

УДК 615.849.19+539.1.07+616-073.75+621.386.85
<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.98.64.003>

Применение ротационной лучевой терапии, модулированной по объему, для тотального облучения тела

Юлия Сергеевна Мельник¹, Михаил Маркович Гиршович¹, Юлия Геннадьевна Федюкова¹,
Сергей Николаевич Новиков¹, Марина Владиславовна Елизарова^{2, 3},
Александр Владимирович Поздняков²

¹ Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова, 197758, г. Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

³ Санкт-Петербургский государственный университет, медицинский факультет, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9, Российская Федерация

Для цитирования: Мельник Ю.С., Гиршович М.М., Федюкова Ю.Г., Новиков С.Н., Елизарова М.В., Поздняков А.В.

Применение ротационной лучевой терапии, модулированной по объему, для тотального облучения тела. *Визуализация в медицине*. 2026;8(1):24–31. <https://doi.org/10.56871/ViM.2026.98.64.003>.

Поступила: 25.11.2025

Одобрена: 27.02.2026

Принята к печати: 26.03.2026

Резюме. Введение. Тотальное облучение тела перед трансплантацией гемопоэтических стволовых клеток включает процедуры анатомо-топометрической подготовки, дозиметрическое планирование подведения дозы к биологической мишени с учетом ограничений облучения критических структур, дозиметрический контроль и терапевтическое облучение. Каждый из перечисленных этапов реализуется на высокотехнологичном оборудовании при участии высококвалифицированных радиотерапевтов и медицинских физиков. **Цель исследования** — обобщение и представление опыта НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова по тотальному облучению тела методом модулированной по объему ротационной лучевой терапии с использованием технологии Rapid Arc VMAT. **Материалы и методы.** Анатомо-топометрическую подготовку проводят на томографе Siemens Somatom Definition, дозиметрическое моделирование облучения осуществляют в системе планирования Eclipse 17 Varian, терапевтическое облучение — методом модулированной по объему ротационной лучевой терапии на ускорителе TrueBeam Varian. **Результаты.** В настоящее время в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова тотальное облучение тела проведено 51 пациенту в возрасте от 3 до 18 лет. Реализуемая методика обеспечивает однородное покрытие биологической мишени при сохранении доз в органах риска в пределах их толерантности. **Выводы.** Применение новейших радиотерапевтических технологий повышает требования к программам контроля качества радиотерапевтического лечения, и неотъемлемой частью такой программы для тотального облучения тела с использованием медицинского линейного ускорителя является контроль точности укладки пациента посредством бортовой системы киловольтной визуализации.

Ключевые слова: тотальное облучение тела, модулированная по объему ротационная лучевая терапия, гистограммы доза–объем, конусная томография, лучевая терапия с контролем по изображениям

✉ Марина Владиславовна Елизарова. E-mail: meliz1@yandex.ru

© Коллектив авторов, 2026

<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.98.64.003>

Application of volume-modulated rotational radiotherapy for total body irradiation

Yuliya S. Melnik¹, Mikhail M. Girshovich¹, Yuliya G. Fedyukova¹, Sergey N. Novikov¹,
Marina V. Elizarova^{2,3}, Alexander V. Pozdnyakov²

¹ National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Petrov, 68 Leningradskaya str., Pesochny, Saint Petersburg, 197758, Russian Federation

² Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., Saint Petersburg, 194100, Russian Federation

³ Saint Petersburg State University, Faculty of Medicine, 7–9 Universitetskaya emb., Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

For citation: Melnik Yu.S., Girshovich M.M., Fedyukova Yu.G., Novikov S.N., Elizarova M.V., Pozdnyakov A.V. Application of volume-modulated rotational radiotherapy for total body irradiation. *Visualization in Medicine*. 2026;8(1):24–31. (In Russ.).
<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.98.64.003>.

Received: 25.11.2025

Revised: 27.02.2026

Accepted: 26.03.2026

Abstract. Introduction. Total body irradiation before hematopoietic stem cell transplantation includes procedures of anatomical and topometric preparation, dosimetric planning of dose delivery to the biological target taking into account the limitations of irradiation of critical structures, dosimetric control and therapeutic irradiation. Each of the listed stages is carried out using high-tech equipment with the participation of highly qualified radiotherapists and medical physicists. **The aim of the study** is to summarize and present the experience of the N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology in total therapeutic irradiation using volume-modulated rotational radiotherapy using Rapid Arc VMAT technology. **Materials and methods.** Anatomical and topometric preparation is performed on a Siemens Somatom Definition tomograph, dosimetric modeling of radiation is performed in the Eclipse 17 Varian planning system, therapeutic irradiation is delivered by volume-modulated rotational radiotherapy on a True Beam Varian accelerator. **Results and discussion.** To date, 51 patients aged 3 to 18 years have undergone total therapeutic irradiation at the N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology. The implemented technique ensures homogeneous coverage of the biological target while maintaining doses in organs at risk within their tolerance limits. **Conclusions.** The use of the latest radiotherapeutic technologies increases the requirements for quality assurance programs for radiotherapeutic treatment, and an integral part of such a program for total body irradiation using a medical linac is monitoring the accuracy of patient positioning using an on-board kilovoltage imaging system.

Keywords: total body irradiation, volume-modulated rotational radiotherapy, dose-volume histograms, cone beam tomography, image-guided radiotherapy

✉ Marina V. Elizarova. E-mail: meliz1@yandex.ru

© 2026 by the authors

ВВЕДЕНИЕ

Тотальное облучение тела (ТОТ) представляет собой один из этапов подготовки к трансплантации гемопоэтических стволовых клеток (ТГСК) и служит для иммуносупрессии, необходимой для приживления гемопоэтических стволовых клеток донора [1–3]. Процедура ТОТ требует сложной дозиметрической подготовки, включающей планирование облучения с ограничением дозы на критические органы — легкие, печень, почки, хрусталик глаза. Необходим также строгий дозиметрический контроль и верификация точной и воспроизводимой укладки пациента. Современные радиотерапевтические технологии, основанные на модуляции интенсивности облучения, такие как ротационная объемно-модулированная терапия (volumetric modulated arc therapy, VMAT) [4–9] и томотерапия [4, 10, 11], позволяют обеспечить равномерное покрытие сложных и протяженных биологических мишеней, реализовать безопасные стыки полей облучения и сохранять при этом безопасные уровни поглощенной дозы для критических органов.

Для успешности процедуры трансплантации необходимо исключить вероятность репопуляции необлученных гемопоэтических клеток и минимизировать осложнения, связанные с токсическим воздействием ионизирующего излучения на организм. Это обеспечивается посредством режима фракционирования облучения. В Национальном медицинском исследовательском центре онкологии им. Н.Н. Петрова тотальное облучение тела проводят на линейном ускорителе электронов TrueBeam фирмы Varian, оснащенном бортовой системой киловольтной визуализации (On-Board Imager, OBI), для верификации укладки пациента в положение для облучения, позволяющем реализовать объемно-модулированную лучевую терапию методом RapidArc.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обобщить и представить опыт НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова по тотальному облучению тела методом модулированной по объему ротационной лучевой терапии с использованием технологии Rapid Arc VMAT.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Тотальное облучение тела производят в положении лежа на спине с использованием средств иммобилизации. Пациента укладывают на вакуумный матрас, сохраняющий форму на протяжении кур-

са облучения, что обеспечивает воспроизводимое положение тела. Область головы и шеи фиксируют при помощи термопластической маски, захватывающей плечи, в сочетании с подголовником. Анатомо-топометрическую подготовку пациента осуществляют на компьютерном томографе-симуляторе Siemens Somatom Definition. Параметры сканирования: напряжение на трубке 120 кВ с матрицей реконструкции 512×512 мм и толщиной среза 3 мм. Производят разметку пациента для облучения с нескольких изоцентров так, чтобы обеспечить перехлест облучаемых областей с каждого из изоцентров на 4–6 см. Смещение изоцентров осуществляют только вдоль оси z, направленной вдоль стола пациента.

Данные топометрической подготовки передаются в формате DICOM на систему планирования Eclipse 17 Varian, в которой происходит оконтуривание мишени — тела и конечностей пациента, а также критических структур — левого и правого легкого, левой и правой почки, печени, левого и правого хрусталиков глаз. Для расчета плана устанавливается покрытие планируемого объема мишени (planning target volume, PTV) с дозой не менее 95% предписанной на 95% объема мишени. Разовая очаговая доза составляет 2 Гр за фракцию при облучении два раза в день с шестичасовым интервалом. Таким образом, суммарная очаговая доза составляет 12 Гр при трехдневной продолжительности радиотерапевтического курса. Установлены дозные ограничения для критических структур: средняя доза на левый и правый хрусталики не более 4 Гр; средняя доза на правую и левую почки не более 8 Гр, при этом объем, получающий 6 Гр, не превышает 95% органа, и максимальная доза не превышает 115% разовой очаговой дозы; средняя доза на печень не превышает 10 Гр; средняя доза на правое и левое легкое не превышает 8 Гр, при этом объем, получающий 8 Гр, не превышает 40% объема органа и 95% объема получают дозу не более 6 Гр. С каждого из изоцентров подведение дозы планируют с четырех ротаций с модулированной интенсивностью Rapid Arc VMAT. На рис. 1 проиллюстрирован план подведения дозы с нескольких изоцентров посредством ротационных полей с модулированной интенсивностью.

Дозиметрический контроль осуществляется посредством измерения абсолютной дозы ионизационными камерами PTW 30010 Farmer 0.6 см³ в тканеэквивалентном фантоме грудной клетки CIRS. Измерения проводятся в точках легких, спинного мозга и средостения. Отклонения значений абсолютной дозы в контролируемых точках фантома

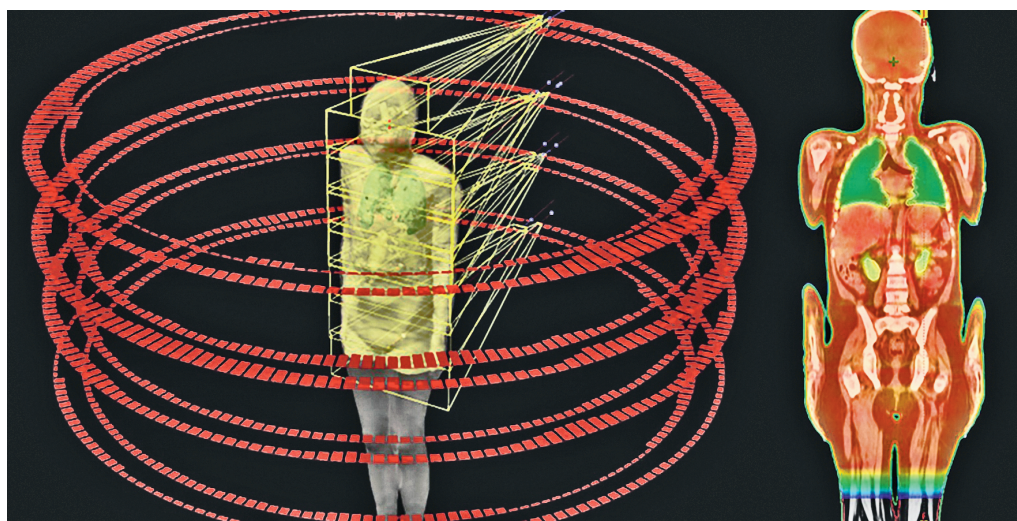


Рис. 1. 3D-визуализация ротационных полей с различных изоцентров для облучения верхней части тела и визуализация дозного распределения для этой же области на продольном срезе тела из системы планирования Eclipse (изображение из архива НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова)

Fig. 1. 3D visualization of rotational fields having different isocenters for irradiation of the upper body and visualization of the dose distribution for the same area on a longitudinal section of the body from the Eclipse planning system (image from the archive of the NMRC of Oncology named after N.N. Petrov)

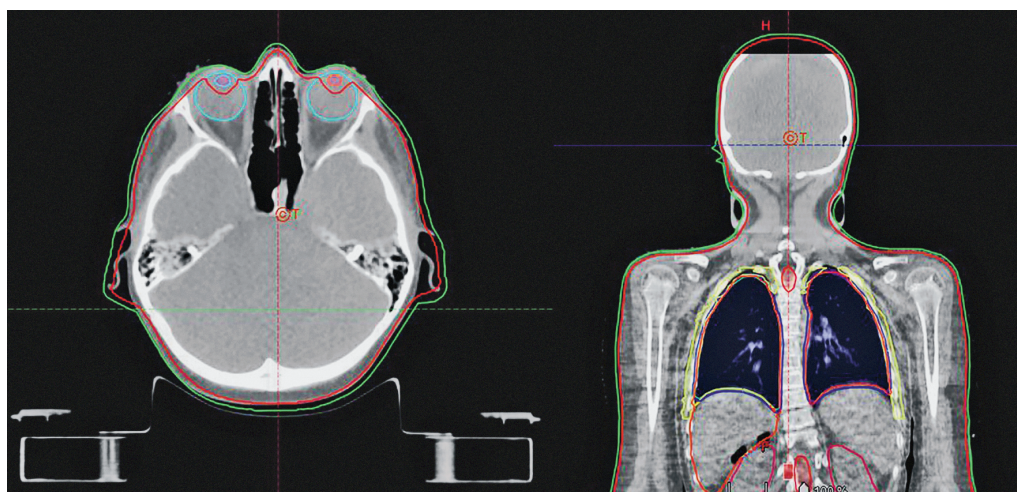


Рис. 2. Наложение контуров анатомических структур, импортированных из системы дозиметрического планирования Eclipse, на срезы компьютерной томографии на конусном пучке киловольтной системы визуализации ускорителя True Beam (изображение из архива НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова)

Fig. 2. Matching anatomical structure contours imported from the Eclipse planning system with cone beam computed tomography slices from the True Beam kilovoltage imaging system (image from the archive of the NMRC of Oncology named after N.N. Petrov)

не превышают 3%. Точность реализации дозного паттерна с модулированной интенсивностью на ускорителе TrueBeam проверяют на дозиметрической системе Octavius 1500, включающей водозвивалентный объем, имитирующий тело пациента, и измерительный компонент — матрицу, состоящую из 1405 ионизационных камер размером 27×27 см. Дозиметрический контроль плана проводят с двух соседних изоцентров и считают прой-

денным, когда отклонения дозного распределения не превышают 3 мм и 3% дозного максимума исследуемого среза.

Облучение осуществляют на ускорителе True Beam Varian с коллиматором 120 Millenium MLC с энергией пучка 6 МэВ, мощность дозы при реализации VMAT всего тела варьирует в диапазоне 100–400 МЕ/мин. Укладку верифицируют при помощи томографии на конусном пучке OBI ускорителя.

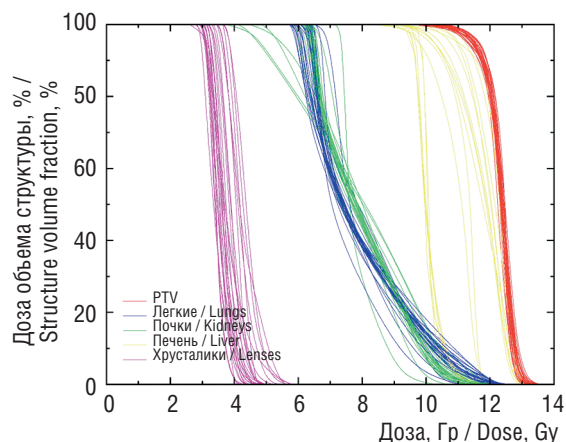


Рис. 3. Гистограммы «доза–объем» для пациентов, прошедших тотальное облучение тела в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова (рисунок подготовлен авторами по собственным данным)

Fig. 3. Dose-volume histograms for patients who underwent total body irradiation at the National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Petrov (the figure is prepared by the authors using their own data)

Используют несколько последовательных сканов с протоколом сшивки.

На рис. 2 представлено наложение контуров анатомических структур на КТ-срезы, реконструированные на конусном рентгеновском пучке бортовой системы визуализации ускорителя. Оба набора данных однозначно привязаны к верхнему изоцентру, с которого начинается облучение. Таким образом, программный и визуальный анализ их совпадения дает полную информацию о корректности укладки в запланированное положение для облучения и позволяет рассчитать смещения стола, необходимые для совмещения. Совмещение в первую очередь производят по внешнему контуру тела (зеленый контур на рис. 2), но также контролируется положение критических структур — на рис. 2 это хрусталики глаз, легкие, почки.

Облучение начинают сверху, при облучении верхней части тела пациент располагается головой к аппарату. Передвижение пациента между изоцентрами подразумевает только смещение стола вдоль оси z, для этого используют функцию автоматического перемещения стола Delta Couch Shift, благодаря чему исключается латеральное смещение.

Для облучения нижней части тела пациента укладывают ногами к аппарату, что также контролируется при помощи томографии. За весь курс облучения доза от всех верификационных сканов конусной томографии не превышает 0,3 Гр для любой части тела. Длительность одного радиотерапевти-

ческого сеанса при тотальном облучении тела составляет от полутора до двух часов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова тотальное облучение тела проведено 51 пациенту в возрасте от 3 до 18 лет. Подход к планированию и выбор дозиметрических критериев основан на рекомендациях Американской ассоциации медицинских физиков [12], Международной комиссии радиационных единиц и измерений [13], а также на российском и международном клиническом опыте [4, 5]. На рис. 3 представлены гистограммы «доза–объем» реализованных радиотерапевтических планов, демонстрирующие выполнение дозиметрических критериев для мишени и критических структур при облучении всего тела методом модулированной по объему лучевой терапии на ускорителе TrueBeam Varian. Некоторый разброс в покрытии PTV и в ограничении дозы для легких, почек, хрусталиков глаз и печени обусловлен анатомическими особенностями пациентов и значительными различиями в облучаемом объеме для пациентов разного возраста.

Из ранних побочных эффектов тотального облучения, возникающих вследствие прямого цитотоксического действия на активно пролиферирующие клетки, у пациентов часто наблюдаются выраженная слабость, тошнота, кожный зуд. Апоптотическая реакция слизистых оболочек на радиационное поражение часто приводит к развитию мукозитов. Через несколько дней после завершения облучения отмечается агранулоцитоз как ожидаемый результат полного подавления собственного гемопоэза.

С точки зрения отдаленных эффектов выполнены оценки первых аллогенных ТГСК у пациентов с острым лимфобластным лейкозом/лимфомой, в период с 2017 по 2024 г. За это время всего было проведено 63 процедуры аллогенной ТГСК, из них без ТОТ — 24 пациента (38%), с ТОТ — 39 пациентов (62%). Рецидив после ТГСК в группе без ТОТ развился у 25% пациентов, в группе с ТОТ — у 15% пациентов. Из отдаленных побочных эффектов ТОТ у пяти пациентов выявлен тиреоидит, требующий заместительной терапии; у двух пациентов возникли вторичные опухоли — у одного пациента остеобластома и у одного пациента злокачественное новообразование околоушной слюнной железы. Также из отдаленных эффектов зарегистрирован единичный случай веноокклюзионного синдрома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе продемонстрированы результаты применения модулированной по объему ротационной лучевой терапии для ТОТ в рамках подготовки к трансплантации костного мозга в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова. Методика позволяет выдержать требования к покрытию мишени при сохранении доз в органах риска в пределах их толерантности. Однако применение новейших радиотерапевтических технологий не избавляет от фундаментальных радиобиологических рисков и только ужесточает требования к программам контроля качества радиотерапевтического лечения.

Необходимость использования множества перекрывающихся полей при ТОТ методом VMAT потенциально вносит погрешности подведения дозы в местах стыковки, особенно после разворота пациента для облучения нижней части тела и ног. Бортовая система киловольтной визуализации медицинского линейного ускорителя в данных условиях выполняет критически важную функцию. При облучении всего тела методом VMAT предъявляются чрезвычайно строгие требования к однородности облучения и пространственной точности подведения дозы, и точность позиционирования пациента является фундаментальным условием безопасности и эффективности лечения. ОВІ, интегрированная в линейный ускоритель, обеспечивает низкодозную, быструю и многоплановую визуализацию анатомии пациента непосредственно перед каждой сессией. Важный аспект заключается в совместимости ОВІ с анатомо-топометрической информацией дозиметрического планирования. Таким образом, при реализации ТОТ методом VMAT система ОВІ интегрирована в саму концепцию тотального облучения тела, она обеспечивает геометрическую и дозиметрическую воспроизводимость подведения дозы, снижает риск токсичности, служит повышению качества жизни пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Информированное согласие на публикацию.

Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors contribution. All authors made a substantial contribution to the concept development, implementation of the study, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication.

Competing interests. The authors declare no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding. The authors declare that they received no external funding for this study.

Consent for publication. Written consent was obtained from legal representatives of the patients for publication of relevant medical information within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелкова К.Н. Тотальное облучение организма человека при трансплантации костного мозга. *Медицинская сестра*. 2016;(2):28–29. EDN: VQUOSP.
2. Логинова А.А., Нечеснюк А.А., Кобызева Д.А., Черняев А.П., Варзарь С.М. Эволюция метода тотального облучения тела: от истории к современности. *Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии*. 2018;17(3):133–139.
3. Peters C., Dalle J.H., Locatelli F., Poetschger U., Sedlacek P., Buechner J. et al. Total body irradiation or chemotherapy conditioning in childhood ALL: A multinational, randomized, noninferiority Phase III study. *J Clin Oncol*. 2020;39(4):295–307. <https://doi.org/10.1200/JCO.20.02529>.
4. Логинова А.А., Кобызева Д.А., Товмасын Д.А., Черняев А.П., Лисовская А.О., Масчан М.А., Нечеснюк А.В. Сравнение методов тотального облучения тела с использованием Tomo Therapy и ротационной лучевой терапии, модулированной по объему на ускорителе Elekta: опыт одного Центра. *Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии*. 2019;18(4):49–57.
5. Mancosu P., Cozzi L., Muren L.P. Total marrow irradiation for hematopoietic malignancies using volumetric modulated arc therapy: A review of treatment planning studies. *Phys Imaging Radiat Oncol*. 2019;11:47–53. <https://doi.org/10.1016/j.phro.2019.08.001>.
6. Talapatra K., Parab A.Sh., Sing A., Barsing Sh. Clinical experience of total body irradiation performed on Halcyon™ for a patient diagnosed with acute myeloid leukemia. *International Journal of Molecular and Immuno Oncology*. 2022;7(2):50–53. https://doi.org/10.25259/IJMIO_5_2022.

7. Uehara T., Monzen H., Tamura M. et al. Feasibility study of volumetric modulated arc therapy with Halcyon linac for total body irradiation. *Radiat Oncol.* 2021;16(1):236. <https://doi.org/10.1186/s13014-021-01959-3>.
8. Fog L.S., Wirth A., MacManus M., Downes S., Grace M., Moggré A., Mugabe K. et al. Total body irradiation in Australia and New Zealand: results of a practice survey. *Phys Eng Sci Med.* 2020;43(3):825–835. <https://doi.org/10.1007/s13246-020-00878-z>.
9. Han C., Schultheiss T.E., Wong J.Y. Dosimetric study of volumetric modulated arc therapy for total marrow irradiation. *Radiother Oncol.* 2012;102(2):315–320. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2011.06.005>.
10. Кобызева Д.А., Масчан М.А., Виллих Н.А., Логинова А.А., Нечеснюк А.В. Первый российский опыт применения томотерапии для проведения тотального облучения тела у детей. *Российский журнал детской гематологии и онкологии.* 2016;3(2):64–67. EDN: VZGPTX.
11. Логинова А.А., Товмасын Д.А., Черняев А.П., Варзарь С.М., Кобызева Д.А., Нечеснюк А.В. Методика стыковки полей при тотальном облучении тела с использованием технологии томотерапии. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2018;63(2):55–61.
12. Van Dyk J., chairman, Galvin J.M., Glasgow G.P., Podgorsak E.B. The physical aspects of total and half body photon irradiation. A report of task group 29 radiation Therapy Committee? American Association of Physicists in Medicine. AAPM Rep. No. 17. New York: American Institute of Physics; 1986. 60 p.
13. The International Commission on Radiation Units and Measurements. *ICRU.* 2010;10(1):Report 83. <https://doi.org/10.1093/jicru/ndq001>.
4. Loginova A.A., Kobyzeva D.A., Tovmasyan D.A., Chernyaev A.P., Lisovskaya A.O., Maschan M.A., Nechesnyuk A.V. Comparison of total body irradiation methods using Tomo Therapy and rotational volume-modulated radiotherapy on the Elekta accelerator: the experience of one center. *Voprosy gematologii/onkologii i immunopatologii v pediatrii.* 2019;18(4):49–57. (In Russ.).
5. Mancosu P., Cozzi L., Muren L.P. Total marrow irradiation for hematopoietic malignancies using volumetric modulated arc therapy: A review of treatment planning studies. *Phys Imaging Radiat Oncol.* 2019;11:47–53. <https://doi.org/10.1016/j.phro.2019.08.001>.
6. Talapatra K., Parab A.Sh., Sing A., Barsing Sh. Clinical experience of total body irradiation performed on Halcyon™ for a patient diagnosed with acute myeloid leukemia. *International Journal of Molecular and Immuno Oncology.* 2022;7(2):50–53. https://doi.org/10.25259/IJMIO_5_2022.
7. Uehara T., Monzen H., Tamura M. et al. Feasibility study of volumetric modulated arc therapy with Halcyon linac for total body irradiation. *Radiat Oncol.* 2021;16(1):236. <https://doi.org/10.1186/s13014-021-01959-3>.
8. Fog L.S., Wirth A., MacManus M., Downes S., Grace M., Moggré A., Mugabe K. et al. Total body irradiation in Australia and New Zealand: results of a practice survey. *Phys Eng Sci Med.* 2020;43(3):825–835. <https://doi.org/10.1007/s13246-020-00878-z>.
9. Han C., Schultheiss T.E., Wong J.Y. Dosimetric study of volumetric modulated arc therapy for total marrow irradiation. *Radiother Oncol.* 2012;102(2):315–320. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2011.06.005>.
10. Kobyzeva D.A., Maschan M.A., Villich N.A., Loginova A.A., Nechesnyuk A.V. The first Russian experience of using to-motherapy for total body irradiation in children. *Rossiyskiy zhurnal detskoy gematologii i onkologii.* 2016;3(2):64–67. (In Russ.). EDN: VZGPTX
11. Loginova A.A., Tovmasyan D.A., Chernyaev A.P., Varzar S.M., Kobyzeva D.A., Nechesnyuk A.V. Field matching technique for total body irradiation using tomotherapy technology. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'.* 2018;63(2):55–61. (In Russ.).
12. Van Dyk J., Chairman, Galvin J.M., Glasgow G.P., Podgorsak E.B. The physical aspects of total and half body photon irradiation. A report of task group 29 radiation Therapy Committee? American Association of Physicists in Medicine. AAPM Rep. No. 17. New York: American Institute of Physics; 1986. 60 p.
13. The International Commission on Radiation Units and Measurements. *ICRU.* 2010;10(1):Report 83. <https://doi.org/10.1093/jicru/ndq001>.

REFERENCES

1. Melkova K.N. Total body irradiation of humans during bone marrow transplantation. *Meditsinskaya sestra.* 2016;(2):28–29. (In Russ.). EDN: VQUOSP.
2. Loginova A.A., Nechesnyuk A.A., Kobyzeva D.A., Chernyaev A.P., Varzar S.M. Evolution of the total body irradiation method: from history to the present day. *Voprosy gematologii/onkologii i immunopatologii v pediatrii.* 2018;17(3):133–139. (In Russ.).
3. Peters C., Dalle J.H., Locatelli F., Poetschger U., Sedlacek P., Buechner J. et al. Total body irradiation or chemotherapy conditioning in childhood ALL: A multinational, randomized, noninferiority Phase III study. *J Clin Oncol.* 2020;39(4):295–307. <https://doi.org/10.1200/JCO.20.02529>.
11. Loginova A.A., Tovmasyan D.A., Chernyaev A.P., Varzar S.M., Kobyzeva D.A., Nechesnyuk A.V. Field matching technique for total body irradiation using tomotherapy technology. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'.* 2018;63(2):55–61. (In Russ.).
12. Van Dyk J., Chairman, Galvin J.M., Glasgow G.P., Podgorsak E.B. The physical aspects of total and half body photon irradiation. A report of task group 29 radiation Therapy Committee? American Association of Physicists in Medicine. AAPM Rep. No. 17. New York: American Institute of Physics; 1986. 60 p.
13. The International Commission on Radiation Units and Measurements. *ICRU.* 2010;10(1):Report 83. <https://doi.org/10.1093/jicru/ndq001>.

ОБ АВТОРАХ

Юлия Сергеевна Мельник — медицинский физик отделения радиотерапии. E-mail: juliemeln@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7925-9570>; SPIN: 7004-1721

AUTHORS' INFO

Yuliya S. Melnik — medical physicist of the Radiotherapy Department. E-mail: juliemeln@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7925-9570>; SPIN: 7004-1721

ОБ АВТОРАХ

Михаил Маркович Гиршович — к.м.н., врач-радиотерапевт дневного стационара отделения радиотерапии.
E-mail: girmich@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-7925-9570>; SPIN: 7004-1721

Юлия Геннадьевна Федюкова — к.м.н., врач-гематолог, заведующая детским гематологическим отделением.
<https://orcid.org/0000-0002-4108-6600>

Сергей Николаевич Новиков — д.м.н., профессор, заведующий отделением радиотерапии, заведующий научным отделением радиационной онкологии и ядерной медицины, ведущий научный сотрудник.
E-mail: krokon@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-7185-1967>; SPIN 7346-0687

Марина Владиславовна Елизарова — к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры медицинской биофизики и физики, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет; младший научный сотрудник, факультет медицины, Санкт-Петербургский государственный университет. E-mail: meliz1@yandex.ru;
<https://orcid.org/0009-0004-8081-377X>; SPIN: 6056-7412

Александр Владимирович Поздняков — д.м.н. профессор, заведующий кафедрой медицинской биофизики и физики. E-mail: pozdnyakovalex@yandex.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-1110-066X>; SPIN: 1000-6408

AUTHORS' INFO

Mikhail M. Girshovich — Cand. Sci. (Med.), radiotherapist, day hospital, Radiotherapy Department.
E-mail: girmich@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-7925-9570>; SPIN: 7004-1721

Yuliya G. Fedyukova — Dr. Sci. (Med.), hematologist, Head of the Pediatric Hematology Department.
<https://orcid.org/0000-0002-4108-6600>

Sergey N. Novikov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Radiotherapy, Head of the Scientific Department of Radiation Oncology and Nuclear Medicine, Leading Scientist.
E-mail: krokon@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-7185-1967>; SPIN 7346-0687

Marina V. Elizarova — Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Medical Biophysics and Physics, Saint Petersburg State Pediatric Medical University; Junior Research Fellow, Faculty of Medicine, Saint Petersburg State University. E-mail: meliz1@yandex.ru;
<https://orcid.org/0009-0004-8081-377X>; SPIN: 6056-7412

Alexander V. Pozdnyakov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Medical Biophysics.
E-mail: pozdnyakovalex@yandex.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-1110-066X>; SPIN: 1000-6408