

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ КОЛЛИМАТОРАМИ И ИЗДЕЛИЯМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ МЕТОДОМ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

*И. А. Милойчикова^{а, б, 1}, Б. М. Гавриков^в, А. А. Красных^а,
Ю. М. Черепенников^{а, 2}, М. В. Шевченко^д, С. Г. Стучебров^а*

^а Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

^б НИИ онкологии Томского НИМЦ, Томск, Россия

^в Московская городская онкологическая больница № 62, Москва

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

^д RAR Print, Томск, Россия

В данной работе предложен способ формирования сложных терапевтических полей электронов с учетом анатомических особенностей пациентов, основанный на применении пластиковых коллиматоров пучков электронов, изготовленных с помощью технологий быстрого прототипирования. В рамках исследования был проведен анализ эффективности применения пластиковых коллиматоров для формирования сложной формы поперечного профиля пучка медицинского линейного ускорителя ONCOR Impression Plus (Siemens) для реального клинического случая. Полученные результаты доказали высокую эффективность применения предлагаемого метода с целью формирования клинических пучков электронов.

In this paper the new method of the complex therapeutic electron fields formation with taking into account the anatomical features of patients was proposed. This method is based on using the plastic wares produced by rapid prototyping techniques as electron beam collimators. The analysis of the plastic collimators application efficiency for forming the electron field of the medical accelerator ONCOR Impression Plus (Siemens) for a real clinical case was carried out in the framework of the investigation. The obtained results prove the high efficiency of the proposed method with the aim of clinical electron beams formation.

PACS: 87.56.bd; 87.56.J-; 87.56.jk

ВВЕДЕНИЕ

С повышением требований к точности доставки дозы при проведении сеансов лучевой терапии актуальным становится вопрос формирования сложных полей ионизирующего излучения [1, 2]. В комплектацию современных клинических ускорителей входят стан-

¹E-mail: miloichikova@gmail.com

дартные наборы аппликаторов, позволяющие формировать поля только круглой или прямоугольной формы с заданными размерами. При проведении лучевой терапии быстрыми моноэнергетическими электронами в случаях облучения новообразований, расположенных близко к критическим органам, существует необходимость формирования сложных полей с учетом анатомических особенностей пациентов [3–5]. Стандартные способы формирования таких полей основаны на изготовлении дополнительных металлических коллимирующих устройств заданной формы. Современные методы решения таких задач позволяют изготовить сложный коллиматор из металлического сплава в течение нескольких часов [6]. Однако работа с плавильной установкой накладывает значительные ограничения, связанные с токсичностью металлических паров [6].

Современный уровень развития технологий трехмерной печати отвечает требованиям к точности и качеству изготовления изделий, и благодаря своей доступности эти технологии находят широкое применение в медицине [7]. В данной работе предложен альтернативный способ, основанный на применении в качестве коллиматоров пучков электронов пластиковых изделий, изготовленных посредством применения технологий быстрого прототипирования. Скорость и простота трехмерной печати на современных устройствах обеспечивают преимущества перед существующими методами [7].

В рамках исследования был проведен анализ эффективности применения пластиковых коллиматоров для формирования поля медицинского линейного ускорителя ONCOR Impression Plus (Siemens) для реального клинического случая. Проведена оценка эффективности формирования терапевтических пучков электронов металлическими коллиматорами и изделиями, изготовленными методом быстрого прототипирования.

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования проводились на базе Московской городской онкологической больницы №62 (Москва). Данное отделение укомплектовано современным терапевтическим ускорителем электронов ONCOR Impression Plus (Siemens), позволяющим обеспечивать проведение сеансов лучевой терапии высокоэнергетическими пучками фотонов и электронов в широком спектре энергий 6–18 МэВ [8].

Для проведения сеансов лучевой терапии полями электронов сложной формы необходимо создать план лечения в системе дозиметрического планирования XiO версии 5.00 на основе данных компьютерной томографии пациента [9]. Из системы XiO данные о геометрии коллимационного окна, необходимого для корректного облучения очага, передаются на станцию подготовки и изготовления пенопластового макета Compu cutter III [10]; затем на основе макета заданная форма металлического коллиматора выплавляется в специальной печи фирмы CIVCO с использованием сплава А-158 [6].

В рамках поставленной задачи создан пластиковый коллиматор для реального клинического случая, изготовленный посредством применения технологий быстрого прототипирования. При выборе материала для создания пластикового изделия приоритетом являлась возможность изготовления однородного объемного объекта высокой прочности. Данным требованиям удовлетворяет ударопрочный полистирол (HIPS-пластик) [11]. Плотность изделия, изготовленного при помощи технологии быстрого прототипирования из ударопрочного полистирола, составила 0,9 г/см³.

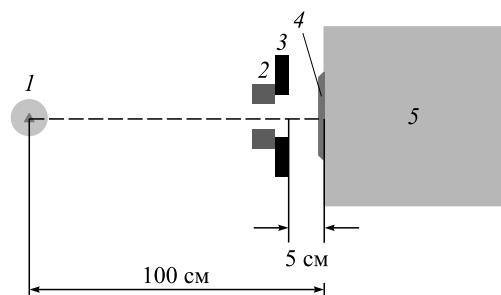


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — источник излучения; 2 — коллиматор; 3 — стандартный аппликатор; 4 — дозиметрическая пленка; 5 — твердотельный фантом

В эксперименте стандартный аппликатор клинического ускорителя электронов ONCOR Impression Plus (Siemens) с размером поля 10×10 см дополнялся металлическим коллиматором сложной формы и коллиматором из HIPS-пластика. Для оценки полученного распределения дозного поля электронов использовалась радиографическая дозиметрическая пленка Gafchromic EBТ3 [12], закрепленная на поверхности твердотельного тканеэквивалентного фантома SP33 [13]. Расстояние от источника излучения до поверхности фантома составляло 100 см; от переднего края коллиматора до поверхности фантома — 5 см.

Исследование проводилось при нормальном падении пучка электронов на дозиметрическую пленку, угол гантри составлял 0° . На рис. 1 представлена схема эксперимента.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для оценки эффективности формирования терапевтических пучков электронов металлическими коллиматорами и изделиями, изготовленными методом быстрого прототипирования, был выбран реальный клинический случай облучения новообразования кожи головы в Московской городской онкологической больнице № 62 (Москва) (рис. 2, а). На основе данных, полученных в планирующей системе XiO, был выплавлен металлический коллиматор (рис. 2, б). Затем по трафарету заданного коллимационного окна был изготовлен пластиковый образец (рис. 2, в), толщина которого выбиралась с учетом энергии электронов 6 МэВ и составляла 4 см, что является достаточным для полного поглощения [14].

После изготовления коллимационных изделий было проведено экспериментальное исследование распределения дозного поля электронов, полученного с помощью радио-

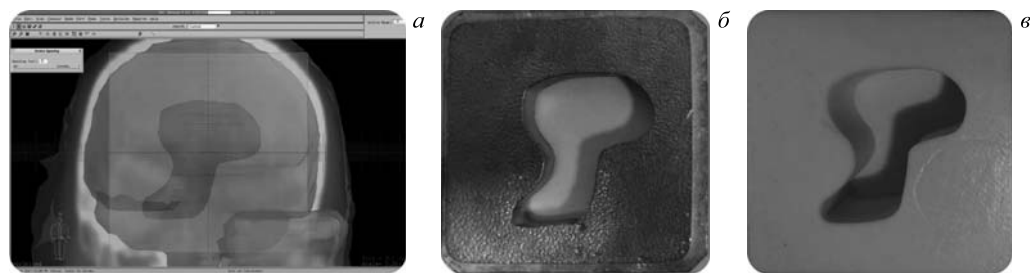


Рис. 2. а) Дозиметрическое планирование поля облучения клинического пучка электронов с помощью коллиматора заданной формы; б) внешний вид металлического коллиматора; в) внешний вид коллиматора, изготовленного из HIPS-пластика

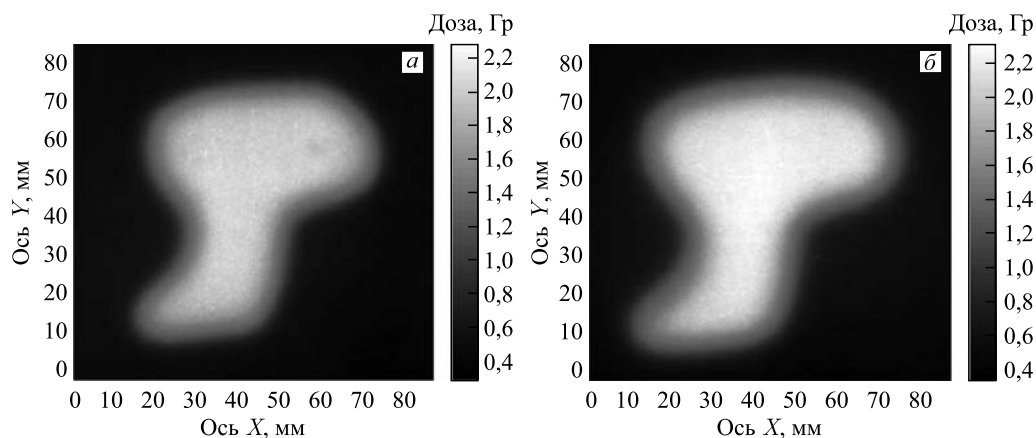


Рис. 3. Распределение поля электронов, полученное с помощью металлического (а) и пластикового (б) коллиматоров

графических пленок Gafchromic EBТ3 (рис. 3). Обработка изображений проводилась с помощью пакета прикладных программ MATLAB [15].

Из рис. 3 видно, что применение ударопрочного полистирола в качестве материала для изготовления коллиматора позволяет достигать заданного распределения терапевтического поля электронов. Для сопоставления графических данных получена картина разности дозовых распределений (рис. 4).

Из анализа рис. 4 видно, что в центральной области коллимационного окна наблюдается незначительное превышение дозы порядка 0,1 Гр с применением пластикового коллиматора. Данное отклонение может быть учтено и скомпенсировано на этапе верификации плана облучения, так как рис. 3, б иллюстрирует равномерное распределение дозы в плоскости дозиметрической пленки. Расхождение в дозовой нагрузке до 0,6 Гр (светлый ореол в левой части рис. 4) вызвано незначительным отличием формы коллима-

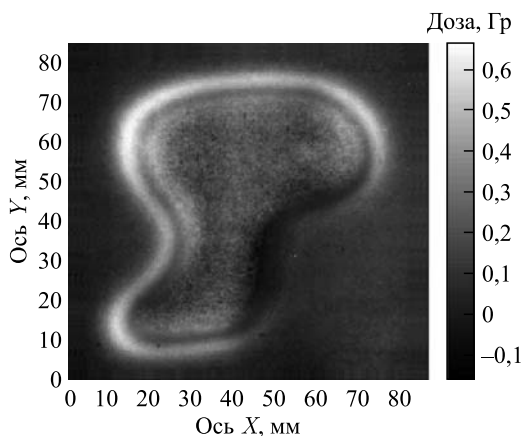


Рис. 4. Разность дозовых распределений, полученных с помощью пластикового и металлического коллиматоров

ционного окна пластикового изделия ввиду того, что трехмерная модель разрабатывалась на основе трафарета, созданного вручную, что подтверждает наличие темного пятна в правой части рис. 4. Для устранения таких различий в форме изделий в дальнейшем будут использоваться цифровые данные, непосредственно экспортируемые из системы дозиметрического планирования XiO.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показали пригодность ударопрочного полистирола (HIPS-пластика) для поглощения ускоренных электронов. Изготовленные из этого пластика методом быстрого прототипирования изделия позволяют коллимировать электронные пучки с эффективностью не меньшей, чем при использовании металлических устройств.

Дальнейшая работа, направленная на автоматизацию передачи цифровых данных о форме коллиматора из системы XiO в устройство быстрого прототипирования, позволит внедрить данный метод в клиническую практику, что не только ускорит время изготовления устройств формирования терапевтических пучков электронов, но и сделает этот процесс безопасным.

Авторы выражают благодарность Томскому политехническому университету за поддержку данной работы в рамках программы развития конкурентоспособности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Webb S. Intensity-Modulated Radiation Therapy. CRC Press, 2015. 454 p.
2. Шипулин К. Н., Мицын Г. В., Агапов А. В. Установка для верификации болюсов в протонной радиотерапии // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т. 12, № 1(192). С. 246–270.
3. Hogstrom K. R., Almond P. R. Review of Electron Beam Therapy Physics // Phys. Med. Biol. 2006. V. 51. P. R455.
4. Джойнер М. С., Когель О. Д. Основы клинической радиобиологии. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. 600 с.
5. Miloichikova I. A. et al. Simulation of the Microtron Electron Beam Profile Formation Using Flattening Filters // Phys. Part. Nucl. Lett. 2016. V. 13, No. 7. P. 890–892.
6. Workstation for Melting and Casting Alloy (дата обращения: 29.08.2017). Режим доступа: <http://www.parscientific.com/Workstation.html>.
7. Ventola C. L. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses // Pharmacy and Therapeutics. 2014. V. 39, No. 10. P. 704–711.
8. ONCOR Digital Medical Linear Accelerator Specifications (дата обращения: 01.09.2017). Режим доступа: <http://www.siemens.com.tr/i/assets/saglik/onkoloji/oncor.pdf>.
9. XiO Comprehensive RTP System (дата обращения: 01.09.2017). Режим доступа: <https://www.elekt.com/dam/jcr:12b6794c-a8e8-4672-805a-94b964f4ac7a/XiO%20AE%20Brochure.pdf>.
10. Compu cutter III Radiotherapy Shielding Block Mold Cutter (дата обращения: 01.09.2017). Режим доступа: <http://jrtassociates.com/pdfs/computercutter.pdf>.
11. Полистирол (HIPS) (дата обращения: 01.09.2017). Режим доступа: <http://3dtoday.ru/wiki/polystyrol/>.

12. GAFCHROMIC EBT3 Dosimetry Film (дата обращения: 29.08.2017). Режим доступа: http://www.gafchromic.com/documents/EBT3_Specifications.pdf.
13. Phantoms for Absolute Dosimetry (дата обращения: 01.09.2017). Режим доступа: https://www.iba-dosimetry.com/media/1372/rt-br-e-phantoms-for-ad_rev2_0813.pdf.
14. Милойчикова И. А. и др. Применение пластиковых формирующих элементов для проведения лучевой терапии пучками электронов // Сб. материалов XII Всерос. конф. молодых ученых-онкологов, посвященной памяти акад. РАМН Н. В. Васильева «Актуальные вопросы фундаментальной и клинической онкологии», Томск, Россия, 27–28 апр. 2017 г. Томск, 2017. С. 81–83.
15. MATLAB (дата обращения: 29.08.2017). Режим доступа: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html#overview>.