

**ППСР**

Проблемы прикладной  
спектрометрии и радиометрии



XVII Международное совещание им. Владимира Николаевича Даниленко

# Межклиническое сравнение контроля вводимой активности в отделениях ядерной медицины

**Сергей Анатольевич Рыжов**

Главный внештатный специалист Минздрава по радиационной гигиене и медицинской физике,  
Вице-президент Ассоциации медицинских физиков России, Член президиума РОПР  
Зам. главного врача, Начальник отдела радиационной безопасности и медицинской физики  
ФГБУ "НМИЦ ДГОИ им. ДМИТРИЯ РОГАЧЕВА" МИНЗДРАВА РОССИИ  
Научный сотрудник НПКЦ диагностики и телемедицины ДЗМ  
Преподаватель кафедры радиохимии МГУ им. М.В. Ломоносова

16.10.2025

### Опыт:

- 5** лет в ФБУЗ ЦГиЭ в г. Москве
- 5** лет в Управлении Роспотребнадзора по г. Москве
- 4** года в ЦМТУ по надзору за ЯРБ Ростехнадзора
- 2** года в НПКЦ ДиТ ДЗМ
- 4** года в НМИЦ ДГОИ

### Итого:

**20** лет в РБ из которых почти **15** в надзоре



### Первый доклад на ППСР:

4-6 октября **2017 года**  
XIV-е Международное  
совещание «Проблемы  
прикладной спектрометрии  
и радиометрии», Москва

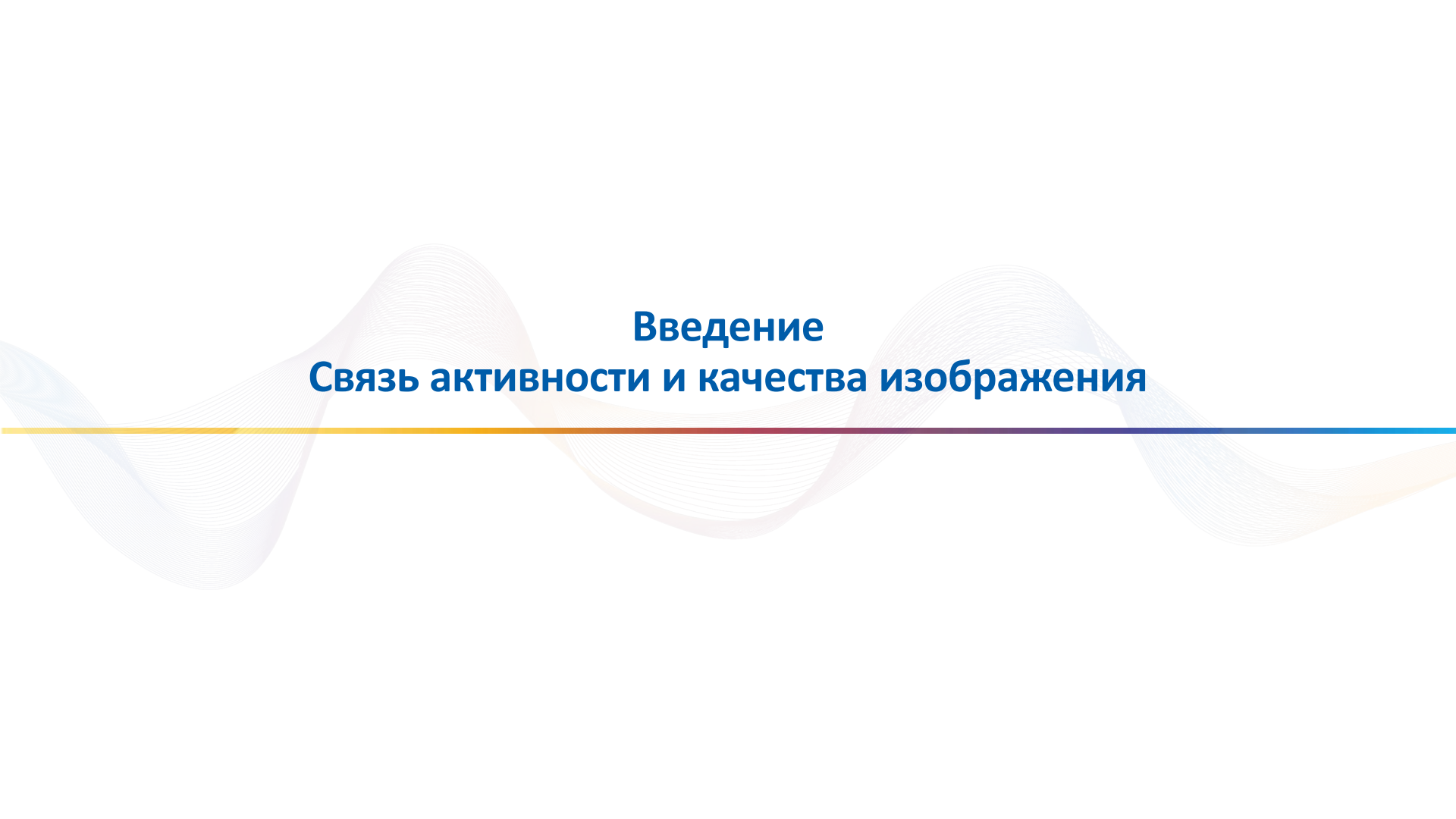
Я не метролог

### Опыт работы:

- Более **400** лекций / Более **135** статей
- Несколько курсов повышения квалификации
- Нормотворческая деятельность
- Руководитель органа инспекции типа А
- Проведение дозиметрии, радиометрии, спектрометрии, радиационного контроля
- Проведение экспертиз, проверок и расследование радиационных аварий
- Выдача разрешительных документов

### Область научных интересов:

- **Ядерная медицина**
- **Радиационный контроль и рентгенодиагностика**

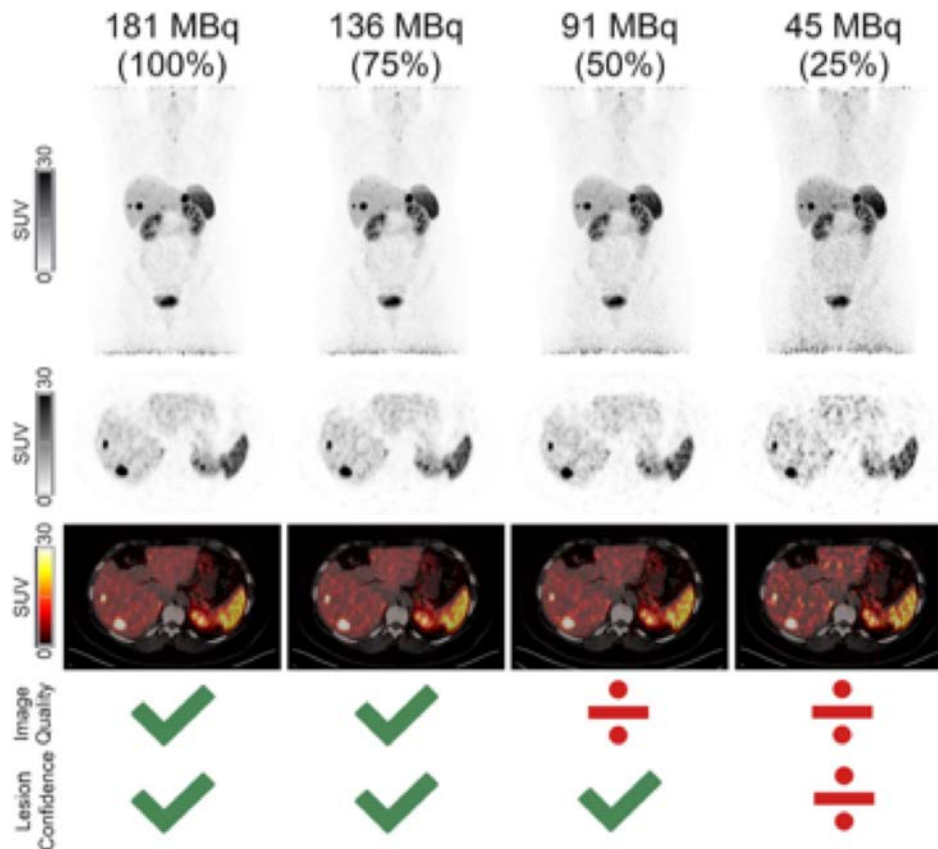
The background features a series of overlapping, wavy lines in shades of light blue, purple, and yellow. A solid horizontal bar with a color gradient from yellow to blue spans the width of the slide, positioned below the main text.

# **Введение**

## **Связь активности и качества изображения**

Основная задача ввести **минимальную** активность, но **увидеть все**, что нужно за **приемлемое время** и иметь относительную уверенность, что **все очаги (даже мелкие) накопили РФЛП** и **ничего не пропустил**

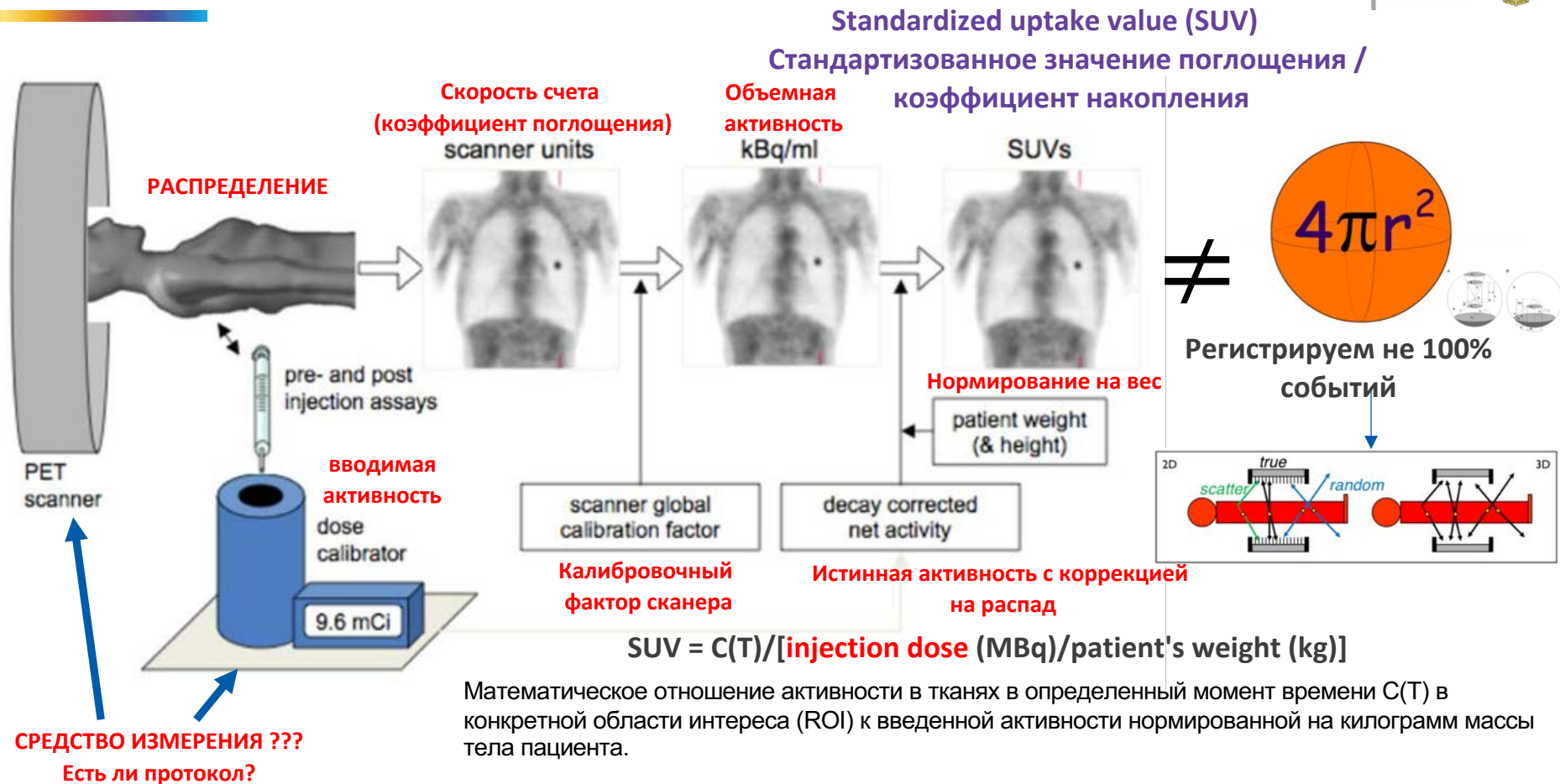
Для введения корректной активности нам нужно ее **измерить**



**Чем мы измеряем, является ли средством измерения дозкалибратор ПЭТ/ОФЭКТ ?**

**Должны ли мы обеспечить метрологическую точность в соответствии с требованиям об обеспечении единства измерений (102-ФЗ) ?**

# Особенности измерения активности в ядерной медицине

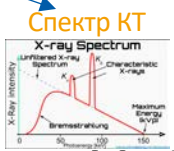
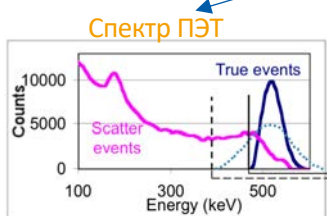
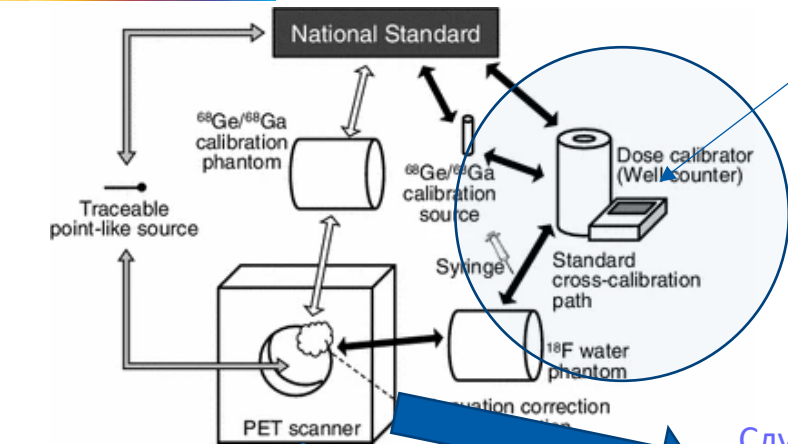


# На самом деле все несколько сложнее



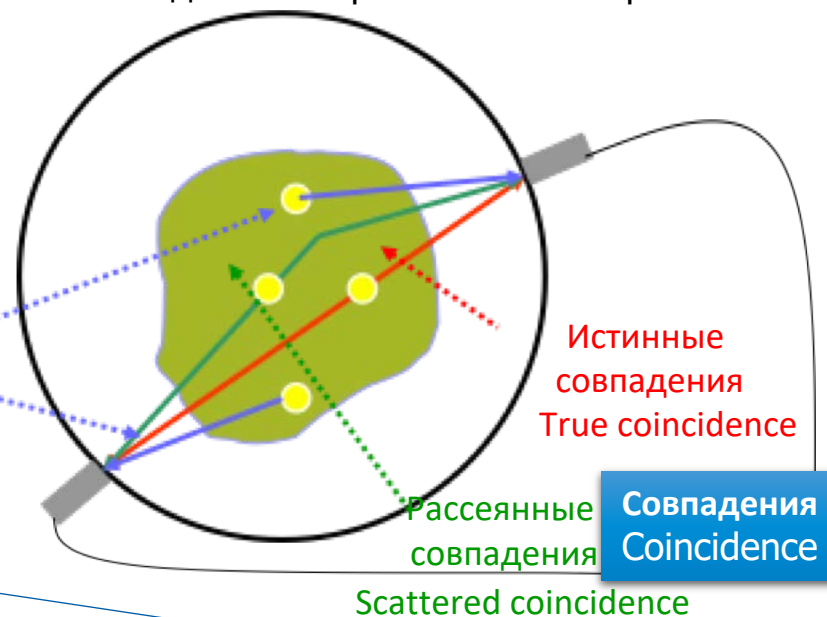
Сегодня нас интересует

Что на самом деле измеряет ПЭТ-сканер?



Случайные совпадения  
Random coincidence  
( $\sim 2t \cdot \text{singles}^2$ )

$$Y = N(A \times T + S + R)$$



What is measured	Normalization	Attenuation	Trues	Scatter	Randoms
Что измеряется	Нормализация	Затухание/ослабление	Истинные события	Рассеяние	Случайные события

# Детекторы в ядерной медицине



## Ядерная медицина

### ОФЭКТ

100-117-140-**270**-360-420 кэВ

Аналоговый  
Сцинтилятор с ФЭУ

Цифровой Твердотельный  
полупроводник SiPM

### ПЭТ

425-511-650 кэВ

Аналоговый  
Сцинтилятор с ФЭУ

Цифровой Твердотельный  
полупроводник SiPM

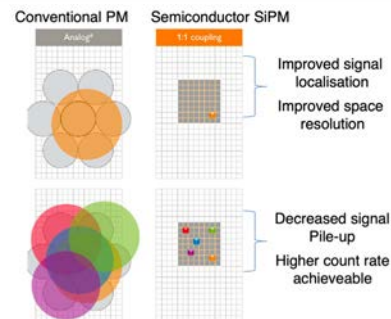
	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Attenuation @ 140 keV (cm <sup>-1</sup> )	Max. emission (nm)	Decay time (ns)	Light yield (photons/ keV)
NaI(Tl)	3.67	3.12	415	230	38
CsI(Tl)	4.51	4.53	540	680(63%), 3340(37%)	65
LaCl <sub>3</sub> (Ce)	3.86	2.82	330	20(70%), 213(30%)	49
LaBr <sub>3</sub> (Ce)	5.30	3.42	358	35(90%)	61
YAlO <sub>3</sub> (Ce)	5.50	1.81	350	30	21

	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Attenuation @ 140 keV (cm <sup>-1</sup> )	Energy per e-h pair (eV)	Mobility-lifetime	
				Electron (cm <sup>2</sup> /V)	Hole (cm <sup>2</sup> /V)
Si	2.33	0.02	3.61	0.42	0.22
Ge	5.32	0.72	2.98	0.72	0.84
CdTe	5.85	3.22	4.43	3×10 <sup>-3</sup>	5×10 <sup>-4</sup>
CdZnTe	5.82	3.07	~5	3×10 <sup>-3</sup>	5×10 <sup>-5</sup>
HgI <sub>2</sub>	6.40	8.03	4.20	<10 <sup>-2</sup>	5×10 <sup>-5</sup>

Examples of scintillation materials used in PET detectors (data from [11,12]).  $Z_{\text{eff}}$  is the effective atomic number.

Material	Density (g/cm <sup>3</sup> )	$Z_{\text{eff}}$	Light output (photons/keV)	Decay time (ns)	Hygroscopic
NaI:Tl	3.67	51	41	230	yes
BGO	7.1	75	9	300	no
L(Y)SO:Ce	7.1-7.4	65-66	26-34	38-44	no
BaF <sub>2</sub>	4.9	54	1.3-1.4	0.8	no
CsF	4.6	52	1.9-2.0	3	yes
LaBr <sub>3</sub> :Ce	5.1	45	64-76	16	yes

ОФЭКТ и ПЭТ нестандартная  
разновидность спектрометра



Peterson TE, Furenlid LR. SPECT detectors: the Anger Camera and beyond. Phys Med Biol. 2011 Sep 7;56(17):R145-82. doi: 10.1088/0031-9155/56/17/R01. Epub 2011 Aug 9. PMID: 21828904; PMCID: PMC3178269.

Zatcepin A, Ziegler SI. Detectors in positron emission tomography. Z Med Phys. 2023 Feb;33(1):4-12. doi: 10.1016/j.zemedi.2022.08.004. Epub 2022 Oct 5. PMID: 36208967; PMCID: PMC10082375.

## Ядерная медицина

12 (27,5x3,92 см)

ОФЭКТ (CZT)

ПЭТ (LYSO)

x7 (4x4 см)

36 (20x5)

x4

544 блока

16x16 блоков

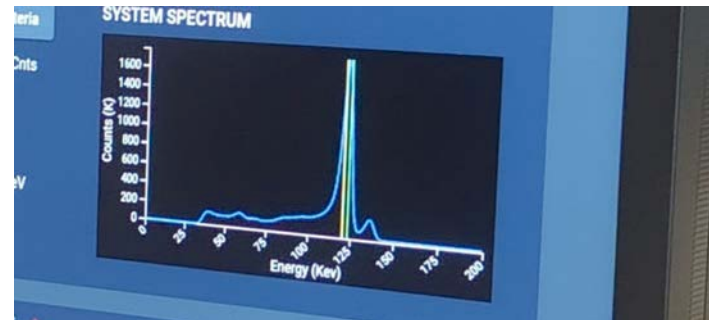
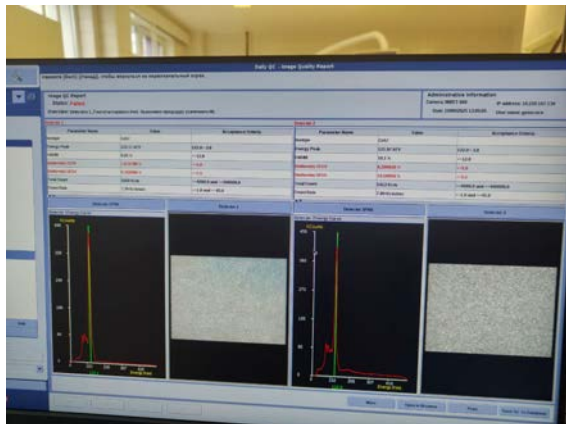
2,46x2,46x7,25 mm

Table 1 StarGuide characteristics

Component	Characteristic	Specific
SPECT	Detectors	Pixelated CZT
	Columns (heads)	12
	N° modules/detectors per column	7
	N° pixels/modules	16 x 16
	Pixel dimension	2.46 x 2.46 mm
	Detector thickness	7.25 mm
	Detector axial coverage	27.5 cm
	Energy range	[40-279 keV]
CT	Collimator	Integrated tungsten parallel hole collimator
	N° rows	16

Кристаллов 21504

Кристаллов 19584



Калибровка сканеров с  
источниками  $^{60}\text{Co}$

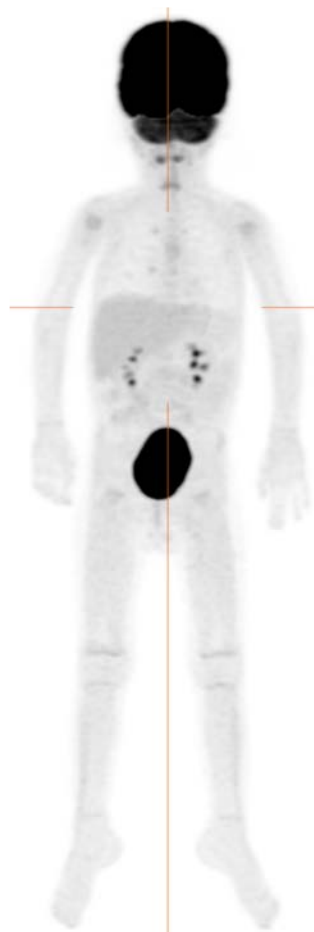
The background features a light gray wavy line that spans the width of the slide. A horizontal bar with a color gradient from yellow to blue is positioned across the middle, passing behind the text.

**Почему это важно?**

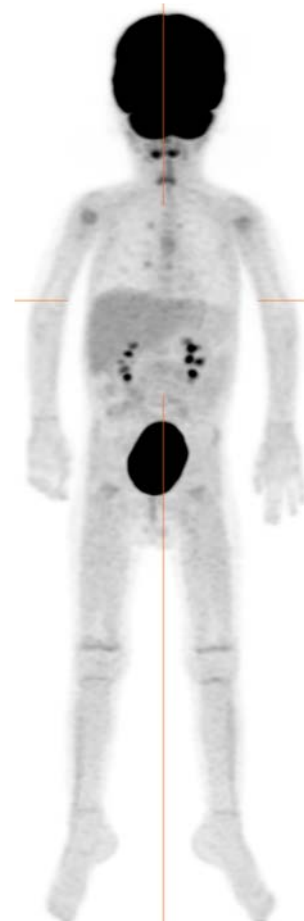
# Какое изображение лучше?



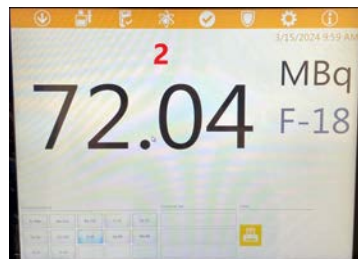
Установка (изотоп)	Калибровочный коэффициент
Tc-99m	1.00
Co-57	1.19
In-111	2.35
Tl-201	1.76
Ga-67	1.12
I-123	2.19
I-131	1.43



72 МБк



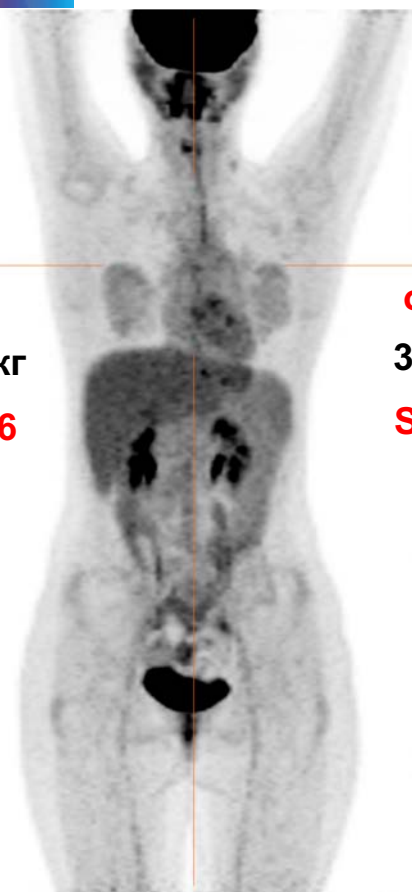
125 МБк



# Какое изображение лучше? Какую активность вводить?



**август**  
**5,2 МБк/кг**  
**SUV = 2,6**



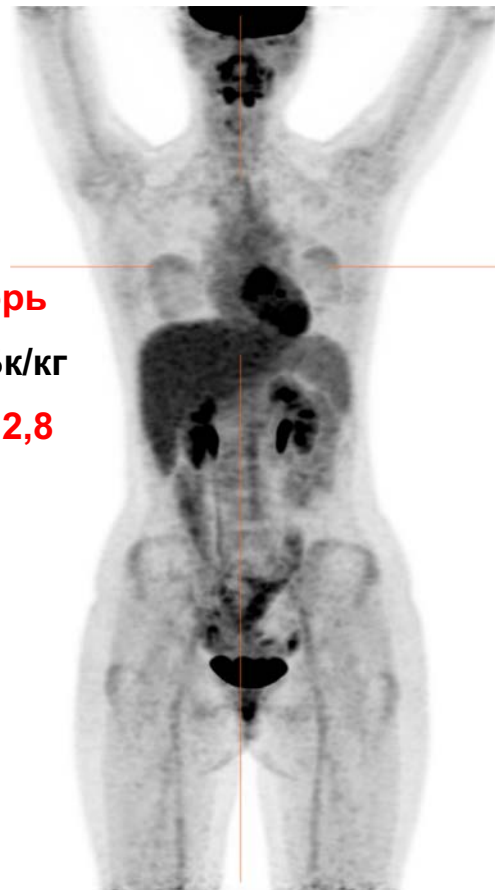
**267 МБк**

**октябрь**  
**3,0 МБк/кг**  
**SUV = 1,9**



**148 МБк**

**декабрь**  
**5,2 МБк/кг**  
**SUV = 2,8**



**259 МБк**

## Первый этап работы (экспертная оценка)

The slide features a decorative background with several overlapping, wavy, ribbon-like shapes in shades of light blue, purple, and orange. A solid horizontal bar with a color gradient from yellow to blue spans the width of the slide, positioned below the main title.

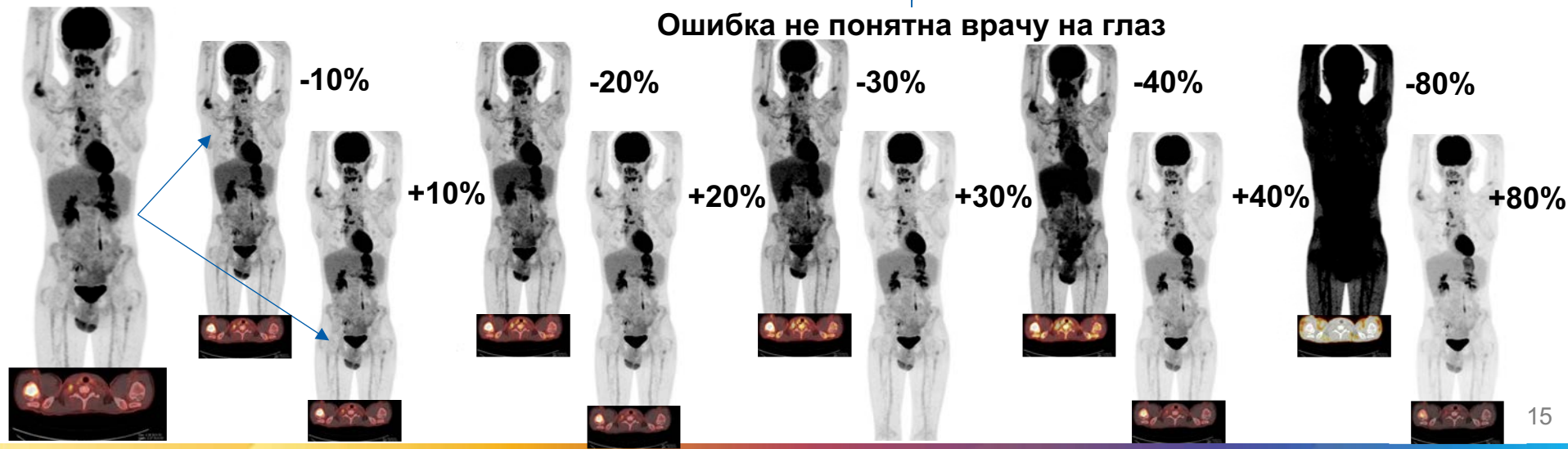
# Допустимое отклонение по активности, которое не видно на изображении ( $\pm 20\%$ )



% отклонения	-80%	-40%	-30%	-20%	-10%	0	10%	20%	30%	40%	80%
Активность*, МБк	44	133	155	178	200	222	244	266	289	311	400
SUVпечени	11,7	3,8	3,3	2,8	2,6	2,3	2,1	1,9	1,8	1,6	1,3
SUV очаг	22,09	7,31	6,19	5,40	4,86	4,38	3,98	3,65	3,37	3,12	2,43

\* 2,5 порог отсеечения, ПО Hermes

Ошибка не понятна врачу на глаз



# Связь активности и качества исследования

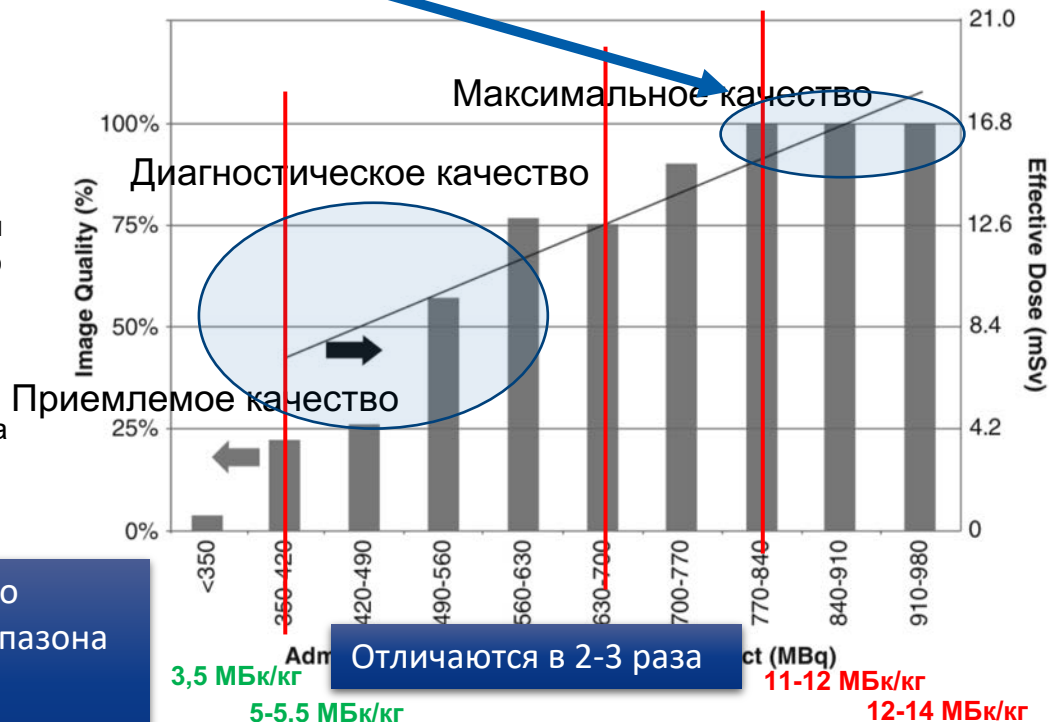


информация, содержащаяся в изображении (**количественные** параметры, такие как чувствительность и специфичность или отношение сигнал/шум и **качественные (субъективные)** показатели, такие как уровень диагностического качества, оцененный врачом), является **нелинейной функцией** отношения количества зарегистрированных фотонов, используемых для создания изображения к количеству фотонов прошедших через тело пациента (доза облучения пациента), пропорционально введенной активности.

После получения детектором некоторого количества фотонов, вся информация, которая потенциально доступна на изображении, получена, и любое дальнейшее **увеличение дозы не дает дополнительной диагностической пользы.**

При дальнейшем увеличении активности качество **снижается** из-за уменьшения динамического диапазона детекторов (засветка детекторов)  
Качество зависит от активности, характеристик детектора и времени сбора данных

**Нелинейная зависимость качества изображения и линейная зависимость эффективной дозы от введенной активности**



186 пациентов прошли ПЭТ/КТ, два независимых эксперта оценили качество изображения по 5-балльной шкале (плохое, приемлемое, хорошее, очень хорошее и отличное).



**Нужно ли контролировать качество работы дозкалибраторов и как?**

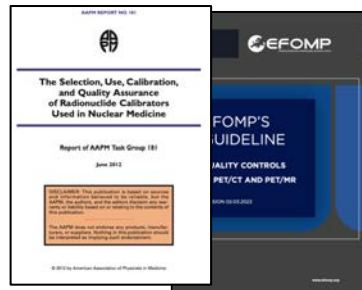
# Методическое обеспечение контроля работы дозкалибраторов в РФ и за рубежом



СанПиН, МУ, МУК в РФ

МУ 2.6.1.2500-09

AAPM, EFOMP



Процедура	Периодичность
Поверка (калибровка) дозкалибратора	Ежегодно ???

## СанПиН 2.6.4115-25

231. Помещение, в котором осуществляется фасовка РФЛП, должно быть оборудовано защитным боксом и радиометром (дозкалибратором) для измерения активности РФЛП в шприце (флаконе). Радиометры должны быть **откалиброваны** по спектру радионуклидов, с которыми **проводятся работы на рабочем месте**.



Что значит откалиброваны по спектру?

Процедура	Периодичность
Визуальный осмотр	Ежедневно
Диагностика электроники	Ежедневно
Точность выставленного времени	Ежедневно
Проверка высокого напряжения	Ежедневно
Настройка «нуля»	Ежедневно
Измерение фоновое излучения	Ежедневно
Измерение контрольного источника	Ежедневно
точность	Ежегодно
Воспроизводимость измерений	Ежегодно
Линейность	Ежегодно

# Федеральный закон от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений"



## Статья 2

10) **калибровка средств измерений** - совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений;

7) **поверка средств измерений** (далее также - поверка) - совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям;

21) **средство измерений** - техническое средство, предназначенное для измерений;

## Статья 18. Калибровка средств измерений

1. Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут в **добровольном порядке** подвергаться калибровке. Калибровка средств измерений выполняется с использованием эталонов единиц величин, прослеживаемых к государственным первичным эталонам соответствующих единиц величин, а при отсутствии соответствующих государственных первичных эталонов единиц величин - к национальным эталонам единиц величин иностранных государств.

2. Выполняющие калибровку средств измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели **в добровольном порядке могут быть** аккредитованы в области обеспечения единства измерений.

*Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 27 января 2025 г. N 336 "Об утверждении порядка признания результатов калибровки и использования их при поверке средств измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, требований к оформлению результатов калибровки, включая прослеживаемость, и содержанию сертификата калибровки"*

# Международные документы (критерии приемлемости)



TECHNICAL REPORTS SERIES NO. 454

## Quality Assurance for Radioactivity Measurement in Nuclear Medicine



TABLE 4. PASS/FAIL ACCEPTANCE CRITERIA FOR PERFORMANCE CHECKS OF RADIONUCLIDE ACTIVITY CALIBRATORS

Test	Frequency of testing				Pass/fail criterion
	Upon acceptance/ after repair	At the start of each day of use	Monthly	Annually	
High voltage	✓	✓	✓	✓	±1%
Display	✓	✓	✓	✓	—
Zero adjustment	✓	✓	✓	✓	Within range of adjustment
Clock accuracy	✓	✓	✓	✓	±1 min
Background	✓	✓	✓	✓	±20% of current mean
Check source response (constancy)	✓	✓	✓	✓	±2% of reference value
Accuracy (over normal operating range)	✓			✓	Nuclide dependent; ±2% (SSRLs), ±5% (other laboratories)
Precision	✓		✓	✓	±1%
Relative responses	✓	✓	✓	✓	±2% of reference value
Subsidiary calibrations	✓			✓	±1% of reference value
Linearity	✓			✓	Within 2% (SSRLs) or 5% (other laboratories) of true value over operating range (compare with linear fit of data)
Geometry	✓				New factor must be determined for every change in geometry (SSRLs), or when effect of geometry is >5% (other laboratories)



dti  
A NATIONAL MEASUREMENT  
GOOD PRACTICE GUIDE  
No. 93  
Protocol for Establishing  
and Maintaining the  
Calibration of Medical  
Radionuclide Calibrators  
and their Quality Control

Table 1.2 Recommended frequencies for measuring radionuclide calibrator performance parameters.

	Acceptance	Daily	Monthly	Annually
High voltage	✓	✓	✓	✓
Display	✓	✓	✓	✓
Zero adjust	✓	✓	✓	✓
Background	✓	✓	✓	✓
Check source (Relative Response)	✓	✓	✓	✓
Accuracy	✓			✓
Repeatability	✓			✓
Subsidiary calibrations	✓			✓
Linearity	✓			✓

*Quality control of  
nuclear medicine instruments 1991*

Table 2-1

## Test Schedule for Radionuclide Calibrator

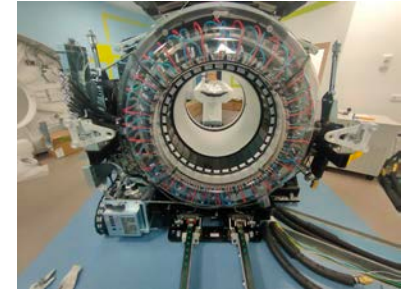
Test No.	Test	Acceptance	Reference	Frequency in routine testing		
				Weekly	Quarterly	Half-yearly
<u>Acceptance and Reference Tests</u>						
2.3.1.	Physical Inspection	x				
2.3.2.	Test of Precision and Accuracy	x	x		x	
2.3.3.	Test of Linearity of Activity Response	x	x		x	
2.3.4.	Test of Background Response	x	x	x		
<u>Operational Checks</u>						
2.4.1.	Check of Reproducibility					
2.4.2.	Check of Background Response					



# **Чему должен соответствовать дозкалибратор?**

## **Метрология измерений в России и мире**

# Метрологические приборы (средства измерений) используемые в ядерной медицине



Многих  
дозкалибраторов нет  
в реестре, может по  
этому калибруем?

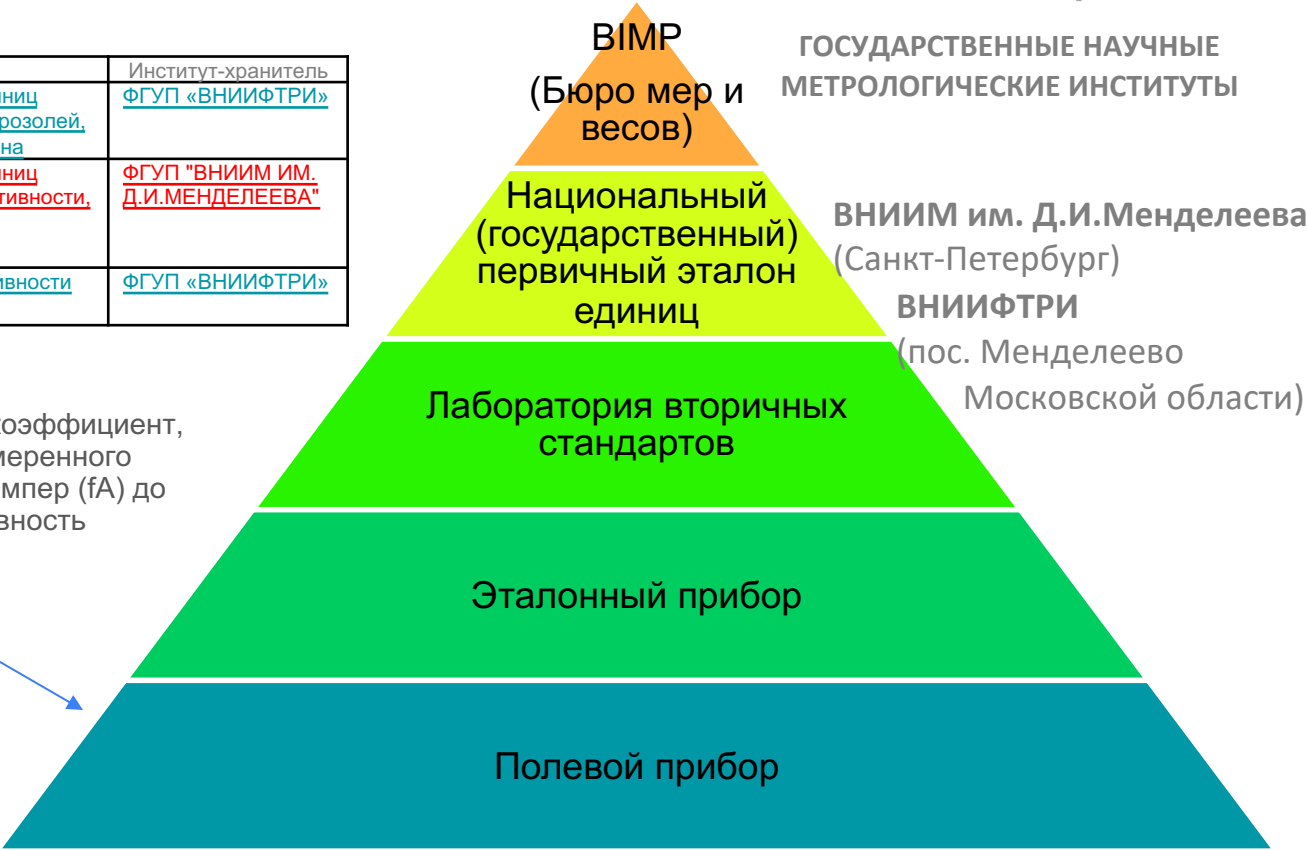
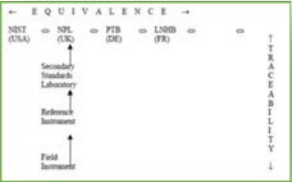


# Калибровка и метрология в ядерной медицине в России и мире



№ эталон	Наименование эталона	Институт-хранитель
<a href="#">гэт39-2021</a>	<a href="#">Государственный первичный эталон единиц объемной активности радиоактивных аэрозолей, радона, торона и плотности потока радона</a>	<a href="#">ФГУП «ВНИИФТРИ»</a>
<a href="#">гэт6-2016</a>	<a href="#">Государственный первичный эталон единиц активности радионуклидов, удельной активности, потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников</a>	<a href="#">ФГУП "ВНИИМ им. Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА"</a>
<a href="#">гэт20-2014</a>	<a href="#">ГПЭ единиц активности и объемной активности нуклидов в бета-активных газах</a>	<a href="#">ФГУП «ВНИИФТРИ»</a>

Калибровочный коэффициент - это коэффициент, используемый для преобразования измеренного тока ионизационной камеры от фемтоампер (fA) до микроампер (мкА) в номинальную активность



Эти коэффициенты определяются либо путем **прямого измерения** эталонных радиоактивных образцов, либо расчетом на основе **кривой чувствительности**, зависящей от энергии излучения

# Требования ЕС



EUROPEAN COMMISSION

RADIATION PROTECTION N° 162

Criteria for Acceptability of Medical  
Radiological Equipment used in Diagnostic  
Radiology, Nuclear Medicine and  
Radiotherapy

Directorate-General for Energy  
Directorate D — Nuclear Safety & Fuel Cycle  
Unit D4 — Radiation Protection  
2012

- В процедурах ядерной медицины используются различные радионуклиды. Измерители активности должны быть способны точно измерять активность конкретного радионуклида (гамма- или бета-излучения) в широком диапазоне энергий для правильного определения радиоактивности, которую необходимо вводить пациенту. Они также должны быть **способны проводить точные измерения в широком диапазоне** видов деятельности. Эффективность измерителей активности должна быть обеспечена **с помощью программы обеспечения качества**, соответствующей международным, европейским или национальным стандартам (NPL (2006); ЕС (1997)). Допустимые уровни приведены в **таблице 3-1** для каждого критического параметра вместе с типом используемого критерия и ссылкой на рекомендуемый метод испытания.
- Уровни взвешивания, приведенные в таблице 3-1, относятся к приборам, используемым для измерения активности источников гамма-излучения с энергией **выше 100 кэВ**. Если эти приборы откалиброваны для измерения изотопов, испускающих низкие энергии гамма-излучения (ниже 100 кэВ), или источников **бета-или альфа-излучения** (Siegel et al., 2004), необходимо принять **специальные меры**, чтобы исключить зависимость показаний **от флакона и геометрии**. Этого можно достичь, например, **путем измерения откалиброванного источника в ампулах различной формы и геометрии для настройки индивидуальных коэффициентов калибровки**. В этих случаях, вероятно, не удастся достичь уровней, указанных в таблице 3-1. Если есть подозрение на неисправность прибора, необходимо провести проверку с использованием соответствующего источника, чтобы подтвердить подозрение, используя значения, указанные в таблице 3-1 (EANM (2008)).

Table 3-1 Suspension Levels for Activity Meters

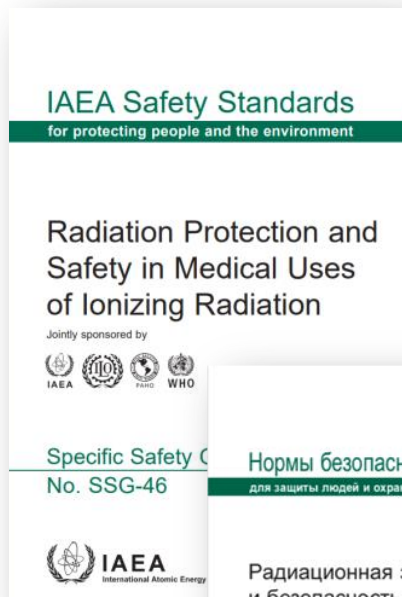
Physical Parameter	Suspension Level	Reference	Type	Notes and Observations
Accuracy	> 5 %	NPL (2006)	A	
Linearity	> 5 %	NPL (2006)	A	
System reproducibility	> 1 %	NPL (2006)	A	

точность  
линейность  
воспроизводимость



- Ente Nazionale Italiano di Unificazione UNI 9777-1990 Preparation of test sources for dose calibrators.
- **UNI 9777:1990 Radiopharmaceuticals activity determination.**
- **UNI 9106:1988 Radiopharmaceuticals activity determination.**
  
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. ([10.1109/IEEESTD.2004.7949161](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2004.7949161))  
**IEEE N42.13-2004 Calibration and Usage of "Dose Calibrator" Ionization Chambers for the Assay of Radionuclides**
- **American National Standard Calibration and Usage of "Dose Calibrator" Ionization Chambers for the Assay of Radionuclides**
- "American National Standard Calibration and Usage of "Dose Calibrator" Ionization Chambers for the Assay of Radionuclides," in ANSI N42.13-2004 (Reaffirmation of ANSI N42.13-1986) , vol., no., pp.1-13, 2 Dec. 2004, doi: 10.1109/IEEESTD.2004.7949161. keywords: {ANSI Standards;ionization chambers;Calibration;Instruments;Nuclear medicine;Nuclear measurements;Current measurment;Interconnected systems},

4.185. Вводимую активность следует верифицировать с помощью измерителя активности (калибратора дозы) или другого соответствующего устройства, чтобы убедиться в том, что суммарная активность не отклоняется значительно от назначенной вводимой активности (**например, отклонение <5%**), а также следует зарегистрировать измеренное значение. Следует определять поправки на остаточную активность в шприце, колпачках, трубках, фильтре или других предметах, используемых при введении.



	Приемочные испытания	Ежедневно	Ежемесячно	Ежегодно
Высокое напряжение/дисплей	Ф	Т	Т	Ф
Настройка (дрейф) нуля	Ф	Т	Т	Ф
Фон	Ф	Т	Т	Ф
Точность (ассигура)	Ф			Ф
Прецизионность (precision)	Ф		Т	Ф
Относительная чувствительность	Ф		Т	Ф
Дополнительные калибровки	Ф			
Линейность	Ф			Ф
Электрическая безопасность	Ф			Ф
Утечка излучения	Ф			Ф

Ф: Измерение проводится медицинским физиком

Т: Измерение проводится техником

**Точность должна быть + / - 5%**

Отслеживание до национального стандарта.

**Межлабораторные сравнения (сличения).**

# Государственная поверочная схема для средств измерений активности радионуклидов ГОСТ 8.033-2023



МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ  
(MTC)  
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION  
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТАНДАРТ

ГОСТ  
8.033—  
2023

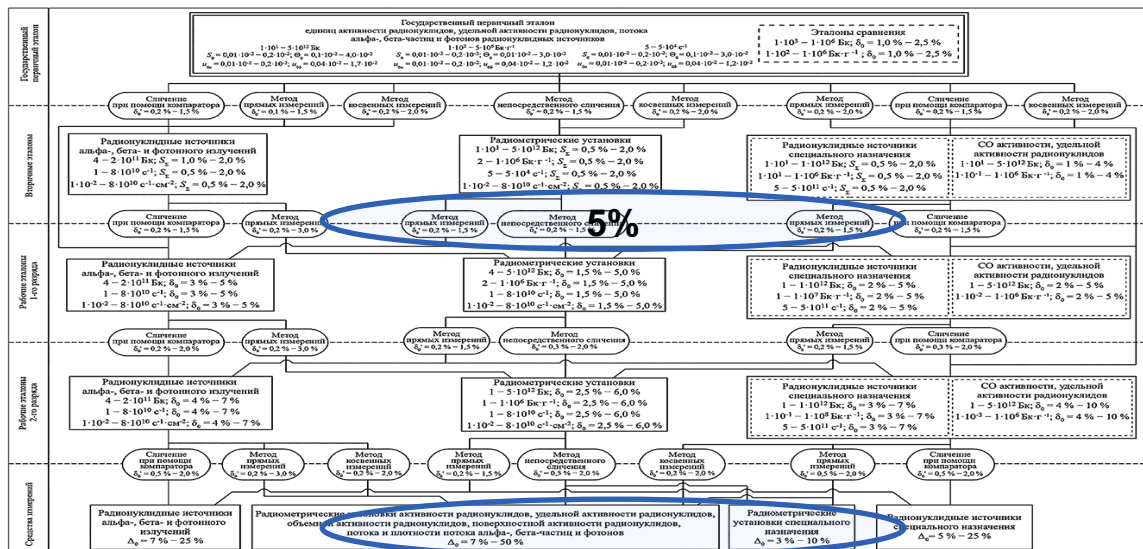
Государственная система обеспечения  
единства измерений

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА  
ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ АКТИВНОСТИ  
РАДИОНУКЛИДОВ, ПОТОКА И ПЛОТНОСТИ  
ПОТОКА АЛФА-, БЕТА-ЧАСТИЦ И ФОТОНОВ  
РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Москва  
Российский институт стандартизации  
2023

## 5.2 Пределы допускаемых относительных погрешностей средств измерений $\Delta_0$

- Радиометрические установки - **7-50%**
- Радиометрические установки специального назначения – **3-10%**



# Свидетельства об утверждении типа и методика поверки



При поверке применяются: - **рабочий эталон 2-го разряда** - радиометр РИС-А1-Э

**Флакон объемом 10 мл**



## Метрологические и технические характеристики

Метрологические и технические характеристики радиометров активности радионуклидов РИС-А «Дозкалибратор» приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование характеристики	Значение для модификации			
	РИС-1А	РИС-2А	РИС-3А	РИС-4А
Диапазон измерений активности, Бк:				
- гамма – излучающих радионуклидов;	от $2,0 \cdot 10^6$ до $1,85 \cdot 10^{10}$	от $5,0 \cdot 10^8$ до $5,0 \cdot 10^{11}$	от $1,0 \cdot 10^5$ до $2,7 \cdot 10^{10}$	от $1,0 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^9$
- бета – излучающих радионуклидов	от $1,0 \cdot 10^7$ до $5,0 \cdot 10^9$	-	от $1,0 \cdot 10^7$ до $5,0 \cdot 10^9$	от $1 \cdot 10^7$ до $5,0 \cdot 10^9$
Диапазон энергий регистрируемого гамма – излучения, кэВ	от 40 до 3000	от 130 до 1000	от 40 до 3000	от 20 до 3000
Диапазон граничных энергий регистрируемого бета – излучения, МэВ	от 1 до 1,5	-	от 1 до 1,5	от 1 до 1,5
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений активности, %				
- гамма – излучающих радионуклидов;	-3	-5	-	-
- бета – излучающих радионуклидов	-8	-	-8	-
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений активности гамма-излучающих нуклидов в диапазоне, %:				
- от $1,0 \cdot 10^5$ до $9,99 \cdot 10^5$ Бк	-	-	-15	-
- от $1,0 \cdot 10^6$ до $2,0 \cdot 10^9$ Бк	-	-	-	-
- от $1,0 \cdot 10^6$ до $2,7 \cdot 10^{10}$ Бк	-	-	-3	-

Таблица 2 - Средства поверки

Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки	Номер пункта методики поверки	Обозначение нормативного документа	Метрологические или основные технические характеристики средства поверки
Рабочий эталон 2-го разряда - радиометр РИС-А1-Э	7.3	ТУ 4362-007-18615825-2007	Относительная доверительная погрешность измерений активности $^{99m}\text{Tc}$ $\leq 2\%$ , при доверительной вероятности 0,95
Секундомер механический	7.3	ТУ 25-1894.003-90	КТ 2
Генератор технция-99m*	7.3	ТУ 95-1623-96, РЭ, паспорт	Активность генератора на дату поставки не менее 3,7 Гк
Флакон пенициллиновый	7.3	ТУ 9461-02-00480678-99	Объем 10 мл, 7 штук
Проба резинная медицинская для пенициллиновых флаконов	7.3	ТУ 9467-001-44111344-2001	7 штук
Шпатель изоломные одноразового применения (для отбора проб)	7.3	ГОСТ Р ИСО 7886-1-2009	Емкость (1 – 10) мл
Штативный свинцовый контейнер	7.3		

\* - В случае отсутствия в лаборатории раствора  $\text{To-99m}$  допускается использование растворов других радионуклидов, внесенных в список рабочих радионуклидов Рабочего эталона 2-го разряда радиометра РИС-А1-Э (I-131, F-18).

Все не так плохо  
(погрешность **3%-15%**)

# Поверка в мед. учреждении (передача от **вторичного эталона**)



- Методы, откалиброванные с помощью основных методов
- Руководство по настройке шкалы
- Полное представление о различных переменных, влияющих на результат измерения (влияние геометрии измерения, чистые  $\beta$ -излучатели)
- Предоставляет способ передачи эталона пользователю

Acceptable calibration tolerances for reference and field instruments

Parameter	Reference Instrument	Field Instrument
Repeatability	$\pm 0.5\%$ (1 s.d.)	$\pm 1\%$ (1 s.d.)
Linearity (over range used)	$\pm 1\%$ (1 s.d.)	$\pm 5\%$ (1 s.d.)
<b>Accuracy</b>		
High energy & gamma ( $> 100$ keV)	$\pm 2\%$ (range) to secondary standard	$\pm 5\%$ (range) to reference
Low energy & gamma ( $< 100$ keV)	$\pm 5\%$ (range) to secondary standard	$\pm 10\%$ (range) to reference

$$\text{Calibration factor} = \frac{\text{Current (pA)}}{\text{Activity (MBq)}}$$

Table 1. Examples of Calibration Coefficients (Vial) from the NPL Secondary Standard Radionuclide Calibrator

Radionuclide (pA/MBq)	Calibration Coefficient
P-32	0.03518
Y-90	0.0721
Tl-201	0.886
Tc-99m	1.240
Ga-67	1.565
I-123	1.721
I-131	4.073
I-131 (capsule)	4.053
In-111	4.129
F-18	10.39





## Что влияет на результаты измерений?

# Устройство дозкалибраторов



Ионизационная камера колодезной формы, заполненная газом с высоким атомным номером (например, ксеноном) под давлением

Свинцовая защита

Собирающий электрод

Держатель

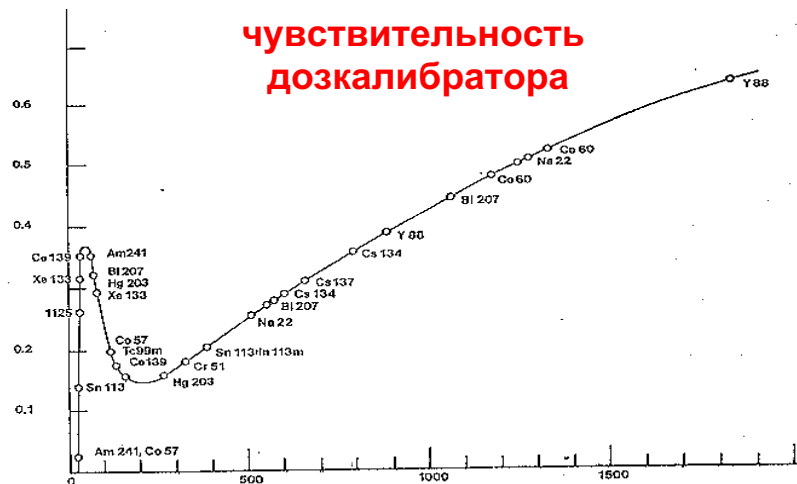
Напряжение

Электрометр

Выбор радионуклида

- Радионуклид (энергия) и активность (количество фотонов испускаемых при распаде).
- Геометрия детектора.
- Геометрия источника.
- Состояние дозкалибратора (КК, ионизационные ток, потери, текучесть и т.д.).

**чувствительность  
дозкалибратора**



# Геометрия источника и определение активности (полезный/рабочий объем дозкалибратора)



Геометрическая эффективность - определяется как отношение числа фотонов, достигающих детектора, к числу фотонов, излучаемых образцом

Геометрия источника

Полезный рабочий объем дозкалибратора

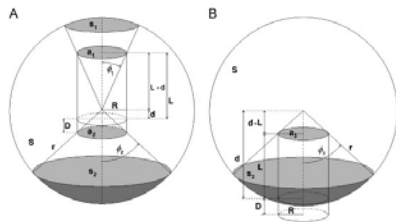
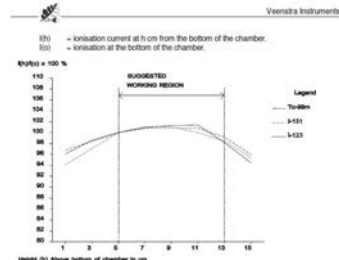
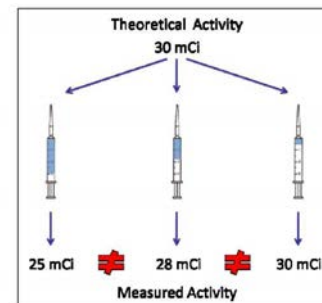
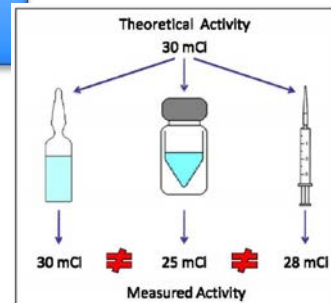
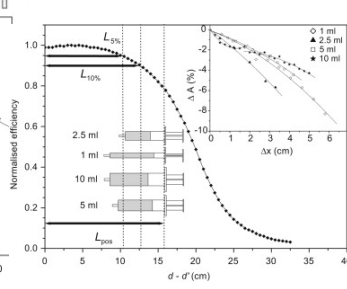
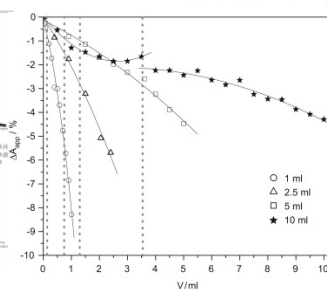
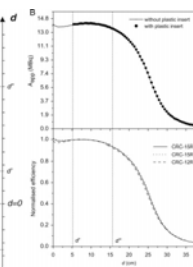
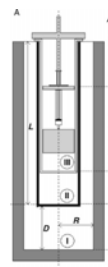
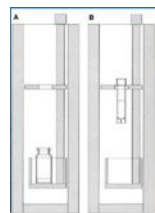
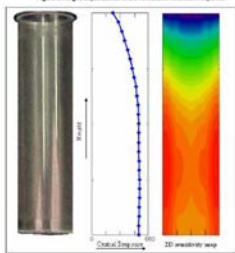


Figure 2 Height dependence of the ionization chamber response



MEASUREMENTS TRACEABILITY THROUGH COMPARISONS: RESULTS OF FIVE RADIONUCLIDE DOSE CALIBRATORS Kirill Skovorodko

Santos JA, Carrasco MF, Lencart J, Bastos AL. Syringe shape and positioning relative to efficiency volume inside dose calibrators and its role in nuclear medicine quality assurance programs. Appl Radiat Isot. 2009 Jun;67(6):1104-9. doi: 10.1016/j.apradiso.2009.01.084. Epub 2009 Feb 5. PMID: 19282196.



**Зачем этим заниматься? Где это важно?**

# Где важны показания дозкалибратора (правильное определение активности)?



- Исследования с количественными/полуколичественными показателями
- Оценка динамики / гармонизация исследований проводимых одному и тому же пациенту в разных учреждениях
- Клинические исследования (в рамках одного центра)
- Мультицентровые исследования
- Установление РДУ (СанПиН 2.6.4115-25, RADIATION PROTECTION N°180, European commission report, 2014,)
- Отчеты (3-ДОЗ) и Общенациональные исследования доз облучения, получаемых пациентами при проведении процедур ядерной медицины
- Тераностика и радионуклидная терапия (оценка прослеживаемости вводимой активности)
- Обеспечение внутреннего контроля качества (безопасность исследований) *Контроль качества РФЛП, Стандартизированная величина поглощения (SUV), Активность при введении (MBq), чувствительность, CPS/MBq, Эффективные дозы (мЗв), Внутренняя дозиметрия, Количественное определение доз для персонала, Калибровка методов ОФЭКТ-сканирования*

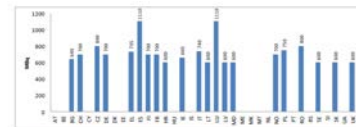


Figure 3.2. Comparison of DRLs for bone imaging, Tc-99m phosphates and phosphonates.



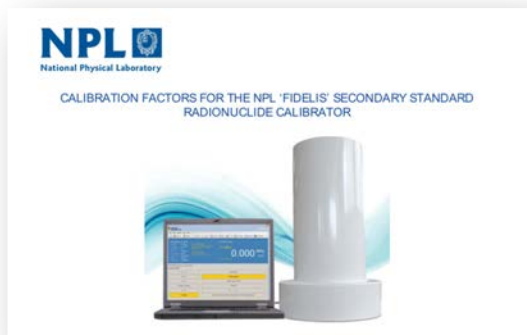


## **Собственные исследования часть 2-3**

# Задачи исследования



- Оценка возможности незамеченной ошибки в клинической практике
- Оценка размеров и зоны однородности различных дозкалибраторов
- **Оценка неоднородности измерений в разных медицинских организациях и внутри одной организации**



Радионуклид (IAEA)	Энергии фотонов(кэВ)	Время полураспада	Активность (МБк)
Co-57	122	271 d	185
Ba-133	81, 356	10.7 y	9.3
Cs-137	662	30 y	7.4
Co-60	1173, 1332	5.27 y	1.9
Ge-68	511	271 d	55

Isotope	T <sub>1/2</sub>	E <sub>γ</sub> (keV)
<sup>137</sup> Cs	30 y	662
<sup>57</sup> Co	271 d	122, 136
<sup>60</sup> Co	5.27 y	1173, 1332
<sup>133</sup> Ba	10.55 y	35, 81, 303, 356

Эти источники позволяют проверить **стабильность**, но они не обеспечивают точности показаний для изотопов, используемых в клинической практике. **+ Ge-68**

# Описание исследования



- Измерения проводились с 20 ноября 2024 по 21 марта 2025 года
- 3 учреждения: НМИЦ ДГОИ,  
ГНЦ РФ ФГБУ «НМИЦ эндокринологии»,  
ФГБУ «ФЦМН» ФМБА России
- 27 дозкалибраторов: Comeser, Амплитуда
- Источники: 3 набора разной геометрии по 4 источника в наборе (Ba-133, Co-57, Cs-137, Ge-68 + **1 Cs-137 с большей активностью**)
- Методика измерений: по 10 измерений на источник на дозкалибратор, полученные значения усреднялись в 1 значение
- Количество проведенных измерений: более 3000



# Проблемы контроля качества дозкалибраторов



- ограниченное число радионуклидов в библиотеке

Из **23** дозкалибраторов только **17 (70%)** имели **необходимую библиотеку** радионуклидов

- при измерениях **не учитывается геометрия источника**

Нет соответствующих подставок под источники, в ПО не занесена соответствующая геометрия измерения и калибровочный коэффициент

Погрешность по геометрии в большинстве случаев **не превышает 5%**

**Есть погрешность за счет расположения источника относительно чувствительной части дозкалибратора внутри чувствительной части дозкалибратора около 7% по вертикали и около 3% по горизонтали**

- дозкалибраторы, как правило, калибруются/ поверяются при помощи **объемного источника**

# Результаты



Все дозкалибраторы, вошедшие в исследование, предварительно прошли тесты на:

- измерение фонового излучения
- воспроизводимость измерений

У всех были действующие свидетельства о поверке или результаты калибровки

# Ограничения проводимых испытаний



- **4** радионуклида в составе контрольных источников (Co-57, Ba-133, Cs-137, Ge-68 )
- **3** геометрии контрольных источников (10 мл, 20 мл, точечный источник)
- **не рассматривалась** геометрия источника «капсула»
- **2** уровня активности Cs-137
- **низкая активность** источников  
(во избежание проблем с транспортировкой источников – их ввозом и вывозом с объектов)
- **3** медицинских организации (МО)
- только **30% дозкалибраторов включено в реестр СИ (остальные откалиброваны)**
- **отсутствие** источников финансирования данного исследования

# Результаты



При измерении **точечных источников**:

- **Систематическое занижение** активности на **10-15%**

При измерении **объемных источников**:

- Наблюдалось отклонение от паспортной активности  $>\pm 5\%$  :

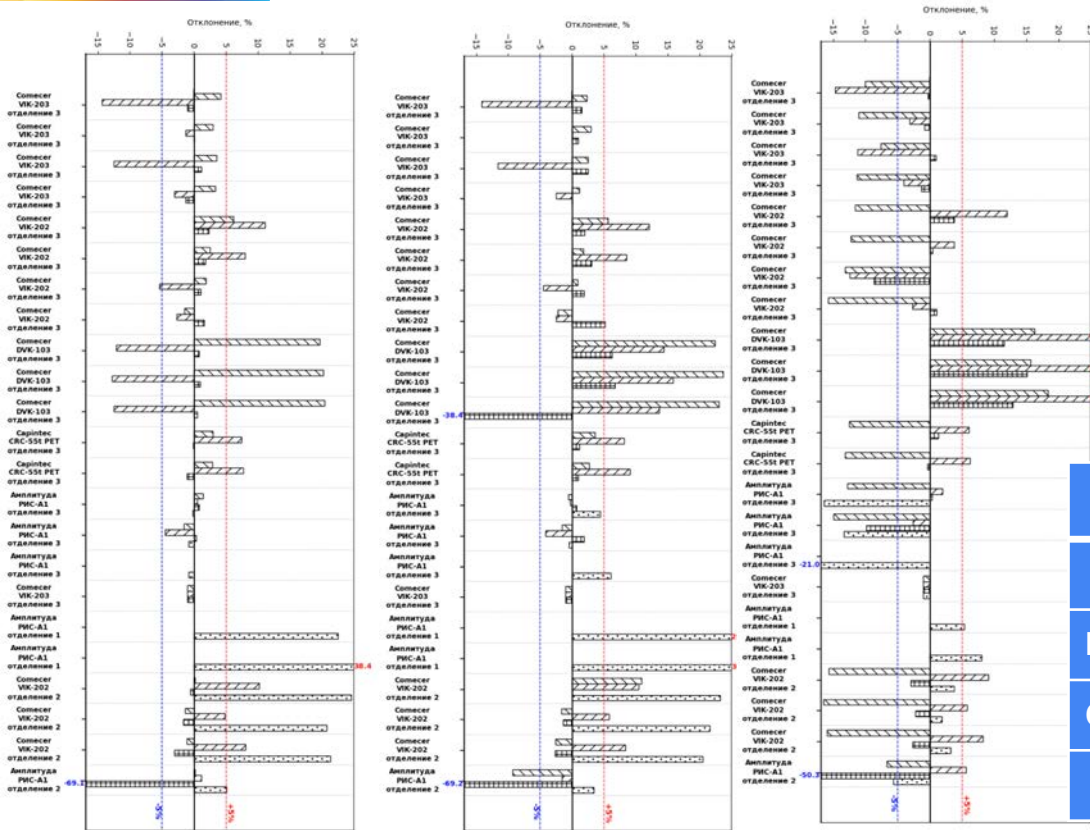
Организация	МО 1	МО 2	МО 3
Число случаев из общего числа измерений	<b>60</b> из 160	<b>5</b> из 6	<b>27</b> из 52

Максимальное отклонение в измерении активности, %

Организация	МО 1	МО 2	МО 3
МО 1	<b>69,3</b>	-*	-
МО 2	<b>84,3</b>	<b>18</b>	-
МО 3	<b>20</b>	<b>31</b>	<b>24</b>

- Зафиксированы **существенные расхождения** в показаниях дозкалибраторов, как **внутри одной медицинской организации (до 69%)**, так и **между различными организациями (до 84%)**. Рассматриваемые дозкалибраторы были поверены.

# Результаты (в зависимости от геометрии источника)



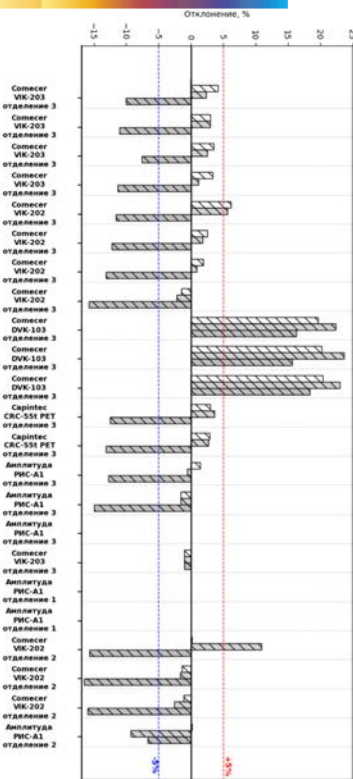
Радио нуклид	Внутри одного отделения			Между отделениями		
	1	2	3	1 и 2	1 и 3	2 и 3
Co-57	-	27,4	39,4	-	-	40,2
Ba-133	-	12,0	62,0	-	-	62,0
Cs-137	-	<b>69,3</b>	53,6	-	-	<b>84,3</b>
Ge-68	33,1	30,3	27,0	44,1	59,4	45,6

	10 мл	20 мл	Точечный источник
Co-57	2,7 (-1,5 ... 20,4)	2,1 (-9,3 ... 23,7)	-11,9 (-16,5 ... 18,4)
Ba-133	-1,2 (-14,3 ... 11,1)	2,9 (-14,1 ... 15,8)	4,7 (-14,7 ... 47,3)
Cs-137	0,2 (-69,1 ... 2,3)	1,1 (-69,2 ... 6,8)	-0,3 (-50,3 ... 15,2)
Ge-68	20,7 (-0,8 ... 38,4)	20,5 (-0,5 ... 30,1)	0,5 (-21,0 ... 8,1)

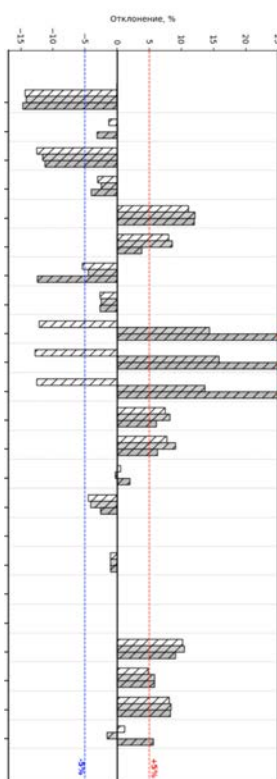
а) объемом 10 мл, б) объемом 20 мл и в) точечного.

# Результаты (в зависимости от изотопа)

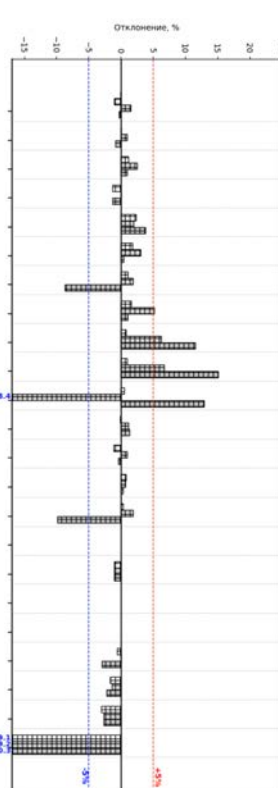
Распределение отклонений опорного значения активности от значения активности, приведенной в паспорте



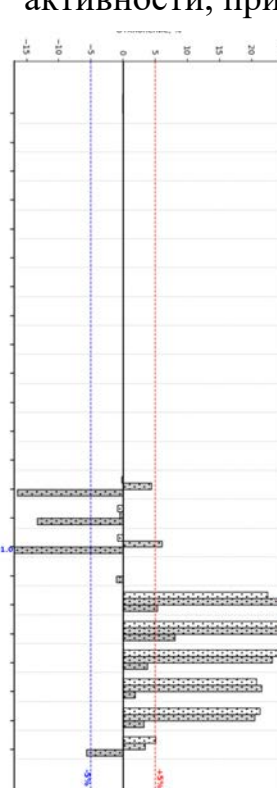
а) Co-57



б) Ba-137



в) Cs-137



г) Ge-68



- [illegible]

The background features a large, wavy, multi-colored line that spans the width of the slide. A horizontal bar, also multi-colored, is positioned below the text.

## Аналогичные исследования в мире



- Максимальное отклонение составило **8,9%** для калибровочных источников, **18,3%** для диагностических радионуклидов и **20,1%** для радионуклидов, используемых в терапевтических целях. (Skovorodko, Kirill & Gudelis, Arūnas. (2022). A National Survey of Traceability of Activity Meters in Lithuanian Hospitals. *Radiation Protection Dosimetry*. 198. 10.1093/rpd/ncac140. )
- Медиана отклонений составила **6,4%** для флакона объемом 25 мл, **5,9%** для шприца объемом 10 мл и **6,8%** для шприца объемом 1 мл. Медиана отклонений для флакона объемом 25 мл составила **1,5%** для Capintec, **7,0%** для Comescer, **11,0 %** для NuviaTech и **2,4%** для Veenstra. Большинство отклонений были положительными, а максимальное отклонение составило **14,5%**. (Hindorf C, Jessen L, Kapidzic SC, Blakkisrud J, Dalmo J, Engelsen O, Gustafsson J, Sandström M, Sæterstøl J, Gleisner KS. Traceable calibration with  $^{177}\text{Lu}$  and comparison of activity meters at hospitals in Norway and Sweden. *Phys Med*. 2023 Dec;116:103170. doi: 10.1016/j.ejmp.2023.103170. Epub 2023 Nov 21. PMID: 37989044.)
- Максимальное значение %COV составило **0,79%**, при этом **90, 95 и 80%** дозкалибраторов соответствовали 5%-ной точности для показаний шприца F, шприца Ge и флакона Ge соответственно. Мы выявили тенденцию к снижению погрешности измерений при использовании устройств Veenstra для F и устройств Capintec для настройки коэффициента Ge. (Sanghera B, Fenwick A, Lowe G, Sullivan K, Wong WL. Radionuclide calibrator intercomparison study of clinical PET centres in England to a single traceable  $^{68}\text{Ge}$  syringe source. *Nucl Med Commun*. 2020 Sep;41(9):965-976. doi: 10.1097/MNM.0000000000001241. PMID: 32796486).
- Наблюдаемые отклонения от эталонных значений измеренной активности в основном находились в пределах  $\pm 10\%$  (100% для  $^{18}\text{F}$ , 91,7% для  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , 100% для  $^{177}\text{Lu}$ ).  $E_n$  статистическая оценка использовалась для оценки способности участников определять неопределённость в предоставленных значениях активности. Полученные значения показали, что в некоторых случаях задействованные лаборатории не получали правильных результатов для  $E_n$  (с частотой ошибок **22,7%, 16,7%, 12,5%** для  $^{18}\text{F}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{177}\text{Lu}$  соответственно), Spagnuolo L, Capogni M, Fazio AA, De Felice P. National programme for the reliability of ionizing radiation measurements based on inter-laboratory comparisons (ILCs): ILC n°2 'radiopharmaceutical activities'. *Appl Radiat Isot*. 2024 Oct;212:111449. doi: 10.1016/j.apradiso.2024.111449. Epub 2024 Jul 18. PMID: 39038403. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2024.111449>

# 177 дозкалибраторов (11 производителей) в 138 учреждениях Северной Америки и Европы



- **Результаты:** Среднее значение  $C_f$  для различных измерений было следующим: флакон 10 мл — **1,278**; шприц 10 мл — **0,811**; шприц 5 мл — **0,815**; шприц 3 мл — **0,792**. Почти половина дозкалибраторов имела коэффициент пересчёта для флаконов от 1,2 до 1,3, а для 10-миллилитровых шприцев — от 0,7 до 0,8,
- **16% приборов давали некорректированные показания** в пределах  $\pm 10\%$  от эталонной активности. Несмотря на широкий диапазон коэффициентов пересчёта для различных дозкалибраторов, использующих медную втулку, для каждого прибора коэффициенты пересчёта для стеклянного флакона и 10-миллилитрового пластикового шприца были практически идентичными.
- **Вывод:** В большинстве коммерческих дозкалибраторов стандартные настройки (123) приводят к **значительным ошибкам при измерении активности источников в стеклянных флаконах и пластиковых шприцах**. Разница в обнаружении ионизационной камерой, вызванная составом контейнера (стекло или пластик), является гораздо более значительным источником погрешности измерений, чем объём или геометрия источника.

*Jacobson AF, Centofanti R, Babalola OI, Dean B. Survey of the performance of commercial dose calibrators for measurement of  $^{123}\text{I}$  activity. J Nucl Med Technol. 2011 Dec;39(4):302-6. doi: 10.2967/jnmt.111.089235. Epub 2011 Aug 29. PMID: 21875924.*

- Предварительные результаты межлабораторного сравнения для  $^{131}\text{I}$  и  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  показали, что многие измерители активности, используемые в NMS, дают результаты **на 41%** выше эталонных значений, определённых в Национальной метрологической лаборатории по ионизирующему излучению (LNMRI),

Iwahara A, De Oliveira AE, Tauhata L, da Silva CJ, Lopes RT. Intercomparison of  $^{131}\text{I}$  and  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  activity measurements in Brazilian nuclear medicine services. Appl Radiat Isot. 2001 Mar;54(3):489-96. doi: 10.1016/s0969-8043(00)00295-5. PMID: 11214886.

- 15 дозиметров RNC обеспечивают точность в пределах **10% для геометрии флакона и в пределах 15% для геометрии шприца**

Živanović M, Vukanac I, Samac J, Antić V, Jeremić M, Janković D, Kandić A, Vargas CS, Struelens L, Ciraj-Bjelac O. Intercomparison and performance assessment of radionuclide calibrators used in nuclear medicine departments in Serbia. Appl Radiat Isot. 2022 Jan;179:110013. doi: 10.1016/j.apradiso.2021.110013. Epub 2021 Oct 29. PMID: 34741955.

- большинство радионуклидных калибраторов (более 70%) были точны в пределах  $\pm 5\%$  от эталонного значения. Тем не менее, некоторые устройства недооценили активность **на 10-20%**. И наоборот, на часть результатов измерений сильно повлияли эффекты **геометрии источника**, и это оказало негативное влияние на точность измерений, в частности, для образца из шприца. Наблюдались большие завышения (**до 72%**), даже с учетом поправок и неопределенностей, предоставленных производителями для учета эффектов контейнера
- **Результаты:** Для  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$  и  $^{177}\text{Lu}$  небольшое количество измерений **не соответствовало** диапазону  $\pm 5\%$  от эталонной активности (процент измерений, не соответствующих диапазону:  $^{99m}\text{Tc}$  — **6%**;  $^{131}\text{I}$  — **14%**;  $^{177}\text{Lu}$  — **24%**), и почти ни одно измерение **не соответствовало диапазону  $\pm 10\%$** . Однако для  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{I}$  и  $^{90}\text{Y}$  **более половины всех измерений были неточными** в пределах диапазона  $\pm 5\%$  ( $^{111}\text{In}$ , **51%**;  $^{123}\text{I}$ , **83%**;  $^{124}\text{I}$ , **63%**;  $^{90}\text{Y}$ , **61%**) и не все были в пределах погрешности  $\pm 10\%$  ( $^{111}\text{In}$ , **22%**;  $^{123}\text{I}$ , **35%**;  $^{124}\text{I}$ , **15%**;  $^{90}\text{Y}$ , **25%**). Наблюдалась большая разница в точности измерений между системами калибровки радионуклидов, типом контейнера для образцов (флакон или шприц) и используемыми настройками калибровки/коррекции геометрии источника. Следовательно, мы наблюдали **большие комбинированные отклонения** (процентное отклонение  $> \pm 10\%$ ) для исследованных **тераностических пар**, в частности для  $^{90}\text{Y}/^{111}\text{In}$ ,  $^{131}\text{I}/^{123}\text{I}$  и  $^{90}\text{Y}/^{99m}\text{Tc}$ .
- **Выводы:** Наше исследование показывает, что существенная переоценка или недооценка терапевтических доз для пациентов, вероятно, происходит в условиях тераностики из-за ошибок в оценке радиоактивности с помощью радионуклидных калибраторов. Эти результаты подчеркивают важность тщательной проверки систем радионуклидных калибраторов для каждого клинически значимого радионуклида и геометрии образца.



- **Результаты:** Отклонения измеренной активности от эталонных значений составили до **12,5%, 32,0%, 29,0% и 12,6%** для  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{68}\text{Ga}$  и  $^{18}\text{F}$  соответственно. Для  $^{68}\text{Ga}$  все дозкалибраторы систематически **завышали активность на 10–20%**. Для  $^{111}\text{In}$  наблюдались значительные различия в измерениях активности в зависимости от геометрии источника, в частности между шприцами и флаконами. Отклонения между системами калибровки радионуклидов составили до **11,8%, 44,4%, 14,4% и 8,7%** для  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{68}\text{Ga}$  и  $^{18}\text{F}$  соответственно. При сравнении аналогичных шприцев разных марок, наполненных одинаковым объемом раствора, были обнаружены отклонения до **1,8%, 5,8%, 10,2% и 3,2%** для  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{68}\text{Ga}$  и  $^{18}\text{F}$ .
- **Вывод:** Для всех радионуклидов и дозкалибраторов были обнаружены значительные отклонения в измеренной активности, что может привести к ошибочному дозированию активности и количественной оценке изображений. Это подчеркивает важность тщательной проверки радионуклидных калибраторов для всех геометрических конфигураций и клинически используемых радионуклидов.

Bauwens M, Pooters I, Cobben R, Visser M, Schnerr R, Mottaghy F, Wildberger J, Wierts R. A comparison of four radionuclide dose calibrators using various radionuclides and measurement geometries clinically used in nuclear medicine. Phys Med. 2019 Apr;60:14-21. doi: 10.1016/j.ejomp.2019.03.012. Epub 2019 Mar 21. PMID: 31000075.

- Результаты проверки точности калибровки дозы показали, что **все модели превысили критерии  $\pm 10\%$**  при использовании источников Co-57 и Cs-137. Результаты проверки **воспроизводимости** показали, что некоторые модели превысили критерии  $\pm 5\%$  при использовании источников Co-57 и Cs-137.

CJ, Wu CH, Lin CH, Yuan MC, Lee SH, Huang DY, Lin JY, Chen YF, Hsu SM. The evaluation of an on-site monitoring program for activity meter quality assurance with exemption-level sources. *J Radiol Prot.* 2023 May 12;43(2). doi: 10.1088/1361-6498/accc96. PMID: 37054698.

- Испытания показали, что измеренные дозы находятся в пределах 10% от подготовленного стандарта, но в некоторых случаях достаточно сильно отличаются от единицы, что позволяет вывести конкретные геометрические коэффициенты.

Galea R, Gameil K. Renewing the radiopharmaceutical accuracy check service for Canadian radionuclide calibrators. *Appl Radiat Isot.* 2016 Mar;109:254-256. doi: 10.1016/j.apradiso.2015.11.068. Epub 2015 Nov 25. PMID: 26653214.

- В Канаде насчитывается **285 центров** ядерной медицины, и, поскольку нет законодательных требований к проверке точности калибраторов, **только в 29** из них приборы были проверены с помощью этой службы. Из них **14 проводят ежегодную** проверку точности с помощью NRCC.

Santry D. The Canadian experience in performing accuracy checks on administered doses of radiopharmaceuticals. *Appl Radiat Isot.* 1998 Sep-Nov;49(9-11):1453-8. doi: 10.1016/s0969-8043(97)10091-4. PMID: 9699294.

## Выводы

The slide features a decorative background. A horizontal bar with a color gradient from yellow to blue spans the width of the slide. Behind it, a series of overlapping, wavy lines in shades of blue, purple, and yellow create a dynamic, flowing effect.

По факту, в отделениях ядерной медицины в РФ:

- проводится **только поверка/калибровка** дозкалибраторов
- В мед учреждениях как правило нет калибровочных источников
- при измерении **не учитывается** геометрия излучения
- в процессе эксплуатации может быть выявлена **только значимая ошибка или резкое изменение**
- значительная часть дозкалибраторов **не включена в реестр средств измерений**

## Важность проверок:

- уверенность в величине вводимой активности РФЛП
- нет смысла говорить о контроле качества диагностического оборудования, если не проводить контроль качества измерительного оборудования – дозкалибраторов

- Разница показаний поверенных приборов существенна, поэтому нужна разработка программы контроля качества.
- Контроль работы дозкалибратора необходимо проводить в межповерочный интервал
- Необходимо использовать корректные калибровочные коэффициенты желательно под каждую геометрию источника

- **Нужно продолжить исследование**

# Благодарности



**Компании АО РИТВЕРЦ и персонально:**

Александр Беспокоев

Иван Бурьяненко

Андрей Дектярев

Мария Михальченко

**Отдельная благодарность:**

**Кирилл Киселев**

**Ирина Глотова**

**Коллегами из ГНЦ РФ ФГБУ «НМИЦ эндокринологии», ФГБУ «ФЦМН» ФМБА России:**

Михаил Долгушин

Андрей Дворянчиков

Марина Шеремета

Алексей Трухин



# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



Рыжов Сергей  
[mosrg@mail.ru](mailto:mosrg@mail.ru)

+7(926)526-56-52  
+7(903)547-22-74

