

## СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ В РОССИИ

В.А. Костылев<sup>1</sup>, О.А. Рыжикова<sup>2</sup>, В.Б. Сергиенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ассоциация медицинских физиков России, Москва

<sup>2</sup> Российский кардиологический научно-производственный комплекс МЗ РФ, Москва

Представлены статистические данные по количеству и работе центров позитронно-эмиссионной томографии в России. Проведено описание видов ПЭТ-центров и сравнение по оснащенности. Показана стоимость ПЭТ-исследования в России. Приведено сравнение других методов диагностики с методом ПЭТ по точности диагностики. Результаты анализа приведены в виде выводов.

Ключевые слова: *позитронно-эмиссионная томография, позитрон, томография, онкозаболеваемость*

### Введение

Позитронно-эмиссионная томография – комплекс радиодиагностических методов с использованием ультракороткоживущих радионуклидов для визуализации структурно-функционального состояния органов и систем организма на клеточном уровне.

Применение методов ПЭТ в клинической практике определило место и значимость неинвазивного выявления патологических процессов на ранней стадии при различных нозологических формах заболеваний в онкологии, кардиологии, неврологии и во многих других клинических дисциплинах. Развитие методов радионуклидной диагностики зависит в основном от разработки новых селективных радиофармпрепаратов и использования новых способов регистрации излучения и математической обработки получаемых томографических изображений. Современные ПЭТ-исследования проводятся уже в комплексе с другими томографическими методами. Это новейшие гибридные методы комплексного исследования на базе ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ, позволяющие одновременно на более высоком технологическом

уровне оценивать структурно-морфологическое состояние органов и оценивать функционально-метаболические процессы.

Потенциал ПЭТ в значительной степени определяется арсеналом доступных радиофармпрепаратов. Именно выбор селективных РФП с направленным транспортом позволяет изучать с помощью ПЭТ такие разные процессы как рецепторную и клеточный метаболизм, фармакокинетику веществ, участвующих в биохимических процессах, лиганд-рецепторные взаимодействия, экспрессию генов и т.д. Использование РФП, относящихся к различным классам биологически активных соединений, делает ПЭТ достаточно универсальным инструментом современной медицины. Поэтому разработка новых РФП и эффективных методов их синтеза в настоящее время и становится ключевым этапом в развитии методик ПЭТ.

### Анализ ситуации в России

В последние десятилетия в мире продолжает наблюдаться медленный (1,2 % в год) рост заболеваемости раком. Онкологические заболевания продолжают занимать второе место

после сердечно-сосудистых заболеваний в списке причин смертности как в экономически развитых, так и в остальных странах. К 2013 г. смертность от рака, по мировой статистике, составила около 11 млн. человек.

Что касается Российской Федерации, то в настоящее время на учете в онкологических учреждениях состоят около 2,5 млн. чел. Ежегодное выявление составляет около 450 тыс. новых онкологических случаев при ежегодной смертности около 300 тыс. чел.

Лидирующие позиции занимают новообразования кожи, молочной железы, шейки и тела матки, желудка, легких и кишечника (в табл. 1 представлен перечень выявляемых локализаций по статистике последних 10 лет).

Благодаря внедрению программ модернизации и онкологической программе Минздрава удалось замедлить темп смертности на 3 % (табл. 2), повысить эффективность методов лечения и улучшить процессы диагностики.

Однако смертность все еще остается довольно высокой, так как не все регионы достаточно хорошо оснащены современными видами оборудования и обеспечены высококвалифицированными кадрами для диагностики и лечения онкозаболеваний, которое позволило бы на ранних сроках определить начало и стадийность заболевания, оценить влияние лучевой терапии, радионуклидной терапии, химиотерапии.

По сравнению с развитыми странами Европы и США в России самый низкий показатель пятилетней выживаемости – менее 45 %. Данный показатель связан с поздней диагностикой, с отсутствием должного лечения в условиях дефицита квалифицированных кадров, а также лечения на устаревшем оборудовании, где погрешность качества лечения составляет около 35 %, по сравнению с мировыми стандартами около 3 %.

Среди мужского населения лидирующие позиции занимают такие нозологические формы как рак легких, желудка, кожи, предстательной железы, ободочной и прямой кишки.

Среди женского населения лидирующие позиции занимают злокачественные новообразования молочной железы, тела и шейки матки, кожи, желудка и ободочной кишки (рис. 1).

На основании анализа ситуации по России можно сделать вывод о том, что первичная выявляемость рака на всех стадиях практически одинакова, что фактически свидетельствует об отсутствии развитой высокотехнологичной однотипной сети диагностики онкологиче-

ских заболеваний. Для примера, в США и Европе выявляемость на I–II стадии заболевания составляет около 80 %, а у нас – около 45–50 % (рис. 2).

В настоящее время уровень развития радионуклидных медицинских технологий в России значительно отстает от показателей мировой статистики.

В табл. 3. приведены статистические данные по количеству ПЭТ/КТ-сканеров на количество населения для различных стран.

Благодаря внедрению онкологической программы с 2009–2014 гг. оборудованием для диагностики и лучевой терапии было оснащено около 64 регионов. К сожалению, в рамках модернизации онкологических учреждений было заложено только 6 проектов организации центров позитронно-эмиссионной томографии в Казани, Хабаровске, Челябинске, Магнитогорске, Ханты-Мансийске и Красноярске (табл. 4).

На население России в 145 млн. чел. имеются только 24 работающих ПЭТ-центров, включая отдельно стоящие ПЭТ/КТ-сканеры, из них 17 государственных и 7 частных ПЭТ-центров, что показывает текущую ситуацию из расчета один ПЭТ-центр на 6,1 млн.чел.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), один ПЭТ/КТ-сканер должен быть рассчитан на население в 700 тыс. человек. Исходя из этого расчета, потребность в России составляет около 180 ПЭТ/КТ-сканеров или около 100 полноценных ПЭТ-центров.

Это означает, что на сегодняшний день обеспеченность ПЭТ-центрами в России составляет менее 25 %.

### **Технологические особенности позитронно-эмиссионной томографии**

Клиническая значимость внедрения в медицинскую практику методов ПЭТ-диагностики обусловлена необходимостью объективной и своевременной оценки наиболее социально значимых онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний, а также в необходимом контроле процесса и эффективности лечения.

Важность клинического использования ПЭТ состоит в том, что этот метод позволяет:

- ✓ проводить раннюю диагностику сложных заболеваний;

Таблица 1

**Распространенность злокачественных новообразований в России в 2003–2013 гг.  
(численность контингента больных на 100 тыс. населения)**

Локализация, нозологическая форма	Годы										
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Все злокачеств. новообразования	1577,0	1625,7	1681,3	1730,9	1783,9	1836,6	1897,0	1968,9	2029,0	2091,9	2164,0
Губа	57,3	55,1	53,6	51,6	49,0	47,3	45,6	44,1	41,9	40,2	37,8
Полость рта	–	–	–	–	–	–	–	–	23,1	23,3	24,4
Глотка	–	–	–	–	–	–	–	–	10,1	10,2	10,7
Пищевод	7,2	7,1	7,2	7,3	7,5	7,6	7,7	8,0	8,2	8,2	8,4
Желудок	92,7	92,6	93,4	93,6	93,1	93,3	93,5	94,2	94,1	94,1	94,3
Ободочная кишка	76,3	80,2	85,0	88,8	93,1	97,5	102,3	107,5	111,9	116,7	121,7
Прямая кишка, ректосигм. соедин., анус	65,1	67,5	70,5	73,1	75,6	77,7	81,1	84,5	87,3	90,4	93,6
Печень и внутрипеч. желч. протоки	–	–	–	–	–	–	–	–	4,7	4,6	4,7
Поджелудочная железа	–	–	–	–	–	–	–	–	10,0	10,5	10,8
Гортань	28,1	28,1	28,2	28,4	28,2	28,6	28,7	29,2	29,2	29,0	29,5
Трахея, бронхи, легкое	76,3	77,1	78,0	79,8	80,1	81,5	83,6	85,2	86,5	86,6	88,7
Кости и суставные хрящи	–	–	–	–	–	–	–	–	11,9	11,5	11,1
Меланома кожи	34,7	36,1	38,0	39,7	41,2	42,7	44,5	46,6	48,3	50,1	51,9
Кожа (кроме меланомы)	210,3	216,4	221,6	227,8	230,7	233,4	236,5	243,5	246,0	252,3	258,8
Соединительная и др. мягкие ткани	–	–	–	–	–	–	–	–	19,0	19,4	19,7
Молочная железа	276,8	286,2	297,0	307,2	318,9	328,8	341,5	355,7	366,8	380,5	392,5
Шейка матки	111,8	110,3	110,3	110,0	109,6	110,3	111,6	112,6	113,1	115,0	116,2
Тело матки	106,8	110,9	115,6	119,9	123,9	128,6	133,7	138,7	143,2	148,4	154,0
Яичник	49,5	50,8	53,0	55,1	56,9	59,1	60,8	63,1	64,5	65,9	68,1
Предстательная железа	30,1	30,1	30,4	30,7	30,7	30,2	30,0	30,5	31,2	32,2	34,5
Почка									50,3	51,0	51,4
Мочевой пузырь	44,2	44,3	45,2	45,9	47,2	47,1	47,6	47,7	48,9	48,9	49,4
Щитовидная железа	55,6	57,1	59,3	60,6	61,4	61,6	62,0	63,4	65,1	65,2	67,1
Лимфатическая кровеносная ткань	48,8	49,3	49,9	49,7	50,6	50,4	50,2	51,5	51,6	52,2	53,7

- ✓ выявлять функциональное состояние и жизнеспособность органов и тканей;
- ✓ в онкологии осуществлять раннюю диагностику метастазирования и генерализации патологического процесса;
- ✓ значительно снизить лучевые нагрузки на пациента при исследованиях;
- ✓ в кардиологии на ранних стадиях выявлять поражения сосудов миокарда, оценивать жизнеспособность миокарда и тем самым рекомендовать патогномичную тактику

консервативного или эндоваскулярного и хирургического лечения;

- ✓ в онкологии на фоне ранней диагностики оперативно оценивать эффективность медикаментозной, лучевой и химиотерапии.

В зависимости от клинической задачи проводится выбор наиболее эффективного РФП для поставленной диагностической задачи. Это в основном зависит от его специфичности к патологическому процессу или для оценки состояния жизнеспособности исследуемого органа.

Таблица 2

**Летальность больных в течение года с момента установления диагноза злокачественного новообразования (из числа больных, впервые взятых на учет в предыдущем году) в России в 2003–2013 гг. в %**

Локализация, нозологическая форма	Годы										
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Все злокачеств. новообразования	33,8	33,2	31,6	31	30,2	29,9	29,2	28,6	27,4	26,1	25,3
Губа	4,4	4,8	5,2	4,7	6,2	5,2	5,1	5,1	4,2	5,2	4,9
Полость рта	–	–	–	–	–	–	–	–	–	37	35
Глотка	–	–	–	–	–	–	–	–	–	40,2	42,6
Пищевод	66,7	64	63,2	62,4	63,3	62,3	61	63,6	60,4	59,4	58,3
Желудок	55,6	56	54,6	53,5	53,5	54,1	53,2	53,3	51,2	49,8	49,2
Ободочная кишка	38,2	37,5	35,8	34,7	34,4	34,1	32,5	32	30,5	29,6	28,4
Прямая кишка, ректосигм. соед, анус	33,5	33	31,7	31,1	30	30,6	30,5	28,6	27,7	25,8	25,7
Печень и внутрипеч. желч. протоки	–	–	–	–	–	–	–	–	–	66,1	69,9
Поджелудочная железа	–	–	–	–	–	–	–	–	–	68,1	69,3
Гортань	31,7	32,1	28,9	30,2	28,1	28,1	27,1	28	25,3	24,2	24,9
Трахея, бронхи, легкое	57,1	56,8	56,1	56	55,3	55,4	54,1	54,3	53,2	52,4	51,8
Кости и сустав-ные хрящи	–	–	–	–	–	–	–	–	–	32,7	27,3
Меланома кожи	15	14,2	14,1	14,2	14,2	13,4	14,4	13,1	13,1	12	12,3
Кожа (кроме меланомы)	1	1,1	1	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8
Соединительная и др. мягкие ткани	–	–	–	–	–	–	–	–	–	22,3	20,1
Молочная железа	12,1	11,5	10,9	10,3	10,1	9,7	9,5	9,1	8,7	8,3	7,4
Шейка матки	20,9	20,8	19,5	19,3	19	19,4	18,1	17,2	17,4	17	16,5
Тело матки	13	12,4	11,9	11,9	11,8	11,3	11	11	10,4	9,7	9,4
Яичники	30,8	29,8	28,8	28,1	27,4	26,2	26,4	26,3	24,6	24,3	23,7
Предстательная железа	21,2	19,9	19	17,2	16,1	15	14	12,3	11,2	10,4	10,3
Почка	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18,3	18
Мочевой пузырь	26,7	26,1	23,9	23,1	23,5	22,4	22,6	21,3	19,5	18,9	17,9
Щитовидная железа	7,4	6,8	6,4	6,2	5,9	6	5,7	5,2	5,3	4,4	4,7
Лимфатическая и кровеносная ткань	30,1	29,4	29,2	26,5	26,4	25,3	25,7	25,4	23,1	21,7	21,5

На сегодняшний день в России используется около 22 УКЖ и обычных радиофармпрепаратов. В то же время в экономически развитых странах применяется более 100 РФП, а в стадии доклинических и поисковых исследований находятся еще около 40.

Как уже отмечалось, технологии ядерной медицины основаны на использовании ядерно-физических свойств различных нуклидов. При диагностике используют препараты, меченные как стабильными так и радиоактивными изотопами. Наблюдая за их распределением в ор-

Таблица 3

## Оснащенность ПЭТ в различных странах

Наименование	Численность населения, млн. чел	Количество ПЭТ	Количество населения, тыс. на 1 сканер
Финляндия	5	12	416
Франция	63	89	700
Корея	49	191	256
США	314	2000	157
Турция	71	200	355
Испания	46	63	700
Швейцария	77	27	285
Австралия	21	42	500
Канада	34	42	700
Россия	145	30 *	4 800

\* – количество сканеров ПЭТ/КТ

Таблица 4

## Перечень организованных, планируемых, проектируемых и строящихся ПЭТ-центров

№/п	Название	Местоположение	Статус	Принадлежность
1	Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева (НЦССХ)	г. Москва	Действует	Государственный
2	ФГКУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко Министерства обороны РФ» (ФГКУ ГВКГ)	г. Москва	Работает периодически	Государственный
3	ОАО «Медицина»	г. Москва	Действует, только ПЭТ/КТ-сканер	Частный
4	ФГБУ "Российский онкологический научный центр им. Н. Н. Блохина" (ФГБНУ РОНЦ им. Н. Н. Блохина)	г. Москва	Действует	Государственный
5	Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" (НИЦ «Курчатовский институт»)	г. Москва	Периодически поставляют РФП в ОАО Медицина. Нет своих лицензий на мед. деят-ть	Государственный
6	«Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой» РАН (ИМЧ РАН)	г. Санкт-Петербург	Действует	Государственный
7	ФГУ "Российский научный центр радиологии и хирургических технологий" Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГУ РНЦРХТ МЗ РФ)	г. Санкт-Петербург	Действует	Государственный
8	Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны РФ (ФГКВО УВПО ВМА им. С.М. Кирова)	г. Санкт-Петербург	Только ПЭТ/КТ-сканер, действует	Государственный
9	ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический)»	г. Санкт-Петербург	Только ПЭТ/КТ-сканер, действует	Государственный
10	Лечебно-диагностический центр Международного института биологических систем имени С.М. Березина (ЛДЦ МИБС) (1)	г. Санкт-Петербург	Действует	Частный

11	Лечебно-диагностический центр МИБС (2)	г. Санкт-Петербург	Действует	Частный
12	ФГБУЗ «Сибирский клинический центр» ФМБА России (ФГБУЗ СКЦ ФМБА России)	г. Красноярск	Действует	Государственный
13	ГЛПУ «Челябинский областной клинический онкологический диспансер» (ГЛПУ ЧОКОД)	г. Челябинск	Действует	Государственный
14	ГУЗ Областной онкологический диспансер	г. Магнитогорск	Действует	Государственный
15	ГБУЗ Тюменской области «Областной онкологический диспансер» (ГБУЗ ТО «Онкодиспансер»)	г. Тюмень	Действует	Государственный
16	Окружной онкологический центр окружной клинической больницы (ООЦ ОКБ)	г. Ханты-Мансийск	Действует	Государственный
17	ГУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер Министерства здравоохранения Республики Татарстан» (ГУЗ «РКОД МЗ РТ»)	г. Казань	Действует	Государственный
18	КГБУЗ «Краевой клинический центр онкологии»	г. Хабаровск	Действует	Государственный
19	Межрегиональный медицинский центр ранней диагностики и лечения онкологических заболеваний	г. Воронеж	Действует	Частный
20	Центр ядерной медицины	г. Уфа	Действует	Частный
21	Центр ядерной медицины	г. Курск	ПЭТ/КТ-сканер действует	Частный
22	Центр ядерной медицины	г. Елец-Липецк	Циклотрон и ПЭТ/КТ-сканер, действует	Частный
23	ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. ак. Е. И. Забабахина (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. ак. Е. И. Забабахина»)	г. Снежинск	Только производство РФП не для клиники	Государственный
24	ФГУ «Центральная клин. больница с поликлиникой» Управления делами Президента РФ (ФГБУ «ЦКБ с поликлиникой» УДП РФ)	г. Москва	Не действует (идет реконструкция)	Государственный
25	Клиническая больница №1 УДП	г. Москва	ПЭТ-сканер не работает	Государственный
26	ФГБУ «Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» (ФГБУ «НИИ НХ»)	г. Москва	Не работает	Государственный
27	ФГБУ Лечебно-реабилитационный центр	г. Москва	ПЭТ-сканер не работает	Государственный
28	ФГБУ «Российский кардиологический научно-производственный комплекс» Министерства здравоохранения РФ (ФГБУ РК НПК МЗ РФ)	г. Москва	Не действует	Государственный
29	ФГБУ «Федеральный центр сердца, крови и эндокринологии им. В.А. Алмазова» (ФГБУ ФЦСКЭ им. В.А. Алмазова)	г. Санкт-Петербург	На стадии запуска в сентябре 2015 г.	Государственный
30	Городская больница №40	г. Санкт-Петербург	Только ПЭТ/КТ на стадии запуска. Делают 5–7 исследований в нед.	Государственный
31	ФГБУ Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. ак. В.И. Кулакова Минздрава России	г. Москва	Не работает	Государственный
32	Федеральный научно-клинический центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Димы Рогачева	г. Москва	Не действует	Государственный

33	РОНЦ им. Н.Н. Блохина (детское отделение)	г. Москва	На стадии строительства	Государственный
34	Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова	г. Санкт-Петербург	ПЭТ-сканер, не работает	Государственный
35	НИИТФА	г. Москва	Только циклотрон, тестовый запуск	Государственный
36	Медицинский центр ДВФУ	г. Владивосток	ПЭТ/КТ-сканер, не действует. Нет поставок РФП.	Государственный
37	ФМБА им. А.И. Бурназяна	г. Москва	Только циклотрон, запущен тестово	Государственный
38	УРФУ им. Б.Н. Ельцина	г. Екатеринбург	Циклотрон, не инсталлирован	Государственный
39	Свердловский областной онкологический диспансер	г. Екатеринбург	Идет строительство блока диагностики	Частный
40	ОКБ № 1	г. Екатеринбург	Идет проектирование ПЭТ-центра	частный
41	ФМБА	г. Нижний Новгород	Состоялся тендер на строительство ПЭТ-центра	Государственный
42	Центр ядерной медицины	г. Балашиха	Проектирование ПЭТ-центра	Частный
43	Центр ядерной медицины	г. Подольск	Проектирование части диагностики ПЭТ/КТ	Частный
44	Центр ядерной медицины	г. Пермь	Проектирование ПЭТ-центра	частный
45	Центр ядерной медицины, ОАО Медицина	г. Химки	Строительство ПЭТ-центра	Частный
46	Европейский медицинский центр (1)	г. Москве	ПЭТ-центр на стадии строительства	Частный
47	Европейский медицинский центр (2)	г. Москва	Инсталляция диагностического блока	Частный
48	Центр ядерной медицины	г. Брянск	Планируется инсталляция передвижного ПЭТ/КТ	Частный
49	Центр ядерной медицины	г. Тамбов	Планируется инсталляция передвижного ПЭТ/КТ	Частный
50	Центр ядерной медицины	г. Орел	Планируется инсталляция передвижного ПЭТ/КТ	Частный
51	Центральная клиническая больница РАН	г. Москва	Не работает ПЭТ-сканер, производств. зоны нет	Государственный
52	Центральная Клиническая больница №2 имени Н.А. Семашко ОАО «РЖД»	г. Москва	Пусконаладка ПЭТ-центра	Государственный
53	ФГБУ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России	г. Санкт-Петербург	Не работает, циклотрон восстановлению не подлежит	Государственный
54	Центр ядерной медицины, ФМБА	г. Димитровград	Идет строительство	Государственный

ганизме человека с помощью специальной детектирующей аппаратуры, получают изображение изучаемых внутренних органов человека. Для получения таких изображений используются в основном, гамма- и позитрон-излучающие радионуклиды с достаточно небольшими энергиями гамма-квантов (50–500 кэВ) и короткими периодами полураспада (минуты, часы, десятки часов). Такие радионуклиды получают с помощью реакторов, циклотронов и линейных ускорителей. Для ПЭТ-исследований используются позитронные ультракороткоживущие изотопы.

ПЭТ-центр состоит из трех комплексов – циклотрон для наработки УКЖ радионуклида, радиохимической лаборатории для получения и фасовки конкретного радиофармпрепарата и ПЭТ/КТ или ПЭТ/МРТ-томографа.

При организации ПЭТ-центров их структура может быть различных видов в зависимости от расположения, численности и заболеваемости населения:

1. Исследовательские ПЭТ-центры. Их создают на базе федерального медицинского научного центра, куда возможно входит как медицинское исследование, так синтез новых РФП и последующее экспериментальное и пре-клиническое исследования для регистрации новых препаратов на территории с численностью населения не менее 1,7 млн. чел. Стоимость оборудования такого центра составляет около 15–20 млн. долл. США.

2. Клинические ПЭТ-центры. Размещение такого центра может быть рекомендовано на базе областной клинической больницы или крупного онкологического центра и при онко-

логических диспансерах, краевых и районных больницах. Такой ПЭТ-центр состоит из циклотрона 16–19 МэВ. В нем производят стандартный набор РФП для ПЭТ-исследований (фтордезоксиглюкозу, углерод, аммоний, кислород), оснащение – 2 ПЭТ/КТ. Стоимость оборудования для такого центра составляет примерно 10–15 млн. долл. США. Пропускная способность такого центра около 10 тыс. человек в год. Он должен обслуживать территорию с численностью населения около 1 млн. чел.

3. Клинические мини ПЭТ-центры. Их размещают при онкологическом диспансере, в регионах с населением менее 500–900 тыс. человек или в отдаленном регионе с высокой заболеваемостью. Центр состоит из циклотрона 7,5–10 МэВ, мини-лаборатории и 1 ПЭТ/КТ. Стоимость оборудования такого центра составляет 7–10 млн. долл. США. Пропускная способность такого центра – 2,5 тыс. пациентов в год.

4. Отдельно размещенные ПЭТ-томографы при больницах нуждаются в привозном радиофармпрепарате. На сегодняшний день можно доставлять только  $^{18}\text{F}$ -фтордезоксиглюкозу (период полураспада 120 мин). Стоимость ПЭТ/КТ-томографа составляет от 3 до 5 млн. долл. США. Пропускная способность такого центра – 2,5–4,0 тыс. пациентов в год. Что касается России, то перевозка радиофармпрепарата может осуществляться только в пределах своего региона, перевозка радиофармпрепарата из региона в регион нереальна из-за больших расстояний между территориями, плохих транспортных сообщений и отсутствия проработанных маршрутов перевозки.



Рис. 1. Распределение больных с установленными локализациями новообразований

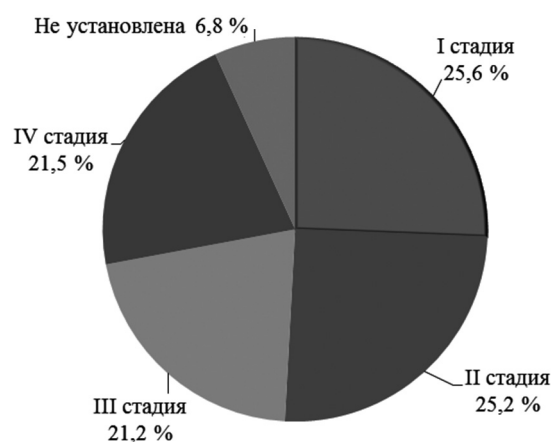


Рис. 2. Первичная диагностика по стадиям установленных онкозаболеваний в РФ



5. В этом случае более уместно использовать варианты мобильных ПЭТ-комплексов, которые могут состоять как из целого комплекса – циклотрона до 8 МэВ, мини-лаборатории и ПЭТ/КТ-томографа, так и просто ПЭТ/КТ-томографа. Данные комплексы позволят обеспечить методами ядерной диагностики небольшие территории с высокой заболеваемостью. Такой мобильный ПЭТ может перемещаться по определенному графику по территории региона и осуществлять диагностику пациентов. Стоимость такого проекта (циклотрон и ПЭТ/КТ в модуле) составляет около 8–11 млн. долл. США, стоимость ПЭТ/КТ-томографа в модуле/трейлере составляет – 4–6 млн. долл. США.

Методики ядерной медицины позволяют внести большой вклад в диагностику и лечение, что увеличивает продолжительность жизни и повышает качество жизни пациента, а это, в свою очередь, позволяет снизить финансовые затраты на лечение за счёт повышения эффективности и сокращения сроков стационарного лечения. Важно раннее выявление заболевания. Если взять США, где пятилетняя выживаемость составляет около 80 % онкологических больных (в России – около 45 %), у 60 % этих больных злокачественные опухоли были выявлены на ранних стадиях болезни и пациентам было обеспечено своевременное эффективное лечение.

Что касается поздних стадий заболеваний, то благодаря применению комплекса радионуклидной диагностики и радиотерапии качественная жизнь пациентов продляется на 3–4 года.

Зарубежными авторами были проведены исследования по оценке стоимости и экономической эффективности лечебно-диагностических подходов с использованием высокотехнологичных методов медицины. Исследователи пришли к выводу, что экономия затрат по сравнению с обычной лечебной тактикой составляет в среднем 500–600 евро на одного пациента.

В связи с этим, результаты исследований, проведенных в США, Японии, странах Западной Европы и Австралии, показывают, что применительно к системам здравоохранения этих стран вложения 1 долл. США в национальную ядерную медицину позволяют сэкономить от 1,5 до 4 долларов других расходов на здравоохранение (амбулаторное и стационарное лечение).

Созданный в 70-е годы прошлого века как научный инструмент, метод ПЭТ занял прочное место в клинической практике. В развитых

странах ПЭТ-диагностика входит в число обязательных исследований ряда онкологических заболеваний с возмещением расходов страховыми компаниями. В Японии проводятся даже скрининговые ПЭТ-исследования групп риска, например, заболеваний раком молочной железы. В последние годы также появилось много исследований по оценке экономической эффективности метода. Их результаты продемонстрировали, что полученная методом ПЭТ уникальная диагностическая информация позволяет существенно сократить расходы на лечение онкологических больных, включая оплату листов временной нетрудоспособности и нахождения в стационарах и возможности избежать дорогостоящих операций. ПЭТ-исследование является критически важным для диагностики опухолей мозга и оценки эффективности их лечения. В большинстве случаев в нейрохирургии ПЭТ назначается по жизненным показаниям для постановки правильного диагноза, поскольку ошибочная трактовка состояния опухоли и головного мозга ведет к неадекватному лечению и может угрожать жизни пациента.

Метод ПЭТ, входящий в группу методов молекулярной диагностики, относится к группе высокотехнологичных методов. Стоимость ПЭТ/КТ исследования достаточно высока, в том числе и из-за высокой цены единицы активности используемых РФП (табл. 5). Так, согласно последним данным, расчетная стоимость производства диагностической дозы  $^{18}\text{F}$ -ФДГ (наиболее распространенного ПЭТ-радиофармпрепарата) – в Европе варьирует от 155 до 237 евро, не включая стоимость доставки. Само же ПЭТ-исследование в Европе стоит около 1000–1500 евро.

В России ФДГ по активностям на исследование продает только РНЦРХТ (Санкт-Петербург). Стоимость препарата ориентировочно составляет 295 евро.

Оценка стоимости проведения ПЭТ/КТ-сканирования вызывает некоторые разногласия в медицинском сообществе. К сожалению, ПЭТ/КТ-исследование не включено в обязательное медицинское страхование. В большинстве случаев оказывается платной услугой. Например, в Америке, некоторые виды исследования по локализациям включены в ОМС:

✓ Установление начального диагноза – колоректальный рак, пищевод, голова и шея (не входит щитовидная железа и ЦНС), лимфома, немелкоклеточный рак легкого, яичники, мозг, шейка матки\* (с некоторыми исключе-

Таблица 5

## Стоимость исследования ПЭТ/КТ в рублях

N	Учреждение	<sup>18</sup> F ФДГ иссл. всего тела	<sup>11</sup> C метионин иссл. мозга
1	Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН (НЦССХ)	ПЭТ – 27000, ПЭТ/КТ – 35000	27000 Цена варьирует в зависимости от вида иссл.
2	ФГБУН "Российский онкологический научный центр им. Н. Н. Блохина" (ФГБУН РОНЦ им. Н. Н. Блохина)	39000 – 60000 (варьирует в зависимости от вида иссл.)	39000 иссл. мозга с <sup>11</sup> C– метионином не проводится. иссл. выполняется с <sup>11</sup> C – тирозином
3	ОАО «Медицина»	58374	Не проводится
4	«Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой» (ИМЧ РАН)	25000	23000 <sup>11</sup> C – метионин
5	ФГУН "Российский научный центр радиологии и хирургических технологий" Министерства здравоохранения РФ РНЦРХТ МЗ РФ)	ПЭТ – 18000, ПЭТ/КТ – 22000	<sup>11</sup> C–метионин ПЭТ – 20000 , ПЭТ/КТ – 22000 <sup>11</sup> C–бутират натрия ПЭТ – 18000 , ПЭТ/КТ – 20000 <sup>11</sup> C–холин (иссл. простаты) ПЭТ – 6000 , ПЭТ/КТ – 10000
6	Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны РФ (ФГКВО УВПО ВМА им. С.М. Кирова)	25 000 Иссл. всего тела	15 000
8	ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический)», пос. Песочный.	27000	Не проводится
9	Лечебно-диагностический центр Международного института биологических систем им. С.М. Березина (ЛДЦ МИБС)	31000 ПЭТ/КТ всего тела	18 000 Иссл. мозга с <sup>18</sup> F ФДГ
10	ФГБУЗ «Сибирский клинический центр» ФМБА России (ФГБУЗ СКЦ ФМБА России), Красноярск	47 500 ПЭТ/КТ всего тела	Не проводят
11	ГЛПУ «Челябинский областной клинический онкологический диспансер» (ГЛПУ ЧОКОД)	35626	Не проводят
12	ГБУЗ Тюменской области «Областной онкологический диспансер» (ГБУЗ ТО «Онкодиспансер»)	43 000	Не проводят
13	Окружной онкологический центр окружной клинической больницы (ООЦ ОКБ), Ханты-Мансийск	33000	33000
14	ГУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер Министерства здравоохранения Республики Татарстан» (ГУЗ «РКОД МЗ РТ»)	28613	21000
15	КГБУЗ «Краевой клинический центр Онкологии». Хабаровск	30200 ПЭТ/КТ всего тела	
16	Межрегиональный медицинский центр ранней диагностики и лечения онкологических заболеваний, Воронеж	32900	Не проводят
17	Центр ядерной медицины, Уфа	47000	Не проводят
18	Центр ядерной медицины, Курск	47000	Не проводят

ниями), легкое с мелкоклеточным раком, саркома мягких тканей, поджелудочная железа, семенники, щитовидная железа, грудь\* (с некоторыми исключениями), меланома\* (входит с некоторыми исключениями), солидные опухоли, миелома.

- ✓ Исследование в процессе лечения – колоректальный рак, пищевод, голова и шея (не включая ЦНС и щитовидной железы), лимфома, немелкоклеточный рак легкого, яичники, мозг, шейка матки, легкое с мелкоклеточным раком, саркома мягких тканей, поджелудочная железа, семенники, простата, щитовидная железа, молочная железа\*, меланома\*, солидные опухоли, миелома, все другие виды рака.

Принцип функциональной визуализации опухолей значительно отличает ПЭТ от анатомо-топографических методов лучевой диагностики (рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии), которые оценивают состояние опухолевых субстратов по изменению их размеров и структуры. Специфичность ПЭТ заключается в возможности визуализации жизнеспособной опухолевой ткани и оценки ее биологической активности по степени интенсивности накопления в тканях метаболического РФП. В табл. 6 приведено сравнение методов диагностики с ПЭТ.

Согласно The Journal of Nuclear Medicine Supplement, метод ПЭТ/КТ повышает точность диагностики и определения стадии развития опухоли на 48–60 %, на 12–27 % лучше уточняет клинические заключения по сравнению с отдельно проводимыми ПЭТ и КТ. У более 63 % пациентов с помощью ПЭТ/КТ удается также скорректировать параметры лучевой терапии.

## Выводы

1. Исходя из потребности нашей страны во внедрении большого количества ПЭТ-центров, различными государственными корпорациями и общественными организациями были разработаны программы по ядерной медицине, которые планировались к внедрению с 2015 г. Но к сожалению, на 2015–2017 гг. в бюджете запланировано сокращение затрат на 21,4 %.

\* Исследование ПЭТ/КТ осуществляется только после основных видов диагностики и лечения. Данные виды нозологий входят в исследование по специальным государственным программам.

Таблица 6

### Сравнение других методов диагностики с методом ПЭТ по точности диагностики

Тип рака	Другие методы исследования	ПЭТ
Рак молочной железы	67 %	89 %
Рак толстой кишки	80 %	94 %
Рак желудка и пищевода	68 %	83 %
Рак головы и шеи	65 %	87 %
Рак печени	81 %	93 %
Рак легких	68 %	82 %
Лимфома	64 %	88 %
Меланома	80 %	91 %
Рак поджелудочной железы	65 %	81 %
Рак матки	43 %	87 %

\* Источник: The Journal of Nuclear Medicine Supplement, Volume 42, Number 5, May 2001 and UCLA.

Причем сокращение затрат на здравоохранение уменьшается ежегодно. Получается парадокс, методики высокотехнологичной медицинской помощи во всем мире развиваются, в России, наоборот, все затраты на медицину сокращаются.

Хотя, как отметил Президент России В.В. Путин, важнейшей национальной задачей Российской Федерации является программа по снижению смертности за счет совершенствования методов ранней диагностики, лечения и реабилитации пациентов с сердечно-сосудистыми и онкологическими заболеваниями, на долю которых приходится около 70 % граждан России.

Важно учитывать тот фактор, что развитие экономики России напрямую зависит от здоровья всех слоев населения и нужно прикладывать все усилия для улучшения качества жизни трудоспособного населения. Необходимо включить ПЭТ-исследование в услугу ОМС на некоторые виды заболеваний, что позволит сделать эту методику более доступной.

2. Исходя из анализа текущего состояния существующих ПЭТ-центров в России, можно сказать, что на сегодняшний день их количество составляет менее 25 % от требуемого числа. Это показывает, что ядерная медицина в России находится в очень плачевном состоянии, хотя в мире ядерная медицина занимает важное место в клинической практике и ей зачастую нет альтернативы.

Необходимо принять на государственном уровне программу по ядерной медицине.

3. Как известно, ПЭТ-исследование является дорогостоящим процессом, за счет работы на импортном оборудовании, сервисе, который составляет ежегодно около 15 % от основной стоимости оборудования, дорогих расходных материалов для радиохимии. Поэтому важной составляющей является решение проблемы импортозамещения оборудования ядерной медицины за счет собственных разработок. Это позволит сделать исследования методами ядерной медицины более доступными. На сегодняшний день благодаря внедрению программы Минпромторга (2012–2022 гг.), началось финансирование новых разработок, включая некоторое медицинское оборудование. В настоящее время ряд организаций ведет научные разработки по генераторам, радиофармпрепаратам, томографам.

4. Важнейшей задачей для грамотного запуска и работы ПЭТ-центров является подготовка соответствующих кадров, таких как, медицинских физиков, инженеров оборудования, радиохимиков, специалистов контроля качества, специалистов по GMP, радиологов. В России сейчас существует только 4 учебные базы, такие как ФГБУН РОНЦ им Н.Н. Блохина, ФГБУ ФМБА им. А.И. Бурназяна, ФГБУ РНЦРХТ МЗ РФ, ФГБУН Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой.

## Список литературы

1. Состояние онкологической помощи населению России в 2013 году. Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой, 2014.
2. Труфанов Г.Е. и соавт. Совмещенная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография в онкологии. 2005.
3. Доклад общественной палаты РФ. Статус и перспективы развития ядерной медицины и лучевой терапии в России на фоне мировых тенденций. М. 2008. <http://refdb.ru/look/1223833-pall.html>.
4. Голикова Т. Проект доклада министра здравоохранения и социального развития РФ по развитию ядерной медицины на заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию при Президенте РФ <http://www.zdrav.ru/articles/interview/detail.php?ID=18753>.
5. Makeev С.С., Tarasov В.В. Ядерная медицина в США.
6. Программа развития Минпромторга 2013–2022 гг. [http://minpromtorg.gov.ru/activities/state\\_programs/list/](http://minpromtorg.gov.ru/activities/state_programs/list/).
7. Наркевич Б.Я., Костылев В.А. и соавт. Основы обеспечения РБ в медицине. Учебное пособие. – М., 2006.
8. В.А. Костылев. Медицинская атомная стратегия. – М. Издательство “Тровант” 2013.
9. Хмелев А.В., Ширяев С.В., Костылев В.А. Позитронно-эмиссионная томография. – М., АМФР. АМФ-пресс, 2004.
10. Медико-физические основы радионуклидной терапии. и др. Учебное пособие. – М., 2006.
11. The Journal of Nuclear Medicine, Supplement, **42**, No. 5, May 2001 and UCLA.
12. Nuclear medicine in the next decade. EANM Working Party. // EJNM, 2012.
13. European science foundation. NuPecс. Nuclear Physics European Collaboration Committee. Nuclear Physics for Medicine.
14. Kenneth J. Nichols. Review of Nuclear Medicine. Hofstra University School of Medicine.
15. Best practice in Nuclear Medicine. Part 1. A technologist's guide. EANM.
16. Principles and practice of PET/CT. Part 1. A technologist's guide. EANM.

## STATUS AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY METHODS IN RUSSIA

V.A. Kostylev<sup>1</sup>, O.A. Ryzhikova<sup>2</sup>, V.B. Sregienko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Association of Medical Physicists in Russia, Moscow, Russia

<sup>2</sup> The Russian Cardiology Research and Production Complex, Moscow, Russia

This article presents statistical data of the number and operation of positron emission tomography centers in Russia. A description of the types of PET centers and a comparison of the equipment availability in the world is given. The cost of PET-diagnostics in Russia is indicated. The comparison of PET-diagnostics with other methods of diagnostics by accuracy is shown. The results are reported in the form of conclusions.

Key words: PET, general status, Russia

E-mail: [kostylev@amphr.ru](mailto:kostylev@amphr.ru)