

## ЛЕКЦИИ И ОБЗОРЫ / LECTURES AND REVIEWS

УДК 539.07: 616.71

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-4-9-15>**МЕТОДЫ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ. ЧАСТЬ 1: ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

<sup>1,2</sup>А. В. Водоватов<sup>✉</sup>, <sup>1,3,4</sup>Л. А. Чипига<sup>✉</sup>, <sup>1,5</sup>А. В. Петрякова<sup>✉\*</sup>, <sup>3</sup>А. А. Станжевский<sup>✉</sup>, <sup>3</sup>Д. Н. Майстренко<sup>✉</sup>,  
<sup>3</sup>Д. А. Важенина<sup>✉</sup>, <sup>3</sup>Д. С. Сысоев<sup>✉</sup>, <sup>6,7,8</sup>С. А. Рыжов<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П. В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup>Городская больница № 40 Курортного района, Санкт-Петербург, Россия

<sup>6</sup>Ассоциация медицинских физиков России, Москва, Россия

<sup>7</sup>Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

<sup>8</sup>Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Москва, Россия

Существующие недостатки подходов к планированию радионуклидной терапии могут приводить к избыточному облучению здоровых органов и тканей, что ассоциировано с развитием детерминированных и стохастических эффектов. При этом в некоторых случаях поглощенная доза в патологическом очаге (опухоли) может оказаться ниже необходимой предписанной терапевтической дозы, что снижает эффективность радионуклидной терапии и сокращает выживаемость пациентов. Данная проблема связана с тем, что планирование курса радионуклидной терапии основано на введении фиксированных активностей радиофармацевтических препаратов, или активностей, нормированных на единицу массы тела пациента. Такой подход не позволяет достоверно определять поглощенные дозы в патологических очагах или в критических органах, полученные конкретным пациентом, что связано с особенностями биораспределения в каждом конкретном случае. В выпущенном в 2021 г. Отчете № 96 Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям «Проведение радионуклидной терапии под дозиметрическим контролем» были представлены современные подходы к дозиметрическому планированию радионуклидной терапии на основе персонализированной оценки поглощенных доз в органах и тканях по данным медицинской визуализации. В первой части нашей работы проанализированы предложенные в Отчете № 96 методы классификации облучаемых органов и тканей, а также представлена номенклатура различных анатомических зон, подлежащих облучению на примере радионуклидной терапии с <sup>177</sup>Lu-DOTATATE. Термины и определения согласованы с предыдущими отчетами Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям по дозиметрическому планированию дистанционной лучевой терапии. Предложенный понятийный аппарат будет использован в последующих публикациях авторов, посвященных разработке требований к дозиметрическому планированию радионуклидной терапии.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радионуклидная терапия, радиофармпрепарат, поглощенная доза, новообразования, критические органы

\*Для корреспонденции: Петрякова Анастасия Валерьевна, e-mail: [nastya.petryakova@gmail.com](mailto:nastya.petryakova@gmail.com)

Для цитирования: Водоватов А.В., Чипига Л.А., Петрякова А.В., Станжевский А.А., Майстренко Д.Н., Важенина Д.А., Сысоев Д.С., Рыжов С.А. Методы дозиметрического планирования при проведении радионуклидной терапии. Часть 1: термины и определения // *Лучевая диагностика и терапия*. 2022. Т. 13, № 4. С. 9–15, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-4-9-15>.

## METHODS OF DOSIMETRY-BASED TREATMENT PLANNING IN RADIOPHARMACEUTICAL THERAPY. PART 1: TERMINOLOGY AND DEFINITIONS

<sup>1,2</sup>Aleksandr V. Vodovatov<sup>ORCID</sup>, <sup>1,3,4</sup>Larisa A. Chipiga<sup>ORCID</sup>, <sup>1,5</sup>Anastasia V. Petryakova<sup>ORCID</sup>\*, <sup>3</sup>Andrei A. Stanzhevskii<sup>ORCID</sup>,  
<sup>3</sup>Dmitriy N. Maistrenko<sup>ORCID</sup>, <sup>3</sup>Daria A. Vazhenina<sup>ORCID</sup>, <sup>3</sup>Dmitriy S. Sysoev<sup>ORCID</sup>, <sup>6,7,8</sup>Sergey A. Ryzhov<sup>ORCID</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P. V. Ramzaev, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies, St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup>Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg, Russia

<sup>5</sup>The City Hospital No. 40 of the Kurortny District, St. Petersburg, Russia

<sup>6</sup>Association of Medical Physicists of Russia, Moscow, Russia

<sup>7</sup>Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

<sup>8</sup>Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

Existing drawbacks of the radionuclide therapy planning may lead to the excessive irradiation of the healthy organs and tissues that is associated with the development of deterministic and stochastic effects. In some cases absorbed dose in region of interest (lesion) can be lower than prescribed therapeutic dose. That reduces the effectiveness of radionuclide therapy and reduces survival rate of patients. These problems are associated with administration of the fixed activity of radionuclide in radiopharmaceutical, or administration of activity normalized per unit of body mass or body surface. That approach does not allow assessing absorbed doses in lesions or healthy tissues for individual patients. Report of International Commission on Radiation Units and Measurements 96 «Dosimetry-guided radiopharmaceutical therapy», published in 2021, presents modern approaches for the dosimetric planning of radionuclide therapy based on the individualized assessment of absorbed doses in organs and tissues. This study was aimed at the analysis of proposed in Report 96 methods of classification of irradiated regions, organs and tissues based on example of radionuclide therapy with <sup>177</sup>Lu-DOTATATE. Proposed terms and definitions are harmonized with previous reports of International Commission on Radiation Units and Measurements on external radiation therapy. Terms and definitions analyzed in the current study will be used in the following studies aimed at the development of the requirements on dosimetric planning of radionuclide therapy.

**KEYWORDS:** radionuclide therapy, radiopharmaceutical, absorbed dose, tumors, region at risk

\*For correspondence: Anastasia V. Petryakova, e-mail: nastya.petryakova@gmail.com

**For citation:** Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Petryakova A.V., Stanzhevskii A.A., Maistrenko D.N., Vazhenina D.A., Sysoev D.S., Ryzhov S.A. Methods of dosimetry-based treatment planning in radiopharmaceutical therapy. Part 1: terminology and definitions // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2022. Vol. 13, No. 4. P. 9–15, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-4-9-15>.

**Введение.** В последние годы стремительно увеличивается число процедур радионуклидной терапии (РНТ), выполняемых как в Российской Федерации, так и в зарубежных странах, что главным образом связано с расширением номенклатуры доступных терапевтических радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП) [1, с. 20]. Как и при других видах лучевой терапии, облучение здоровых органов при РНТ может приводить к развитию неблагоприятных (детерминированных и стохастических) эффектов, а также к осложнениям, существенно влияющим на качество жизни, что ограничивает применимость данного метода [2, с. 47; 3, с. 9–12]. В то же время поглощенная доза в патологическом очаге (опухоль) в некоторых случаях может оказаться ниже необходимой предписанной терапевтической дозы, что снижает эффективность РНТ и сокращает выживаемость пациентов. Оптимизация баланса между контролем над опухолью и развитием токсических эффектов в здоровых тканях с учетом прочих аспектов (состояние пациента, соответствие клиническим назначениям, стоимость курса

лечения и пр.) является ключевым параметром при проведении РНТ [4, с. 6; 5, с. 291].

До 2021 г. общепризнанных единых стандартов для дозиметрического планирования при проведении РНТ не существовало ни в отечественной, ни в зарубежной практике. В 2021 г. был опубликован отчет Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ) № 96 «Проведение радионуклидной терапии под дозиметрическим контролем» [6, с. 18], включающий в себя стандарты расчетов распределений поглощенной дозы в органах и тканях, подлежащих облучению, и критических органах, а также оценки эффективности РНТ по сравнению с другими методами лучевой терапии. В указанном отчете представлены принципиально новые подходы к определению (выделению) анатомических зон, облучаемых в процессе РНТ за счет накопления РФЛП. Данные подходы в отечественной практике до сих пор не применялись.

**Цель.** Анализ приведенных в отчете терминов и определений для различных анатомических зон,

облучающихся за счет накопления в них РФЛП, для оценки возможности внедрения предложенных МКРЕ подходов в отечественную практику.

**Особенности проведения РНТ по сравнению с другими видами лучевой терапии.** В большинстве случаев РНТ назначается как системное лечение, однако некоторые РФЛП вводятся локально (например, микросферы с  $^{90}\text{Y}$  [7, с. 59]). Поглощенные дозы в органах и тканях определяются фармакокинетикой РФЛП, то есть скоростями его накопления и выведения в различных органах и тканях, активностью радионуклида во введенном препарате, а также энергией и видом излучения, испускаемого радионуклидом. Во многих случаях проспективная оценка распределения РФЛП по органам и тканям возможна до проведения курса РНТ с использованием предтерапевтической дозы того же препарата (например,  $^{131}\text{I-NaI}$ ) или его тераностической пары (например,  $^{111}\text{In}$ - и  $^{90}\text{Y}$ -ибритумомаб тиуксетана или  $^{68}\text{Ga}$ - и  $^{177}\text{Lu-PSMA}$  [8, с. 777]). Визуализация и измерение накопления активности радионуклида до и во время терапии позволяют разрабатывать план лечения и верифицировать оценку поглощенной дозы для каждого индивидуального пациента.

Проведение персонализированной дозиметрии пациента при РНТ обусловлено следующими факторами [6, с. 72]:

- возможность осуществления проспективного планирования облучения пациента, то есть адаптации лечения к конкретному пациенту на основе прогнозируемых поглощенных доз в критических органах и патологических очагах;

- возможность персонализированной дозиметрии по данным медицинской визуализации (или других измерений), полученным после одной фракции облучения (введения РФЛП) или всего курса РНТ (посттерапевтическим данным), например, с помощью сцинтиграфии или однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) для сравнения полученных поглощенных доз с предписанными, а также для отчетности о дозах облучения;

- возможность оценки связи между доставленными поглощенными дозами и радиобиологическим ответом патологических очагов и критических органов, в том числе и для раннего выявления токсических эффектов;

- возможность увеличения экономической эффективности при использовании дорогостоящих РФЛП, а также оптимизации логистики и планирования поставок РФЛП.

#### **Терминология, вводимая Отчетом МКРЕ № 96.**

В связи с тем, что методики и подходы к облучению опухолей в РНТ существенно отличаются от принятых в дистанционной лучевой терапии или брахитерапии, МКРЕ в своем отчете ввело новый понятийный аппарат для описания органов и тканей, подлежащих облучению, а также критических здоровых органов. Предложенный понятийный аппарат согла-

суется с терминами, введенными МКРЕ в предыдущих отчетах по дистанционной лучевой терапии и брахитерапии.

В первую очередь вводится понятие *органов и тканей, накапливающих радиофармпрепарат (радионуклид)*, — *зона распределения (зона локализации)*, ЗР (*Localization region, LR*). По смысловой нагрузке понятие ЗР очень близко к уровню фонового накопления или нормальному распределению РФЛП. ЗР является специфической для каждого радиофармпрепарата и определяется по результатам клинических и доклинических испытаний. Например, для РНТ, проводимой с мечеными радионуклидами пептидами-аналогами соматостатинов, в качестве ЗР будут выступать опухоли с высокой экспрессией соматостатиновых рецепторов, а также здоровые органы и ткани, в которых проходит метаболизм пептидов (почки, тонкий кишечник, печень и селезенка).

Из ЗР *выделяются органы и ткани, в которых возможно количественно определить накопленный РФЛП и рассчитать временные интегралы активности, так называемые зоны-источники, ЗИ* [9, с. 2; 10, с. 142] (*Source regions, SR*). Активность РФЛП в таких органах/тканях может быть определена различными способами, в зависимости от размера, плотности и расположения органа/ткани. Предпочтительным является проведение расчетов на базе количественной оценки накопления РФЛП в ЗИ по изображениям, полученным с помощью методов радионуклидной диагностики (ОФЭКТ, совмещенной с компьютерной томографией — ОФЭКТ/КТ, позитронной эмиссионной томографии, совмещенной с КТ — ПЭТ/КТ). При этом происходит оконтуривание (определение истинного размера) органа или ткани, в которых накопился РФЛП, определение объема интереса (VOI, объема в котором накопился радионуклид), количественная оценка сигнала, полученного детекторами ОФЭКТ или ПЭТ-томографа, и пересчет сигнала в активность. Такие ЗИ относят к *оконтуриваемым, ЗИок (Delineable source regions)*. К ЗИок, как правило, относят крупные органы (почки, печень, селезенка, легкие) и крупные патологические очаги. В отдельных случаях понятие ЗИок может относиться и к отдельной части органа, например, при терапии рака печени микросферами с  $^{90}\text{Y}$  с крайне неоднородным распределением РФЛП между сегментами печени.

Для ряда ЗИ определить истинные размеры органа/ткани и/или области накопления РФЛП невозможно. К таким ЗИ относятся красный костный мозг, поверхность кости, слюнные железы, отдельные лимфатические узлы, небольшие патологические очаги. Для этих ЗИ определение истинных размеров затруднено в связи с ограниченным пространственным разрешением методов радионуклидной диагностики. Например, минимальный размер детектируемого объекта с учетом эффекта частичного объема Partial volume effect, PVE для ОФЭКТ/КТ

составляет 10 мм; для ПЭТ/КТ — 5 мм. Данные ЗИ относятся к *неоконтуриваемым, ЗИнеок (Non-delineable source regions)*. Определение активности радионуклида в ЗИнеок проводится по данным косвенных измерений (например, определении активности радионуклида в крови), результатам биопсий или с использованием фармакокинетических моделей распределения РФЛП в организме.

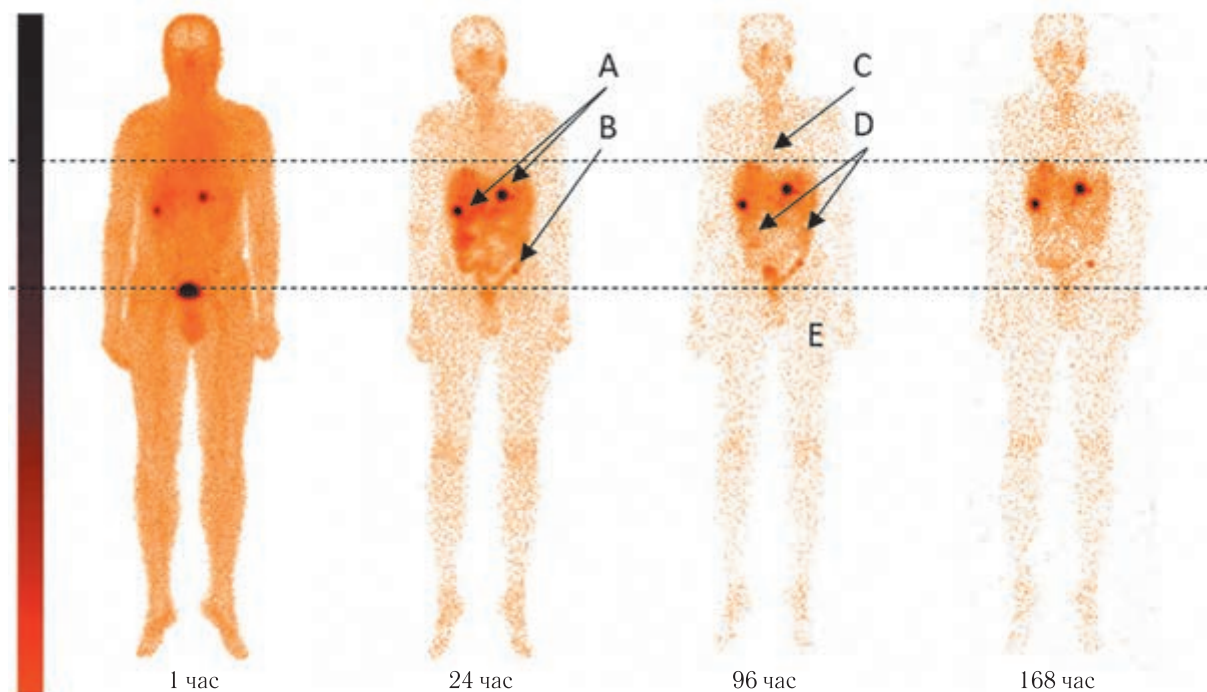
Отдельно следует рассматривать РНТ с радионуклидами с низким выходом гамма-излучения (например,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{225}\text{Ac}$ ), для которых использование методов медицинской визуализации с целью количественной оценки накопления радионуклидов в ЗИ затруднено (практически невозможно). Для таких радионуклидов следует проводить количественную оценку только по фармакокинетическим моделям.

В контексте РНТ для дозиметрического планирования *выделяются подлежащие облучению органы и ткани (или анатомические области), где расположены патологические очаги, которые подвергнутся лечению с помощью РНТ и для которых определяются массы органов, накопленные активности и соответствующие поглощенные дозы — зона облучения под дозиметрическим контролем (ЗОДК) (Dosimetric treatment region, DTR)*. Как и для ЗИ, ЗОДК подразделяются

на *оконтуриваемые, ЗОДКок, и на неоконтуриваемые, ЗОДКнеок*; критерии подразделения соответствуют таковым для ЗИ. Определение ЗОДК происходит по результатам предыдущих обследований пациента, его клинического состояния и пр.

Также в рамках планирования РНТ происходит выделение и определение *критических органов и тканей, КО (Region at risk, RAR) — здоровых органов и тканей, облучение которых в ходе РНТ может привести к развитию неблагоприятных эффектов, осложнениям или функциональной недостаточности и для которых определяются массы и соответствующие поглощенные дозы в органах*. Как и для ЗИ, КО подразделяются на *оконтуриваемые, КОок* (например, почки, печень, легкие) и *неоконтуриваемые, КОнеок* (например, красный костный мозг, почечные канальцы и пр.). Отдельно выделяют *КОок, для которых определение поглощенной дозы проводится для оценки вероятности развития стохастических эффектов — КОстох (region at risk for secondary effects, RARse)*. Общие подходы к оценке накопления радионуклида в КОок и КОнеок соответствуют таковым для ЗИ.

На рис. 1 представлено распределение органов и тканей пациента в соответствии с предложенной



**Рис. 1.** Распределение органов и тканей у пациента в соответствии с предложенной терминологией, проходящего РНТ с  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE. Горизонтальные пунктирные линии соответствуют области сканирования ОФЭКТ/КТ, проведенного через 1, 24, 96 и 168 ч после введения РФЛП: А — крупные патологические очаги накопления РФЛП (опухоли); В — небольшие патологические очаги накопления РФЛП или очаги, расположенные за пределами зоны сканирования ОФЭКТ/КТ; С — красный костный мозг; D — правая и левая почки; E — распределение РФЛП во всем теле. Адаптировано из Отчета МКРЕ 96 [6, с. 78]

**Fig. 1.** Example of the application of the suggested nomenclature for a organs and tissues of patient receiving  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE radiopharmaceutical therapy. The horizontal dashed lines indicate the field-of-view of the SPECT/CT that were acquired representing the activity distribution at 1, 24, 96, and 168 h after administration. A — tumors; B — small tumors or tumors that are located outside the SPECT/CT field-of-view; C — red bone marrow; D — right and left kidneys; E — whole body activity distribution. Adapted from ICRU 96 [6, p. 78]



терминологией для РНТ с препаратом  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE.

Более детальное распределение органов и тканей пациента представлено в таблице.

ся фиксированная активность РФЛП без количественного определения накопления радионуклидов в органах и тканях и дозиметрии, что приводит к значительным неопределенностям в оценке лечеб-

Таблица

**Органы и ткани пациента, проходящего РНТ с препаратом  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE, распределенные в соответствии с предложенной терминологией Отчета МКРЕ № 96**

Table

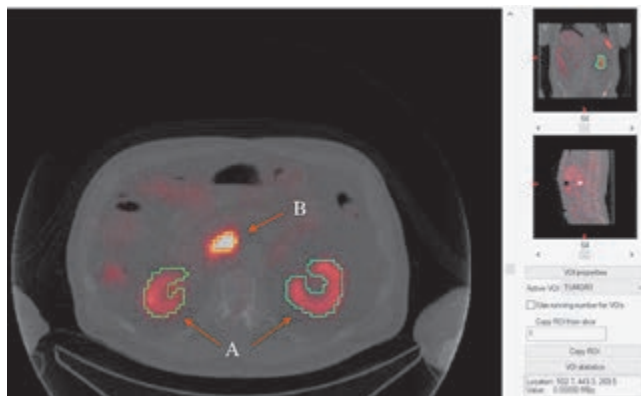
**Organs and tissues of patient receiving  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE radiopharmaceutical distributed according nomenclature suggested in report ICRU 96**

Орган и/или ткань в соответствии с предложенной терминологией	Примеры органов и тканей	Локализация органа и/или ткани на рисунке 1	Метод определения накопления РФЛП в органе и/или ткани
Зоны-источники, ЗИ (SR)	Все органы и ткани, накапливающие $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE, включая очаги, печень, почки, селезенку, тонкий кишечник, слюнные железы, щитовидную железу	Все тело	Модели биораспределения $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE в теле пациента
Оконтуриваемые органы и ткани, в которых количественно определяется активность радионуклида, ЗИок (SR <sub>D</sub> )	Очаги Левая и правая почки Все тело	A D E	ОФЭКТ/КТ ОФЭКТ/КТ Сцинтиграфия
Неоконтуриваемые органы и ткани, в которых количественно определяется активность радионуклида, ЗИнеок (SR <sub>ND</sub> )	Красный костный мозг	C	Модели биораспределения $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE в теле пациента Активность $^{177}\text{Lu}$ в крови пациента
Подлежащие облучению оконтуриваемые органы и ткани, в которых расположен очаг и для которых определяется поглощенная доза, ЗОДКок (DTR <sub>D</sub> )	Очаги	A	ОФЭКТ/КТ, КТ
Подлежащие облучению неоконтуриваемые органы и ткани, в которых расположен очаг и для которых определяется поглощенная доза, ЗОДКнеок (DTR <sub>ND</sub> )	Небольшие очаги, в которых погрешность определения поглощенной дозы будет превышать установленные границы, или очаги за пределами зоны ОФЭКТ/КТ сканирования	B	Модели биораспределения $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE в теле пациента
Оконтуриваемые критические органы, КОок (RAR <sub>D</sub> )	Левая и правая почки	D	КТ
Неоконтуриваемые критические органы, КОнеок (RAR <sub>ND</sub> )	Красный костный мозг	C	Модели биораспределения $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE в теле пациента
Критические органы, в которых оценивается вероятность развития стохастических эффектов, КОстox (RAR <sub>SE</sub> )	Все тело	E	Модели биораспределения $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE в теле пациента

Пример КОок и ЗОДКок представлен на рис. 2.

**Заключение.** Представленные в Отчете МКРЕ № 96 подходы к планированию РНТ, в частности к классификации зон облучения, требований к оценке поглощенных доз в органах и тканях, направлены в первую очередь на гармонизацию с существующими подходами к планированию дистанционной лучевой терапии и брахитерапии. Несмотря на все уникальные возможности РНТ по персонализации планов лечения, лечение пациентов на основе детального дозиметрического планирования реализовано крайне ограничено. Как правило, пациентам вводит-

ного эффекта РНТ. Ограниченное использование возможностей диагностической визуализации распределения РФЛП по органам и тканям пациентов приводит к невозможности оценить последствия (побочные и негативные эффекты) облучения органов и тканей. Все эти факторы негативно сказываются на эффективности РНТ и приводят либо к недостаточному облучению патологических очагов (т.е. недостижению терапевтического эффекта), либо к переоблучению критических органов (т.е. к развитию радиотоксичности, детерминированным эффектам и развитию вторичных раков).



**Рис. 2.** Пример среза ОФЭКТ/КТ, на котором выделены: А — почки (КОок) и В — патологический очаг накопления РФЛП (ЗОДКок). Адаптировано из Отчета МКРЕ 96 [6, с. 174]

**Fig. 2.** Axial SPECT/CT slice with volume of interests delineated over A — the kidneys (RARD) and B — tumor (DTRD). Adapted from ICRU 96 [6, p. 174]

МКРЕ предлагает использовать для планирования РНТ подходы, аналогичные используемым

при планировании дистанционной лучевой терапии: определение органов и тканей, подвергущихся облучению; оценка поглощенной дозы в патологических очагах и критических органах и тканях; оценка вероятности развития стохастических эффектов. Основным элементом такого подхода является разработка и внедрение четкого понятийного аппарата (терминов и определений) для всех анатомических зон, облучаемых за счет накопления РФЛП. Предложенные МКРЕ термины позволяют описать все анатомические зоны: патологические очаги, облучаемые органы и ткани, в которых необходимо оценивать поглощенную дозу в связи с высоким накоплением активности РФЛП, критические органы и ткани. Отдельно предписывается необходимость оценки возникновения стохастических эффектов у пациента. Предложенные термины и определения целесообразно интегрировать в нормативно-методические документы Роспотребнадзора и Минздрава, чтобы в дальнейшем разрабатывать методики дозиметрического планирования РНТ, гармонизированные с международными подходами.

#### Сведения об авторах:

**Водоватов Александр Валерьевич** — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: a.vodovатов@niirg.ru; ORCID 0000-0002-5191-7535;

**Чипига Лариса Александровна** — кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий «Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: larisa.chipiga@gmail.com; ORCID 0000-0001-9153-3061;

**Петрякова Анастасия Валерьевна** — н.о. младшего научного сотрудника лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; инженер по радиационной безопасности Городской больницы № 40 Курортного административного района; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, 8; e-mail: nastya.petryakova@gmail.com; ORCID 0000-0003-2663-9091;

**Станжевский Андрей Алексеевич** — доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; ORCID 0000-0002-1630-0564;

**Майстренко Дмитрий Николаевич** — доктор медицинских наук, директор федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; ORCID 0000-0001-8174-7461;

**Важенина Дарья Андреевна** — доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории тераностики онкологических заболеваний федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: dariavazhenina@mail.ru; ORCID 0000-0002-6236-709X;

**Сысоев Дмитрий Сергеевич** — кандидат физико-математических наук, руководитель группы разработки и производства приборов для ядерной медицины федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: dssysoev@mail.ru; ORCID 0000-0003-2792-3852;

**Рыжов Сергей Анатольевич** — вице-президент Ассоциации медицинских физиков России; начальник отдела радиационной безопасности и медицинской физики федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; научный сотрудник государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: sergey.ryzhov@fccho-moscow.ru; ORCID 0000-0002-0640-7368.

#### Information about authors:

**Aleksandr V. Vodovатов** — Cand. of Sci. (Biol.), Head of Laboratory, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P. V. Ramzaev; docent, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 197101, Saint Petersburg, Mira st. 8; e-mail: a.vodovатов@niirg.ru; ORCID 0000-0001-9153-3061;

**Larisa A. Chipiga** — Cand. of Sci. (Tech.), research fellow, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P. V. Ramzaev; research fellow, A. M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies; docent, Almazov National Medical Research Centre, 197101, Saint Petersburg, Mira st. 8; e-mail: larisa.chipiga@gmail.com; ORCID 0000-0002-5191-7535;

**Anastasia V. Petryakova** — acting junior researcher, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P. V. Ramzaev; radiation safety engineer, St. Petersburg City Hospital No. 40, 197101, Saint Petersburg, Mira st. 8; e-mail: nastya.petryakova@gmail.com; ORCID 0000-0003-2663-9091;

**Andrei A. Stanzhevskii** — Dr. of Sci. (Med.), Deputy Director for Research, A. M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies, 197758, Saint Petersburg, Pesochnyi village, Leningradskaya st. 70; e-mail: stanzhevsky@gmail.com; ORCID 0000-0002-1630-0564;

**Dmitriy N. Maistrenko** — Dr. of Sci. (Med.), Head of A. M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies, 197758, Saint Petersburg, Pesochnyi village, Leningradskaya st. 70; e-mail: may64@inbox.ru; ORCID 0000-0001-8174-7461;

*Daria A. Vazhenina* — Dr. of Sci. (Med.), Chief Researcher, Head of Laboratory of Theragnostic and Oncology, A. M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies, 197758, Saint Petersburg, Pesochnyi village, Leningradskaya st. 70; e-mail: dariavazhenina@mail.ru; ORCID 0000-0002-6236-709X;

*Dmitriy S. Sysoev* — Cand. of Sci. (Phys. and Math.), Head of the group for the development and production of equipment for nuclear medicine, A. M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, 97758, Saint Petersburg, Pesochnyi village, Leningradskaya st. 70; e-mail: dssysoev@mail.ru; ORCID 0000-0003-2792-3852;

*Sergey A. Ryzhov* — vice president, Association of Medical Physicists in Russia; research fellow, Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies; head of the radiation safety and medical physics department, Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, 127051, Moscow, Petrovka st. 24, building 1; e-mail: sergey.ryzhov@fcho-moscow.ru; ORCID 0000-0002-0640-7368.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом. Концепция и план работы — А. В. Водоватов, Л. А. Чипига, А. А. Станжевский, Д. Н. Майстренко, Д. А. Вазенина. Анализ данных — А. В. Водоватов, Л. А. Чипига, С. А. Рыжов, А. В. Петрякова, Д. С. Сысов. Подготовка рукописи — А. В. Водоватов, Л. А. Чипига, А. А. Станжевский, С. А. Рыжов, А. В. Петрякова.

**Authors' contributions.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: AVV, LACH, AAS, DNM, DAV aided in the concept and plan of the study; AVV, LACH, SAR, AVP, DSS provided collection and mathematical analysis of data; AVV, LACH, AAS, SAR, AVP preparation of the manuscript.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure:** The authors declare no conflicts of interest.

**Соответствие принципам этики:** одобрения этического комитета не требовалось.

**Adherence to ethical standards:** ethics committee approval is not required.

Поступила/Received: 03.11.2022.

Принята к печати/Accepted: 25.11.2022.

Опубликована/Published: 28.12.2022.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Звонова И.А., Станжевский А.А., Петрякова А.В., Анокина Е.Е., Величкина К.С., Рыжов С.А. Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии // *Радиационная гигиена*. 2022. Т. 15, № 2. С. 19–30. Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Zvonova I.A., Stanzhevsky A.A., Petryakova A.V., Anokina E.E., Velichkina K.S., Ryzhov S.A. Obrashcheniye s biologicheskimi otkhodami patsiyentov posle provedeniya radionuklidnoy terapii // *Radiatsionnaya Gygiena*. 2022. T. 15, No. 2. S. 19–30 [Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Zvonova I.A., Stanzhevsky A.A., Petryakova A.V., Anokina E.E., Velichkina K.S., Ryzhov S.A. Management of biological waste of patients after radionuclide therapy. *Radiation Hygiene*, 2022, Vol. 15, No. 2. P. 19–30 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30>.
2. Hörsch D., Ezziddin S., Haug A., et al. Effectiveness and side-effects of peptide receptor radionuclide therapy for neuroendocrine neoplasms in Germany: A multi-institutional registry study with prospective follow-up // *Eur. J. Cancer*. 2016. Vol. 58. P. 41–51. doi: 10.1016/j.ejca.2016.01.009. PMID: 26943056.
3. Vallathol D.H., Digumart R. An Update on Toxicity of Therapeutic Radionuclides // *Medical Research Archives*. 2021, Vol. 9, No. 4. <https://doi.org/10.18103/mra.v9i4.2388>.
4. Kassis A.I., Adelstein S.J. Radiobiologic principles in radionuclide therapy // *J. Nucl. Med.* 2005. Vol. 46, No. 1. P. 4–12. PMID: 15653646.
5. Sathekge M. Targeted radionuclide therapy has the potential to selectively deliver radiation to diseased cells with minimal toxicity to surrounding tissues // *CME*. 2013, Vol. 31, No. 8. P. 289–294.
6. Sgouros G., Bolch W.E., Chiti A., et al. ICRU REPORT 96, Dosimetry-Guided Radiopharmaceutical Therapy // *Journal of the ICRU*. 2021. Vol. 21. No. 1. P. 1–212. doi: 10.1177/14736691211060117.
7. Wheat J.M., Currie G.M., Davidson R., Kiat H. Radionuclide therapy // *The radiographer*. 2011. Vol. 58, No. 3. P. 53–59.
8. Brans B., Bodei L., Giammarile F. et al. Clinical radionuclide therapy dosimetry: the quest for the «Holy Gray» // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2007. Vol. 34. P. 772–786. <https://doi.org/10.1007/s00259-006-0338-5>.
9. ICRU REPORT 58, Dose and Volume Specification for Reporting Interstitial Therapy // *Journal of the ICRU*. 1998. Vol. os-30, No. 1.
10. Carrasco N., Chimeno J., Adrià-Mora M. et al. Inter-observer and intra-observer variability in reporting vaginal dose points for cervical cancer in high-dose-rate brachytherapy // *J. Contemp. Brachytherapy*. 2020. Vol. 12, No. 2. P. 139–146. doi: 10.5114/jcb.2020.94494. PMID: 32395138. PMCID: PMC7207226.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2023 года.

Подписной индекс:

Объединенный каталог «Пресса России» 42177