



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-126-8-133-140>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 616-006

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТРОПОМОРФНОГО ФАНТОМА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

ГОЛЬДМАН Е.И., ТИТОВИЧ Е.В.

*РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова,  
агр. Лесной, Республика Беларусь*

*Поступила в редакцию 28 ноября 2019*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019

**Аннотация.** Развитие технологий в области лучевой терапии позволяет реализовывать прецизионные, клинически эффективные и наиболее щадящие для пациентов методики, позволяющие минимизировать дозовую нагрузку на нормальные ткани и улучшить контроль над злокачественным новообразованием. При этом важным условием выполнения принципа обоснования является неукоснительное соблюдение требований к точности доставляемой дозы. Гарантией выполнения стандартов лечения является разработка и соблюдение в радиологическом отделении программы контроля качества. Однако, в силу своей специфики, стандартизированные и применяемые во всем мире тесты, входящие в системы менеджмента качества, представляют собой тривиальные механические и дозиметрические проверки, которые не могут показать наличие и величину интегральной ошибки в процессе доставки дозы пациенту, которая возникает в результате осуществления мероприятий всей технологической цепочки лучевой терапии, а также учесть сложность реализации современных методов лечения. Целью данной работы являлась разработка методики комплексного дозиметрического тестирования технологического процесса лучевой терапии (end-to-end тестирование), базирующейся на использовании антропоморфного фантома оригинальной конструкции. Результатом данной работы стало создание модифицированного для прецизионных дозиметрических измерений антропоморфного фантома, предназначенного для тестирования следующих технологических узлов процесса лучевой терапии: компьютерного томографа; компьютерной системы дозиметрического планирования облучения, включая модуль контурирования и алгоритмы расчета дозового распределения; систем визуализации на лечебных аппаратах; дозиметрических и технических характеристик лечебных аппаратов. Регулярное проведение дозиметрического комплексного тестирования технологического процесса лучевой терапии (end-to-end тестирование) с использованием предложенной авторами методики, базирующейся на использовании разработанного антропоморфного фантома оригинальной конструкции, позволит провести оценку точности доставки дозового распределения для онкологических пациентов с различными локализациями злокачественных новообразований.

**Ключевые слова:** контроль качества, менеджмент качества, клиническая дозиметрия, фантом Алдерсона, антропоморфный фантом.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Гольдман Е.И., Титович Е.В. Использование антропоморфного фантома тела человека для осуществления комплексного тестирования технологического процесса лучевой терапии. Доклады БГУИР. 2019; 7–8(126): 133-140.

## HUMAN BODY ANTHROPOMORPHIC PHANTOM UTILISATION FOR THE COMPLEX TESTING OF RADIATION THERAPY TECHNOLOGICAL PROCESS

YAUHENI I. HOLDMAN, EGOR V. TITOVICH

*N. N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus, Lesnoy, Republic of Belarus*

*Submitted 28 November 2019*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2019

**Abstract.** The rapid development of technologies in the field of radiation therapy allows us nowadays to implement precision and most clinically effective radiotherapy techniques for oncological patient's treatment to minimize the irradiation of normal tissues and improve local tumor control. An important condition for the implementation of the justification principle is strict compliance with the requirements for the accuracy of the dose delivered. High standards of radiation treatments performed are guaranteed by the development and strict compliance with the quality assurance (QA) program in the radiological department. However, due to QA programmes specificity, standardized and worldwide used tests included in the quality management system are trivial mechanical and dosimetric tests that can't define the presence and magnitude of the integral error in the dose delivered to the patient, which arises as a result of the execution of sophisticated radiation therapy procedures, as well as to take into account the complexity of the implementation of modern methods of treatment. The aim of the work is to develop a method of complex dosimetric testing of the radiation therapy process (end-to-end audit), based on the utilization of the anthropomorphic phantom of the original design. The result of this work is the creation of the modified anthropomorphic phantom for precision dosimetric measurements, designed for testing the following technological procedures of the radiation therapy process: a computer tomography acquisition; a computerized treatment planning system, including a contouring module and dose distribution calculation algorithm; imaging systems integrated with radiation treatment units; dosimetric and technical characteristics of the radiation treatment units. Regular dosimetric testing of the radiation therapy technological process (end-to-end audit) with utilization of the technique proposed by the authors, based on the developed anthropomorphic phantom usage, will allow to assess the accuracy of dose distribution delivered to patients with all major malignant tumors localizations.

**Keywords:** quality control, quality assurance, clinical dosimetry, anthropomorphic phantom.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Holdman Y.I., Titovich E.V. Human body anthropomorphic phantom utilisation for the complex testing of radiation therapy technological process. Doklady BGUIR. 2019; 7–8(126): 133-140.

### Введение

В настоящее время лучевая терапия является высокоизбирательным, эффективным и щадящим для пациентов методом лечения злокачественных и доброкачественных новообразований. Ее эффективность доказана в лечении опухолей таких локализаций, как голова-шея, шейка матки, простата, мочевого пузыря, кожа и некоторых других. Еще одним немаловажным направлением применения лучевой терапии является оказание паллиативной помощи. В настоящее время, примерно для 15 % всех раков основным методом лечения является именно лучевая терапия [1].

Развитие технологий в данной отрасли позволяет реализовывать прецизионные, клинически эффективные и наиболее щадящие для пациентов методики, такие как облучение с модуляцией интенсивности (ЛТМИ) или секторное облучение с объемной модуляцией (СЛТМИ), а также позволяет применять нестандартные методы фракционирования доставки дозового распределения (гипо- или гиперфракционирование, стереотаксическое облучение и т. п.). При этом важным условием выполнения принципа обоснования является неукоснительное соблюдение требований к точности доставляемой дозы. Рекомендации Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям регламентируют точность отпуска дозы, утверждая,

что точечные значения дозы, доставляемой к мишени облучения, должны быть в пределах  $\pm 5\%$  от предписанного значения (в некоторых клинических случаях  $\pm 2\%$ ) [2]. Геометрическая точность доставки дозового распределения зависит от части тела человека, которая подвергается облучению, типа злокачественного новообразования, сопутствующих патологий и т. д. Например, она может варьироваться от нескольких миллиметров в малом тазу до менее чем 1 мм при облучении метастатических поражений в головном мозге, но в среднем составляет порядка 5 мм [3].

При несоблюдении этих требований после проведения курса лучевой терапии у пациентов могут возникать нежелательные лучевые осложнения, и сотрудники отделений лучевой терапии, как правило, хорошо осведомлены о необходимости соблюдения всех стандартов и правил осуществления лучевой терапии.

Гарантией выполнения стандартов лечения является разработка и соблюдение в радиологическом отделении программы контроля качества (QA). Контроль качества в лучевой терапии – это совокупность методик, процедур и действий, которые обеспечивают безопасную и эффективную доставку лечебной дозы к целевому объему (опухоль), с одновременным снижением дозовой нагрузки на здоровые ткани и органы, минимизацией радиационного воздействия на персонал и адекватным контролем состояния пациента. Все эти действия направлены на достижение необходимого терапевтического эффекта при оказании медицинской помощи [4].

С точки зрения медицинской физики контроль качества в первую очередь направлен на медицинское оборудование и специализированное программное обеспечение, применяемое в процедурах лучевой терапии, в том числе системы дозиметрического планирования, которые позволяют под руководством квалифицированного специалиста в области медицинской физики создавать дозиметрические планы облучения, и устройства для реализации этих планов и доставки лечебной дозы ионизирующего излучения пациентам (линейные ускорители или аппараты с природными радионуклидными источниками).

Однако, в силу своей специфики (воспроизводимость, регулярность, аппаратное время), стандартизированные и применяемые во всем мире тесты, входящие в системы менеджмента качества, представляют собой тривиальные механические и дозиметрические проверки [5, 6], контролируемые каждый отдельный узел аппарата либо его функциональное действие в отдельности, но результаты этих тестов не могут показать наличие и величину интегральной ошибки в доставке индивидуального дозового распределения пациенту, которая возникает в результате осуществления мероприятий всей технологической цепочки лучевой терапии, а также учесть сложность реализации современных методов лечения. Известные в настоящее время и наиболее распространенные методы контроля качества IMRT-технологий включают в себя простой пересчет плана облучения пациента в объеме геометрически простого однородного тканезквивалентного фантома. Такие методы не могут учитывать ошибки в доставке дозового распределения пациентам, возникшие вследствие расчета компьютерной системой планирования облучения взаимодействия (поглощения и рассеивания) ионизирующего излучения с гетерогенными структурами в теле пациента, такими как кости или легкие, или установления реалистичных контуров тела [2].

В настоящее время одним из способов учета всех указанных выше особенностей и недостатков традиционного QA является проведение дозиметрических (end-to-end) аудитов. Идейно дозиметрические аудиты берут свое начало в стандартах программ менеджмента качества. В обоих случаях все действия направлены на проверку двух основных аспектов лучевой терапии: соответствие плана лечения клиническим требованиям и адекватность представления лечебным планом тех дозовых нагрузок, которые будет получать реальный пациент в течение всего курса лечения [7].

Тем не менее end-to-end аудиты используют для этих целей нетипичное, сложное оборудование. Как правило, это антропоморфные, модульные фантомы, которые могут быть проведены через всю технологическую цепочку лучевой терапии: от первичной симуляции и визуализации, до укладки и доставки дозы. Кроме того, эти фантомы не только точно повторяют анатомические контуры тела человека, но и содержат различные гетерогенности, а также позволяют использовать разнообразное дозиметрическое оборудование: радиоохромные и радиографические пленки, термомлюминесцентные дозиметры, ионизационные камеры и т. д. [7, 8].

Такой способ оценки контроля качества и улучшения проводимых в лучевой терапии процедур хорошо себя зарекомендовал, а дозиметрическими аудитами на постоянной основе занимаются крупные национальные и международные организации, например, Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) или Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) [9]. Однако, как уже упоминалось ранее, проведение подобных аудитов требует специализированного и дорогостоящего оборудования, а участие аккредитованных организаций оплачивает приглашающая сторона. Это может стать серьезным препятствием для участия в end-to-end тестировании онкологических клиник, работающих в условиях ограниченных ресурсов.

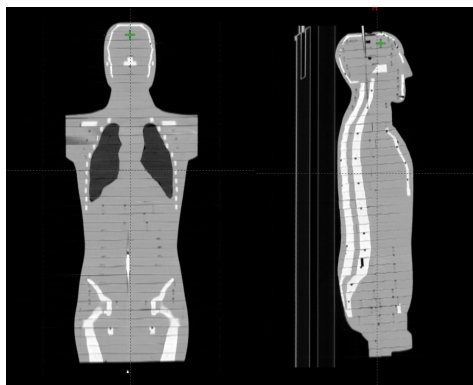
В настоящее время в Республике Беларусь не существует национальной структуры, занимающейся проведением подобного комплексного тестирования технологического процесса лучевой терапии в клиниках на территории страны. Тем не менее осуществление end-to-end аудита, как было показано ранее, может стать тем инструментом, который позволил бы провести оценку точности доставки дозового распределения для онкологических пациентов с различными локализациями злокачественных новообразований и установить те ошибки в доставке индивидуальных дозовых распределений, которые не представляется возможным выявить другими проверками, входящими в типовую программу гарантии качества лучевой терапии. Таким образом, целью данной работы стала разработка методики комплексного тестирования технологического процесса лучевой терапии (end-to-end тестирование), базирующейся на использовании антропоморфного фантома оригинальной конструкции и позволяющей оценить отклонение значения поглощенной дозы в опорной точке для планов облучения онкологических пациентов основных локализаций и всего терапевтического диапазона энергий излучения, мощностей дозы и терапевтических размеров радиационных полей.

### Описание методики

В основе методики проведения end-to-end тестирования, разработанной в РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова, лежит применение модифицированного антропоморфного фантома Алдерсона. Этот фантом представляет собой макет мужского тела от головы до паховой области, выполненный из плотного тканеквивалентного материала. Тело фантома набрано из отдельных слоев толщиной 1 см с вставками материалов различных плотностей. В сборе фантом представляет собой тело человека, в котором можно выделить три основные компоненты: мягкие ткани со средней плотностью порядка 80 единиц Хаунсвилла (HU), костные структуры (470 HU) с выделенным спинномозговым каналом и легкие (–650 HU).

В первоначальном виде данный фантом мог применяться в дозиметрических целях только с использованием пленки, помещаемой между слоями фантома, или с помощью термолюминесцентных дозиметров (ТЛД), гнезда для которых находятся в мягких тканях и органах риска. Определение дозы при использовании данных типов детекторов затруднительно вследствие достаточно сложной процедуры процессинга данных. Недостатком также является и то, что как ТЛД, так и дозиметрическая пленка являются пассивными детекторами, и для установления величины дозы необходимо значительное время и квалифицированный персонал. Для проведения абсолютных дозиметрических измерений с использованием ионизационной камеры (ИК) (наиболее точной методикой измерения точечного значения поглощенной дозы) фантом был модифицирован: с помощью фрезерного станка был просверлен сквозной канал диаметром 8 мм, для соответствия геометрических характеристик канала с диаметром ИК, применяемых в РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова. Канал проходит по воображаемой оси ствол головного мозга – средостение – предстательная железа.

С использованием компьютерного томографа LightSpeed RT производства компании GE HealthCare была получена ростовая томограмма модифицированного фантома с шагом 2,5 мм, реконструированная до толщины среза в 1,25 мм, результат которой представлен на рис. 1. Перед сканированием на фантом была нанесена водостойкая разметка (совмещенная с рентген контрастными метками), которую в дальнейшем можно применять для укладки фантома на столе линейного ускорителя.



**Рис. 1.** Компьютерная томограмма модифицированного антропоморфного фантома  
**Fig. 1.** Computed tomography of a modified anthropomorphic phantom

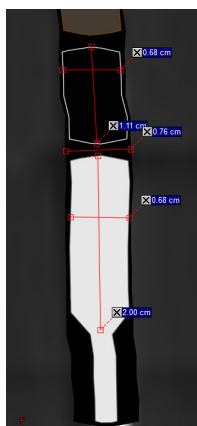
Сканирование проводилось с предустановленной ИК модели PTW Freiburg 30010. Согласно разработанной методике данная камера будет использоваться для всех абсолютных измерений дозы при проведении комплексного тестирования технологического процесса лучевой терапии.

Остальной объем канала был заполнен стержнем из тканеэквивалентного материала (плотностью порядка 350 HU) подходящего диаметра и длины.

Полученная томограмма была импортирована в компьютерную систему планирования облучения (КСПО) Eclipse версии 13.7 (Varian Medical Systems, Palo Alto, California). Антропоморфность фантома позволяет изображать на нем органы риска и целевые объемы как в соответствии с международными рекомендациями по оконтуриванию, так и согласно национальным локальным протоколам и требованиям [10].

Так как металлический провод и оплетка ИК камеры создают визуальные артефакты и искажения в плотностном распределении на компьютерной томограмме, было принято решение заместить объем, занимаемый реальной ИК, ее геометрической моделью. Таким образом, в модель камеры были включены следующие структуры, оконтуренные с использованием соответствующего программного модуля КСПО Eclipse (рис. 2):

- непосредственно канал для позиционирования ИК диаметром 8 мм и плотностью 1000 HU (воздух);
- цилиндр измерительной полости камеры диаметром 7 мм и присвоенной плотностью 450 HU;
- металлическая оплетка, предваряющая измерительную полость в виде цилиндра диаметром 7 мм и плотностью 3500 HU;
- тканеэквивалентный стержень, заполняющий оставшуюся часть канала, диаметром 7 мм и плотностью 350 HU.



**Рис. 2.** Геометрическая модель ионизационной камеры  
**Fig. 2.** Geometric model of the ionization chamber

Полученный набор структур (органы риска, целевые объемы и модель ИК) можно использовать для создания дозиметрических планов облучения любой методикой из применяемых в практике в отделениях лучевой терапии.

Основным преимуществом использования данного фантома для оценки отклонений значения поглощенной дозы в опорной точке для планов облучения онкологических больных является наличие в нем объемов с сильным градиентом плотностей (ткани – кости – легкие – ткани). В ряде известных исследований показано, что алгоритмы расчета дозы современных КСПО имеют тенденцию к некорректному расчету значений поглощенной дозы в областях с низкой плотностью (легкие) или в мягких тканях сразу за ними [11–13], соответственно, планирование и тестирование планов облучения именно в таких областях представляет наибольший интерес.

В дальнейшем полученный план облучения возможно реализовать на лечебном аппарате (линейный ускоритель или гамма-терапевтический аппарат). Позиционирование фантома будет происходить согласно водостойкой разметке, нанесенной на поверхность фантома перед первичным сканированием, и верифицироваться с использованием рентгеновских изображений объема антропоморфного фантома и рентген контрастных меток на его поверхности. Более того, вследствие рентген контрастности ИК верификацию ее положения представляется возможным осуществлять с помощью интегрированных с радиотерапевтическим аппаратом систем визуализации (MV или kV изображения, СВСТ), с их же помощью можно проводить верификацию положения фантома на столе благодаря наличию контрастных костных структур.

Доставленную дозу и изодозовое распределение за любое количество фракций возможно оценить с использованием установки в фантом дозиметрических пленок, ТЛД либо результатов измерений ИК.

## Результаты

Таким образом, проведение дозиметрического комплексного тестирования технологического процесса лучевой терапии (end-to-end тестирование) с использованием разработанного антропоморфного фантома оригинальной конструкции позволит проанализировать ошибки в индивидуальных дозовых распределениях, доставляемых онкологическим пациентам, возникающих вследствие следующих аспектов технологической цепи лучевой терапии:

- компьютерный томограф: четкость контуров наличествующих контрастных структур, точность определения плотностей помещенных в канал материалов с различной, заведомо известной плотностью;

- модуль контурирования КСПО: поиск и точное выделение анатомических структур по заданному интервалу плотностей в НУ, точность определения геометрических размеров и объема этих структур или искусственных имплантированных материалов;

- алгоритм расчета дозового распределения КСПО: точность расчета изодозного распределения с учетом гетерогенности и геометрических контуров фантома;

- система визуализации на лечебных аппаратах: точность позиционирования фантома в соответствии с планом облучения, различимость как отдельных анатомических структур, так и искусственно внесенных ИК);

- дозиметрические и технические характеристики радиотерапевтического аппарата: точность облучения и доставляемая доза.

## Заключение

Регулярное проведение дозиметрического комплексного тестирования технологического процесса лучевой терапии (end-to-end тестирование) с использованием предложенной авторами методики, базирующейся на использовании разработанного антропоморфного фантома оригинальной конструкции, позволит провести оценку точности доставки дозового распределения для онкологических пациентов с различными локализациями злокачественных новообразований и установить те ошибки в доставке индивидуальных дозовых распределений, которые не представляется возможным выявить другими проверками, входящими в типовую программу гарантии качества лучевой терапии, и удостовериться в соответствии проводимой

лучевой терапии национальным и международным рекомендациям и, таким образом, улучшить качество оказываемой медицинской помощи, поддерживая точность доставляемой к мишени поглощенной дозы в пределах  $\pm 5\%$  от предписанного значения.

Доставленную дозу и изодозовое распределение за любое количество фракций возможно оценить с использованием установки в разработанный фантом дозиметрических плёнок, ТЛД либо результатов измерений ИК. Полученная ростовая томограмма (трехмерная геометрическая модель с учетом гетерогенности анатомических структур) и предложенная модель ИК позволяют провести позиционирование разработанного антропоморфного фантома и измерение значения поглощенной дозы в опорной точке для планов облучения онкологических пациентов основных локализаций для всего терапевтического диапазона энергий излучения, мощностей дозы и терапевтических размеров радиационных полей.

### Список литературы/ References

1. Hasan Murshed. *Fundamentals of Radiation Oncology. Physical, Biological, and Clinical Aspects*. 3rd Edition. London: Academic Press; 2019.
2. Kron T., Haworth A., Williams I. Dosimetry for audit and clinical trials: challenges and requirements. *Journal of Physics: Conference Series*. 2013;444:1-7. DOI: 1742-6596.
3. Editor E.B. Podgorsak. *Radiation oncology physics*. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2005.
4. Hellebust T.P., Heikilla I.E., Frykholm G., Lavernes S., Johannesen D.C., Bjerke H., Olerud H. Quality assurance in radiotherapy on a national level; experience from Norway: the KVIST initiative. *Radiotherapy Practice Journal*. 2013;1:35-44. DOI: 10.1017/S1460396912000544.
5. Court L., Wang H., Aten D., Brown D., MacGregor H., Toit M., Chi M., Gao S., Yock A., Aristophanus M., Balter P. Illustrated instructions for mechanical quality assurance of a medical linear accelerator. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2018;3:355-359. DOI: 10.1002/acm2.12265.
6. Chung E., Kwon D., Park T., Kang H., Chung Y. Clinical implementation of Dosimetry Check for TomoTherapy delivery quality assurance. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2018;6:193-199. DOI: 10.1002/acm2.12480.
7. Zakjevskii V.V., Knill C.S., Rakowski J.T., Snyder M.G. Development and evaluation of an end-to-end test for head and neck IMRT with a novel multiple-dosimetric modality phantom. *Journal of applied clinical medical physics*. 2016;02:497-510. DOI: 10.1120/jacmp.v17i2.5705.
8. Molineu A., Hernandez N., Nguyen T., Ibbott G., Followill D. Credentialing results from IMRT irradiations of an anthropomorphic head and neck phantom. *Medical Physics*. 2013;02:22-29. DOI: 10.1118/1.4773309.
9. Izewska J., Andreo P., Vatnitsky S., Shortt K.R. The IAEA/WHO TLD postal dose quality audits for radiotherapy: a perspective of dosimetry practices at hospitals in developing countries. *Radiotherapy and Oncology: journal of the ESTRO*. 2003;01:91-97. DOI: S0167-8140(03)00245-7.
10. Gay H.A., Barthold H.J., O'Meara E., Bosch W.R., El Naqa I., Al-Lozi R., Rosenthal S.A., Lawton C., Lee W.R., Sandler H., Zietman A., Myerson R., Dawson L.A., Willett C., Kachnic L.A., Jhingran A., Portelance L., Ryu J., Small W.Jr., Gaffney D., Viswanathan A.N., Michalski J.M. Pelvic normal tissue contouring guidelines for radiation therapy: a Radiation Therapy Oncology Group consensus panel atlas. *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 2012;3:353-362. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2012.01.023.
11. Zhao Y., Qi G., Yin G., Wang X., Wang P., Li J., Xiao M., Li J., Kang S., Liao X. A clinical study of lung cancer dose calculation accuracy with Monte Carlo simulation. *Radiation Oncology*. 2014;9:287-296. DOI: 10.1186/s13014-014-0287-2.
12. Wen-Zhou Chen, Ying Xiao, Jun Li. Impact of dose calculation algorithm on radiation therapy. *World journal of Radiology*. 2014;11:874-880. DOI: 10.4329/wjr.v6.i11.874.
13. Chopra L.K., Leo P., Kabat C., Rai D.V., Avadhani J.S., Kehwar T.S., Sethi A. Evaluation of dose calculation accuracy of treatment planning systems in the presence of tissue heterogeneities. *Therapeutic Radiology and Oncology*. 2018;2:420-427. DOI: 10.21037/tro.2018.07.01.

### Вклад авторов

Титовичем Е.В. была предложена модель модифицированного антропоморфного фантома, а также модель измерительной ионизационной камеры и ее позиционирования внутри антропоморфного фантома, разработана методика проведения дозиметрического комплексного тестирования технологического процесса лучевой терапии.

Гольдманом Е.И. была проведена модификация антропоморфного фантома, путем проведения компьютерного томографического сканирования и реконструкции плоскостных изображений им было получено трехмерное изображение модифицированного антропоморфного фантома, совмещенного с моделью измерительной ионизационной камеры, им проведено контурирование всех необходимых анатомических структур и осуществлен расчет трехмерных дозовых распределений. Определение цели и задач исследований, интерпретация и обобщение научных результатов проводились совместно с Титовичем Е.В.

#### **Authors contribution**

Goldman E.I. has participated during the modification of the anthropomorphic phantom, have obtained the three-dimensional image of the modified anthropomorphic phantom combined with a model of a measuring ionization chamber by computed tomography scanning and reconstruction of planar images, he contoured all the necessary anatomical structures and calculated three-dimensional dose distributions. The determination of the goals and objectives of the research, the interpretation and synthesis of scientific results were carried out by Goldman E.I. jointly with E. Titovich.

Titovich E.V. has developed a model of a modified anthropomorphic phantom, as well as proposed a model of an ionization chamber and a way for its positioning inside an anthropomorphic phantom, have developed a new technique for conducting end-to-end testing of the radiation therapy technological process.

#### **Сведения об авторах**

Гольдман Е.И., инженер отдела по инженерному обеспечению лучевой терапии РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова.

Титович Е.В., к.т.н., ведущий инженер отдела по инженерному обеспечению лучевой терапии РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова.

#### **Information about the authors**

Holdman Y.I., Engineer in the Radiotherapy Engineering and Medical Physics Department of N. N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus, Republic of Belarus.

Titovich E.V., PhD, Leading Engineer in the Radiotherapy Engineering and Medical Physics Department of N. N. Alexandrov National Cancer Center.

#### **Адрес для корреспонденции**

223040, Республика Беларусь,  
Минская область, агр. Лесной, д. 66,  
РНПЦ онкологии и медицинской радиологии  
им. Н.Н. Александрова  
тел. +375-29-219-54-85;  
e-mail: e.holdman9@gmail.com  
Гольдман Евгений Игоревич

#### **Address for correspondence**

223040, Republic of Belarus,  
Minsk district, Lesnoy agrotown, 66,  
N.N. Alexandrov National Cancer Center  
of Belarus, Republic of Belarus  
tel. +375-29-219-54-85;  
e-mail: e.holdman9@gmail.com  
Holdman Yauheni Igorevich