осям X и Y. Вычислить среднее арифметическое значение собственного пространственного разрешения (intrinsic).

1.7.4. Анализ результатов

Собственное пространственное разрешение (intrinsic) должно быть не менее 3 мм. Сравнить полученные результаты собственного пространственного разрешения (intrinsic) с паспортными данными. При разнице результатов 10% и более возможна и необходима коррекция собственного пространственного разрешения (intrinsic). При разнице более 10% работа γ -камеры недопустима, и должны быть приняты меры для устранения неисправности.

1.8. Оценка чувствительности γ -камеры

Под чувствительностью γ -камеры понимают количество импульсов, регистрируемых от одного МБк активности за заданное время.

1.8.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- плоскостной фантом для определения чувствительности, заполненный известной активностью ^{99m}Tc в растворе (измеренной в дозкалибраторе), рассчитанной с учетом вычитания активности, оставшейся в шприце после заполнения фантома.

1.8.2. Проведение измерения:

- установить коллиматор высокой чувствительности;
- накрыть поверхность коллиматора пластиковой салфеткой;
- настроить γ -камеру на фотопик, установить 20% окно;
- установить фантом на салфетку;
- провести статическое исследование с набором 10 К импульсов, зафиксировать время набора данного количества импульсов;
- произвести замер фона без источника за данное время;
- повторить вышеперечисленные действия для коллиматора с высокой разрешающей способностью.

1.8.3. Обработка результатов

Скорректировать полученные данные, исключив (вычитая) фон аппарата и учитывая полураспад изотопа. Рассчитать чувствительность по формуле:

$$\text{Чувствительность} = \frac{N_u}{A_u}, \quad (5)$$

где N_u – счет источника (импульсах);

A_u – активность источника (МБк).

1.8.4. Анализ результатов

Сравнить полученные результаты чувствительности с паспортными данными. Они не должны различаться более чем на 5%. При разнице более 10% обратить внимание на техническое состояние коллиматора.

1.9. Оценка диапазона максимального счета

Это измерение позволяет оценить зависимость диапазона счета от величины активности, обусловленной физическими свойствами кристалла детектора (потеря импульсов в верхнем диапазоне счета).

1.9.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- точечный источник активностью 4 МБк ^{99m}Tc в растворе;
- приспособление для крепления и передвижения источника вдоль центральной оси, перпендикулярной поверхности детектора.

1.9.2. Проведение измерения:

- снять коллиматор и установить защитную пластину на детектор;
- настроить γ -камеру на фотопик, установить 20% окно;
- закрепить точечный источник на приспособлении (подвижная

стойка) по центральной оси детектора (рис. 1): двигая источник по направлению к поверхности детектора, зафиксировать скорость счета, которая по достижению максимума должна уменьшиться, набрать статическое изображение при низкой скорости счета; зафиксировать максимум счета и набрать статическое изображение при максимуме скорости счета.

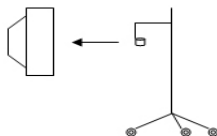


Рис. 1. Закрепление точечного источника на подвижной стойке

1.9.3. Обработка результатов

Визуально зафиксировать максимальную скорость счета. Используя функцию «район интереса» (ROI), определить максимальную скорость счета по статическим изображениям.

1.9.4. Анализ результатов

Сравнить полученные результаты максимальной скорости счета с паспортными данными. При разнице 10% и более возможна и необходима коррекция максимальной скорости счета. При разнице более 20% работа γ -камеры недопустима, и должны быть приняты меры для устранения неисправности.

1.10. Оценка защиты блока детектора

Данное контрольное измерение предназначено для оценки защиты блока детектора от бокового излучения.

1.10.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- точечный источник активностью 4 МБк изотопа с высокой энергией, применяемый для медицинских исследований (например, ^{131}I).

1.10.2. Проведение измерения:

- установить коллиматор для изотопа, используемого в точечном источнике;
- настроить γ -камеру на фотопик для изотопа, используемого в точечном источнике;

- передвигая источник по защите блока детекторов в 12 точек, произвести счет импульсов в каждой точке за 100 с, особое внимание обратить на места входа кабелей (рис. 2).

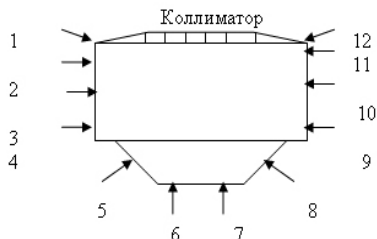


Рис. 2. Места установки точечного источника для проверки защиты детектора

1.10.3. Обработка результатов

Вычислить процентное соотношение между счетом в точках измерения защиты и счетом от точечного источника на расстоянии 10 см по центральной оси внешней поверхности коллиматора.

1.10.4. Анализ результатов

Сравнить полученные результаты максимального процентного соотношения, уточнить, нет ли внешних источников излучения. При отсутствии внешних источников излучения, но при большом расхождении результатов, проконсультироваться с представителем производителя.

2. Контроль качества γ -камер с функцией томографии (SPECT)

2.1. Проверка технического состояния аппарата

- выполнить п. 1.1 проверки технического состояния аппарата и комплектации;
- проверить вращение головки (головок) γ -камеры, оценить постоянство скорости вращения, отсутствие вибрации и шума в механическом устройстве вращения;
- проверить возврат головки (головок) γ -камеры в исходное положение (home);

- проверить соответствие количества углов вращения в режиме «остановка и сбор» информации;
- проверить соответствие механической и электронной осей вращения согласно требованиям фирмы-изготовителя;
- проверить длинную ось стола на предмет его центрирования и параллельности оси вращения. Эта проверка производится измерением расстояния от головки γ -камеры до стола на углах 90 и 270°, оно не должно превышать более 1 см;
- проверить соответствие показаний аппарата (углов или расстояния до центра вращения) с действительными значениями;
- проверить горизонтальность головки (головок) γ -камеры на углах 0 и 180° с помощью уровня;
- проверить работу кнопки аварийной остановки и другие устройства защиты пациента;
- проверить состояние кабелей в режиме вращения головки (головок) γ -камеры.

2.2. Проверка центра вращения (CoR)

Для получения точных данных реконструируемых срезов, алгоритм реконструкции должен учитывать соотношение между физической и механической осями и центром вращения детектора. Данное соотношение называется коррекцией центра вращения (CoR).

2.2.1. Необходимые материалы для контрольного измерения: (приложение 2):

- точечный или линейный источник ^{99m}Tc активностью 40 МБк (объем изотопа должен быть по возможности очень малым);
- в некоторых типах γ -камер применяется линейка из 3-5 точечных источников (если позволяет программное обеспечение), при этом необходимо следить за тем, чтобы все источники находились в поле зрения γ -камеры.

2.2.2. Проведение измерения:

- используя уровень, установить головку (головки) γ -камеры в горизонтальное положение;
- найти точку центра вращения и установить точечный источник в воздухе (без рассеяния) примерно в 2 см от оси вращения;
- выполнить томографическое исследование, используя матрицу 64x64 или 128x128 с накоплением на одну угловую проекцию 10 К импульсов, и число угловых проекций – 60 на 360°;

- установить точечный источник на расстоянии около 10 см от центра вращения;

- произвести измерения для данного положения источника аналогично указанным выше, при этом следить за тем, чтобы источник находился в поле зрения γ -камеры;

- установить точечный источник на расстоянии 10 см от центра вращения в противоположном направлении и произвести измерения для данного положения источника;

- при использовании линейки из 3-х источников (если позволяет программное обеспечение) выполняется по одному измерению для данных источников одиночного точечного источника в центре;

- произвести вышеуказанные измерения для противоположного направления вращения.

2.2.3. Обработка результатов

Метод 1

Большинство пакетов программ, корректирующих положение центра вращения, используют при реконструкции изображения следующую формулу:

$$R_o = \frac{(N+1 - X_o - X_{180})}{2}, \quad (6)$$

где R_o – отклонение от центра вращения (мм);

N – число пикселей в линии, пересекающей изображение (зависит от размера используемой матрицы);

X_o – значение координаты центра тяжести при 0° ;

X_{180} – значение координаты центра тяжести при 180° .

Последнее значение должно быть рассчитано для каждой пары противоположных углов при дальнейшем вычислении набора поправок на смещение центра вращения $R^{(\Theta)}$, где (Θ) – угол поворота головки γ -камеры.

Метод 2

Положение центра тяжести по оси X может рассматриваться как математическая функция, построенная в зависимости от общего угла поворота головки γ -камеры, т. е. 360° . Полученная кривая ото-

бражается формулой функции синуса для первой гармоники преобразования Фурье:

$$R(\Theta) = A + B \cdot \sin(\Theta + \Psi), \quad (7)$$

где Θ – угол поворота головки (головок) γ -камеры;

A, B и Ψ – соответствующие константы.

Значение A представляет в данном выражении центр используемой матрицы $(N+1)/2$, разница между постоянной A и центром вращения является средней величиной смещения центра вращения. Математически это значение идентично параметру, вычисленному в методе 1. Вычитая данную функцию синуса из полученных реальных данных, определяют вариацию отклонения центра вращения (приложение 5).

Для обоих методов

- построить график $R(\Theta)$ в зависимости от угла вращения;
- принимается среднее значение $R(\Theta)$ как стандартная девиация – учитывая это, вычислить максимальную девиацию;
- для определения отклонения от центра вращения по оси Y применяется тот же способ, что и для оси X для каждой головки γ -камеры;
- зная размер пикселя в мм для данной матрицы, вычислить значения девиации центра вращения в мм.

Примечание. Для γ -камер с несколькими головками важно знать девиацию центра вращения и усиление для каждой головки γ -камеры.

2.2.4. Анализ результатов:

Среднее отклонение центра вращения должно быть меньше 2 мм.

Отклонение центра вращения в центре поля зрения γ -камеры не должно отличаться более чем на 2 мм от значения отклонения центра вращения по краям поля зрения γ -камеры;

Для γ -камер с несколькими головками отсутствие отклонения, т. е. $Y = 0$, должно указывать на хорошее усиление, причем данное отклонение должно быть одинаковым для каждой головки γ -камеры.

2.3. Проверка абсолютного размера пикселя

Данный тест предназначен для определения абсолютного раз-

мера пикселя матрицы, применяемой при томографической реконструкции изображения. Тест должен проводиться для всех используемых размеров матриц, коллиматоров и условий томографического увеличения (ZOOM).

2.3.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- метод 1 – точечный источник ^{99m}Tc небольшого размера;
- метод 2 – два таких же точечных источника ^{99m}Tc .

2.3.2. Проведение измерения

Метод 1

Используется один точечный источник:

- поместить его перед детектором вдоль оси X на расстоянии 5 см от края поля зрения γ -камеры;
- произвести статическое планарное исследование с набором 50 К импульсов, размером матрицы 256x256 и увеличением (ZOOM);
- сдвинуть точечный источник в противоположную сторону вдоль оси X на расстояние 5 см от края поля зрения γ -камеры;
- повторить измерение.

Метод 2

Используется два точечных источника:

- расположить источники, как было описано выше;
- провести одно статическое планарное исследование с набором 50 К импульсов, размером матрицы 256x256 и увеличением (ZOOM).

Для обоих методов:

- повторить статическое планарное исследование с набором 50 К импульсов, размером матрицы 256x256 и увеличением (ZOOM) для оси Y;
- повторить статические планарные исследования для всех используемых на практике томографических увеличений (ZOOM);
- повторить статические планарные исследования для всех используемых коллиматоров.

2.3.3. Обработка результатов

Вычислить центр точечного источника (источников) для каждого из исследований. Четыре центра точечных источников будут вычислены в следующих координатах:

- (x_1, y_1) и (x_2, y_2) – для оси X;
- (x_3, y_3) и (x_4, y_4) – для оси Y.

Для каждой пары исследований вычислить расстояние между точечными источниками, пользуясь следующими формулами:

$$\text{Расстояние } X = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}, \quad (8)$$

$$\text{Расстояние } Y = \sqrt{(x_3 - x_4)^2 + (y_3 - y_4)^2}, \quad (9)$$

Разность $(y_1 - y_2)$ для горизонтального смещения источников должна быть маленькой, точно так же как и $(x_3 - x_4)$ для вертикального смещения.

Вычислить размер пикселя, разделив расстояние между источниками на количество пикселей. В соответствии с условиями выполнения исследования результат будет выражен в мм. Полученный размер пикселя, рассчитанный в п. 2.3.3, умножить на соответствующий фактор при смене матрицы, т. е. если измерение проводилось на матрице 256x256, а при томографии используется матрица 64x64, то фактор будет равным 4.

2.3.4. Интерпретация результатов

Абсолютный размер пикселя необходим для оценки:

- разрешающей способности γ -камеры;
- приложенной коррекции затухания (при использовании метода Chang);
- определения размера органов.

Различие абсолютного размера пикселя по осям X и Y не должно превышать 5%.

2.4. Проверка томографической чувствительности и угловой неоднородности поля зрения γ -камеры

Данный тест предназначен для оценки воздействия эффекта электромагнитного поля и температурных градиентов на неоднородность поля зрения γ -камеры.

2.4.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- поверхностный источник (FLOOD PHANTOM) активностью 200 МБк, ^{99m}Tc в растворе (наполняемый фантом) или ^{57}Co такой же активности.

2.4.2. Проведение измерения:

- закрепить поверхностный источник (FLOOD PHANTOM) на лицевой поверхности коллиматора блока детекторов;
- установить окно анализатора 20%;
- выполнить статическое изображение с набором 5000 К импульсов, для матрицы 64x64 и положения головки детекторов 0°;
- повторить выполнение статических изображений для положения головки детекторов 90, 180, 270 и 360°, используя время, которое было необходимо для набора 5000 К импульсов при положении головки детекторов 0°.

2.4.3. Обработка результатов

Вычислить вариацию максимальной чувствительности по следующей формуле:

$$\text{Вариация} = \frac{N_{\max} - N_{\min}}{N_{\max} + N_{\min}} \cdot 100\% \quad (10)$$

где N_{\max} и N_{\min} – соответственно общее максимальное и общее минимальное количество импульсов.

Вычесть кадр изображения поля при положении головки детекторов 0° из изображений полей головки детекторов 90, 180, 270 и 360°.

Вычесть кадр изображения поля при положении головки детекторов 90° из изображения поля головки детекторов 270°.

2.4.4. Интерпретация результатов

Визуально оценить и зафиксировать (для дальнейшего сравнения) результаты вычитания; вариация максимальной чувствительности не должна превышать 0,75%.

2.5. Определение пространственного разрешения

Пространственное разрешение при проведении планарных исследований зависит от технических возможностей γ -камеры, свойств коллиматора и наличия/отсутствия рассеяния. При проведении томографических исследований к этим условиям добавляется еще точность углового позиционирования головки детекторов, калибровка центра вращения для головки детекторов и стола пациента. В дополнение при реконструкции изображения,

т. е. выбора размера матрицы, фильтра, а также выполнении некоторых преобразований изображения могут дать искажения при определении пространственного разрешения.

2.5.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- линейные источники – 2 шт., представляющие собой трубку диаметром менее 1 мм, заполненные ^{99m}Tc с удельной активностью 37 МБк (10 мКи/см³);

- все измерения проводятся без рассеивающего материала.

2.5.2. Проведение измерения:

- расположить источник на паллете с учетом наименьшего рассеяния;

- установить радиус вращения не более 20 см;

- установить трубки источника параллельно оси вращения;

- выбрать матрицу изображения 128x128, число проекций 120 на 360°;

- при необходимости использовать фактор увеличения (ZOOM) для получения размера пикселя 3,0-3,5 мм;

- произвести томографическое исследование, используя время набора для 100К импульсов в первой проекции;

- затем произвести планарное исследование с набором 500 К импульсов на расстоянии до линейного источника, равном радиусу при томографическом исследовании.

2.5.3. Обработка результатов

Пользуясь RAMP-фильтром, произвести реконструкцию томографического изображения и выбрать срез вблизи верхнего конца линейного источника.

Построить профиль (FWHM) шириной в 1 пиксель по оси X на выбранном срезе реконструированного изображения.

Повторить вышеуказанные действия для оси Y и для среза вблизи нижнего конца линейного источника.

Построить профиль (FWHM) шириной 10 мм (3 пикселя) для тех же позиций, что и на томографических срезах.

Определить отношение профиля (FWHM), вычисленного при томографическом исследовании, к профилю планарного исследования для верхнего и нижнего концов линейного источника.

2.5.4. Интерпретация результатов

Отношение профиля (FWHM), вычисленного при томографическом исследовании, к профилю планарного исследования не должно превышать 1,1, в противном случае это указывает на неправильную калибровку центра вращения.

Существенное различие (более 20%) профиля (FWHM) для верхнего и нижнего концов линейного источника (томографического исследования) указывает на то, что электронная ось аппарата повернута.

2.6. Системное пространственное разрешение и контраст

Точная калибровка центра вращения и создание корректирующих матриц для обеспечения 1% интегральной неравномерности поля (т. е. набор не менее 30 К импульсов, более 10 К на пиксель при матрице 64x64) не могут гарантировать оптимальной работы системы в томографическом режиме (SPECT). Для полной оценки томографического режима существуют SPECT-фантомы различных фирм, с помощью которых можно оценить наличие артефактов, шума при реконструкции и измерить контраст. Эти фантомы также позволяют оценить применение различных коллиматоров, фильтров, режимов времени исследования, некруговых орбит вращения, выбранных углов 180 или 360° и т. д.

2.6.1. Необходимые материалы для контрольного измерения:

- SPECT-фантом, например, «Jaszczak» фирмы Data Spectrum Corporation (приложение 7). Фантом заполнить 300-370 МБк ^{99m}Tc и тщательно перемешать.

2.6.2. Проведение измерения:

- установить коллиматор общего назначения. При применении коллиматора с высоким разрешением активность ^{99m}Tc , используемая для заполнения фантома, увеличивается до 555 МБк;

- расположить фантом на краю стола для томографии («паллете» стола) параллельно и как можно ближе к оси вращения, надежно закрепить фантом;

- выбрать радиус вращения детектора 20 см или менее, если это возможно;

- установить симметричное окно анализатора на 20% и определить время набора 500 К импульсов для первой проекции;

- выбрать матрицу исследования 64x64 и количество проекций 60;
- установить, если необходимо, фактор увеличения (ZOOM), который дает размер пикселя 6,0-7,0 мм;
- провести томографическое исследование.

2.6.3. Обработка результатов

Реконструировать полученные данные без предварительной коррекции поля с помощью «Hanning»-фильтра (если это возможно) и показателя «Nyquist», равного единице.

Использовать коррекцию затухания, пользуясь линейным коэффициентом 0,11/см или предварительно установленным значением (некоторые γ -камеры требуют не намного отличающиеся коэффициенты).

Повторить два вышеперечисленных пункта для реконструкции данных с коррекцией поля.

2.6.4. Анализ коррекции затухания

Выбрать срезы с части фантома, которые предназначены для оценки равномерности поля (приложение 7), т. е. в верхней его части (сферы и столбики не визуализируются).

В центре фантома построить горизонтальный профиль шириной 5 пикселей;

Визуально оценить линейность (нелинейность) полученного профиля;

Повторить действия вышеприведенного пункта для оценки вертикального профиля.

2.6.5. Интерпретация результатов

При нелинейности профиля проверить соответствие калибровки размера пикселя (п. 2.3.3). Если калибровка пикселя не была проведена, выполнить ее. При соответствии размера пикселя изменить коэффициент затухания и провести повторную реконструкцию.

Значительный ненулевой наклон при линейном профиле указывает на неправильный выбор границы коэффициента затухания или ошибку программного обеспечения.

2.6.6. Анализ неравномерности поля и статистического шума изображения

Просмотреть набор срезов без коррекции неравномерности на предмет присутствия артефактов. Незначительные артефакты могут иметь место (по плотности накопления), но глубокие кольцевые

артефакты должны отсутствовать. Выбрать один или более срезов определения неравномерности поля, построить «район интереса» размером 15x15 пикселей (для γ -камеры ADAC 30x30) в центре среза. Вычислить среднее, максимальное и минимальное число импульсов в пикселе в выбранном «районе интереса». Вычислить интегральную неравномерность поля по формуле:

$$IU = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\max} + Y_{\min}} \cdot 100\%, \quad (11)$$

где IU -интегральная неравномерность;

Y_{\max} – максимальное значение числа импульсов в пикселе;
 Y_{\min} – минимальное значение числа импульсов в пикселе.

Вычислить стандартное отклонение по формуле:

$$S_{dev} = \frac{1}{N-1} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - Y_{avg})^2}, \quad (12)$$

$$Y_{avg} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N y_i, \quad (13)$$

где N – количество пикселей;

y_i – номер пикселя;

Y_{avg} – среднее значение числа импульсов в пикселе;

S_{dev} – стандартное отклонение.

Вычислить статистическое значение шума:

$$rms = \frac{S_{dev}}{Y_{avg}} \cdot 100\%, \quad (14)$$

где rms – статистическое значение шума, (%).

Выполнить коррекцию неравномерности поля и произвести аналогичные вычисления.

2.6.7. Интерпретация результатов неравномерности поля и статистического шума изображения

Приемлемые значения должны находиться в следующих диапазонах:

а) без коррекции поля

- интегральная неравномерность – 9,9-18,3%;
- статистическое значение шума – 4,5-5,7%;

б) с коррекцией поля

- интегральная неравномерность – 10,7-18,8%;
- статистическое значение шума – 3,6-7,2%.

Скорректированное поле не обязательно должно иметь более высокую равномерность и статистический шум. В некоторых γ -камерах данные значения могут находиться в начале или в конце указанных диапазонов. Все будет зависеть от характеристик коллиматора общего применения, используемого фильтра реконструкции и специфических характеристик программного обеспечения.

Примечание. Статистически достоверным значением сигнала (т. е. разность между счетом в пикселе и средним значением счета в пикселе Y_{avg}) изображения считается значение, которое превышает величину стандартной девиации в 3-4 раза.

2.6.8. Анализ контрастности изображения

Выбрать срезы фантома, на которых визуализируются «холодные» сферы (приложение 7). Зафиксировать количество визуализируемых сфер.

В каждой сфере на выбранном срезе найти среднее значение пикселя из «района интереса» размером 3x4 пикселя.

Определить «район интереса» для фона рядом с выбранной сферой размером 4x4 пикселя и также вычислить среднее значение пикселя.

Рассчитать значение контраста для сферы самого большого размера по формуле:

$$C_{image} = \frac{Y_{avf.sphere} - Y_{avf.bkg}}{Y_{avf.bkg}} = \frac{N}{\Phi}, \quad (15)$$

где C_{image} – контраст изображения;
 $Y_{avf.sphere}$ – среднее значение пикселя из «района интереса» сферы;

$Y_{avg, bkg}$ – среднее значение пикселя из «района интереса» фона;

N – сигнал в импульсах;

Φ – фон в импульсах.

Повторить вышеуказанные действия для всех визуализируемых сфер для набора срезов при скорректированном поле.

2.6.9. Интерпретация результатов контрастности изображения

Приемлемые результаты значения контраста для коллиматора общего назначения отражены в табл. 2, 3:

Таблица 2

Измеренный контраст для фантома Jaszczak без коррекции поля

Размер сферы (мм)	31,8	25,4	19,1	15,4
Средний контраст $+1\sigma$	0,635 + 0,093	0,445 + 0,090	0,284 + 0,086	0,191 + 0,075
Стандартное отклонение, %	14,6	20,2	30,3	39,3
Диапазон значений	0,421-0,790	0,308-0,690	0,128-0,560	0,026-0,370

Таблица 3

Измеренный контраст для фантома Jaszczak с коррекцией поля

Размер сферы (мм)	31,8	25,4	19,1	15,4
Средний контраст $+1\sigma$	0,628 + 0,097	0,454 + 0,103	0,294 + 0,085	0,193 + 0,080
Стандартное отклонения, %	15,4	22,7	28,9	41,4
Диапазон значений	0,429-0,780	0,271-0,680	0,150-0,540	0,026-0,342

2.7. Ежедневные контрольные измерения и проверки

2.7.1. Контрольная проверка крепления коллиматора(-ов), линии защиты пациента при касании коллиматором поверхности тела, горизонтальности детектора

Данная процедура позволяет оценить состояние механических узлов и систем блока детекторов, функционирование блоков электроники γ -камеры:

- проверить работу кнопки аварийной остановки блока детекторов;
- проверить блокировку движения блока детектора при касании поверхности коллиматора;
- проверить горизонтальность детектора по встроенному внешнему уровню;
- проверить функционирование основных блоков электроники γ -камеры: компьютер, дисплей, устройства печати.

2.7.2. Контрольное измерение калибровки по энергии (по изотопам, применяемым в течение данного рабочего дня)

- выполнить п. 1.1 настоящей инструкции для изотопов, которые запланированы для работы на текущий день;
- произвести контрольное измерение фона.

2.8. Программа выполнения протокола контроля качества для γ -камер

Таблица 4

Контрольные измерения во время приемных испытаний аппарата

№ раздела	Характеристики, подлежащие контролю
1. Контрольные измерения для планарных γ -камер	
1.1	Проверка технического состояния аппарата
1.2	Проверка настройки γ -камеры на фотопик
1.3	Оценка собственной неравномерности поля зрения без коллиматора (intrinsic)
1.4	Собственная качественная оценка неравномерности поля зрения (intrinsic)

Продолжение таблицы 4

1.5	Оценка системного пространственного разрешения (extrinsic)
1.6	Оценка собственного пространственного разрешения (intrinsic) – альтернативный метод
1.7	Оценка собственного пространственного разрешения (intrinsic) с учетом рассеяния
1.8	Оценка чувствительности γ -камеры
1.9	Оценка диапазона максимального счета
1.10	Оценка защиты блока детектора
2. Контрольные измерения для γ -камер с томографическими функциями (SPECT)	
2.1	Проверка технического состояния аппарата
2.2	Проверка центра вращения (CoR)
2.3	Проверка абсолютного размера пикселя
2.4	Проверка томографической чувствительности угловой неоднородности поля зрения γ -камеры
2.5	Определение пространственного разрешения
2.6	Системное пространственное разрешение и контраст

Таблица 5

Периодичность проведения контрольных испытаний аппарата

№ раздела	Характеристики, подлежащие контролю	Недельное	Квартальное	Полугодовое
1. Контрольные измерения для планарных γ -камер				
1.1	Проверка технического состояния аппарата			
1.2	Проверка настройки γ -камеры на фотопик			
1.3	Оценка собственной неравномерности поля зрения без коллиматора (intrinsic)		X	
1.4	Собственная качественная оценка неравномерности поля зрения (intrinsic)			X

Продолжение таблицы 5

1.5	Оценка системного пространственного разрешения (extrinsic)			X
1.6	Оценка собственного пространственного разрешения (intrinsic) – альтернативный метод			X
1.7	Оценка собственного пространственного разрешения (intrinsic) с учетом рассеяния			X
1.8	Оценка чувствительности γ -камеры	X		
1.9	Оценка диапазона максимального счета		X	
1.10	Оценка защиты блока детектора			
2. Контрольные измерения для γ -камер с томографическими функциями (SPECT)				
2.1	Проверка технического состояния аппарата			
2.2	Проверка центра вращения (CoR)	X		
2.3	Проверка абсолютного размера пикселя			X
2.4	Проверка томографической чувствительности угловой неоднородности поля зрения γ -камеры			
2.5	Определение пространственного разрешения			X
2.6	Системное пространственное разрешение и контраст			X

Таблица 6

Ежедневные контрольные измерения

№ раздела	Характеристики, подлежащие контролю
1	Контрольная проверка крепления коллиматора, линии защиты пациента при касании коллиматором поверхности тела, горизонтальности детектора
2	Контрольное измерение калибровки по энергии (по изотопам, применяемым на рабочий день)

Примечание 1. Контрольные измерения при приемных испытаниях проводятся специально обученным инженером-физиком совместно с представителем фирмы-поставщика.

Примечание 2. Контрольные измерения (ежедневные, квартальные, полугодовые) проводятся техническим персоналом или специально обученным медперсоналом кабинетов, отделений ядерной медицины.

3. Радионуклидные дозкалибраторы (измерители активности)

3.1. Основные принципы работы дозкалибратора

Основу радионуклидного дозкалибратора составляет ионизационная камера колодецевого типа, в которую помещают радиоактивный материал для измерения. Активность материала преобразуется в ионизационный ток, возникающий в результате воздействия проникающей радиации на газ внутри камеры. Камера герметична, газ в ней находится под давлением, внутри камеры смонтированы два цилиндрических коаксиальных электрода – к внешнему электроду подключен источник питания (рис. 3).

В электрометре ионизационный ток преобразуется в напряжение, которое усиливается и в конечном итоге представляется на дисплее в цифровой форме единицами активности – Бк (Беккерель) или Ки (Кюри). Это возможно вследствие того, что предполагаемый радионуклид является линейным источником с фиксированными геометрическими размерами – в данном случае ионизационный ток будет прямо пропорционален активности измеряемого источника.

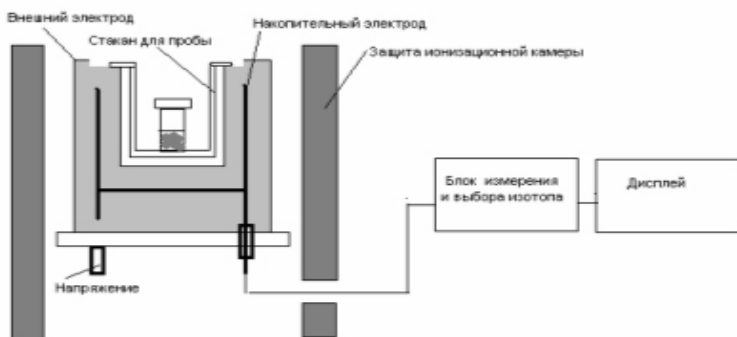


Рис. 3. Блок-схема дозкалибратора

Тем не менее, ответная реакция ионизационной камеры на радиацию от различных радионуклидов изменяется в соответствии с номером элемента, энергией и интенсивностью излучения, что указывает на различный диапазон измерения поглощенной энергии фотонов. В связи с этим необходимо иметь различное усиление сигналов преобразованного напряжения для разных радионуклидов. Свинцовая защита ионизационной камеры служит для снижения фона, а также для защиты обслуживающего персонала.

3.2. Факторы, влияющие на точность измерения дозкалибраторов

Каждый новый произведенный на заводе дозкалибратор калиброван стандартными калибровочными источниками, при этом начальная погрешность измерения составляет 1-5%. По истечении времени начальная погрешность будет изменяться в связи с изменением давления газа в камере, медленным дрейфом электроники. Дополнительная защита также может повлиять на точность измерения, т. к. увеличение экрана ведет к усилению рассеянного излучения. Выбранные низкоэнергетичные калибровочные источники могут быть причиной возникновения ошибок измерения в связи с различными характеристиками поглощения материала защиты.

Особое внимание необходимо обращать на геометрию измерения. В ядерной медицине часто производят измерения активности в шприцах, пробирках и флаконах различных размеров и типов.

В данном случае пользователь должен сам вычислить коэффициент коррекции, если заводские коэффициенты коррекции отсутствуют. Простые ежедневные процедуры проверки и регулярный контроль качества обеспечат точность и линейность результатов измерения.

3.3. Программа выполнения протокола качества для дозкалибратора

В нижепредставленных таблицах предлагается программа выполнения протокола качества для дозкалибратора при приемных испытаниях, периодических контрольных измерениях и рутинной работе с аппаратом.

Таблица 7

Приемные испытания аппарата

№ раз-дела	Характеристики, подлежащие контролю
1	Проверка технического состояния аппарата
2	Эффективность (чувствительность) измерения
3	Линейность измерения
4	Измерение фона
5	Контроль присутствия ^{99}Mo

Таблица 8

Периодичность выполнения контрольных измерений

№ раз-дела	Характеристики, подлежащие контролю	Квартальное	Полугодовое
1	Эффективность (чувствительность) измерения		X
2	Линейность измерения	X	X
3	Измерение фона		X
4	Контроль присутствия ^{99}Mo	Контрольное измерение проводится по прибытию нового генератора $^{99\text{m}}\text{Tc}$ и в конце срока использования	

Ежедневные контрольные измерения

№ раздела	Характеристики, подлежащие контролю
1	Контроль эффективности (чувствительности) измерения
2	Контрольное измерение фона

Примечание 1. Контрольные измерения при приемных испытаниях проводятся специально обученным инженером-физиком совместно с представителем фирмы-поставщика.

Примечание 2. Контрольные измерения (квартальные, полугодовые) проводятся техническим персоналом или специально обученным медперсоналом кабинетов, отделений ядерной медицины.

3.4. Приемные испытания и периодический контроль

3.4.1. Проверка технического состояния аппарата

1. Проверка на наличие внешних повреждений ионизационной камеры, корпуса блока электроники.

2. Проверка работы функциональных кнопок, выключателей.

3. Проверка наличия принадлежностей – держателей образцов, приспособления для дистанционной установки образца, контейнера для измерения ^{99}Mo .

4. Проверка наличия инструкций пользователя, сервисной инструкции.

5. Проверка соответствия сети питания аппарата.

Примечание. Проверка технического состояния аппарата должна быть выполнена немедленно при его получении, т. к. поставщик должен быть проинформирован о возможных неисправностях после транспортировки аппарата.

3.4.2. Эффективность (чувствительность) измерения

Под эффективностью (чувствительностью) понимают отношение показаний радиометра к активности эталонного источника в стандартной геометрии и выбранной энергии γ -излучения. Для точного определения эффективности измерения выбирают калиброванные источники с низкой, средней и высокой энергиями излучения. При отсутствии таковых в рутинной работе используют эталонный источник с периодом полураспада не менее 5 лет, например, ^{137}Cs .

Проведение измерения:

- выбрать соответствующий изотоп на селекторе дозкалибратора;
- измерить фон;
- поместить эталонный источник для измерения;
- измерить 5-10 раз и записать значение активности эталонного источника, вычитая фон при каждом измерении.

Обработка результатов

Для определения точности результатов измерения эффективности произвести вычисление процентной разницы между измеренным и средним значением активности для каждого измерения по следующей формуле:

$$A = \frac{A_{изм} - A_{ср}}{A_{ср}} \cdot 100\%, \quad (16)$$

где $A_{изм}$ – измеренное значение активности;
 $A_{ср}$ – среднее значение активности.

Записать полученный результат.

Для определения правильности результатов эффективности измерения произвести вычисление процентной разницы между измеренным средним значением активности и вычисленным значением эталонного источника с учетом периода полураспада на день измерения и для каждого измерения по следующей формуле:

$$dif = \frac{A_{ср} - C_{этал}}{C_{этал}} \cdot 100\%, \quad (17)$$

где $C_{этал}$ – значение активности, проверенное значением эталонного источника, вычисленного с учетом периода полураспада на день измерения;

$A_{ср}$ – среднее значение активности;
 dif – процентная разница между измеренным средним значением активности и вычисленным значением эталонного источника.

Анализ результатов

При получении погрешности результатов измерения эффективности 5% и правильности результатов измерения активности эталонного источника ($\pm 10\%$ от установленного изготовителем значения) дозкалибратор считается соответствующим нормальным эксплуатационным показателям.

3.4.3. Линейность измерения (пропорциональный метод)

Под линейностью в отличие от систем передачи изображения понимают пропорциональность между показаниями прибора и измеряемой активностью.

Необходимые материалы для проведения измерения:

- короткоживущий изотоп (^{99m}Tc или ^{113m}In) в растворе, активность должна быть равной или выше максимальной (обычно удельная активность, которая используется при исследованиях, составляет 370 МБк/мл);
- калиброванная пипетка с диапазоном разбавления – 0,1; 1,0; 5,0 и 10 мл.

Предупреждение: при работе с радиоактивными источниками соблюдайте правила радиационной безопасности, пользуйтесь перчатками, защитными экранами, при возможности – манипуляторами.

Выполнение контрольного измерения:

- при помощи пипетки влить раствор изотопа в стандартные флаконы (емкость 20 мл) в следующих объемах: 0,1; 1,0; 5,0 и 10 мл. Наполнить флаконы водой до 20 мл и тщательно закрыть крышкой;
- на селекторе дозкалибратора установить соответствующий измерению изотоп;
- измерить фон;
- поместить флакон с источником и произвести измерение активности;
- повторить измерение для остальных флаконов.

Обработка результатов

На логарифмической бумаге построить график, на котором ось X соответствует объемам разведенной активности, а ось Y – измеренной активности (рис. 4). Необходимо обратить внимание на точность дозирования раствора радионуклида, т. к. плохая калибровка пипетки может быть причиной артефактов на графике.

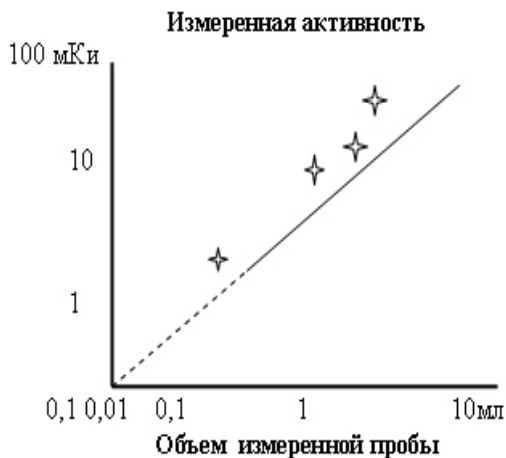


Рис. 4. График линейности измеренной активности, раствор ^{131}I , имеющий удельную концентрацию 78 МБк/мл

3.4.4. Линейность измерения (метод распада)

Необходимые материалы для проведения измерения:

- в условиях радиоизотопной лаборатории для проведения данного измерения выбирают изотоп с максимальной активностью, в данном случае первый элюат вновь прибывшего генератора $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Предупреждение: при работе с радиоактивными источниками соблюдайте правила радиационной безопасности, пользуйтесь перчатками, защитными экранами, при возможности – манипуляторами.

Выполнение контрольного измерения:

- произвести измерение фона на выбранном калибровочном коэффициенте для $^{99\text{m}}\text{Tc}$ перед и после измерения источника;

- произвести измерение источника $^{99\text{m}}\text{Tc}$ три раза;

- зафиксировать показания измерения с соответствующими отметками даты и времени (включая минуты);

- последующие измерения выполнять не менее чем через $\frac{1}{2}$ времени физического полураспада источника, в данном случае для $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – 3-4 ч (т. е. за рабочий день можно произвести три измерения);

- количество измерений ограничено минимальной активностью, которая применяется в лаборатории, обычно нижний предел 1-2 МБк, т. е. для выполнения данного контрольного измерения требуется 4-5 рабочих дней.

Обработка результатов

Для каждого измерения вычислить среднее значение, используя формулу:

$$A_i = \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{3} - \frac{(C_{bkg1} + C_{bkg2})}{2}, \quad (18)$$

где A_i – среднее значение измеренной активности;

C_1, C_2, C_3 – измеренное значение активности;

C_{bkg1}, C_{bkg2} – измеренное значение фона.

Вычислить разницу времени (часы, минуты) между измерениями.

Вычислить значение физического распада, используя таблицу распада или нижеприведенную формулу, учитывая ранее вычисленную разницу по времени:

$$A_{(t)} = A_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (19)$$

где $A(t)$ – вычисленное значение активности с учетом физического распада источника;

$A(0)$ – значение активности, рассчитанное в первом измерении;

$$\lambda = \ln \frac{2}{T_{1/2}}, \quad (20)$$

где $T_{1/2}$ – период полураспада;

t – разница по времени измерения;

Вычислить процентную погрешность измерения по формуле:

$$\% = \frac{A_i - A_{(t)}}{A_{(t)}} \cdot 100, \quad (21)$$

где $A(t)$ – вычисленное значение активности с учетом физического распада источника;

A_i – среднее измеренное значение активности.

На полулогарифмической бумаге вычертить график зависимости Активность/Время распада, ось Y – логарифмический масштаб активности.

Процесс вычисления значительно упрощается при перенесении расчетов в таблицу «EXCEL», «MASTER Sheet» для данного вычисления прилагается (приложение 17).

Анализ результатов

Если все результаты измерения находятся в пределах +10% от значений эталонной прямой, тогда это указывает на нормальную работу дозкалибратора;

Иногда при измерении малых активностей наблюдается эффект сатурации (насыщения), данный провал обусловлен неисправностью компонентов аппарата;

Уход линейности вблизи нуля может быть обусловлен неправильной настройкой контроля нуля.

3.4.5. Измерение фона

Под измерением фона понимают измерение в отсутствие радиоактивного источника.

Выполнение измерения

На селекторе дозкалибратора выбрать низкоэнергетичный изотоп, например, ^{51}Cr или ^{133}Xe , и произвести измерение.

3.4.6. Контроль присутствия $^{99\text{m}}\text{Mo}$

Дозкалибратор, предназначенный для измерения активности $^{99\text{m}}\text{Tc}$, должен снабжаться специальным свинцовым контейнером для проведения теста на присутствие излучения молибдена. Так как высокоэнергетическое β -излучение ^{99}Mo приводит к дополнительной лучевой нагрузке на пациента, элюат можно применять только при условии, что активность ^{99}Mo не более 0,1% от активности $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Выполнение измерения:

- измерить элюат $^{99\text{m}}\text{Tc}$ на дозкалибраторе;
- измерить элюат $^{99\text{m}}\text{Tc}$ в специальном свинцовом контейнере на дозкалибраторе.

Обработка и анализ результатов

Необходимо учитывать, что только 13% ^{99}Mo превращается в относительно долгоживущий $^{99\text{m}}\text{Tc}$;

При молибденовом пробое наряду с энергией излучения ^{99m}Tc присутствует γ -излучение с энергией 739 кэВ.

Значение, измеренное со свинцовым экраном, не должно превышать измеренное без экрана более чем на 0,04% от него.

3.5. Ежедневные контрольные измерения

3.5.1. Контроль эффективности (чувствительности) измерения

Контроль эффективности (чувствительности) измерения проводится в соответствии с п. 3.4.2 приемных испытаний. Необходимо отметить, что в современных дозкалибраторах процедура измерения полностью автоматизирована с соответствующим сообщением на экране дисплея об ошибке выполненного измерения.

3.5.2. Контрольное измерение фона

Контрольное измерение фона проводится в соответствии с п. 3.4.5 приемных испытаний.

4. Аппараты и системы для исследований *in vitro*

(одноканальные и многоканальные счетчики измерения *in vitro* γ -радиации)

4.1. Основные принципы устройства и работы аппаратов и систем для исследований *in vitro*

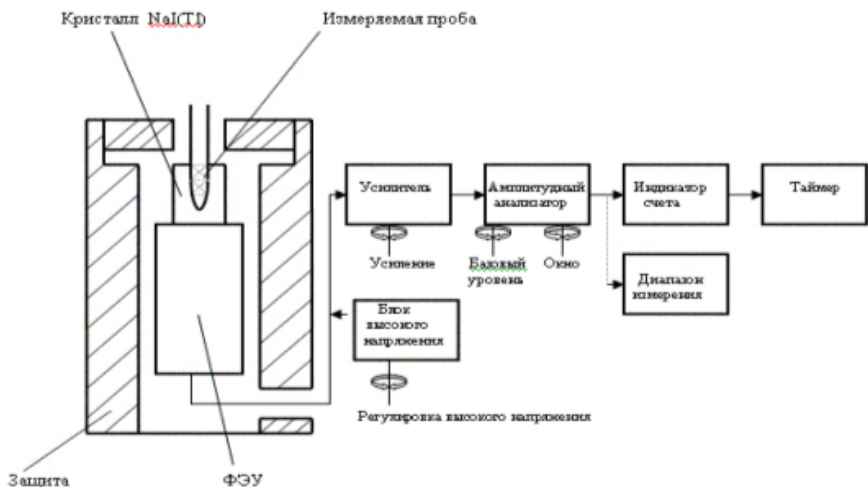


Рис. 5. Блок-схема системы измерения γ -радиации *in vitro* (γ -счетчики)

Виртуально все системы для измерения γ -радиации базируются на сцинтилляционных детекторах NaI(Tl). Отверстие в кристалле детектора, в которое помещается измеряемая проба, практически обеспечивает 4- π измерение. Гамма-лучи, вызывающие сцинтилляционные вспышки в детекторе, регистрируются ФЭУ, на выходе которого электрические импульсы повторяют амплитудный спектр γ -излучения.

Полученные электрические импульсы усиливаются предварительным и основным усилителями для достижения оптимального значения, необходимого для дальнейшей обработки. Это обеспечивается регулировкой усиления (иногда называют «аттенюацией»), а также высокого напряжения, питающего ФЭУ.

Амплитудный анализатор представляет собой линейную систему усиления и обеспечивает выбор необходимого диапазона импульсов из спектра для их подсчета и удаляет другие импульсы, не несущие полезной информации (фоновые, комптоновские). Другое, наиболее распространенное название данного блока аппарата – дискриминатор. Регулировками – «основной уровень» (base) и «окно» (window) выбирается спектр измеряемого изотопа. Большинство аппаратов имеет фиксированные настройки вышеуказанных регулировок.

В ранних моделях аппаратов и систем для исследований *in vitro* с целью визуальной оценки интенсивности γ -излучения, настройки на пик энергетического спектра, определения фона включался блок интенсивметра с аналоговым (стрелочным) или цифровым индикатором счета.

Время измерения пробы устанавливается в блоке таймера. Полученные результаты в автоматизированных системах обрабатываются в соответствии с заданной программой и представляются на дисплее или печатаются на принтере.

4.2. Программа выполнения протокола контроля качества для аппаратов и систем исследований *in vitro*

В нижепредставленных таблицах предлагается программа выполнения протокола качества для аппаратов и систем *in vitro* исследований при приемных испытаниях, периодических контрольных измерениях и рутинной работе с аппаратом.

Таблица 10

Приемные испытания аппарата

№ раздела	Характеристики, подлежащие контролю
1	Проверка технического состояния аппарата
2	Проверка функционирования интенсиметра и таймера
3	Проверка калибровки по энергии
4	Проверка разрешения по энергии (% FWHM)
5	Проверка чувствительности
6	Проверка точности счета
7	Проверка линейности счета

Таблица 11

Периодичность выполнения контрольных измерений

№ раздела	Характеристики, подлежащие контролю	Квартальное	Полугодовое
1	Проверка технического состояния аппарата		
2	Проверка функционирования интенсиметра и таймера		
3	Проверка калибровки по энергии		
4	Проверка разрешения по энергии (% FWHM)		X
5	Проверка чувствительности	X	
6	Проверка точности счета	X	
7	Проверка линейности счета		X

Ежедневные контрольные измерения

№ раздела	Характеристики, подлежащие контролю
1	Контроль установок настройки анализатора на пик
2	Контрольное измерение фона

Примечание 1. Контрольные измерения при приемных испытаниях проводятся специально обученным инженером-физиком совместно с представителем фирмы-поставщика.

Примечание 2. Контрольные измерения (ежедневные, квартальные, полугодовые) проводятся техническим персоналом или специально обученным медперсоналом кабинетов, отделений ядерной медицины.

4.3.2. Проверка функционирования интенсиметра и таймера ***Проведение измерения:***

- переключить аппарат в режим проверочного теста (обычно предусмотрено измерение сигнала 50, 60 или 100 Гц);
- установить требуемую шкалу и время измерения;
- произвести измерение, зафиксировать результат;
- в многоканальных аппаратах измерение производится для каждого канала.

Интерпретация результатов

Зная частоту сигнала и время измерения, вычислить количество измеренных импульсов.

Анализ результатов

Меньшее число будет указывать на возможную неисправность пересчетной схемы, большее число – на возможное присутствие электронного «шума».

4.3.3. Проверка калибровки по энергии

Необходимые материалы для контрольного измерения:

- источник ^{137}Cs стержневого типа.

Проведение измерения:

- установить высокое напряжение и усиление на полную шкалу (1000 единиц), что будет соответствовать основному уровню дискриминатора 1000 кэВ;

- переключить дискриминатор в дифференциальный режим. Установить основной уровень дискриминатора на 662 единицы,

т. е. соответственно 662 кэВ, а значение окна – как можно уже, например, 10 единиц;

- установить источник в детектор;
- изменяя высокое напряжение, определить начало устойчивого счета и с этого положения пошагово (примерно по 10 кэВ), фиксируя значение счета, определить максимальное показание, т. е. соответствие пику ^{137}Cs . Для сохранения статистической вариации в приемлемых пределах счет на пике должен быть не менее 2500;
- зафиксировать показания высокого напряжения и усиления, как значения калибровки на 662 кэВ;
- удалить источник ^{137}Cs из детектора.

Анализ результатов

Для рутинных измерений, возможно, ширины окна, которое применялось для калибровки, будет недостаточно, поэтому для ^{137}Cs выбирается ширина окна 150 кэВ. При этой ширине весь абсорбционный пик ^{137}Cs попадает в зону результата измерения.

При установках для других изотопов потребуются сведения об их энергетическом спектре.

Для γ -счетчиков, разработанных специально для радиоиммунных измерений, требуется высокое усиление, т. к. энергия фотонов для ^{125}I около 30 кэВ. Данный изотоп имеет два пика – один 30 кэВ, второй – 60 кэВ, поэтому для получения достоверного результата необходимо высчитывать спектр, в который включены эти два пика. Это важно, т. к. поставляемый для калибровки этих аппаратов ^{129}I имеет один пик.

В многоканальных аппаратах измерение производится для каждого канала. В современных аппаратах данное измерение полностью автоматизировано.

Интерпретация результатов

Для γ -счетчиков флуктуация калибровочных установок указывает на нестабильность блоков питания, резкие скачки температуры или неисправность электроники. Долговременный дрейф установочных значений свидетельствует о нарушении оптического перехода между детектором и ФЭУ.

4.3.4. Проверка разрешения по энергии (% FWHM)

Необходимые материалы для контрольного измерения:

- источник ^{137}Cs стержневого типа активностью около 4 кБк.

Проведение измерения:

- установить регулировки высокого напряжения и усиления для калибровки, как в п. 4.3.3;

- переключить дискриминатор в дифференциальный режим.

Значение окна – 10 кэВ;

- установить источник в детектор;

- установить основной уровень дискриминатора 800 кэВ и пошагово, уменьшая значение энергии (шаг 10 кэВ), исследовать спектр, примерно до 500 кэВ. Фиксировать результат измерения каждого шага. Для сохранения статистической вариации в приемлемых пределах счет на пике должен быть не менее 2500;

- удалить источник ^{137}Cs из детектора.

Анализ результатов

Построить график в соответствии с выполненным измерением (рис. 6).

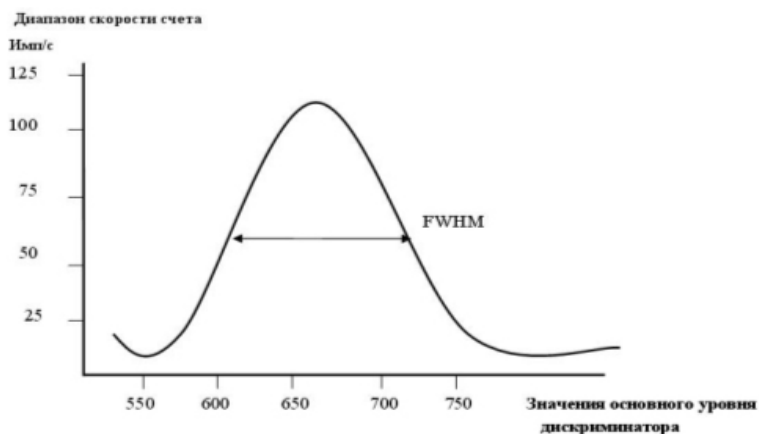


Рис. 6. Тест разрешения по энергии (% FWHM)
(значение FWHM = 90 кэВ; % FWHM = 13,6%)

Вычислить половинные значения от максимума по обе стороны от пика и определить FWHM.

Вычислить разрешение по формуле:

$$\%FWHM = \frac{FWHM}{662} \cdot 100, \quad (22)$$

Анализ результатов

Наиболее точными результатами энергетического разрешения являются те результаты, которые были получены при измерениях с наименьшей шириной окна. Коррекция фона при наименьшей ширине окна не учитывается.

В многоканальных аппаратах данное измерение производится соответственно для каждого канала.

Интерпретация результатов

Типичное значение разрешения по энергии (% FWHM) должно быть 9%, но этот показатель в значительной степени будет зависеть от формы и размеров кристалла. Внезапное уменьшение величины разрешения указывает на повреждение кристалла. Медленное снижение значения % FWHM свидетельствует о нарушении оптического перехода между детектором и ФЭУ или помутнение кристалла.

4.3.5. Проверка чувствительности

Необходимые материалы для контрольного измерения:

- калиброванный источник ^{137}Cs стержневого типа активностью около $4 \text{ кБк} \pm 10\%$ или менее;
- миллиметровая бумага.

Проведение измерения:

- установить регулировки высокого напряжения и усиления для калибровки, как в п. 4.3.3;
- переключить дискриминатор в дифференциальный режим. Значение основного уровня и ширины окна установить для рутинных измерений;
- установить время счета (например, 1 мин);
- установить источник в детектор;
- произвести счет источника. Для сохранения статистической вариации в приемлемых пределах счет на пике должен быть не менее 10000;
- удалить источник ^{137}Cs из детектора.

Анализ результатов

Результаты измерений чувствительности отмечаются на контрольной карте, которая представляет собой график зависимости диапазона скорости счета от времени измерения (рис. 7).

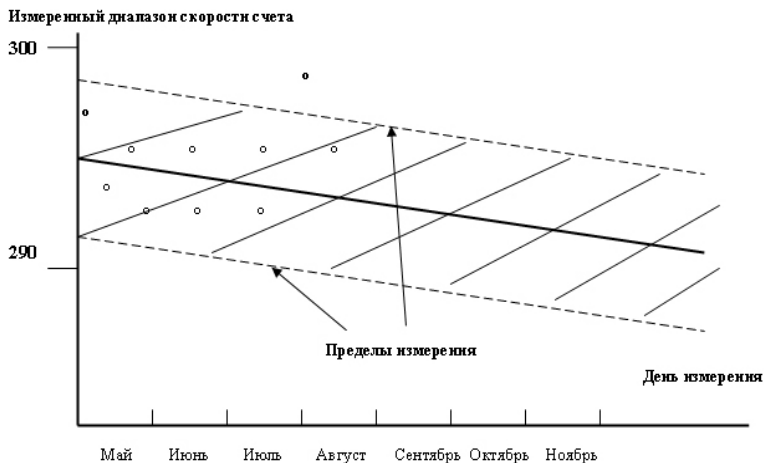


Рис. 7. Тест чувствительности. Часть контрольной карты измерения ^{137}Cs

Результаты измерений отмечаются относительно сплошной линии, которая представляет собой полураспад ^{137}Cs (30,0 лет, т. е. 2,3% за год). Штриховые линии служат пределами измерения, они расположены на расстоянии двойной стандартной девиации случайной ошибки счета, вычисляемой по формуле:

$$2 \sqrt{\frac{n}{t}}, \quad (23)$$

где n – среднее значение скорости счета;
 t – время измерения.

95% результатов должны укладываться в эти пределы. Если величина измерения выходит за пределы, необходимо повторное из-

мерение. Повторный выход значения за пределы указывает на то, что чувствительность аппарата изменилась.

При приемных и сравнительных испытаниях аппарата вычисляют эффективность его счета, исходя из известной активности источника, скорректированной на период полураспада, на данный момент измерения по формуле:

$$E = \frac{n}{s \cdot f \cdot a} \cdot 100\%, \quad (24)$$

где E – эффективность измерения (%);

n – скорость счета;

f – коэффициент фактора распада на день измерения;

a – фракционный фактор радиации для $^{137}\text{Cs} = 0,832$;

s – активность источника на день калибровки (Бк).

При рутинной работе в данном вычислении нет необходимости.

В аппаратах, разработанных для измерения с ^{125}I , производят измерение с поставляемым калиброванным источником ^{129}I , пользуясь рутинными установками дискриминатора, как для ^{125}I .

Интерпретация результатов

Результаты, не удовлетворяющие заводским показателям, свидетельствуют о неправильной калибровке аппарата по энергии (тест 4.3.3) или снижении разрешения по энергии (тест 4.3.4).

4.3.6. Проверка точности счета (тест χ^2)

Необходимые материалы для контрольного измерения:

- калиброванный источник ^{137}Cs стержневого типа активностью около $4 \text{ кБк} \pm 10\%$ или менее;
- миллиметровая бумага.

Проведение измерения:

- установить регулировки высокого напряжения и усиления для калибровки, как в п. 4.3.3;
- переключить дискриминатор в дифференциальный режим. Значение основного уровня и ширины окна установить для рутинных измерений;
- установить время счета, необходимое для набора 10000 импульсов;

- установить источник в детектор;
- произвести 10 раз повторно счет источника, фиксируя результаты в нижеприведенной табл. 13;
- удалить источник ^{137}Cs из детектора.

Таблица 13

Проверка точности счета (тест χ^2)

№ измерения	Счет C_i	$(C_i - C_{\text{ср}})$	$(C_i - C_{\text{ср}})^2$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
$\sum C_i =$		$\sum (C_i - C_{\text{ср}})^2 =$	

$$C_{\text{ср}} = \frac{\sum C_i}{10}, \quad (25)$$

где C_i – счет i -го измерения;
 $C_{\text{ср}}$ – средний счет 10 измерений.

Анализ результатов

Пользуясь данными табл. 13, вычислить значение χ^2 по следующей формуле:

$$\chi^2 = \frac{\sum (C_i - C_{\text{ср}})^2}{C_{\text{ср}}}, \quad (26)$$

где χ^2 – точность счета;
 C_i – счет i -го измерения;
 $C_{\text{ср}}$ – средний счет 10 измерений.

Для десяти измерений 95% достоверных статистических пределов для χ^2 находятся в значениях 16,92 и 3,32.

Если результат выходит за пределы этих величин, тест необходимо повторить. Если при вторичном измерении получается тот же результат, это указывает на неприемлемую точность измерения.

Интерпретация результатов

Нарушение точности счета при значениях для χ^2 больше 16,92 вызывается паразитными импульсами из источника питания, резкими перепадами температуры и неисправностями электроники. Значения χ^2 меньше 3,32 указывают на причину потери счета вследствие чрезмерно большой скорости счета, вызванной электрическим «шумом» постоянной частоты.

4.3.7. Проверка линейности счета

Необходимые материалы для контрольного измерения:

- источник с умеренным временем полураспада (например, ^{131}I) в растворе с удельной активностью около 200 кБк/мл;
- пробирки;
- пипетки и принадлежности к ним;
- логарифмическая бумага на 2-3 цикла.

Проведение измерения:

- пипетками разлить источник в пробирки в пропорциях – 5; 2; 1; 0,5; 0,1 и 0,05 мл. Довести водой объем в пробирках до 5 мл и закрыть пробирки крышками;
- установить регулировки высокого напряжения и усиления для калибровки, как было описано в п. 4.3.3;
- переключить дискриминатор в дифференциальный режим. Значение основного уровня и ширины окна установить для рутинных измерений;
- поместить пробирку с большей активностью для счета в детектор;
- выбрать приемлемое время счета или количество импульсов;
- произвести и зафиксировать счет источника. Для сохранения статистической вариации в приемлемых пределах время счета должно быть таким, чтобы счет был не менее 10000 импульсов;
- удалить пробирку из детектора;
- повторить процедуру счета для следующих пробирок.

Анализ результатов

Построить график зависимости счета источника от объема измеренной активности на логарифмической бумаге (рис. 8). Начинать построение графика с диапазона наименьшего счета, а затем экстраполировать линию на весь диапазон измерения.

Проверить положение точек с измеренными данными на построенной прямой в каждом диапазоне счета на предмет нелинейности.

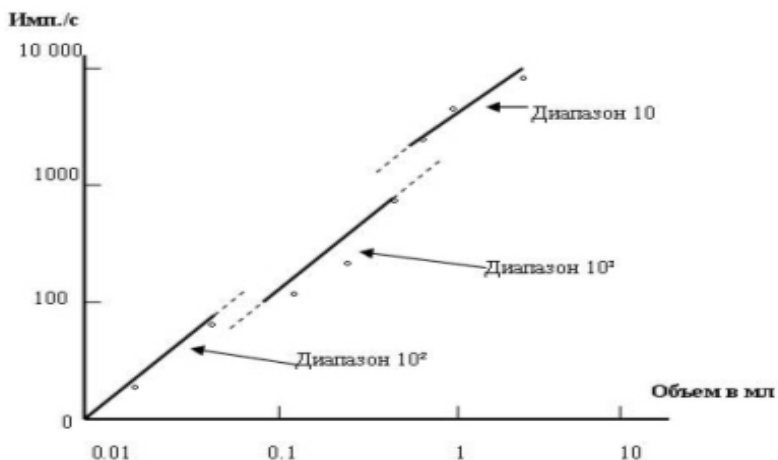


Рис. 8. Тест линейности. Пример для ^{131}I , 1000 имп/с от 1 мл (представлен случай нелинейности счета в диапазоне 100-1000 имп/с)

Интерпретация результатов

Данный тест предназначен для оценки работы интенсификатора. Нелинейность в верхней границе диапазона обычно обусловлена несоответствием времени разрешения блока интенсификатора. Нелинейность в нижней границе диапазона обычно связана с несоответствием установки «нуля» блока интенсификатора. Возможна коррекция результатов, отличающихся не более чем на 1%.

4.4. Ежедневные контрольные измерения

4.4.1. Контроль установок анализатора настройки на пик

Необходимые материалы для контрольного измерения:

- контрольный источник ^{125}I активностью около 4 кБк.

Проведение измерения:

- установить регулировки высокого напряжения и усиления для калибровки, как в п. 4.3.3;
- поместить источник в детектор;
- выбрать приемлемое время счета (1 мин);
- произвести и зафиксировать счет источника. Для сохранения статистической вариации в приемлемых пределах время счета должно быть таким, чтобы счет был не менее 10000 импульсов;
- изменить основной уровень в дискриминаторе анализатора спектра на 10% в большую и меньшую стороны и произвести измерение источника в этих измененных настройках;
- удалить источник из детектора.

Анализ результатов

Проверить воспроизводимость результата измерения по сравнению с предыдущим днем.

4.4.2. Контрольное измерение фона

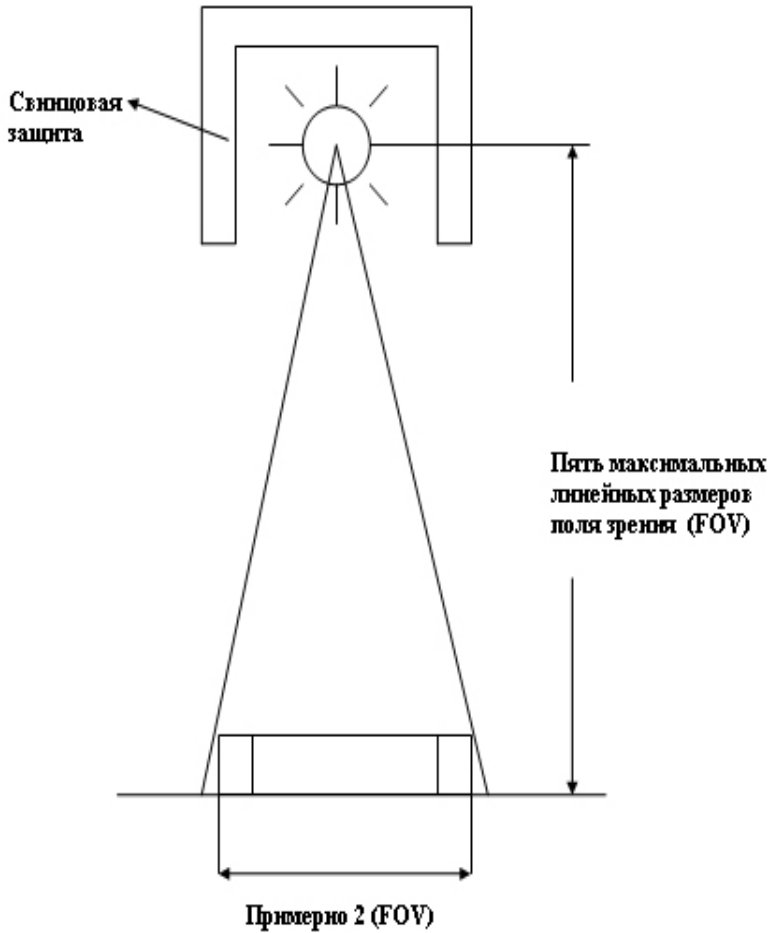
Проведение измерения:

- установить регулировки высокого напряжения и усиления для калибровки, как в п. 4.3.3;
- произвести измерение без источника излучения за заданное время (1 мин).

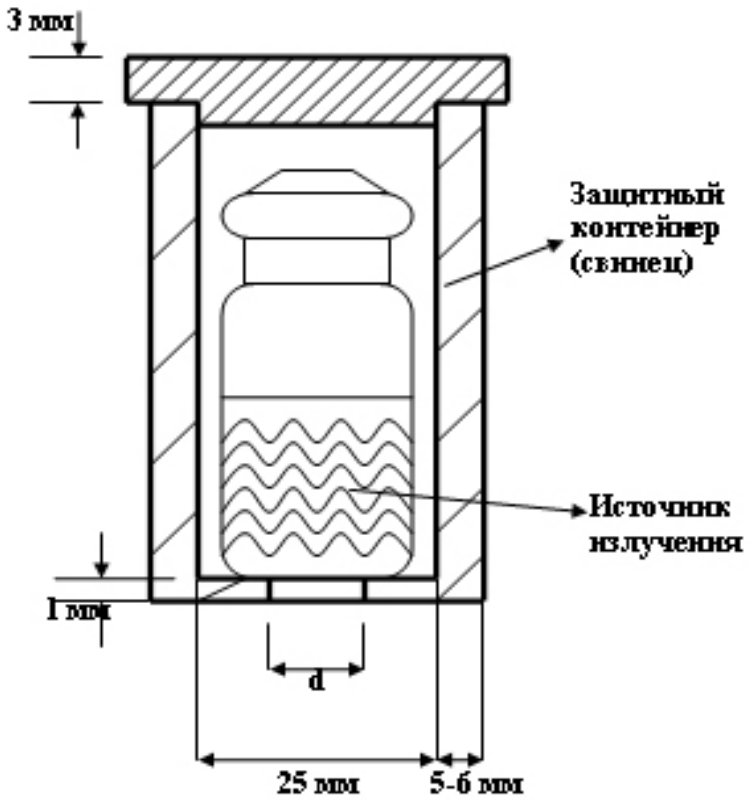
Анализ результатов

Проверить воспроизводимость результата измерения по сравнению с предыдущим днем.

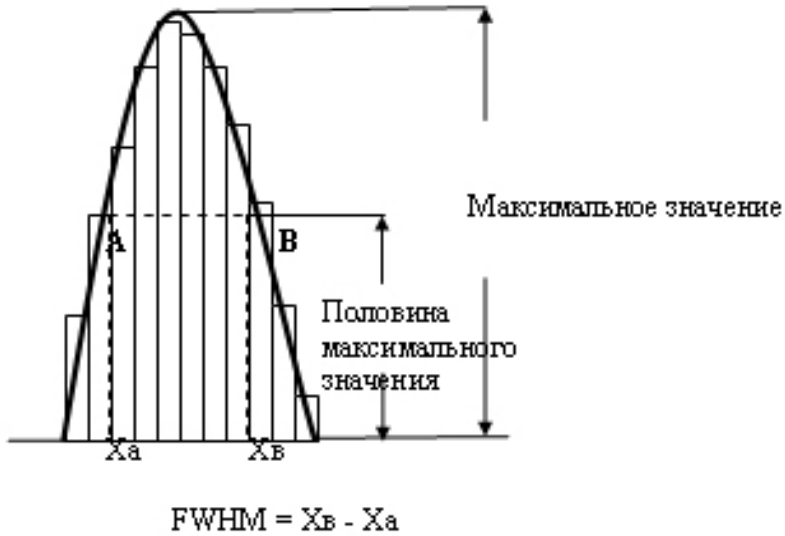
Схема проведения измерения для режима intrinsic, свинцовая защита предотвращает неконтролируемое рассеяние (рекомендовано ИЕС)



Точечный источник излучения в защитном свинцовом контейнере

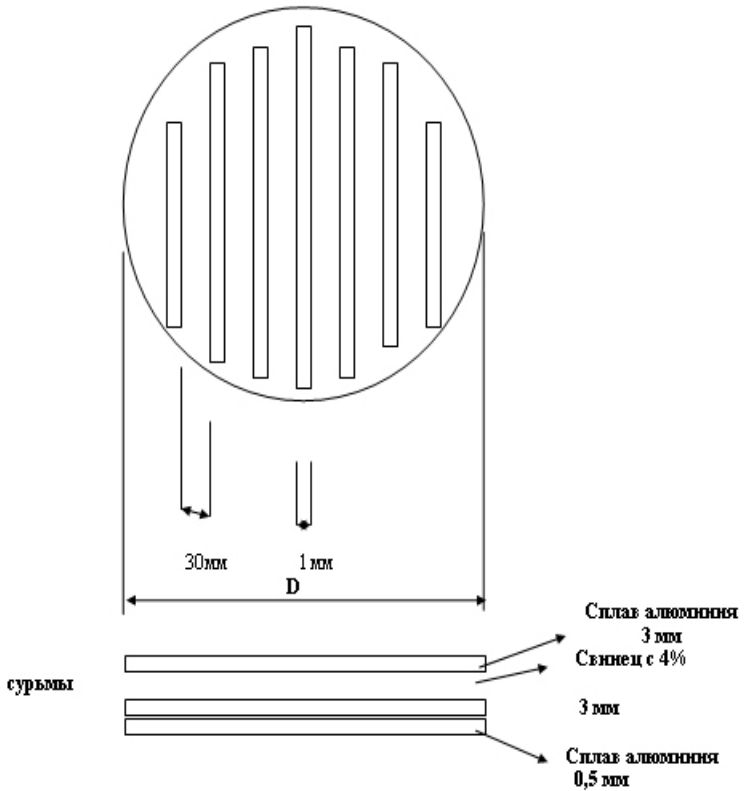


Измерение полной ширины энергетического окна
на половине максимума (FWHM)



Точки А и В – места, где интерполированную кривую пересекает линия со значением половины максимальной величины

Щелевой (PLES) фантом для определения собственного разрешения и пространственной нелинейности γ -камеры



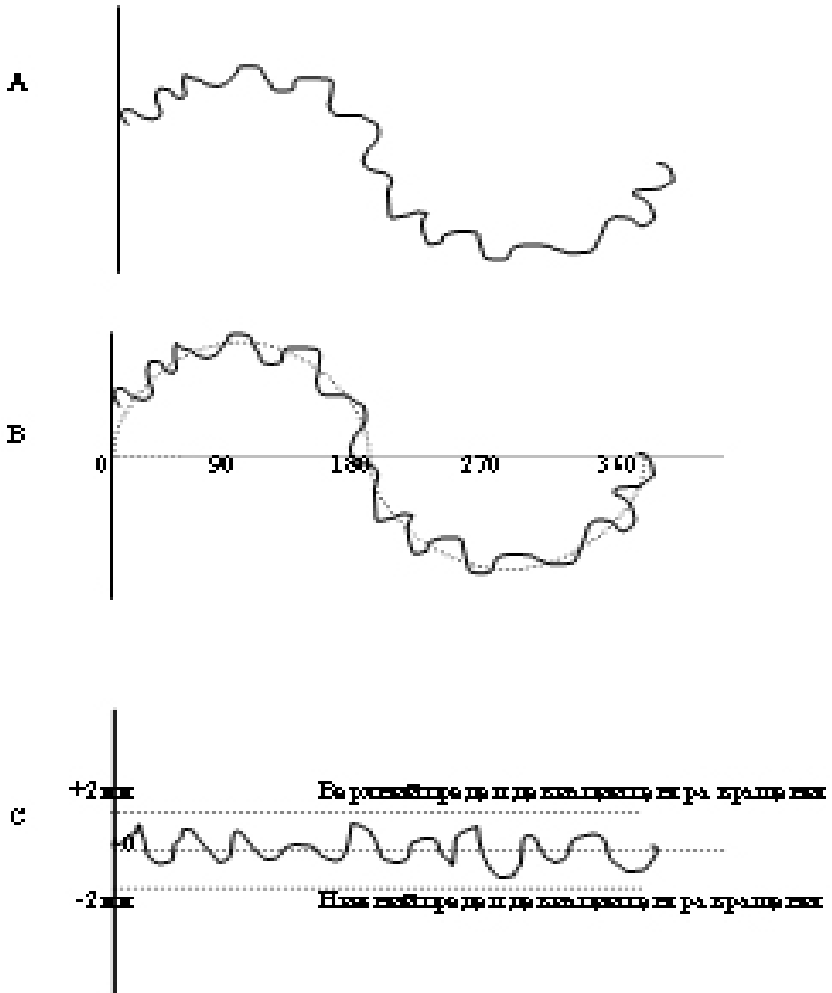
Примечание 1. Ширина щели – $1 \text{ мм} \pm 0,05 \text{ мм}$;

Примечание 2. Линейность щели – $\pm 0,05$ на 30 мм длины;

Примечание 3. Центр щели – $30 \text{ мм} \pm 0,05 \text{ мм}$;

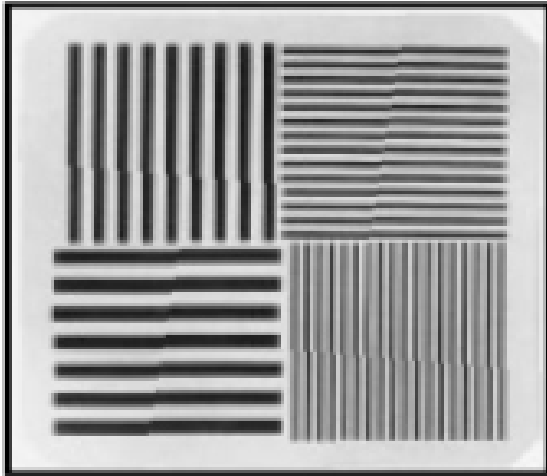
Примечание 4. Диаметр (D) зависит от поля зрения γ -камеры

Коррекция центра вращения

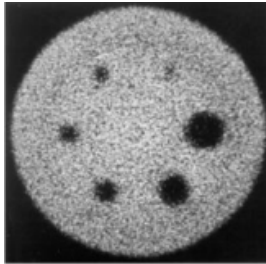


A – данные измерения; B – функция синуса преобразования Фурье с наложенными данными измерения; C – девиация центра вращения (мм)

4-квadrантный бар-фантом

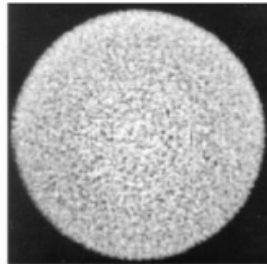


СПЕКТ-фантом



Cold Spheres

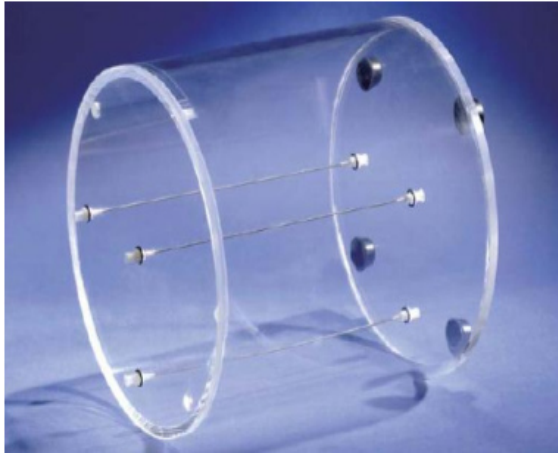
**Область определения
томографического контраста**



Uniform

**Область определения томографической
равномерности поля**

Фантом для оценки собственного пространственного разрешения



**Протокол контроля качества при приемке аппарата
(для планарных γ -камер)**

Дата ___/___/___ / Ф.И.О. проводившего измерения _____
 Лечебное учреждение: _____
 Город: _____; область _____
 Производитель ГК _____; модель _____
 Количество ФЭУ _____; толщина кристалла _____ мм;
 Производитель компьютера _____ Настройка на фотопик
 ^{99m}Tc ^{57}Co _____
 Активность _____ МБк
 Пик ___ / 20%

Собственная неравномерность (intrinsic)

^{99m}Tc ___; активность _____ МБк
 Пик ___ / 20%; диапазон счета _____
 Интегральная неравномерность (IU) ___%
 Дифференциальная неравномерность (DU) ___%

Пространственное разрешение

^{99m}Tc ___; активность _____ МБк
 Пик ___ / 20%; количество импульсов ___
 Фантом: ___ / ___ PLES
 FWHM (горизонталь) = (___ пиксель ___ мм)
 FWHM (вертикаль) = (___ пиксель ___ мм)

**Системное пространственное разрешение
(extrinsic)**

Линейный источник ___ / ___
 ^{99m}Tc ___; активность _____ МБк
 Пик ___ / 20%; количество импульсов ___
 Коллиматор _____; увеличение _____
 Макс. счет пикселей _____
 Расстояние: ___ см; число импульсов _____
 Матрица ___ 64 ___ 128
 Место измерения: верх лин. источника
 FWHM (горизонталь) = (___ пиксель ___ мм)
 Место измерения: середина лин. источника
 FWHM (горизонталь) = (___ пиксель ___ мм)

Место измерения: низ лин. источника
FWHM (горизонталь) = (_ пиксель ___ мм)
FWHM (вертикаль) = (_ пиксель ___ мм)
Место измерения: середина лин. источника
FWHM (вертикаль) = (_ пиксель ___ мм)
Место измерения: низ лин. источника
FWHM (вертикаль) = (_ пиксель ___ мм)

Коллиматор _____; увеличение ____
Макс. счет пикселей ____
Расстояние: ___ см; число импульсов _____
Матрица __ 64 __ 128

Место измерения: верх лин. источника
FWHM (горизонталь) = (_ пиксель ___ мм)
Место измерения: середина лин. источника
FWHM (горизонталь) = (_ пиксель ___ мм)
Место измерения: низ лин. источника
FWHM (горизонталь) = (_ пиксель ___ мм)
FWHM (вертикаль) = (_ пиксель ___ мм)
Место измерения: середина лин. источника
FWHM (вертикаль) = (_ пиксель ___ мм)
Место измерения: низ лин. источника
FWHM (вертикаль) = (_ пиксель ___ мм)

**Системное пространственное разрешение
(extrinsic) с учетом рассеяния**

Линейный источник ___ / ___
Материал рассеяния _____
^{99m}Tc ___; активность _____ МБк
Пик ___ / 20%; количество импульсов ____
Коллиматор _____; увеличение ____
Макс. счет пикселей ____
Расстояние: ___ см; Число импульсов _____
Матрица __ 64 __ 128

Место измерения: верх лин. источника
FWHM (горизонталь) = (_ пиксель ___ мм)
Место измерения: середина лин. источника
FWHM (горизонталь) = (_ пиксель ___ мм)
Место измерения: низ лин. источника
FWHM (горизонталь) = (_ пиксель ___ мм)
FWHM (вертикаль) = (_ пиксель ___ мм)
Место измерения: середина лин. источника

FWHM (вертикаль) = (__ пиксель __ мм)

Место измерения: низ лин. источника

FWHM (вертикаль) = (__ пиксель __ мм)

Коллиматор _____; увеличение _____

Макс. счет пикселей _____

Расстояние: __ см; число импульсов _____

Матрица __ 64 __ 128

Место измерения: верх лин. источника

FWHM (горизонталь) = (__ пиксель __ мм)

Место измерения: середина лин. источника

FWHM (горизонталь) = (__ пиксель __ мм)

Место измерения: низ лин. источника

FWHM (горизонталь) = (__ пиксель __ мм)

FWHM (вертикаль) = (__ пиксель __ мм)

Место измерения: середина лин. источника

FWHM (вертикаль) = (__ пиксель __ мм)

Место измерения: низ лин. источника

FWHM (вертикаль) = (__ пиксель __ мм)

Чувствительность

^{99m}Tc __; активность _____ МБк

Пик __ / 20%; количество импульсов _____

Время набора _____

Чувствительность: _____ имп/МБк

Максимальный счет

^{99m}Tc __; активность _____ МБк

Пик __ / 20%; время набора _____

Макс. количество импульсов _____

Защита детектора

^{99m}Tc __; активность _____ МБк

Пик __ / 20%

Количество импульсов на поверхности коллиматора _____

Время набора _____

Счет на поверхности защиты согласно схеме: 1. __; 2. __; 3. __; 4. __;

5. __; 6. __; 7. __; 8. __; 9. __; 10. __; 11. __; 12. __;

Отношение: счет коллиматор/защита _____

1. __; 2. __; 3. __; 4. __; 5. __; 6. __; 7. __; 8. __; 9. __; 10. __;

11. __; 12. __.

**Протокол контроля качества при приемке аппарата
(для γ -камер с функцией томографии SPECT)**

Дата ____ / ____ / ____ / Ф.И.О. проводившего измерения _____

Лечебное учреждение: _____

Город: _____; область _____

Производитель ГК _____; модель _____

Количество ФЭУ _____; толщина кристалла _____ мм;

Производитель компьютера _____

Угловая равномерность (5000К на изображение по времени для 0°)

Пик ____ / 20%; ^{99m}Tc ____ ^{57}Co ____

0° (5000000 имп. _____ с

90° _____ с

180° _____ с

270° _____ с

360° _____ с

Максимальная вариация чувствительности _____%

Центр вращения

Активность ____ МБк; ориентация _____

Пик ____ / 20%; число проекций _____

Время ____ с; матрица ____ 64 ____ 128

Имп./кадр _____; увеличение _____

Коллиматор _____; дата ____ / ____ / ____ /

Данные по оси X

Среднее ____; макс. ошибка ____; мин. ошибка ____

Средняя ошибка ____; стандартная девиация ____

Поле (Коррекция неравномерности)

Пик ____ / 20% Дата ____ / ____ / ____ /

Ориентация _____; число импульсов _____

Увеличение ____; матрица ____ 64 ____ 128

Коллиматор _____

Центр поля (CFOV)

Интегральная неравномерность _____%

Дифференциальная неравномерность ____%

Стандартная девиация ____

Разрешение

Пик: ____/ 20% Дата __/__/__

Линейный фантом ____; активность ____ МБк

Увеличение ____; матрица: __ 64 __ 128

Коллиматор ____; число проекций ____

Время/проекция ____; имп./проекция ____

Направление вращения ____; CW CCW ____

Орбита вращения ____; круговая ____ не круговая

Радиус вращения: ____; макс. ось: ____; мин. ось ____

Отношение осей макс./мин. ____

Фильтр реконструкции: ____; Nyquist ____

Калибровка (по оси X): (+ ____ пиксель/мм);

– ____ пиксель/мм;

Место измерения: верх лин. источника

FWHM (горизонталь) = (____ пиксель ____ мм)

FWHM (вертикаль) = (____ пиксель ____ мм)

Калибровка (по оси Y): (+ ____ пиксель/мм;

– ____ пиксель/мм;

Место измерения: Низ лин. источника

FWHM (горизонталь) = (____ пиксель ____ мм)

FWHM (вертикаль) = (____ пиксель ____ мм)

Планарные измерения:

Расстояние: ____ см; число импульсов ____

Матрица __ 64 __ 128

Место измерения: верх лин. источника

FWHM (горизонталь) = (____ пиксель ____ мм)

Место измерения: низ лин. источника

FWHM (горизонталь) = (____ пиксель ____ мм)

«СПЕКТ»-фантом: стандарт. ____; Deluxe ____

Пик: ____/ 20% Дата __/__/__

Активность ____ МБк

Увеличение ____; матрица: __ 64 __ 128

Коллиматор ____; число проекций ____

Время/проекция ____; имп./проекция ____

Направление вращения ____; CW CCW ____

Орбита вращения ____; круговая ____; не круговая

Фильтр реконструкции: ____; Nyquist ____

Коэффициент затухания: ____ / см; или ____ пиксель

**Равномерность поля (15x15 пикселей
прямоугольн. район интереса (без коррекции)
и статистического значение шума**

№ среза ___; наличие круг. артефактов __Да, Нет ___

Среднее число имп. ___; Стандартная девиация ___

Макс. число имп. ___; Мин. число имп. ___

Интегральная равномерность= ___%

Статистическое значение шума ___%

Коррекция затухания (без коррекции поля)

Горизонтальный профиль: без наклона ___

Наклон __(+ или -)

Затухание скорректировано __Да; __ Нет

Вертикальный профиль: без наклона ___

Наклон __(+ или -)

Затухание скорректировано __Да; __ Нет

Контраст (без коррекции поля)

Срез со сферами ___; число визуализируемых сфер ___

Кольцевые артефакты: __ Есть; __ Нет

Среднее число имп. = ___

Размер сфер (мм): Мин. число имп. Контраст:

38

31,8

25,4

19,1

15,4

Равномерность поля (15x15 пикселей)

**прямоугольный «район интереса» (с коррекцией)
и статистического значения шума**

№ среза ___; Наличие круг. артефактов __Да, Нет ___

Среднее число имп. ___; Стандартная девиация ___

Макс. число имп. ___; Мин. число имп. ___

Интегральная равномерность= ___%

Статистическое значение шума ___%

Коррекция затухания (с коррекцией поля)

Горизонтальный профиль: без наклона ___

Наклон __(+ или -)

Затухание скорректировано __Да; __ Нет

Вертикальный профиль: без наклона ___

Наклон __(+ или -)

Затухание скорректировано __Да; __ Нет

Контраст (с коррекцией поля)

Срез со сферами __; Число визуализируемых сфер __

Кольцевые артефакты: __ Есть; __ Нет

Среднее число имп. = __

Размер сфер (мм): Мин. число имп. Контраст:

38	_____	_____
31,8	_____	_____
25,4	_____	_____
19,1	_____	_____
15,4	_____	_____

Зав. отделением

Руководитель леч. учреждения

ПРОТОКОЛ

ежедневного контроля параметров γ -камеры _____ (модель),
установленной _____ (дата) в отделении ядерной медицины
_____ (наименование ЛПО)

Дата	Проверка крепления, блокировок коллиматора, горизонтальности детекторов	Контрольное измерение по энергии (peaking) для изотопов на рабочий день. Указать нахождение пика и изотоп		Подпись лица, проводившего измерение	Подпись зав. отделением
	В норме (Нет)	Изотоп	Пик (кэВ)		

ПРОТОКОЛ

ежедневного контроля параметров γ -камеры _____ (модель),
установленной _____ (дата) в отделении ядерной медицины
_____ (наименование ЛПО)

Дата	Контрольное измерение чувствительности			Проверка центра вращения (отклонение, мм)	Подпись лица, проводившего измерение	Подпись зав. отделением
	А	Т	Е			

А – активность источника, измеренная на дозкалибраторе (МБК);

Т – время набора 300 К импульсов (с);

Е – чувствительность, (имп./МБК)

ПРОТОКОЛ

ежеквартального контроля параметров γ -камеры _____ (модель),
установленной _____ (дата) в отделении ядерной медицины
_____ (наименование ЛПО)

Дата	Проверка собственной неравномерности поля (intrinsic)		Проверка диапазона максимального счета (имп./с)	Подпись лица, проводившего измерение	Подпись зав. отделением
	<i>IU</i>	<i>DU</i>			

IU – интегральная неравномерность поля (%);

DU – дифференциальная неравномерность поля (%).

ПРОТОКОЛ

полугодового контроля параметров γ -камеры _____ (модель),
установленной _____ (дата) в отделении ядерной медицины
_____ (наименование ЛПО)

Дата	Количественное контрольное измерение неравномерности поля (extrinsic)		Проверка размера пикселя, мм	Контрольное измерение пространственного разрешения (мм)	Контрольное измерение контраста (%)	Подпись лица, проводившего измерение	Подпись, зав. отделением и высшего руководителя
	с рассеянием	без рассеяния					

ПРОТОКОЛ

сравнительных контрольных параметров при вводе в эксплуатацию дозкалибратора _____ (модель),
установленного _____ (дата) в отделении ядерной медицины

наименование ЛПО

Контролируемый параметр	Допустимое отклонение	Измеренное значение
Эффективность (чувствительность)		
Линейность		
Фон		

Заключение: Техническое состояние, комплектация и контролируемые параметры аппарата соответствуют (не соответствуют) норме

Представитель поставщика _____

Зав. отделением ядерной медицины _____

Руководитель ЛПО _____

Лицо, проводившее проверку контрольных параметров _____

Дата _____

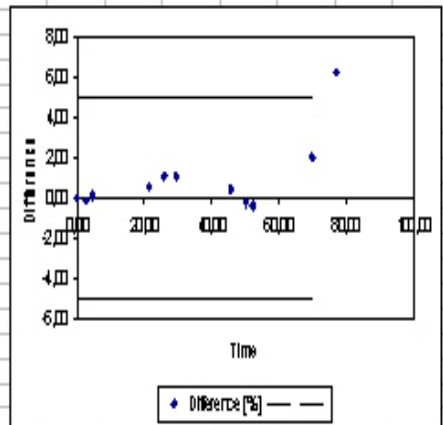
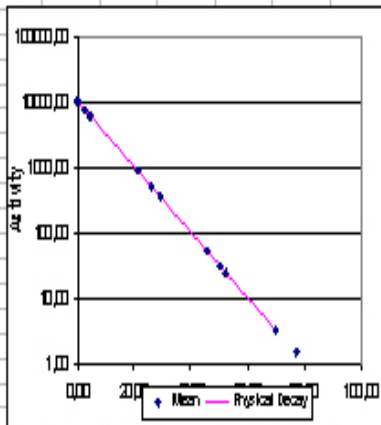
ПРОТОКОЛ

ежеквартального контроля параметров дозкалибратора
_____ (модель), установленного _____ (дата)
в отделении ядерной медицины _____
наименование ЛПО

Дата	Линейность показаний	Контроль присутствия ⁹⁹ Mo	Подпись лица, проводившего измерение	Подпись зав. отделением

Пример расчета линейности с применением таблиц программы «EXEL»

Dose Calibrator: Therapy Station 2018D						TCSM (Half Time):		6 Hours				
DAY	Time	Time difference	BC 1	Measure1	Measure2	Measure3	BC2	Mean	Physical Decay	Difference (%)		
18.09.05	11:25	0:00	0,05	10460	10450	10440	0,05	10449,93	10449,93	0,00	-5	5
18.09.05	14:05	2:40	0,05	7670	7670	7660	0,04	7666,62	7679,31	-0,16	-5	5
18.09.05	15:55	4:30	0,05	6240	6230	6200	0,07	6223,27	6213,97	0,15	-5	5
19.09.05	08:37	21:20	0,055	907	908	908	0,05	907,60	902,95	0,05	-5	5
19.09.05	13:24	25:56	0,013	525	525	524	0,13	524,53	519,38	1,02	-5	5
19.09.05	16:40	29:25	0,013	350	350	350	0,12	350,93	345,12	1,01	-5	5
20.09.05	09:03	45:2	0,012	53,5	53,4	53,4	0,11	53,37	53,14	0,43	-5	5
20.09.05	13:40	50:25	0,11	31,5	31,5	31,5	0,11	31,39	31,48	-0,28	-5	5
20.09.05	15:45	52:35	0,1	24,7	24,6	24,8	0,11	24,60	24,70	-0,40	-5	5
21.09.05	09:21	59:53	0,1	3,4	3,41	3,42	0,11	3,31	3,24	2,03	-5	5
21.09.05											-5	5
21.09.05	16:31	77:10	0,1	1,6	1,6	1,5	0,035	1,50	1,42	5,28	-5	5



ПРОТОКОЛ

сравнительных контрольных параметров при вводе в эксплуатацию аппарата для исследований *in vitro* (γ -счетчик) _____ (модель), установленного _____ (дата)

в отделении ядерной медицины _____
наименование ЛПО

Контролируемый параметр	Допустимое отклонение	Измеренное значение
Проверка функционирования интенсиметра и таймера		
Проверка калибровки по энергии		
Проверка разрешения по энергии (% FWHM)		
Проверка чувствительности		
Проверка точности счета		
Проверка линейности счета		

Заключение: Техническое состояние, комплектация и контролируемые параметры аппарата соответствуют (не соответствуют) норме.

Представитель поставщика _____

Зав. отделением ядерной медицины _____

Лицо, проводившее проверку контрольных параметров _____

Дата _____

ПРОТОКОЛ

ежедневного контроля параметров аппарата для исследований in vitro (γ -счетчик) _____ (модель),
установленного _____ (дата) в отделении ядерной медицины

наименование ЛПО

Дата	Счет контрольного источника	Фон	Подпись лица, проводившего измерение	Подпись зав. отделением

ПРОТОКОЛ

ежеквартального контроля параметров аппарата для исследований
in vitro (γ -счетчик) _____ (модель),
установленного _____ (дата) в отделении ядерной медицины

наименование ЛПО

Дата	Проверка чувствительности	Проверка точности счета	Подпись лица, проводившего измерение	Подпись зав. отделением

ПРОТОКОЛ

полугодового контроля параметров аппарата для исследований in vitro (усчетчик) _____ (модель),
установленного _____ (дата) в отделении ядерной медицины

наименование ЛПО

Дата	Проверка разрешения по энергии (% FWHM)	Проверка точности счета	Подпись лица, проводившего измерение	Подпись зав. отделением и вышестоящего руководителя