

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-3-147-151>



Современное состояние протонной лучевой терапии в онкоофтальмологии

В.О. Карпунин, Д.Г. Орлов , В.С. Хорошков

ФГБУ «Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт"», пл. Академика Курчатова, д. 1, Москва, 123182, Россия

Рассматриваются современные направления развития протонной лучевой терапии пациентов с внутриглазными злокачественными новообразованиями, отраженные в материалах Первого международного симпозиума PTCOG по протонной терапии глаза, прошедшего 3–4 марта 2022 г.

Ключевые слова: онкоофтальмология; протонная лучевая терапия (ПЛТ); клинический центр ПЛТ; система планирования ПЛТ; результаты ПЛТ; формирование дозовых полей; обеспечение качества процедуры

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ от 28.10.2021 г. № 2751).

Благодарности. Выражаем благодарность сотрудникам ИТЭФ — И.Н. Канчели и М.Ф. Ломанову, а также сотрудникам НМИЦ ГБ им. Гельмгольца — Ю.И. Бородину и С.В. Саакян, без которых данная статья не была бы написана.

Для цитирования: Карпунин В.О., Орлов Д.Г., Хорошков В.С. Современное состояние протонной лучевой терапии в онкоофтальмологии. Российский офтальмологический журнал. 2023; 16 (3): 147–51. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-3-147-151>

Ocular proton therapy: state-of-the-art

Vladimir O. Karpunin, Dmitry G. Orlov , Vladimir S. Khoroshkov

National Kurchatov Institute Research Center, 1, Academician Kurchatov Sq., Moscow, 123182, Russia
orlov_d@mail.ru

We present the current trends in proton therapy of patients with intraocular malignancies as reflected in the materials of the First PTCOG ocular proton therapy symposium, held on March 3–4, 2022.

Keywords: ophthalmic oncology; proton therapy (PT); clinical PT Center; PT results; treatment planning system (TPS); dose delivery system; quality assurance (QA) of the procedure

Conflict of interests: there is no conflict of interest.

Financial disclosure: the work was supported by Kurchatov Institute National Research Center (Executive order No 2751, Oct 28, 2021).

Acknowledgements. The authors are grateful to the researchers of the Institute of Theoretical and Experimental Physics Irina N. Kancheli and Mikhail F. Lomanov and the researchers of the Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases Jury I. Borodin and Svetlana V. Saakyan: this paper could not be written without their assistance.

For citation: Karpunin V.O., Orlov D.G., Khoroshkov V.S. Ocular proton therapy: state-of-the-art. Russian ophthalmological journal. 2023; 16 (3): 147–51 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-3-147-151>

Протонная лучевая терапия (ПЛТ) показала многолетнюю эффективность в лечении пациентов со злокачественными новообразованиями [1]. На текущий момент в мире функционирует свыше 100 протонных центров. Технологический процесс для большинства локализаций достаточно стандартизирован: топометрия с использованием томографических данных, планирование облучения по этим топометрическим данным, укладка и позиционирование пациента на лучевой установке, облучение новообразования с возможным контролем минимального и систематического движения органов.

Но особенности глаза человека не позволили использовать стандартные подходы. Глаз достаточно гомогенный орган небольшого размера, практически рентгенопрозрачный: по рентгеновским томографическим данным сложно четко дифференцировать структуры глаза. Магниторезонансная томография (МРТ) более контрастно визуализирует мягкие ткани, но только этих данных недостаточно для определения зон интереса: мишени и критических структур глаза. Планирование облучения для протонной терапии глаза производится по модели глаза, которая рассчитывается по клиническим и рентгеновским данным — по положению структур относительно рентгеноконтрастных скрепок-маркеров, которые подшиваются на склере глаза пациента по периметру основания мишени. Данные положения скрепок используются для позиционирования мишени. Глаз — подвижный орган, и позиционирования только тела пациента недостаточно для совмещения дозового распределения с мишенью-опухолью. На период облучения глаз должен оставаться неподвижным, что достигается добровольной фиксацией взора пациента на фиксационной точке (точечный источник света, например светодиод) и должно дополнительно контролироваться.

PTCOG (Particle Therapy Co-Operative Group) проводит ежегодные конференции, посвященные дистанционной лучевой терапии с использованием пучков тяжелых заряженных частиц: протонов и ионов. В марте 2022 г. PTCOG организовала первый симпозиум, посвященный исключительно протонной лучевой терапии пациентов с новообразованиями глаза. За два дня (3–4 марта) были освещены методы, клиническая статистика, аппаратные и программные средства, как текущие достижения в этой области, так и перспективные направления развития и ведущиеся разработки.

Конференция включала доклады, посвященные следующим аспектам ПЛТ в офтальмологии:

- клинические аспекты и результаты лечения;
- рассмотрение специализированных лучевых установок для офтальмологии и стандартных установок, адаптированных для протонной лучевой терапии новообразований глаза;
- аспекты проведения топометрии пациента;
- рассмотрение основных систем планирования для протонной лучевой терапии новообразований глаза;
- рассмотрение нюансов позиционирования пациентов;
- обзор дозиметрических средств и процесса обеспечения гарантии качества.

Клинические аспекты и результаты лечения. В первом докладе Университета Кана (University of Caen, Франция) был представлен сравнительный анализ разных технологий лучевой терапии (фотонной, адронной, брахитерапии) и критерии их применения при глазных новообразованиях с учетом вероятности облучения здоровых, окружающих мишень тканей, возможных побочных эффектов и отдаленных осложнений с учетом формируемых дозовых распределений:

конформность совмещения, градиент спада дозы, интегральная нагрузка.

Если для малых внутриглазных опухолей в преэкваториальной зоне глаза лечение пациентов с увеальной меланомой эффективно методом брахитерапии, то для крупных опухолей или расположенных в постэкваториальной зоне ПЛТ является практически единственным способом лечения, позволяющим сохранить не только глаз, но и зрение. На большом статистическом материале [2, 3] показано, что резорбция опухоли достигается в 97% случаев (5-летний локальный контроль), причем функция зрения сохраняется у пациентов в большинстве случаев, острота зрения $> 0,1$ (20/200) сохраняется у более 40% пациентов через 5 лет после проведения протонной терапии [4].

В докладе от Университета Калифорнии (UC, США) был приведен обзор современной технологии ПЛТ новообразований глаза, ориентированной на обеспечение качества жизни пациента: особенности проведения топометрии с подшиванием рентгеноконтрастных маркеров-скрепок, планирования облучения с минимизацией дозовой нагрузки на критические структуры и высокими градиентами спада дозы. Отмечено, что две трети от общего числа пролеченных пациентов имели опухоли, основания которых находились менее чем в 4 мм от фовеа или диска. Это может приводить к побочным эффектам и отдаленным последствиям, что требует профилактики осложнений после проведения ПЛТ. Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование конформности облучения: повышения требований к формируемым пучкам, точности планирования и совмещения дозового распределения с мишенью (позиционирования). Отдельно обсуждены перспективы менее инвазивной технологии позиционирования — без подшивания маркеров-скрепок и получения топометрических данных на основе комбинирования компьютерной томографии (КТ), МРТ, ультразвуковых (УЗ) и фундус-изображений.

После лучевой терапии глазных новообразований остается вопрос побочных эффектов и отдаленных осложнений, таких как макулопатия, оптическая нейропатия, неоваскулярная глаукома и ретинопатия, что обсуждалось в обзорном докладе представителя Paul Scherrer Institute (PSI, Швейцария). Сделан вывод о необходимости использования для планирования облучения топометрических данных о положении критических структур (таких, как фовеа) по изображениям МРТ и фундус-камеры.

В докладе Liverpool Ocular Oncology Unit (Великобритания) последовательно описывались возможные побочные эффекты от применения ПЛТ и способы их устранения/контроля.

Доклад представителя Nuffield Laboratory of Ophthalmology (Oxford, Великобритания) демонстрирует примеры успешного применения методики ПЛТ для лечения увеальной меланомы с приведением планов облучения (система планирования Eyeplan) и факторов, влияющих на успешность процедуры лечения: учет положения критических структур глаза, направление облучения, низкоэнергетический протонный пучок с формированием дозового распределения с высокими градиентами. Описываются способы устранения побочных эффектов. Рассмотрена возможность замены скрепок-маркеров на фиксаторы сетчатки (retinal tack), что, по мнению докладчика, должно привести к меньшей травматичности и более точному позиционированию, а в отдельных случаях — отказ от использования рентгеноконтрастных маркеров-скрепок.

В докладе Института Кюри (Орсэ, Франция), имеющего более 30 лет опыта ПЛТ пациентов с новообразованиями

глаза, приведен метод комбинированного лечения меланомы хориоидеи глаза. Для предотвращения результирующего опухолево-токсического синдрома (tumor toxic syndrome, TTS) предлагается после проведения ПЛТ удаление рубца с использованием лазерной и/или лекарственной (antiVEGF) терапии. Схожий метод воздействия предлагается для терапии ретинопатии, возникающей под воздействием излучения. Рассмотрена также профилактика нейропатии (RION), возникающей в результате облучения диска, к чему наиболее восприимчивы пациенты пожилого возраста или имеющие заболевания: диабет, атеросклероз.

В другом докладе от этого института рассматривался вопрос возможности и необходимости повторного проведения ПЛТ.

Jules-Gonin Eye Hospital (Лозанна, Швейцария) представил свой опыт проведения ПЛТ, в который вошли: предварительная оценка томографических данных, оптимизация при подшивании рентгеноконтрастных маркеров-скрепок с использованием предварительной панорамной визуализации для уменьшения вероятности послеоперационных осложнений, планирование облучения с целью уменьшения побочных эффектов, методы профилактики при их возникновении.

Retina Health Institute (США) представил доклад о показаниях и противопоказаниях для прохождения ПЛТ, а также о возможных отдаленных последствиях прохождения ПЛТ: это ретино- и нейропатии, ишемия, потеря зрения.

Специализированные лучевые установки для офтальмологии и стандартные установки, адаптированные для ПЛТ новообразований глаза. В докладе А. Каспера (University College London, Великобритания) приведен исторический обзор развития офтальмологической ПЛТ, начиная с исследовательского центра в Massachusetts General Hospital (MGH, Бостон, США), построенного на основе синхроциклотрона (фазотрона) с деградированным пучком, и кончая современными клиническими центрами; приведены известные типы лучевых установок для облучения новообразований глаза. Рассмотрены различные источники пучков протонов, их влияние на характеристики формируемого дозового распределения: обосновывается необходимость использования низкоэнергетических пучков для выделенных лучевых установок, обеспечивающих возможность формирования равномерного дозового распределения с высокими латеральными градиентами дозы. Приведены возможные альтернативы кольцевым ускорителям для получения протонного пучка с необходимыми характеристиками, например линейные и лазерные ускорители.

На секции были представлены доклады с описанием лучевых установок: как специализированных для проведения ПЛТ новообразований глаза, так и установок, которые изначально были созданы для проведения ПЛТ без учета специфики внутриглазных новообразований и впоследствии адаптированы для ПЛТ внутриглазных новообразований.

В докладе клинического центра IMPT-Centre Antoine Lacassagne (Франция) с потоком пациентов около 250 человек в год (6922 пациента по состоянию на 2021 г.) приводятся зарекомендовавшие себя подходы: индивидуальные средства формирования дозового распределения, контроль дозовой нагрузки для критических структур, для исключения лучевого поражения век и отвода их из зоны облучения используются ретракторы. В докладе обсуждается вариативность результатов при использовании разных методов формирования дозового распределения, ставятся вопросы необходимости и достаточности применяемых методов. В центре проводятся эксперименты по флэш-терапии (облучение с большой мощностью дозы за короткое время),

исследуется влияние флэш-эффекта на радиобиологическую эффективность ПЛТ и уменьшение токсичности облучения в широком диапазоне мощности дозы.

Центр протонной терапии Emory (Winship Cancer Institute, США; лучевая установка Ocular Option на базе ProBeam от Varian, облучение в положении лежа) представил исследование по планированию облучения увеальной меланомы с использованием моделей глаза, рассчитанных по двум типам топометрических данных (только КТ и комбинация КТ-MPT) для нескольких способов формирования дозового поля: с использованием стандартного формирования (Eyeline, VARIAN); с одного направления на Ocular Option; а также облучения Ocular Option с трех направлений. Демонстрируется, что качество планов Ocular Option не уступает качеству планов для выделенного формирования Eyeline.

В CNAO (Италия) для формирования дозового поля используется метод сканирующего пучка с энергией 63–90 МэВ и максимальным полем 30×30 мм². Хотелось бы отметить, что в качестве позиционера оборудования для фиксации глаза (фиксационной точки) используется специализированная роботизированная «рука». Такая же используется для позиционирования фиксационной точки и контроля положения глаза при получении КТ-топометрии в положении лежа (само облучение производится в положении сидя).

Центр ПЛТ «Holland PTC» (Нидерланды) — трехкабинный комплекс производства Varian, третья процедурная с горизонтальным фиксированным пучком предназначена для лечения внутриглазных новообразований. В докладе приведены первые результаты после запуска установки в июле 2020 г. и сравнительный анализ формируемого дозового распределения с другими центрами не только по градиентам спада дозы (дистальным и боковым), но и области, предшествующей плато глубинного дозового распределения. Хочется отметить, что для одного пациента курс всего лечения, начиная от подшивания рентгеноконтрастных скрепок-маркеров до конца облучения, длится около 6 нед.

Западногерманский центр протонной терапии (WPE, Эссен, Германия) — четырехкабинный комплекс производства Varian, где также присутствует выделенная процедурная с горизонтальным фиксированным пучком (Eyeline, Varian) для лечения внутриглазных новообразований. Приводится обзор процесса ПЛТ в этом центре с рассмотрением основных его параметров и характеристик, а также сравнение с другими аналогичными центрами.

В центре ПЛТ «Mayo Clinic» (Рочестер, США) адаптировали лучевую установку гантри (Hitachi Probeat-V) для проведения ПЛТ пациентов с новообразованиями глаза в положении лежа, дополненную системой коллимации пучка и системой контроля взора пациента с программой управления.

В Северо-Западном медицинском протонном центре (NMPC, Чикаго, США) проводят облучение в положении сидя, но адаптировав и используя стандартную лучевую установку для лечения внутричерепных новообразований. При этом для исключения влияния смены положения тела пациента с «лежа» на «сидя» при получении топометрических данных расположили (адаптировали) компьютерный томограф так, чтобы он работал с пациентом в положении сидя, что является интересным, но довольно затратным конструкторским и технологическим решением.

Топометрия, 2D- и 3D-визуализация. Как уже было сказано выше, глаз достаточно гомогенный орган небольшого размера, практически рентгенопрозрачный. По рентгеновским томографическим данным сложно четко дифференцировать структуры глаза для последующего за-

дания модели глаза для планирования облучения, а также для оконтуривания мишени и органов риска.

В основном на секции по проведению топометрии рассматривались вопросы получения комбинированных (мультимодальных) топометрических данных: КТ, МРТ, ОКТ, изображения с фундус-камеры. Топометрические данные современных томографов позволяют проводить уточнение параметров модели мишени и глаза пациента. ОКТ позволяет точнее определять положение таких критических структур, как фовеа и оптический диск, что существенно для разработки плана облучения, позволяющего обеспечить не только локальный контроль опухоли, но и качество жизни пациента — сохранить зрение.

Рассматривались также вопросы совмещения изображений разных модальностей для более точного задания модели глаза и оконтуривания опухоли и критических структур. Например, в центре ПЛТ PSI разработали методику расчета виртуального фундус-снимка по данным МРТ с определением по нему положения мишени и органов риска, что представлено в докладе как первые шаги к планированию облучения без использования рентгеноконтрастных маркеров-скрепок.

Системы планирования для ПЛТ новообразований глаза. На секции были приведены примеры использования всех основных специализированных систем планирования ПЛТ новообразований глаза: Eyeplan, Octopus, RayOcular, Eclipse.

Eyeplan — первая система планирования для ПЛТ пациентов с новообразованиями глаза, разработанная в MGH для центра ПЛТ в Гарвардской циклотронной лаборатории (HCL, Бостон) еще в конце 70-х гг. прошлого века. За последующие годы она была многократно переработана и доработана (PSI; Clatterbridge), как с переходом на новое аппаратное обеспечение и операционные системы, так и для расширения функциональных возможностей. Но изначально заложенные основные особенности проведения ПЛТ для онкоофтальмологии остались неизменными: модельный подход к представлению мишени и структур глаза, использование портальных рентгеновских снимков для получения топометрических данных и позиционирования мишени, фиксация произвольного взгляда пациента на фиксационной точке.

Octopus — совместная разработка нулевых годов Германского института исследования рака (Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Гейдельберг, Германия) и Hahn-Meitner Institute (HMI, с 2008 г. Helmholtz-Zentrum Berlin, Берлин, Германия) — использует более точную модель глаза и позволяет использовать томографические данные для уточнения параметров модели глаза и мишени.

RayOcular — новый продукт компании RaySearch, входящий в состав системы планирования RayStation Planning, позволяющий провести планирование облучения глаза. В отличие от представленных выше систем планирования, это коммерческий продукт, применяется в центре ПЛТ WPE (Эссен, Германия).

Другой коммерческий продукт — Eclipse от компании Varian — используется в Mayo Clinic комбинированно с кластером расчета дозового распределения методом Монте-Карло на GPU (SPOCK) и оптимизацией плана облучения в MatLab.

Отдельно можно выделить доклад от National Institute for Quantum and Radiological Science and Technology (QST, до 2016 г. NIRS, Chiba, Япония) по развитию лучевой адронной терапии в онкоофтальмологии в Японии от горизонтальных пучков к ганглии и от протонов к ионам углерода. Системы планирования, представленные в докладе: NIRS EyePlan (внутренняя разработка института),

XiO-C (доработанная CMS от Elekta) и XiO-N (от Mitsubishi Electric; сейчас Hitachi).

Позиционирование пациента и «фиксация» глаза. Были представлены доклады о лучевых установках в центрах ПЛТ: MGH, University of Florida Health Proton Therapy Institute (США), UW Medicine (США) — с акцентом на аппаратные и программные средства для позиционирования пациента и мишени: фиксации и контроля направления взгляда пациента во время облучения.

Отдельно хотелось бы отметить доклад PSI о разработке технологии трехмерного оптического трекинга глаза как направления развития технологии наблюдения за глазом пациента при проведении ПЛТ. Если исследования, проводимые в PSI по получению топометрических данных и планированию облучения без использования скрепок-маркеров, дали положительные результаты, то последняя разработка пока не дает достаточный процент эффективности и требует дальнейшего развития. Скрепки-маркеры необходимы не только для этапа получения топометрических данных, но и для этапа позиционирования пациента, и без получения альтернативного способа позиционирования мишени отказать от них не получится.

Формирование дозовых полей, дозиметрия и гарантия качества. В этой секции хотелось бы отметить доклад Института ядерной физики Польской академии наук (IFJ PAN, Краков, Польша) о методике формирования дозового поля для облучения внутриглазного новообразования с использованием так называемых мини-пучков как альтернативы формирования методом сканирующего пучка. Такой метод подразумевает использование широкого пучка, проходящего через коллиматор, который включает в себя отверстия определенного диаметра (1 мм), расположенные с определенным шагом в виде сетки на этом коллиматоре. В докладе приводятся результаты моделирования Монте-Карло и сравнение их с экспериментальными данными по измерению получаемых дозовых полей, получаемые характеристики итоговых дозовых распределений.

Для центров ПЛТ в Орсэ, MGH, университетах Калифорнии и Флориды представлены доклады с обзором используемых систем формирования дозовых полей, мониторинга пучка. Отдельный акцент на секции был сделан на методиках и нюансах реализации гарантии качества при проведении ПЛТ новообразований глаза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По достижении высокого уровня локального контроля внутриглазных злокачественных образований (лечения пациентов) на первый план выходят вопросы отдаленных последствий и качества жизни пациентов, в том числе степень сохранения зрения. Увеличение степени конформности совмещения формируемого дозового распределения зависит от качества проведения всех этапов ПЛТ: получения топометрических данных, планирования и реализации плана, формирования дозового распределения и совмещения его с мишенью. Если ранее томографические данные не использовались, то теперь, с увеличением разрешающей способности аппаратуры и контрастности получаемых изображений, они применяются для уточнения параметров модели глаза.

Рассматривается также возможность исключения использования рентгеноконтрастных маркеров-скрепок для получения топометрических данных пациента, что уменьшило бы травматическое воздействие, связанное с этапом их хирургического подшивания. Последнее, к сожалению, нельзя исключить до разработки системы позиционирования

ния пациента без использования портальных рентгеновских снимков с точностью, сопоставимой с имеющейся. Для получения топометрических данных о положении критических структур глаза (фовеа, оптический диск) изображения фундус-камеры можно дополнить изображениями ОКТ, которая обладает большей точностью и даже глубиной сканирования. Для минимизации дозы, получаемой здоровыми тканями, особенно при нахождении критических структур вблизи мишени, также важен уровень градиента дозы на боковых и дистальных границах дозового распределения. На достижение этой цели направлено использование специализированных низкоэнергетических протонных и ионных ускорителей, не требующих введения дополнительных тормозителей для уменьшения энергии пучка.

Ежедневный/недельный/месячный контроль качества используемых аппаратных и программных средств необходим для поддержания результата ПЛТ на достигнутом уровне.

На симпозиуме не было докладов, представляющих результаты ПЛТ в России. Хотя на стадии исследований в экспериментальных ПЛТ-центрах у нас были достижения [5] (234 пациента с внутриглазными новообразованиями прошли лечение в центре ПЛТ в ИТЭФ к 2011 г.) и разработки для онкоофтальмологии [6, 7], которые, судя по материалам симпозиума, еще не потеряли своей актуальности. Сейчас у нас не осталось действующих онкоофтальмологических центров ПЛТ. Ведется разработка двух государственных проектов: специализированного онкоофтальмологического комплекса в ПИЯФ (Гатчина) и центра ПЛТ в НИЦ «Курчатовский институт» (Москва) с выделенной лучевой установкой на горизонтальном пучке, позволяющей проводить лечение пациентов с внутриглазными новообразованиями. Эти центры ПЛТ должны позволить завершить переход в

России от отечественных экспериментальных центров ПЛТ к клиническим.

Литература/References

1. Хорошков В.С. История и перспективы протонной лучевой терапии. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2019; 64 (2): 52–60. [Khoroshkov V.S. History and prospects of proton therapy. *Medical radiology and radiation safety*. 2019; 64 (2): 52–60 (In Russ.)]. doi.org/10.12737/article_5ca5fc2765c9f5.02525917
2. Goitein G. Proton radiation therapy of ocular melanoma proton radiation therapy of ocular melanoma. Talk on the conference PTCOG-49. 2010 Available at: https://www.ptcog.ch/archive/conference_p&t&v/PTCOG49/presentationsEW/18-4-3_Eye.pdf (Accessed 23 May 2022).
3. Dendale R, Lumbroso-Le Rouic L, Noel G, et al. Proton beam radiotherapy for uveal melanoma: Results of Curie Institut-Orsay Proton Therapy Center (ICPO). *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 2006; 65 (3): 780–7.
4. Pica A, Weber DC, Vallat L, et al. Good long-term visual outcomes of paraparapillary choroidal melanoma patients treated with proton therapy: a comparative study. *Int Ophthalmol*. 2021; Feb; 41 (2): 441–52.
5. Бородин Ю.И., Вальский В.В., Саакян С.В. и др. Протонная лучевая терапия опухолей сосудистой оболочки глаза и орбиты. *Альманах клинической медицины*. 2008; 17–1: 292–5. [Borodin J.I., Valsky V.V., Saakyan S.V., et al. Proton therapy for intraocular and orbital malignant tumors. *Almanac of clinical medicine*. 2008; 17–1: 292–5 (In Russ.)].
6. Бородин Ю.И., Вальский В.В., Ерохин И.Н. и др. Инновационные разработки технических средств для протонной терапии внутриглазных новообразований. Часть I. *Российский офтальмологический журнал*. 2015; 8 (2): 14–20. [Borodin Yu.I., Valsky V.V., Erokhin I.N., et al. Technical innovations for proton therapy of intraocular neoplasms. Part I. *Russian ophthalmological journal*. 2015; 8 (2): 14–20 (In Russ.)].
7. Бородин Ю.И., Вальский В.В., Ерохин И.Н. и др. Инновационные разработки технических средств для протонной терапии внутриглазных новообразований. Часть II. *Российский офтальмологический журнал*. 2016; 9 (2): 11–7. [Borodin Yu.I., Valsky V.V., Erokhin I.N., et al. Technical innovations for proton therapy of intraocular neoplasms. Part II. *Russian ophthalmological journal*. 2016; 9 (2): 11–7 (In Russ.)]. doi.org/10.21516/2072-0076-2016-9-2-11-17

Вклад авторов в работу: В.О. Карпунин, Д.Г. Орлов — сбор данных и их интерпретация, написание статьи, финальная подготовка статьи к публикации; В.С. Хорошков — редактирование статьи.

Authors' contribution: V.O. Karpunin, D.G. Orlov — data collection and interpretation, article writing, final preparation of the article for publication; V.S. Khoroshkov — article editing.

Поступила: 26.06.2023. Переработана: 20.07.2023. Принята к печати: 24.07.2023
Originally received: 26.06.2023. Final revision: 20.07.2023. Accepted: 24.07.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. Академика Курчатова, д. 1, Москва, 123182, Россия
Владимир Олегович Карпунин — научный сотрудник отдела ядерной медицины

Дмитрий Георгиевич Орлов — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник отдела ядерной медицины

Владимир Сергеевич Хорошков — д-р техн. наук, начальник отдела ядерной медицины

Для контактов: Дмитрий Георгиевич Орлов,
orlov_d@mail.ru

National Research Center “Kurchatov Institute”, 1, Akademika Kurchatova Sq., Moscow, 123182, Russia

Vladimir O. Karpunin — researcher, nuclear medicine department

Dmitry G. Orlov — Cand. of Phys.-Math. Sci., senior researcher, nuclear medicine department

Vladimir S. Khoroshkov — Dr. of Tech. Sci., head of nuclear medicine department

For contacts: Dmitry G. Orlov,
orlov_d@mail.ru