

Уровни облучения пациентов и возможные пути оптимизации ПЭТ-диагностики в России

Л.А. Чипига^{1,2}, И.А. Звонова¹, Д.В. Рыжкова², М.А. Меньков³, М.Б. Долгушин³

¹Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

²Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

В работе представлены данные о позитронных эмиссионных томографических исследованиях, проводимых в России, протоколах сканирования и дозах облучения пациентов. Сбор информации проводился путём анкетирования персонала отделений позитронной эмиссионной томографии в период с 2012 по 2017 г. Всего обследовано 19 отделений позитронной эмиссионной томографии из 12 регионов Российской Федерации, девять из которых оснащены собственными отделениями производства радионуклидов и радиофармпрепаратов. Почти все отделения позитронной эмиссионной томографии в России укомплектованы современными позитронными эмиссионными томографами, совмещенными с рентгеновскими компьютерными томографами, которые предназначены для проведения двух процедур в рамках одного исследования. В каждом отделении собиралась информация о видах исследований, применяемых радиофармпрепаратах и активностях, вводимых стандартному пациенту (масса тела 70 ± 5 кг), а также параметрах протоколов компьютерного томографического сканирования и дозах облучения пациентов. Эффективные дозы, полученные пациентами за одно совмещенное позитронное эмиссионное компьютерное томографическое исследование, определялись как сумма доз внутреннего облучения от введенного радиофармпрепарата и внешнего рентгеновского облучения при компьютерном томографическом сканировании. Согласно полученным данным, в России проводятся исследования всего тела с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой, ^{18}F -холин, ^{11}C -холин, ^{68}Ga -PSMA, ^{68}Ga -DOTA-TATE, ^{68}Ga -DOTA-NOC, исследования головного мозга с ^{18}F -ФДГ, ^{11}C -метионин, ^{18}F -холин, ^{18}F -тирозин, исследования миокарда с ^{13}N -аммоний. Дозы облучения пациентов от совмещенных исследований лежат в диапазоне 3–40 мЗв. Наибольшие дозы получают пациенты при исследовании всего тела – около 17 мЗв, при исследовании головного мозга – 3,4–4,8 мЗв, при исследовании миокарда – 2,7 мЗв. При этом компьютерное томографическое сканирование вносит от 65% до 95% в дозу облучения пациента при исследовании всего тела и 20–30% при исследовании головного мозга. При дополнительных многофазных компьютерных томографических сканированиях с введением контрастного вещества доза может увеличиваться до 15 мЗв при исследовании головного мозга, до 25–30 мЗв при исследовании всего тела и до 35–40 мЗв при исследовании миокарда. Для оптимизации проведения позитронных эмиссионных исследований, сравнения результатов, полученных в разных отделениях позитронной эмиссионной томографии, и повышения диагностической ценности данного метода в России необходима стандартизация используемых протоколов сбора и обработки данных. Оптимизация радиационной защиты пациентов возможна за счёт использования низкодозового режима компьютерного томографического сканирования вместо диагностического, создания специальных протоколов для отдельных групп пациентов, корректного применения системы автоматической модуляции силы тока (tube current modulation) и современных методов реконструкции изображения; обучения медицинского персонала техническим приёмам снижения дозы и знаниям в области радиационной безопасности.

Ключевые слова: пациент, позитронная эмиссионная томография, компьютерная томография, ПЭТ/КТ-диагностика, эффективная доза пациента, оптимизация диагностических исследований.

Чипига Лариса Александровна

Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова.

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

Введение

Реализация государственной программы «Развитие ядерной медицины в Российской Федерации до 2020 года» (Минздрав России) способствует повышению доступности диагностической процедуры позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) для населения [1, 2]. До 2009 г. в России функционировало только 4 ПЭТ-центра и 3 отделения ПЭТ-диагностики, но уже к 2014 г. функционировало 13 ПЭТ-центров и 4 отделения, более 30 учреждений ПЭТ-диагностики планировалось ввести в строй в ближайшие годы [3]. ПЭТ является методом радиоизотопной диагностики обнаружения онкологических патологий, кардиологических и неврологических заболеваний. Для проведения исследования пациенту внутривенно вводят радиофармпрепарат (РФП), меченный позитрон-излучающим радионуклидом, при обследовании фиксируют и количественно определяют распределение РФП в исследуемом органе или во всем теле пациента. Наибольшее применение метод ПЭТ нашёл в онкологии, где проведение ПЭТ рекомендовано для диагностики и стадирования заболевания, а также планирования и оценки эффективности противопухолевого лечения [2, 4–8].

Современные аппараты для проведения ПЭТ совмещены с рентгеновскими компьютерными томографами (КТ), что дает возможность одновременно проводить ПЭТ- и КТ-исследования пациента и получать информацию о функциональной активности и анатомическом строении исследуемых органов и тканей. Однако высокая диагностическая информативность данного метода сопряжена с высокими дозами облучения пациентов.

В качестве меры риска возникновения отдаленных последствий воздействия ионизирующего излучения в системе радиационной защиты используется эффективная доза. Она рассчитывается с учетом относительной биологической эффективности разных типов излучения и разной радиочувствительности органов и тканей [9]. В медицинском облучении эта величина позволяет сравнивать уровни облучения пациента при разных методах диагностики [10, 11], что особенно важно при совмещённых исследованиях. Согласно данным зарубежных источников, эффективные дозы в ПЭТ/КТ-диагностике достигают 20–30 мЗв за исследование [12–17], при этом эквивалентные дозы в отдельных органах и тканях могут превосходить эффективную дозу в несколько раз [18].

В Российской Федерации бурное развитие ПЭТ-диагностики началось лишь во вторую декаду XXI в., и поэтому в настоящее время в литературе отсутствуют сведения о структуре диагностических процедур и о дозах облучения пациентов при исследовании. В отечественной практике в рамках Единой системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД) проводится учет доз медицинского облучения пациентов, в том числе и от диагностических процедур в ядерной медицине, однако она не выделяет ПЭТ-диагностику как отдельную единицу наблюдения.

Таким образом, в России на текущий момент нет официальной информации о дозах облучения пациентов в ПЭТ-диагностике.

Цель исследования – сбор и анализ данных о процедурах ПЭТ-диагностики, выполняемых в РФ: структуре диагностических исследований, используемых радиофармпрепаратах, уровнях облучения пациентов, а также обсуждение возможных путей оптимизации ПЭТ-исследований.

Материалы и методы

Сбор данных

В 2012–2017 гг. были проведены обследования и сбор данных в 19 отделениях ПЭТ-диагностики в 12 регионах России: Санкт-Петербург, Москва, Белгородская, Курская, Липецкая, Орловская, Свердловская, Тамбовская, Тюменская области, республики Башкортостан и Татарстан, Приморский край. В них функционируют 27 аппаратов. Из 19 отделений ПЭТ-диагностики девять входят в состав ПЭТ-центров, которые имеют собственный циклотрон для производства позитрон-излучающих радионуклидов и радиохимическую лабораторию, где синтезируют радиофармпрепарат (РФП). Остальные 10 отделений ПЭТ-диагностики оснащены позитронными эмиссионными томографами, а РФП для исследований получают из других организаций (ближайшего ПЭТ-центра или предприятия по производству РФП). Список обследованных медицинских организаций (МО) с перечнем диагностического оборудования представлен в таблице 1.

Информацию получали путем анализа рабочих журналов и опроса персонала отделений ПЭТ-диагностики с использованием анкет, которые содержали вопросы об оборудовании, видах исследований, вводимых активностях РФП, дозах облучения пациентов, протоколах ПЭТ- и КТ-сканирования. Данные о режимах сканирования были представлены для стандартного пациента (масса тела 70 ± 5 кг, рост 174 см) [19].

Определение эффективной дозы пациентов от внутреннего и внешнего облучения

В работе оценивались стандартные эффективные дозы, которые получает стандартный пациент в результате диагностического ПЭТ-исследования во всех обследованных отделениях ПЭТ-диагностики. Эффективная доза пациентов от совмещенного ПЭТ/КТ-исследования определялась как сумма доз внутреннего облучения от введенного РФП и внешнего облучения от рентгеновского КТ-сканирования. Доза внутреннего облучения пациента зависит от свойств введенного РФП, его активности, а также от периода полураспада и энергии излучения радионуклида. Доза внешнего облучения пациента определяется областью сканирования тела пациента и параметрами КТ-протокола.

Эффективная доза внутреннего облучения пациента от введенного РФП ($E_{\text{РФП}}$) в рассматриваемом подразделении рассчитывалась умножением величины активности, введенной стандартному пациенту, на дозовый коэффициент по формуле, согласно МУ 2.6.1.3151-13¹:

$$E_{\text{РФП}} = A \cdot k_A, \text{ мЗв, (1)}$$

¹ МУ 2.6.1.3151-13 «Оценка и учет эффективных доз у пациентов при проведении радионуклидных диагностических исследований». [Methodical guidance 2.6.1.3151-13 «Assessment and accounting of effective dose to the patients undergoing nuclear medicine diagnostic examinations»].

Отделения ПЭТ-диагностики медицинских организаций (МО), обследованные в 2012–2017 г., их обеспеченность оборудованием

Таблица 1

[Table 1

PET diagnostic departments from investigated hospitals in 2012–2017, diagnostic equipment]

Субъект РФ [Region of Russia]	Полное название МО [Hospital name]	№ отделения, [Department number]	Год сбора данных [Year of data collection]	Марка ПЭТ [Model of scanner]	№ аппарата [PET number]										
Санкт-Петербург [St.-Petersburg]	ФГУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий» (РЦНРХТ)* [FGF «Russian scientific center of radiology and surgical technologies»]	1	2017	Discovery 690	1										
			2017	Biograph mCT 128	2										
			2017	Biograph mCT 40	3										
			2017	Ecat Exact	4										
	Институт мозга человека (ИМЧ РАН)* [Human Brain Institute]	2	2017	Gemini TF 16	5										
			2017	Discovery 710	6										
	Лечебно-диагностический центр Международного института биологических систем (ЛДЦ МИБС)* [Treatment and diagnostical center of International institute of biological systems]	3	2014	Biograph 16	7										
						ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» (НМИЦ им. В.А. Алмазова)* [Almazov National Medical Research Centre]	4	2016	Discovery 710	8					
											ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический)» (СПбКНЦСВМП(о)) [St-Petersburg clinical scientific-practical center of specialized medical care (oncological)]	5	2014	Biograph 6	9
ФГБУ «Российский онкологический научный центр им. Н. Н. Блохина» (РОНЦ)* [Russian Oncological Scientific Center named after N. N. Blokhin]	7	2017	Biograph mCT	11											
		2017	Biograph mCT	12											
Москва [Moscow]	Европейский медицинский центр* [European medical center]	8	2016	Biograph mCT	13										
			2016	Biograph mCT	14										
			2016	Gemini TF64	15										
	ПЭТ-Технологджи [PET-Technology]	9	2016	Discovery 610	16										
Тюменская область [Tumen region]	ГАУЗ ТО «МКМЦ «Медицинский город»* [MKMC Medical city]	10	2012	Biograph 64 True Point	17										
Приморский край [Primorsky krai]	Медицинский центр «Дальневосточный Федеральный университет» (ДФУ) [Medical center of Far-east federal univercity]	11	2016	Gemini	18										
Республика Татарстан [Kazan region]	ГАУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер» [Republican clinical oncology dispancer]*	12	2014	Discovery 600	19										
			2014	Discovery 690	20										
Белгородская область [Belgorod region]	ПЭТ-Технологджи [PET-Technology]	13	2016	Discovery 610	21										
Республика Башкортостан [Bashkortostan]	ПЭТ-Технологджи* [PET-Technology]	14	2016	Optima 560	22										

Субъект РФ [Region of Russia]	Полное название МО [Hospital name]	№ отделения, [Department number]	Год сбора данных [Year of data collection]	Марка ПЭТ [Model of scanner]	№ аппарата [PET number]
Тамбовская область [Tambov region]	ПЭТ-Технологджи [PET-Technology]	15	2016	Optima 560	23
Курская область [Kursk region]	ПЭТ-Технологджи [PET-Technology]	16	2016	Discovery 710	24
Липецкая область [Lipetsk region]	ПЭТ-Технологджи [PET-Technology]	17	2016	Discovery 710	25
Орловская область [Orel region]	ПЭТ-Технологджи [PET-Technology]	18	2016	Discovery 610	26
Свердловская область [Sverdlovsk region]	ПЭТ-Технологджи [PET-Technology]	19	2016	Discovery 610	27

*Отделение ПЭТ-диагностики входит в состав ПЭТ-центра, укомплектованного циклотроном для производства радионуклидов и лабораторией радиохимического синтеза РФП.

[*PET department integrated into PET center; equipped with cyclotron for radionuclide production and radiochemistry laboratory for radiopharmaceutical production].

где A (МБк) – активность РФП, вводимая стандартному пациенту в рассматриваемом подразделении, k_A (мЗв/МБк) – дозовый коэффициент: эффективная доза от введения пациенту 1 МБк данного РФП.

В таблице 2 показаны дозовые коэффициенты для взрослых пациентов при введении им РФП, применяемых

в России при ПЭТ-диагностике. Дозовые коэффициенты для наиболее распространенных РФП приведены в МУ 2.6.1.3151-13¹.

Определение стандартной эффективной дозы внешнего облучения от КТ-сканирования производилось с использованием коэффициентов перехода от значения DLP

Таблица 2

Радиофармпрепараты (РФП), применяемые в ПЭТ-диагностике в России, период полураспада радионуклида-метки и дозовые коэффициенты для взрослых пациентов

[Table 2

Radiopharmaceuticals used in PET diagnostic in Russia, half-life of radionuclides and conversion coefficients effective dose for adult patients]

РФП [Radiopharmaceuticals]	Период полураспада, мин [Half-life period, min]	Дозовый коэффициент, мЗв/МБк [Conversion coefficient, mSv/MBq]	Источник [Literature sources]
¹⁸ F-ФДГ* [¹⁸ F-FDG]	109	0,019	Публикация МКРЗ 128[20], МУ 2.6.1.3151-13 [ICRP 128, MG 2.6.1.3151-13]
¹¹ C-метионин [¹¹ C-methionine]	20	0,0084	МУ 2.6.1.3151-13 [MG 2.6.1.3151-13]
¹¹ C-холин [¹¹ C-choline]	20	0,0043	МУ 2.6.1.3151-13 [MG 2.6.1.3151-13]
¹⁸ F-холин [¹⁸ F-choline]	110	0,020	Публикация МКРЗ 128 [20] [ICRP 128]
¹⁸ F-тирозин [¹⁸ F-tyrosine]	110	0,016	Публикация МКРЗ 128 [20] [ICRP 128]
¹³ N-аммоний [¹³ N-ammonie]	10	0,002	МУ 2.6.1.3151-13 [MG 2.6.1.3151-13]
⁶⁸ Ga- PSMA	68	0,020	Herrmann K., 2015 [21]
⁶⁸ Ga- DOTA-TATE/ ⁶⁸ Ga- DOTA-NOC	68	0,021	Sandström M., 2013 [22]

*¹⁸F-фтордезоксиглюкоза.
[¹⁸F-fluorodeoxyglucose].

(dose length product – произведение дозы на длину) к эффективной дозе по формуле, согласно МУ 2.6.1.2944-11²:

$$E = DLP_i \cdot e_{DLP, i}, \text{ мЗв (2)}$$

где DLP_i (мГр·см) – значение произведения дозы на длину сканирования для i -й анатомической области КТ-сканирования стандартного пациента, e'_{DLP} (мЗв/(мГр·см)) – дозовый коэффициент перехода от значения DLP к эффективной дозе для i -й области исследования (табл. 3).

Для наиболее распространенных КТ-исследований дозовые коэффициенты приведены в МУ 2.6.1.2944-11², в таблице 3 представлены дозовые коэффициенты, которые использовались при определении доз в данной работе.

Таблица 3

Дозовые коэффициенты для разных областей КТ-сканирования при ПЭТ-исследованиях, проводимых в России

[Table 3

The types of CT scans in PET/CT examinations and conversion coefficients from DLP to effective dose for different anatomical regions]

Зона КТ-сканирования [Anatomical region]	Дозовый коэффициент, мЗв/(мГр·см) [Conversion coefficient, mSv/(mGy·cm)]	Источник [Literature sources]
Все тело [Whole body]	0,015	Чипига Л., 2016 [22,23] [Chipiga L., 2016]
Голова [Head]	0,0023	МУ 2.6.1.2944-11 [MG 2.6.1.2944-11]
Грудная клетка [Chest]	0,017	МУ 2.6.1.2944-11 [MG 2.6.1.2944-11]
Малый таз [Pelvis]	0,019	МУ 2.6.1.2944-11 [MG 2.6.1.2944-11]

Результаты и обсуждение

Методики, РФП и дозы внутреннего облучения пациентов

Данные о проводимых исследованиях, используемых РФП и вводимых активностях, усредненные по 19 обследованным отделениям ПЭТ-диагностики, представлены в таблице 4.

Лишь 9 обследованных отделений имеют собственное производство РФП, остальные 10 отделений получают РФП из других организаций. Доступными для поставки являются препараты только на основе радионуклида ¹⁸F с периодом полураспада ($T_{1/2}$) 110 мин. Радиофармпрепараты на основе радионуклидов ¹¹C и ¹³N из-за их коротких периодов полураспада (20 и 10 мин соответственно) можно использовать лишь в тех медицинских организациях (МО), которые их производят. Радионуклид ⁶⁸Ga ($T_{1/2}$ – 68 мин) получают из радионуклидного генератора ⁶⁸Ge/⁶⁸Ga с периодом полураспада 271 сут, что позволяет использовать его в течение 1–2 лет. Препараты, меченные ⁶⁸Ga, в настоящее время изготавливаются и применяются только в Санкт-Петербурге.

Исследование всего тела с ¹⁸F-ФДГ для диагностики онкологических и воспалительных заболеваний проводится во всех обследованных отделениях ПЭТ-диагностики. Разброс вводимых пациентам активностей ¹⁸F-ФДГ при исследовании всего тела стандартного пациента составляет от 200 до 390 МБк в разных МО (рис. 1). В ПЭТ-центрах, которые укомплектованы несколькими аппаратами ПЭТ, пациентам обычно вводят одинаковую активность РФП для исследований на разных аппаратах. Эффективные дозы внутреннего облучения пациентов при исследованиях всего тела лежат в пределах от 3,8 до 7,4 мЗв.

Из 19 обследованных отделений ПЭТ-диагностики в пяти проводятся исследования головного мозга с ¹⁸F-ФДГ для диагностики неврологических заболеваний, при этом вводимые пациентам активности ¹⁸F-ФДГ находятся в пределах от 120 до 200 МБк при среднем значении 170 МБк. Исследования головного мозга с целью диагностики онкологических заболеваний прово-

Таблица 4

ПЭТ-исследования, проводимые в России, используемые радиофармпрепараты (РФП), вводимые активности и эффективные дозы пациентов

[Table 4

PET examinations types, radiopharmaceuticals, administered activities and effective doses]

Вид ПЭТ-исследования [Examination type]	Количество ПЭТ-аппаратов [Number of PET scanners]	Средняя вводимая активность (мин. – макс.), МБк [Mean administered activity (min-max), MBq]	Средняя эффективная доза от РФП, мЗв [Mean effective dose, mSv]
Исследование головного мозга с ¹⁸ F-ФДГ [Brain ¹⁸ F-FDG]	5	170 (120–200)	3,2

² МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». [Methodical guidance 2.6.1.2944-11 «Assessment of effective dose to the patients undergoing X-ray examinations»].

Вид ПЭТ-исследования [Examination type]	Количество ПЭТ-аппаратов [Number of PET scanners]	Средняя вводимая активность (мин. – макс.), МБк [Mean administered activity (min-max), MBq]	Средняя эффективная доза от РФП, мЗв [Mean effective dose, mSv]
Исследование головного мозга с ¹⁸ F-тирозин [Brain ¹⁸ F-tyrosine]	2	200 (200–200)	3,2
Исследование головного мозга с ¹⁸ F-холин [Brain ¹⁸ F-choline]	2	190 (175–225)	3,8
Исследование головного мозга с ¹¹ C-метионин [Brain ¹¹ C-methionine]	4	280 (250–450)	2,4
Исследование всего тела с ¹⁸ F-ФДГ [Whole body ¹⁸ F-FDG]	19	280 (200–390)	5,3
Исследование всего тела или таза с ¹⁸ F-холин [Whole body/pelvis ¹⁸ F-choline]	3	310 (225–350)	6,2
Исследование всего тела или таза с ¹¹ C-холин [Whole body/pelvis ¹¹ C-choline]	2	380 (210–550)	1,6
Перфузия миокарда с ¹³ N-аммоний [Myocardial perfusion ¹³ N-ammonie]	2	775 (750–800)	1,6
Исследование всего тела с ⁶⁸ Ga- PSMA [Whole body ⁶⁸ Ga- PSMA]	1	105	2,1
Исследование всего тела с ⁶⁸ Ga- DOTA-TATE/ ⁶⁸ Ga- DOTA-NOC [Whole body ⁶⁸ Ga- DOTATATE/ ⁶⁸ Ga- DOTANOC]	1	105	2,2

дятся с ¹¹C-метионин в отделениях Санкт-Петербурга и Казани, с ¹⁸F-тирозин и ¹⁸F-холин – в отделениях Москвы и Уфы. Дозы внутреннего облучения пациентов при исследованиях головного мозга варьируют от 2,1 до 4,5 мЗв.

Исследование перфузии миокарда с ¹³N-аммонием проводятся в двух отделениях ПЭТ-диагностики. Для большинства пациентов перфузия миокарда состоит из нескольких последовательных процедур: пробы в покое и при нагрузке, такое исследование занимает от 2 до 3 ч. Пациенту каждый раз вводится РФП активностью около 750–800 МБк, при этом в связи с коротким периодом полураспада ¹³N для каждой процедуры производится отдельная наработка препарата. Доза облучения пациента от каждой процедуры составляет около 1,5 мЗв.

Диагностику рака предстательной железы проводят с холином, меченым радионуклидом ¹⁸F или ¹¹C. Обычно выполняют сканирование всего тела, однако в некоторых случаях зона сканирования может быть ограничена областью малого таза. Вводимые пациентам активности при данном исследовании варьируют от 225 МБк до 350 МБк для ¹⁸F-холин и от 210 МБк до 550 МБк для ¹¹C-холин. Дозы облучения пациентов от введения ¹⁸F-холина составляют 0,9–7,0 мЗв.

Диагностику рака предстательной железы с ⁶⁸Ga-PSMA проводят только в Санкт-Петербурге, так же, как

и исследования, позволяющие диагностировать нейроэндокринные опухоли с РФП на основе ⁶⁸Ga: DOTA-TATE и DOTA-NOC. Каждый из последних препаратов имеет сродство к соматостатиновым рецепторам определенного типа, которые присутствуют в конкретной нейроэндокринной опухоли. Вследствие этого пациенту проводятся два исследования с двумя препаратами, исследования разделяют по дням. Доза облучения пациента от каждой такой процедуры составляет 2,2 мЗв.

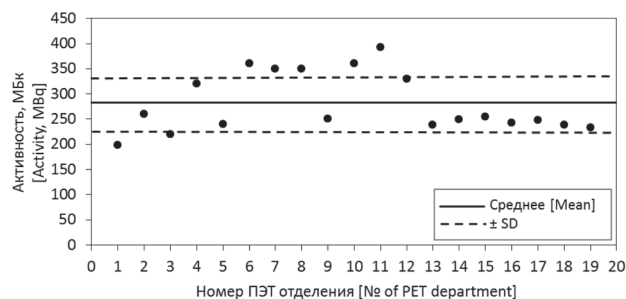


Рис. 1. Активности ¹⁸F-ФДГ, вводимые стандартному пациенту, при исследовании всего тела в 19 отделениях ПЭТ-диагностики; линиями на графике отмечены среднее значение ± SD (стандартное отклонение)

[Fig. 1. Activities of ¹⁸F-FDG administered to standard patient for whole body PET examinations in 19 PET diagnostic departments; the mean value ± SD marked with lines on the graph]

Виды КТ-сканирований и дозы внешнего облучения пациентов

Современные ПЭТ/КТ-аппараты позволяют получить совмещенное изображение распределения РФП в теле пациента и КТ-сканирования за одну процедуру. Рентгеновское КТ изображение при ПЭТ-исследовании используется для коррекции аттенюации (ослабления) излучения радиоизотопа в теле пациента, а также для анатомической привязки распределения РФП к определенным органам. Последнее подразумевает, что область КТ-сканирования не может быть меньше области ПЭТ-сканирования, чаще всего они совпадают. Выполнение указанных задач происходит в низкодозовом режиме КТ-сканирования. Диагностический режим позволяет провести полноценную КТ-диагностику, но формирует более высокую дозу облучения пациента. В таблице 5 представлены данные о зонах КТ-сканирования, значения DLP и оценки эффективных доз пациентов от рентгеновского излучения при разных ПЭТ/КТ-исследованиях.

При наличии у пациента результатов предварительного КТ- или МРТ-исследования нет необходимости в проведении диагностического КТ-сканирования во время ПЭТ-исследования, а достаточно низкодозового КТ-сканирования. Однако не все пациенты перед процедурой ПЭТ-КТ проходили МРТ- или КТ-исследование. В таком случае врачу-радиологу необходима более детальная информация о структурных изменениях в органах и тканях, поэтому КТ-сканирование в диагностическом режиме в рамках ПЭТ/КТ-исследования является обоснованным.

Значительный разброс значений DLP от 400 до 1700 при ПЭТ/КТ всего тела связан с отсутствием стандар-

тов протоколов КТ-сканирования. Например, протокол КТ-сканирования всего тела выполняется при среднем значении DLP 800 (от 400 до 1700) мГр-см, что формирует среднюю дозу пациента 12 мЗв. В некоторых отделениях низкодозовый протокол КТ сканирования всего тела дополняют КТ-сканированием грудной клетки на задержке дыхания. Такой протокол обусловлен тем, что КТ-сканирование проводится так же, как и ПЭТ-сканирование при спокойном дыхании пациента для совмещения изображений и коррекции аттенюации. В таком случае диагностическая ценность КТ-изображения снижается для области грудной клетки, где образуются артефакты движения во время дыхания за счет движения диафрагмы, что компенсируется дополнительным сканированием грудной клетки на задержке дыхания. Данное исследование формирует среднее суммарное значение DLP (1000 мГр-см) и соответствующее ему увеличение суммарной дозы облучения пациента примерно на 3,4 мЗв. Значение DLP при КТ-сканировании с контрастным усилением возрастает в среднем в 2 раза относительно исследований без введения контрастного вещества, за счёт дополнительных фаз; соответственно, удваивается доза от КТ-сканирования (рис. 2).

Наибольший разброс значений DLP от 40 до 1700 мГр-см наблюдается при исследованиях головного мозга, соответственно, эффективная доза от КТ в разных организациях варьирует от 0,1 до 3,9 мЗв при среднем значении 1,0 мЗв. При проведении КТ-перфузии головного мозга с контрастным усилением значение DLP достигает 4000 мГр-см, а средняя доза внешнего облучения – 10 мЗв.

Области КТ-сканирования, значения DLP и средние эффективные дозы внешнего облучения пациентов в обследованных отделениях ПЭТ-диагностики

Таблица 5

[Table 5]

Anatomical regions and type of CT scans in PET/CT examinations, statistics of DLP

Зона КТ-сканирования [Anatomical region]	Количество ПЭТ-аппаратов [Number of PET scanners]	Среднее (мин. – макс.) значения DLP, мГр-см [Mean (min-max) DLP, mGy-cm]	Среднее значение эффективной дозы от КТ, мЗв [Mean effective dose of CT, mSv]
Все тело [Whole body]	22	800 (400–1700)	12,0
Все тело + ГК ¹⁾ [Whole body + Chest]	4	1000 (830–1100)	15,0
Все тело с контрастом [Whole body with contrast]	10	1500 (1300–2400)	22,5
Голова [Head]	18	440 (40–1700) ²⁾	1,0
Грудная клетка (зона сердца) [Chest (myocardium)]	3	70 (50–100) ³⁾	1,2
Малый таз [Pelvis]	2	500	9,5

¹⁾ ГК – грудная клетка.

²⁾ При КТ-перфузии головного мозга значение DLP составляет в среднем 4000 мГр-см.

³⁾ При КТ-коронарографии значение DLP составляет в среднем 2000 мГр-см.

[¹⁾ Chest]

²⁾ The DLP from CT perfusion of brain is about 4000 мГр-см

³⁾ The DLP from CT coronarography is about 2000 мГр-см].

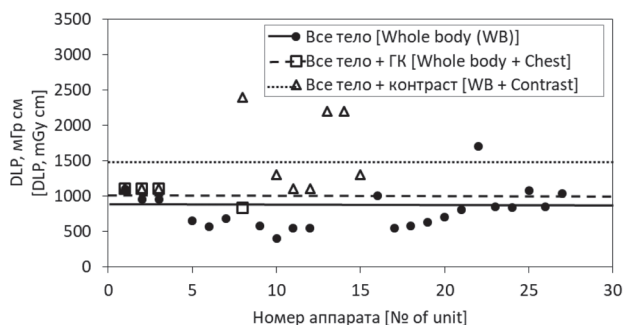


Рис. 2. Значения DLP (мГр·см) для стандартного пациента при КТ-сканировании на 27 обследованных аппаратах: всего тела (Все тело), исследования всего тела с дополнительным сканированием грудной клетки (Все тело + ГК) и исследования с введением контрастного вещества (Все тело + контраст); линиями на графике отмечены средние значения
[Fig. 2. The DLP (mGy·cm) of standard patient in 27 PET/CT units for whole body CT scans, whole body with inspiration chest CT scans and multiphase whole body CT scans with contrast]

При исследовании миокарда зона КТ-сканирования ограничивается областью сердца, поэтому значение DLP невысокое – в среднем 70 мГр·см, а эффективная доза пациента около 1,2 мЗв, но при проведении КТ-коронарографии значение DLP в среднем составляет 2000 мГр·см, соответственно, доза достигает 30 мЗв.

Эффективные дозы пациентов от внутреннего и внешнего облучения

Эффективные дозы от ПЭТ/КТ-исследований оценивались как сумма доз внутреннего облучения от введенного

РФП и внешнего облучения от КТ-сканирования. Средние дозы внутреннего облучения от введения РФП находятся в пределах 1,6–6,2 мЗв для разных видов исследований (см. табл. 4). Средняя доза от внешнего облучения в разных исследованиях варьирует от 1,0 до 22,5 мЗв в зависимости от области сканирования и от задачи исследования (низкодозовый или диагностический режим использован, количество фаз КТ-сканирования и пр.). Структура эффективных доз от разных ПЭТ/КТ-исследований представлена на рисунке 3.

Наибольшие дозы получают пациенты при прохождении ПЭТ-исследований всего тела, наименьшие – при исследовании миокарда. Эффективная доза при перфузии миокарда с ¹³N-аммоний составляет в среднем 2,7 мЗв за процедуру, при этом дозы от внешнего и внутреннего облучения вносят примерно одинаковый вклад. Если исследование состоит из двух или трех процедур, то доза пациента удваивается или утраивается соответственно. В случае проведения дополнительной КТ-коронарографии доза пациента возрастает до 35–40 мЗв.

Эффективная доза при ПЭТ/КТ исследованиях головного мозга в среднем составляет 3,4–4,8 мЗв, при этом вклад от КТ-сканирования составляет 20–30%. Однако при дополнительном проведении перфузии головного мозга доза за исследование может достигать 15 мЗв.

Высокие дозы, в среднем около 17 мЗв, получают пациенты при исследовании всего тела со всеми используемыми РФП, а при диагностическом многофазном КТ-сканировании с контрастным усилением доза увеличивается до 25–30 мЗв. При ПЭТ/КТ-исследовании всего тела с ¹⁸F-ФДГ и ¹⁸F-холин вклад КТ в суммарную дозу облучения пациента составляет 65–70%, а при контрастном КТ-сканировании он возрастает до 80%. При исследо-

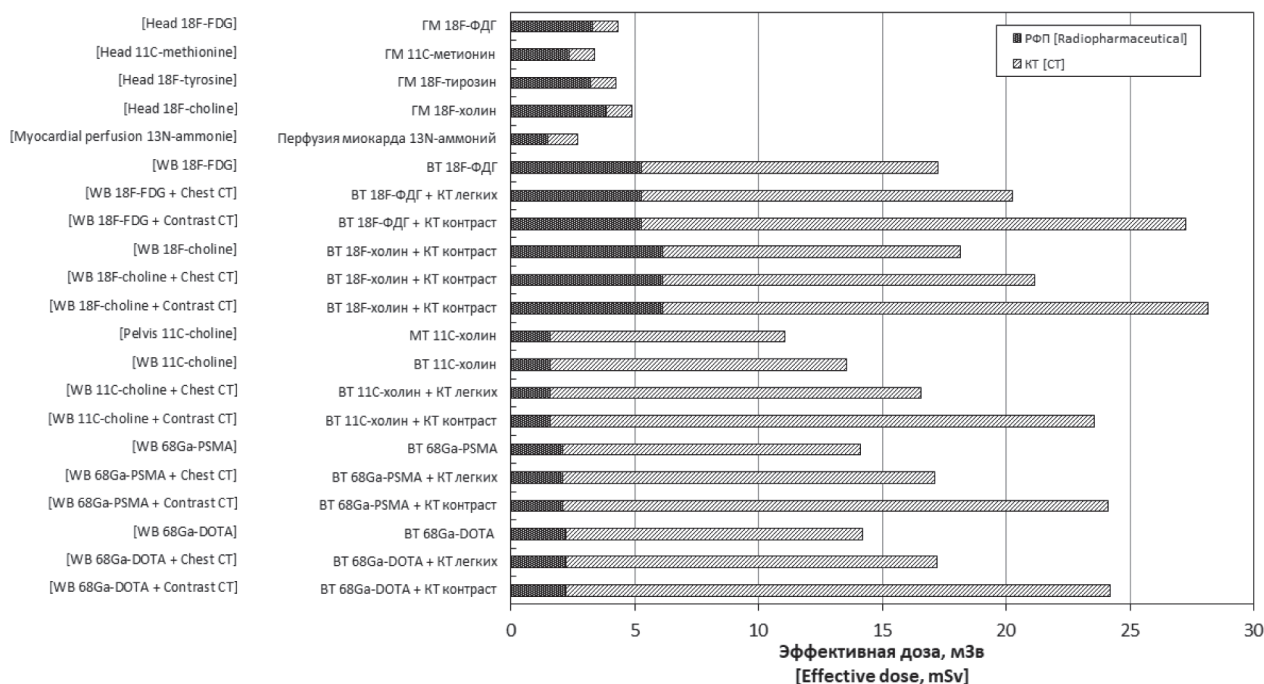


Рис. 3. Средние дозы внутреннего (РФП) и внешнего (КТ) облучения пациентов в результате ПЭТ/КТ-исследований головного мозга (ГМ), малого таза (МТ), всего тела (ВТ) и миокарда
[Fig. 3. The mean values of the effective doses of patients from internal (radiopharmaceutical) and external (CT) irradiation for brain, whole-body (WB) and myocardial perfusion PET/CT examinations]

ваниях с ^{11}C -холин или препаратами на основе ^{68}Ga доза внутреннего облучения меньше (1–2 мЗв), а вклад КТ сканирования в суммарную дозу составляет 90–95%.

В последние годы в России быстро увеличивается число МО, в которых проводятся ПЭТ-исследования. Однако эффективное внедрение данного метода диагностики затруднено отсутствием единых протоколов выполнения процедур, включающих подготовку пациента, проведение исследования и обработку результатов. Отсутствие стандартов, а также неоднородность аппаратного парка приводят к тому, что в разных отделениях ПЭТ-диагностики распределение РФП в теле и его накопление в очагах одного и того же пациента могут различаться, а их интерпретация может приводить к разным заключениям. Это особенно важно для онкологических пациентов, которые консультируются в разных МО и проходят повторные исследования после проведения лечения. Для повышения диагностической ценности данного метода в России необходима стандартизация методик проведения ПЭТ-исследований.

Активности РФП для введения пациентам чаще всего определяют, исходя из массы или площади поверхности тела пациента, согласно рекомендациям производителей аппаратуры и публикациям Европейской ассоциации ядерной медицины (European Association of Nuclear Medicine – EANM) [5, 6, 24] или Общества ядерной медицины и молекулярной визуализации (Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging – SNMMI) [7]. Разброс вводимых активностей РФП в разных МО не превышает двукратного (см. табл. 4, рис. 1).

В России наиболее распространенным является исследование всего тела с ^{18}F -ФДГ для диагностики онкологических заболеваний. Если сравнить активности ^{18}F -ФДГ, вводимые пациентам в России, с практикой других стран, то видно, что в России в среднем используют меньшие активности (табл. 6). Вследствие этого средняя доза при диагностике онкологических заболеваний с ^{18}F -ФДГ в России (5,3 мЗв) находится на нижней границе доз от этой процедуры в других странах (5–8 мЗв).

Уменьшение вводимой активности может приводить к снижению качества ПЭТ-изображения, однако современные томографы с усовершенствованной детектирующей системой, использование режима 3D-сканирования и время пролетной функции (time of flight) позволяют снижать вводимую пациенту активность без потери диагностической информации [25].

Увеличение вводимой пациенту активности позволяет уменьшить время сканирования пациента и увеличить пропускную способность аппарата. Это возможно использовать в регионах с острой потребностью в радионуклидной диагностике: увеличить поток пациентов на один аппарат за счет введения пациентам большей активности и снижения времени сканирования. Следует учитывать, что при этом эффективная доза увеличится, что может привести к необоснованному переоблучению пациента.

Дозы внешнего облучения от КТ-сканирования при ПЭТ/КТ-исследованиях всего тела в обследованных отделениях России находятся в пределах 6–25 мЗв при среднем значении 13 мЗв, что примерно в два раза выше,

Таблица 6

Параметры выполнения ПЭТ/КТ-исследования всего тела с ^{18}F -ФДГ в разных странах

[Table 6

Typical administered activities and patient doses in whole-body PET/CT with ^{18}F -FDG in different countries]

Страна, источник информации [Country]	Вводимая активность, МБк [Administered activity, MBq]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	$E_{\text{РФП}}$, мЗв [E_{RFP} , mSv]	$E_{\text{КТ}}$, мЗв [E_{CT} , mSv]	$E_{\text{ПЭТ/КТ}}$, мЗв, [$E_{\text{PET/CT}}$, mSv]
Настоящая работа [This study]	280	800	5,3	12	17,3
Англия [11] [England]	400	360	7,6	6,5	14
Австралия [12] [Australia]	304	550	6,3	8,2	14,5
Австрия [13] [Austria]	400	–	7,6	–	–
Болгария [14] [Bulgaria]	260-310	580	5,5	8	13
Германия [13] [Germany]	370	–	7,0	–	–
Финляндия [13] [Finland]	370	–	7,0	–	–
Франция [15] [France]	300	628	5,7	8,6	14,3
Ирландия [13] [Ireland]	375	–	7,1	–	–
Швеция [13] [Sweden]	350	–	6,6	–	–
Корея [16] [Korea]	310	430	5,9	6,3	12,2

чем во многих других странах (см. табл. 6). В зарубежной практике КТ используется в основном в низкодозовом режиме для коррекции аттенюации и уточнения анатомического положения очагов накопления РФП. В России КТ-сканирование часто проводят в диагностическом режиме. Это в основном связано с недостаточной обеспеченностью местной медицины высокотехнологическими методами диагностики и отсутствием возможности у пациента пройти предварительное КТ-исследование.

В отдельных случаях существует необходимость проведения КТ-сканирования с контрастным усилением. Однако контрастное усиление на КТ изображении может приводить к переоценке активности на ПЭТ-изображении, если оно используется для коррекции аттенюации [5, 7, 26]. По этой причине рекомендуется использовать отдельный протокол для исследований с внутривенным контрастированием, который будет содержать нативное низкодозовое КТ-сканирование для коррекции аттенюации ПЭТ-изображения и дополнительное диагностическое КТ-сканирование с контрастным усилением отдельной области или всего тела на вдохе.

Переход от диагностического режима к низкодозовому режиму КТ-сканирования при ПЭТ/КТ-исследованиях является важной задачей оптимизации радиационной защиты пациента и снижения дозы облучения конкретных пациентов и населения в целом. Особенно важно применять низкодозовый режим при повторных исследованиях пациентов, используемых для оценки эффективности лечения. Программное обеспечение современного диагностического оборудования позволяет использовать системы автоматической модуляции силы тока (tube current modulation (TCM)) для подбора оптимальных параметров КТ-сканирования для каждого пациента, а также методы реконструкции изображения, которые позволяют получать качественное диагностическое изображение при минимальных дозах облучения пациентов.

Для эффективной оптимизации проведения ПЭТ-исследований, использования всех возможностей оборудования и снижения доз облучения пациентов необходимо иметь в штате ПЭТ-отделения квалифицированного медицинского физика, а также регулярно проводить обучение медицинского персонала, направленное на повышение профессиональных знаний и обеспечение радиационной безопасности. Выбор протокола ПЭТ-исследования должен основываться на целях исследования и конкретном клиническом случае и должен подстраиваться под конкретного пациента.

Выводы

1. Собрана и проанализирована информация о методиках и протоколах диагностических ПЭТ/КТ-исследований из 19 медицинских организаций в 12 регионах Российской Федерации, которые оснащены 27 позитронно-эмиссионными томографами. Наиболее востребованным является исследование всего тела с введением пациентам ^{18}F -ФДГ для диагностики онкологических заболеваний.

2. Оценены эффективные дозы пациентов для разных диагностических ПЭТ/КТ-исследований. Наибольшие эффективные дозы (в среднем около 17 мЗв) получают пациенты при прохождении ПЭТ/КТ-исследований всего тела, при исследовании головного мозга дозы составля-

ют 3,4–4,8 мЗв, при исследовании миокарда – 2,7 мЗв. В случаях проведения многофазных исследований с внутривенным контрастным усилением эффективная доза пациента может увеличиваться до 15 мЗв при исследовании головного мозга, до 25–30 мЗв при исследовании всего тела и до 35–40 мЗв – при исследовании миокарда.

3. Оценены вклады доз от внутреннего и внешнего облучения в общую дозу облучения пациента при ПЭТ/КТ-исследованиях. Наибольший вклад в суммарную дозу облучения пациента при исследовании всего тела вносит внешнее облучение за счет КТ-сканирования: от 65 до 95%; при исследованиях головного мозга вклад от КТ-сканирования составляет 20–30%.

4. Проведено сравнение с дозами пациентов от аналогичных исследований в других странах по наиболее распространенной процедуре – исследованию всего тела. В Российской Федерации дозы облучения пациентов от проведения ПЭТ/КТ-диагностики выше, чем во многих странах с развитой медициной. В основном, превышение обусловлено дозой от внешнего КТ-сканирования.

5. Оптимизация радиационной защиты и снижение дозы облучения пациентов при ПЭТ/КТ-диагностике возможны путём использования низкодозового режима КТ-сканирования вместо диагностического, создания специальных протоколов для отдельных групп пациентов, применения системы TCM и современных методов реконструкции изображения. Всё это требует наличия в штате квалифицированного медицинского физика и обучения медицинского персонала техническим приёмам снижения дозы у пациента.

6. Необходимо следить за новыми технологическими и методическими разработками в ПЭТ-диагностике, внедрять их в практику, контролировать обоснованность назначений рентгенорадиологических исследований и дозы пациентов; особое внимание необходимо уделять обучению медицинского персонала обеспечению радиационной безопасности как в отношении персонала и населения, так и в отношении обследуемых пациентов.

7. Расширение числа ПЭТ-центров ставит вопрос о стандартизации методики подготовки пациентов к исследованию и его проведению, протоколов сбора и обработки данных, а также выработки количественных критериев для сравнения результатов, полученных в разных отделениях ПЭТ-диагностики, что особенно важно для обеспечения адекватного мониторинга процесса лечения онкологических пациентов.

Литература

1. Официальный сайт Центра развития ядерной медицины. – <http://www.cdnm.ru/> (дата обращения 30.09.2017)
2. Костылев, В.А. Статус и перспектива развития методов позитронно-эмиссионной томографии в России / В.А. Костылев, О.А. Рыжикова, В.Б. Сергиенко // Медицинская физика. – 2015. – № 2. – С. 5–16.
3. Дубинкин, Д.О. О гармонизации требований радиационной безопасности для развития ядерной медицины в России / Д.О. Дубинкин // Актуальные вопросы радиационной гигиены: тез. док. междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 1-3 октября 2014 г. – СПб., 2014. – http://www.fcpr.ru/netcat_files/userfiles/NIIRG_021014/Doklad-FTsPR_Dubinkin.pdf (дата обращения 30.09.2017)
4. A Guide to Clinical PET in Oncology: Improving Clinical Management of Cancer Patients. IAEA-TECDOC-1605. International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria, 2008.

5. Boellaard R., Delgado-Bolton R., Oyen W.J.G., Giammarile F. (et al.). FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *Eur J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2015, Vol. 42, pp. 328–354.
6. Anderson T., Elman S., Matesan M., Carnell J. (et al.). Pictorial Review of NCCN Guidelines for Use of FDG PET in Oncology. *J Nucl Med*, 2017, Vol. 58, № supplement 1 974.
7. Delbeke D., Coleman R.E., Guiberteau M.J., Brown M.L. Procedure Guideline for Tumor Imaging with 18F-FDG PET/CT 1.0. *J. Nucl. Med.*, 2006, Vol. 47, №5, pp. 885–895.
8. Ширяев, С.В. Современное состояние ПЭТ-диагностики в онкологии / С.В. Ширяев, Б.И. Долгушин, А.В. Хмелев // Вестник Московского Онкологического общества. – 2006. – № 3. – С. 1–9.
9. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37, №2-4: 2007.
10. Публикация МКРЗ 105. Радиационная защита в медицине: пер. с англ. М.И. Балонова /под ред. Д. Валентина. – СПб.: ФГУН НИИРГ, 2011. – 66 с. – <http://www.icrp.org/docs/P105Russian.pdf>; <http://niirg.ru/PDF/ICRP-105%20Ru.pdf> (дата обращения 30.09.2017).
11. Martin C.J., Effective dose: how should it be applied to medical exposures? *Brit. J Radiol.*, 2007, Vol. 80, pp. 639–647.
12. Iball G.R., Bebbington N.A., Burniston M. (et al.). A national survey of computed tomography doses in hybrid PET-CT and SPECT-CT examinations in the UK. *Nucl. Med. Commun.*, 2017, Vol. 38, pp. 459–470.
13. Willowson K.P., Bailey E.A., Bailey D.L. A retrospective evaluation of addition dose associated with low dose FDG protocols in whole-body PET/CT. *Austral. Phys. Eng. Sci.*, 2012, Vol. 35, №1, pp. 49–53.
14. Radiation Protection 180 pt. 2. Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries. European Commission, 2014, 73 p.
15. Avramova-Cholakova S., Ivanova S., Petrova E., Garcheva M., Vassileva J. Patient Doses from PET-CT Procedures. *Radiat. Protect. Dosim.*, 2015, Vol. 165, №1–4, pp. 430–433.
16. Etard C., Celier D., Roch P., Aubert B. National survey of patient doses from whole-body FDG PET-CT examinations in France in 2011. *Radiat. Protect. Dosim.*, 2012, Vol. 152, № 4, pp. 334–338.
17. Kwon H.W., Jong Phil Kim, Hong Jae Lee, Jin Chul Paeng (et al.). Radiation Dose from Whole-Body F-18 Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/Computed Tomography: Nationwide Survey in Korea. *J. Korean Med. Sci.*, 2016, Vol. 31, pp. S69–74.
18. Mattsson S., S derberg M. Radiation Dose Management in CT, SPECT/CT and PET/Ct Techniques. *Radiat. Protect. Dosim.*, 2011, Vol. 147, №1–2, pp. 13–21.
19. Водоватов, А.В. Новый подход к определению стандартного пациента для оптимизации защиты пациентов от медицинского облучения / А.В. Водоватов, И.Г. Камышанская, А.А. Дроздов // Радиационная гигиена. – 2014. – Т 7, № 4. – С. 104–116.
20. International Commission on Radiological Protection. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. *Ann. ICRP* 44(2S), 2015.
21. Herrmann K., Bluemel C., Weineisen M., Schottelius M. (et al.). Biodistribution and radiation dosimetry for a probe targeting prostate-specific membrane antigen for imaging and therapy. *J. Nucl. Med.*, 2015, Vol. 56, №6, pp. 855–61.
22. Sandström M., Velikyan I., Garske-Román U., Sörensen J. (et al.). Comparative biodistribution and radiation dosimetry of 68Ga-DOTATOC and 68Ga-DOTATATE in patients with neuroendocrine tumours. *J. Nucl. Med.*, 2013, Vol. 54, № 10, pp. 1755–1759.
23. Чипига, Л.А. Оценка коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для КТ всего тела путем фантомных экспериментов / Л.А. Чипига, В.Ю. Голиков, Е.Н. Шлеенкова, А.В. Поздняков // Медицинская физика. – 2016. – Т. 4. – С. 55–62.
24. Stauss J., Franzius C., Pfluger T., Juergens K.U. Guidelines for 18F-FDG PET and PET-CT imaging in paediatric oncology. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imag.*, 2008, Vol. 35, №8, pp. 1581–1588.
25. Surti S. Update on Time-of-Flight PET Imaging. *J. Nucl. Med.*, 2015, Vol. 56, №1, pp. 98–105.
26. Sureshbabu W., Mawlawi O. PET/CT Imaging Artifacts. *J. Nucl. Med. Technol.*, 2005, Vol. 33, pp. 156–161.

Поступила: 20.10.2017 г.

Чипига Лариса Александровна – младший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; медицинский физик ПЭТ-центра, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

Звонова Ирина Александровна – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Рыжкова Дарья Викторовна – доктор медицинских наук, руководитель научно-клинического объединения ядерной медицины, заведующая научно-исследовательской лабораторией ядерной медицины, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Меньков Михаил Александрович – инженер отделения позитронной эмиссионной томографии, Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

Долгушин Михаил Борисович – доктор медицинских наук, заведующий отделением позитронной эмиссионной томографии, Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

Для цитирования: Чипига Л.А., Звонова И.А., Рыжкова Д.В., Меньков М.А., Долгушин М.Б. Уровни облучения пациентов и возможные пути оптимизации ПЭТ-диагностики в России // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 31-43. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4-31-43

Levels of patients exposure and a potential for optimization of the PET diagnostics in the Russian Federation

Larisa A. Chipiga^{1,2}, Irina A. Zvonova¹, Darya V. Ryzhkova², Mikhail A. Menkov³, Mikhail B. Dolgushin³

¹Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

²Almazov National Medical Research Centre, The Ministry of Health of The Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

³National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin, The Ministry of Health of The Russian Federation, Moscow, Russia

This study presents an overview of the most common positron emission tomography examinations in Russia, as well as the acquisition protocols and patient doses. The data collection was performed in 2012–2017 in 19 positron emission tomography departments in 12 regions of the Russian Federation by questioning the staff. The majority of the Russian positron emission tomography departments were equipped by modern positron emission tomography scanners combined with computed tomography. In each investigated department, data on all types of positron emission tomography examinations, radiopharmaceuticals, administered activities used for standard patient (body mass 70 ± 5 kg) and parameters of computed tomography protocols was collected. The effective doses of patients from combined positron emission computed tomography examinations were estimated as a sum of the dose from the internal exposure (injected radiopharmaceutical) and the external exposure (computed tomography scan). Whole body positron emission tomography examinations in Russia were commonly performed with ^{18}F -fluorodeoxyglucose (^{18}F -FDG), ^{18}F -choline, ^{11}C -choline, ^{68}Ga -PSMA, ^{68}Ga -DOTA-TATE, ^{68}Ga -DOTA-NOC, brain examinations – ^{18}F -FDG, ^{11}C -methionine, ^{18}F -choline, ^{18}F -tyrosine, myocardial perfusion – ^{13}N -ammonia.

The highest patient effective doses (about 17 mSv) were observed for whole-body positron emission computed tomography examinations; for brain examinations – 3,4 – 4,8 mSv; for myocardial perfusion – 2,8 mSv. The computed tomography scan contributes up to 65 – 95% to the total patient effective dose for whole body examinations; 20 – 30% for head examinations. For the multiphase computed tomography scan effective doses may be increased to: 15 mSv for head examinations, 25 – 30 mSv for whole body examinations and 35 – 40 mSv for myocardial examinations. A standardization of acquisition and processing protocols is necessary for optimization of positron emission tomography examinations in Russia and for the intercomparison of results obtained in different positron emission tomography departments. Low dose computed tomography protocols, justification of diagnostic and multiphase computed tomography protocols, application of tube current modulation system and modern reconstruction algorithms, education and training of the staff in the field of radiation protection should be used for optimization of radiation protection of patient.

Key words: positron emission tomography, computed tomography, patient dose, nuclear medicine.

References

1. Official website of the Centre for Development of Nuclear Medicine. Available from: <http://www.cdnm.ru/> (Accessed: 30.09.2017) (In Russian).
2. Kostylev V.A., Ryzhikova O.A., Sergienko V.B. Status and prospects for development of positron emission tomography methods in Russia. *Meditinskaya fizika = Medical physics*, 2015, № 2, pp. 5-16. (In Russian).
3. Dubinkin D.O. On harmonization of radiation safety for development of nuclear medicine in Russia. Proceedings of the International scientific practical conference Actual issues of radiation hygiene, 2014 October 1-3, St-Petersburg. Available on: http://www.fcpr.ru/netcat_files/userfiles/

Larisa A. Chipiga

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev.
Almazov National Medical Research Centre.

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

- NIIRG_021014/Doklad-FTsPR_Dubinkin.pdf/ (Accessed: 30.09.2017) (In Russian).
4. A Guide to Clinical PET in Oncology: Improving Clinical Management of Cancer Patients. IAEA-TECDOC-1605. International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria, 2008.
 5. Boellaard R., Delgado-Bolton R., Oyen W.J.G., Giammarile F. (et al.). FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2015, Vol. 42, pp. 328–354.
 6. Anderson T., Elman S., Matesan M., Carnell J. (et al.). Pictorial Review of NCCN Guidelines for Use of FDG PET in Oncology. *J Nucl Med*, 2017, Vol. 58, № supplement 1 974.
 7. Delbeke D., Coleman R.E., Guiberteau M.J., Brown M.L. Procedure Guideline for Tumor Imaging with 18F-FDG PET/CT 1.0. *J Nucl Med*, 2006, Vol. 47, №5, pp. 885–895.
 8. Shiryaev S.V., Dolgushin B.I., Khmelev A.V. PET status of cancer diagnostics. *Vestnik Moskovskogo onkologicheskogo obshchestva = Journal of the Moscow cancer society*, 2006, №3, pp. 1–9. (In Russian).
 9. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37, №2-4: 2007.
 10. International Commission on Radiological Protection. Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105. *Ann. ICRP* 37, №6: 2007. <http://www.icrp.org/docs/P105Russian.pdf>; <http://niirg.ru/PDF/ICRP-105%20Ru.pdf> (Accessed: 30.09.2017). (In Russian).
 11. Martin C.J. Effective dose: how should it be applied to medical exposures? *The British Journal of Radiology*, 2007, Vol. 80, pp. 639–647.
 12. Iball G.R., Bebbington N.A., Burniston M. (et al.). A national survey of computed tomography doses in hybrid PET-CT and SPECT-CT examinations in the UK. *Nuclear Medicine Communications*, 2017, Vol. 38, pp. 459–470.
 13. Willowson K.P., Bailey E.A., Bailey D.L. A retrospective evaluation of addition dose associated with low dose FDG protocols in whole-body PET/CT. *Australas Phys Eng Sci*, 2012, Vol. 35, №1, pp. 49–53.
 14. Radiation Protection 180 pt. 2. Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries. European Commission, 2014, 73 p.
 15. Avramova-Cholakova S., Ivanova S., Petrova E., Garcheva M., Vassileva J. Patient Doses from PET-CT Procedures. *Radiation Protection Dosimetry*, 2015, Vol. 165, №1–4, pp. 430–433.
 16. Etard C., Celier D., Roch P., Aubert B. National survey of patient doses from whole-body FDG PET-CT examinations in France in 2011. *Radiation Protection Dosimetry*, 2012, Vol. 152, № 4, pp. 334–338.
 17. Kwon H.W., Jong Phil Kim, Hong Jae Lee, Jin Chul Paeng (et al.). Radiation Dose from Whole-Body F-18 Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/Computed Tomography: Nationwide Survey in Korea. *J Korean Med Sci*, 2016, Vol. 31, pp. S69–74.
 18. Mattsson S., S derberg M. Radiation Dose Management in CT, SPECT/CT and PET/Ct Techniques. *Radiation Protection Dosimetry*, 2011, Vol. 147, №1–2, pp. 13–21.
 19. Vodovatov A.V., Kamyshanskaja I.G., Drozdov A.A. New approach for the determination of the standard patient to be used for the optimization of the medical exposure protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2014, Vol. 7, №4, pp. 104–116. (In Russian).
 20. International Commission on Radiological Protection. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. *Ann. ICRP* 44(2S), 2015.
 21. Herrmann K., Bluemel C., Weineisen M., Schottelius M. (et al.). Biodistribution and radiation dosimetry for a probe targeting prostate-specific membrane antigen for imaging and therapy. *J Nucl Med*, 2015, Vol. 56, №6, pp. 855–61.
 22. Sandström M., Velikyan I., Garske-Román U., Sörensen J. (et al.). Comparative biodistribution and radiation dosimetry of 68Ga-DOTATOC and 68Ga-DOTATATE in patients with neuroendocrine tumours. *J Nucl Med*, 2013, Vol. 54, №10, pp. 1755–1759.
 23. Chipiga L., Golikov V., Shleenkova E., Pozdnyakov A. Estimation of the conversion coefficients from dose length product to effective dose from whole body computed tomography examination using anthropomorphic phantoms. *Meditsinskaya fizika = Medical physics*, 2016, Vol. 4, pp. 55–62. (In Russian).
 24. Stauss J., Franzius C., Pfluger T., Juergens K.U. Guidelines for 18F-FDG PET and PET-CT imaging in paediatric oncology. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2008, Vol. 35, №8, pp. 1581–1588.
 25. Surti S. Update on Time-of-Flight PET Imaging. *J Nucl Med*, 2015, Vol. 56, №1, pp. 98–105.
 26. Sureshbabu W., Mawlawi O. PET/CT Imaging Artifacts. *J Nucl Med Technol*, 2005, Vol. 33, pp. 156–161.

Received: October 20, 2017

For correspondence: Larisa A. Chipiga – Medical physicist, PET center, Almazov National Medical Research Centre, The Ministry of Health of The Russian Federation; Junior researcher, Medical protection laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com)

Irina A. Zvonova – Doctor of Technical Sciences, Chief Research Scientist, Medical protection laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Darya V. Ryzhkova – Head of Scientific-Clinical Union of Nuclear Medicine, head of nuclear medicine research laboratory, Almazov National Medical Research Centre, The Ministry of Health of The Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

Mikhail A. Menkov – Engineer, Positron Emission Tomography department, National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin, The Ministry of Health of The Russian Federation, Moscow, Russia

Mikhail B. Dolgushin – Head of Positron Emission Tomography department, National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin, The Ministry of Health of The Russian Federation, Moscow, Russia

For citation: Chipiga L.A., Zvonova I.A., Ryzhkova D.V., Menkov M.A., Dolgushin M.B. Levels of patient exposure and potential for optimization in PET diagnostics in the Russian Federation. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2017, Vol. 10, No. 4, pp.31–43. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4-31-43