

<https://doi.org/10.21682/2311-1267-2025-12-4-27-36>



## Референсная оценка планов/протоколов лучевой терапии у детей: результаты и перспективы

А.В. Нечеснюк, М.М. Строженков, А.А. Логинова, Ф.Я. Канестри, В.В. Горностаев, А.Г. Румянцев

ФГБУ НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева» Минздрава России; Россия, 117997, Москва, ул. Саморы Машела, 1;

**Контактные данные:** Алексей Владимирович Нечеснюк [alexey.nechesnyuk@dgoi.ru](mailto:alexey.nechesnyuk@dgoi.ru)

Своевременное выявление, анализ и ликвидация возможных ошибок в протоколах радиотерапии имеют важное значение для успеха комплексного лечения пациентов.

**Цель исследования** – создание системы референса протоколов лучевой терапии в детской практике до начала лечения для исключения возможных грубых ошибок в планировании, а также для оценки и улучшения качества лучевой терапии и, как следствие, результатов лечения пациентов детского возраста.

В ходе исследования определен коэффициент использования лучевой терапии в детской практике, который составил 42 %.

В работе продемонстрированы результаты референсной оценки 589 протоколов лучевой терапии у детей за 2019–2024 гг. Замечания, требующие коррекции, имели 43,3 % использованных протоколов, подвергшихся референсной оценке. Показано, что наибольшей проблемой в обеспечении качества лучевой терапии остается определение объемов мишени – наиболее распространенные ошибки связаны с оконтуриванием мишени (36,7 %), реже встречались ошибки в оконтуривании органов риска (2,3 %) и предписании доз (5,4 %). Наибольшие трудности возникали при планировании лучевой терапии для пациентов с лимфомой Ходжкина (55,2 % ошибок) и при краниоспинальном облучении (39,5 % ошибок).

Проведение референсной оценки привело к достоверному ( $p < 0,001$ ) снижению количества ошибок с 51,1 % при 1-м обращении до 23,6 % после 4-го обращения. Это подтверждает образовательную ценность системы референса и ее роль в повышении квалификации специалистов. Референсная оценка планов лучевой терапии у детей является важным инструментом для повышения качества лечения и минимизации рисков.

Результаты исследования подчеркивают важность продолжения и расширения этой практики для обеспечения высокого качества лечения и снижения рисков для пациентов.

**Ключевые слова:** лучевая терапия, дети, оконтуривание, референсная оценка планов/протоколов лечения, коэффициент использования радиотерапии

**Для цитирования:** Нечеснюк А.В., Строженков М.М., Логинова А.А., Канестри Ф.Я., Горностаев В.В., Румянцев А.Г. Референсная оценка планов/протоколов лучевой терапии у детей: результаты и перспективы. Российский журнал детской гематологии и онкологии. 2025;12(4):27–36.

### Информация об авторах

А.В. Нечеснюк: к.м.н., заведующий отделением лучевой терапии НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева, e-mail: [alexey.nechesnyuk@dgoi.ru](mailto:alexey.nechesnyuk@dgoi.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2537-6157>, SPIN-код: 9786-3028

М.М. Строженков: врач-радиотерапевт отделения лучевой терапии НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева, e-mail: [mikhail.strozhnikov@dgoi.ru](mailto:mikhail.strozhnikov@dgoi.ru); <https://orcid.org/0000-0005-1303-567X>, SPIN-код: 8045-2441

А.А. Логинова: к.ф.-м.н., руководитель группы–медицинский физик отделения лучевой терапии НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева, e-mail: [anna.loginova@dgoi.ru](mailto:anna.loginova@dgoi.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6609-6071>, SPIN-код: 8432-4796

Ф.Я. Канестри: врач-радиотерапевт отделения лучевой терапии НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева, e-mail: [francheska.kanestri@dgoi.ru](mailto:francheska.kanestri@dgoi.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1500-7139>, SPIN-код: 3952-7467

В.В. Горностаев: врач-радиотерапевт отделения лучевой терапии НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева, e-mail: [vladimir.gornostaev@dgoi.ru](mailto:vladimir.gornostaev@dgoi.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1261-2963>, SPIN-код: 4097-8185

А.Г. Румянцев: академик РАН, д.м.н., профессор, президент НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева, e-mail: [alexander.rumyantsev@dgoi.ru](mailto:alexander.rumyantsev@dgoi.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1643-5960>, SPIN-код: 2227-6305

### Вклад авторов

А.В. Нечеснюк: разработка дизайна статьи, сбор данных, анализ научного материала, обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, составление резюме

М.М. Строженков: разработка дизайна статьи, сбор данных, анализ научного материала, обзор публикаций по теме статьи, подготовка списка литературы, составление резюме

А.А. Логинова: разработка дизайна статьи, сбор данных, анализ научного материала, обзор публикаций по теме статьи, составление резюме

Ф.Я. Канестри: сбор данных, написание текста рукописи

В.В. Горностаев: сбор данных

А.Г. Румянцев: разработка дизайна статьи, составление резюме, научная редакция статьи

**A peer review of pediatric radiation therapy planning: results and prospects****A.V. Nechesnyuk, M.M. Strozhenkov, A.A. Loginova, F.Ya. Kanestri, V.V. Gornostaev, A.G. Rummyantsev***Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Ministry of Health of Russia; I Samory Mashela St., Moscow, 117997, Russia**Timely identification, analysis, and prevention of potential errors in radiotherapy are crucial for successful comprehensive treatment.***The aim of this study** – to establish a system of peer review of radiation therapy plans in pediatric practice prior to treatment initiation in order to avoid possible major errors in treatment planning as well as to assess and improve the quality of radiation therapy, and consequently, treatment outcomes of pediatric patients.*In study established a 42 % utilization rate for radiation therapy in pediatric practice.**Here, we present the results of a peer review of 589 radiation therapy plans in children conducted from 2019 to 2024, with 43.3 % of them requiring corrections. It was demonstrated that the most significant challenge in ensuring the quality of radiation therapy remained target volume delineation: the most common errors were related to target contouring (36.7 %), less frequently to organs-at-risk contouring (2.3 %), and dose prescription (5.4 %). Radiation therapy planning was most difficult in patients with Hodgkin lymphoma (55.2 % of errors) and those requiring craniospinal irradiation (39.5 % of errors).**A peer review of radiation therapy plans resulted in a significant ( $p < 0.001$ ) reduction of errors: from 51.1 % at first review to 23.6 % after the fourth one. These numbers confirm the educational value of the peer review system and its role in furthering professional development of specialists. A peer review of radiation therapy plans in children is an important tool for improving the quality of treatment and minimizing associated risks.**The results of our study emphasize the importance of continuing and expanding the use of radiotherapy planning so that to ensure high quality care and reduce risks for patients.***Key words:** radiation therapy, children, contouring, a peer review of radiation therapy plans, radiotherapy utilization rate.**For citation:** Nechesnyuk A.V., Strozhenkov M.M., Loginova A.A., Kanestri F.Ya., Gornostaev V.V., Rummyantsev A.G. A peer review of pediatric radiation therapy planning: results and prospects. Russian Journal of Pediatric Hematology and Oncology. 2025;12(4):27–36.**Information about the authors***A.V. Nechesnyuk: Cand. of Sci. (Med.), Head of the Radiation Therapy Department at the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Ministry of Health of Russia, e-mail: alexey.nechesnyuk@dgoi.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2537-6157>, SPIN-code: 9786-3028**M.M. Strozhenkov: Radiation Therapist at the Radiation Therapy Department at the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Ministry of Health of Russia, e-mail: mikhail.strozhenkov@dgoi.ru; <https://orcid.org/0000-0005-1303-567X>, SPIN-code: 8045-2441**A.A. Loginova: Cand. of Sci. (Phys.-Math.), Group Leader—Medical Physicist at the Radiation Therapy Department of the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Ministry of Health of Russia, e-mail: anna.loginova@dgoi.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6609-6071>, SPIN-code: 8432-4796**F.Ya. Kanestri: Radiation Therapist at the Radiation Therapy Department of the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Ministry of Health of Russia, e-mail: franchiseska.kanestri@dgoi.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1500-7139>, SPIN-code: 3952-7467**V.V. Gornostaev: Radiation Therapist at the Radiation Therapy Department of the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Ministry of Health of Russia, e-mail: vladimir.gornostaev@dgoi.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1261-2963>, SPIN-code: 4097-8185**A.G. Rummyantsev: Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Med.), Professor, President of the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Ministry of Health of Russia, e-mail: alexander.rummyantsev@dgoi.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1643-5960>, SPIN-code: 2227-6305***Authors' contribution***A.V. Nechesnyuk: conceptualization, data curation, formal analysis, review of publications on the topic, writing original draft, writing abstract**M.M. Strozhenkov: conceptualization, data curation, formal analysis, review of publications on the topic, reference list preparation, writing abstract**A.A. Loginova: conceptualization, data curation, formal analysis, review of publications on the topic, writing abstract**F.Ya. Kanestri: data curation, writing original draft**V.V. Gornostaev: data curation**A.G. Rummyantsev: conceptualization, writing abstract, scientific editing***Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / **Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки. / **Funding.** The study was performed without external funding.**Введение**

Лучевая терапия (ЛТ) в настоящее время является одной из важных составляющих лечения злокачественных новообразований. По данным Всемирной организации здравоохранения, около 70–75 % онкологических больных требуется проведение ЛТ, 50 % всех онкологических больных получают ее в процессе лечения [1]. ЛТ применяется в качестве самостоятельного метода лечения или как один из компонентов комплексного подхода. Она может быть использована как для радикального лечения, так и в качестве палиативной терапии.

С течением времени ЛТ претерпела значительные изменения. Достижения в области визуализации, появление новых методик проведения ЛТ, нового оборудования, систем дозиметрического планирования позволили реализовать более сложные лечебные планы, улучшить результаты лечения, а также снизить токсичность терапии. Современная ЛТ – высокоинтеллектуальная и трудозатратная отрасль медицины. Однако наличие в клинике высокотехнологичного оборудования и применение новых, более сложных методик ЛТ не всегда приводят к улучшению результатов лечения. Проведение курса ЛТ требует

высокой квалификации и слаженной работы группы специалистов – радиационных онкологов (лучевых терапевтов), медицинских физиков, радиационных техников и инженеров.

Основными этапами технологической цепочки планирования и проведения ЛТ являются выполнение топометрической разметки и оконтуривания, определение объемов облучения и расчет дозы на мишени и органы риска, проведение дозиметрического планирования и проверка плана, проведение сеансов ЛТ с использованием средств визуального контроля или без них. Качество ЛТ зависит от качества выполнения каждого этапа, ошибка на любом этапе при подготовке и/или реализации плана ЛТ может перечеркнуть результаты всей работы.

Своевременное выявление, анализ планов/протоколов ЛТ и ликвидация возможных ошибок имеют важное значение для обеспечения гарантии качества проведенного лечения. Влияние ошибок в планировании ЛТ на выживаемость было изучено в исследовании TROG 02.02 у пациентов с распространенным раком головы и шеи. Было показано снижение 2-летней общей выживаемости на 20 % (с 70 до 50 %;  $p < 0,001$ ) и 2-летней выживаемости без локорегионарных рецидивов на 24 % (с 78 до 54 %;  $p < 0,001$ ) в группе пациентов с ошибками в планировании ЛТ. В медицинских центрах, имеющих ограниченный опыт лечения пациентов с данной нозологией, ошибки встречались чаще. Так, если число пациентов было менее 5, то в 29,8 % планов ЛТ имелись ошибки, в то время как в медицинских центрах с числом пациентов более 20 ошибки в планировании наблюдались лишь в 5,4 % случаев [2].

По результатам ряда других исследований выявлено, что около 10–30 % планов ЛТ требуют изменений, как незначительных, так и значимых, способных повлиять на эффективность ее применения [3–5]. В крупном метаанализе когорты взрослых пациентов с различными локализациями опухолей, включающем 55 исследований и 96 444 случая референсной оценки планов из 10 стран, показаны аналогичные результаты. Суммарная доля рекомендаций по внесению изменений составила 28 %, причем рекомендации по существенным изменениям составили 12 %. Наиболее распространенные причины для рекомендаций по изменению планов ЛТ включали неверные определение объемов облучения (45 %), предписание дозы для мишени (33 %), органов риска (9 %) и оконтуривание органов риска (5 %) [6].

Доля планов, не отвечающих требованиям протокола у педиатрических пациентов, была показана в проекте QUARTET. Были проанализированы 263 пациента с различными локализациями. В 25 % случаев выявлено критическое несоответствие протоколу, что требовало изменения плана ЛТ. Наиболее частыми причинами являлись определение объемов мишеней (53 %), ограничение дозы на органы риска (31 %), доза для мишени (28 %), определение объемов органов риска (13 %) [7].

Таким образом, наибольшей проблемой в обеспечении качества ЛТ как у взрослых, так и у детей остается определение объемов мишени.

Неправильное определение объемов облучения в значительной степени может влиять на его качество и результаты лечения, причем даже в большей степени, чем погрешности в укладке или движениях органов [8]. При этом немаловажным фактором является частота встречаемости патологии. Так, оконтуривание часто встречающегося рака предстательной железы связано с меньшим количеством ошибок по сравнению с реже встречающимся раком прямой кишки [9].

Наиболее часто ошибки в определении объемов мишеней выявляются в наиболее сложных для оконтуривания локализациях – в области головы и шеи, малого таза [10–12]. Оконтуривание при детских раках значительно более трудоемко по сравнению даже с самыми сложными локализациями у взрослых. Среднее время оконтуривания в педиатрической практике, по данным исследования E. Montague et al., составляет 210 мин, а на оконтуривание мишеней в области головы и шеи, опухолей матки (наиболее сложных локализаций опухолей для радиотерапевта) тратится 120 и 85 мин соответственно [11].

Совокупность редкости патологии и сложности оконтуривания приводит к высокому проценту ошибок в планировании ЛТ в детской практике. Наиболее действенный способ снижения количества ошибок и улучшения качества ЛТ – проведение референсной оценки планов ЛТ и коррекция ошибок до начала лечения. В бельгийском национальном исследовании референса планирования ЛТ при раке прямой кишки было проанализировано 1224 плана, при 1-м обращении в 74,3 % случаев были внесены изменения. При последующих обращениях единообразие контуров увеличивалось, и после 10-го обращения результаты достоверно не отличались от последующих [13].

Международный опыт показал, что контроль качества минимизирует количество ошибок в ЛТ. Одним из методов такого контроля может являться референсная оценка планов ЛТ. Она призвана не только улучшить результат лечения конкретного пациента, но и повысить уровень подготовки специалистов, что может снизить количество ошибок в будущем и улучшить качество проводимых исследований в области ЛТ.

**Цель исследования** – разработка и внедрение системы референса планов/протоколов ЛТ в детской практике до начала лечения для исключения возможных грубых ошибок в планировании, оценки и улучшения качества ЛТ и, как следствие, результатов лечения пациентов детского возраста.

Основные задачи исследования:

- оценка числа детей, проходящих ЛТ в Российской Федерации;
- оценка потребности в проведении референса планов ЛТ и необходимых ресурсов для его проведения;

- разработка системы оценки планов ЛТ;
- выявление наиболее частых ошибок в планировании ЛТ;
- оценка влияния референса планов ЛТ на снижение количества ошибок при последующих обращениях;
- определение дальнейших шагов по улучшению качества ЛТ в педиатрической практике на основании анализа результатов проведенного референса.

### Материалы и методы

Нами был проведен опрос клиник радиотерапии и определено число пациентов детского возраста, которые проходили ЛТ в нашей стране. На основании общедоступных статистических данных, а также данных собственного опроса определена потребность в референсе планов ЛТ у детей, а также оценивались необходимые ресурсы для проведения такого референса.

Первым этапом оценки планов являлось определение показаний к облучению, его цели (радикальная или паллиативная), времени проведения, выбора метода радиотерапии (фотонная, протонная, брахитерапия и т. д.), объема и дозы облучения на основании представленной полной медицинской информации о пациенте, анализа данных визуализации на междисциплинарных совещаниях или в рамках телемедицинских консультаций с участием специалистов различных профилей.

Для стандартизации была разработана база данных, которая включала в себя оценку всех этапов оконтуривания и планирования: оценка контуров мишени, органов риска, предписания доз облучения в соответствии с клиническими рекомендациями и дозного распределения.

Были определены критерии оценки каждого этапа:

1. Принято (соответствует целям терапии, вероятность развития осложнений минимальна, или отсутствует возможность их избежать, нет отклонений от существующих клинических и методических рекомендаций).

2. Принято с замечаниями (соответствует целям противоопухолевой терапии, вероятность развития осложнений минимальна, или отсутствует возможность их избежать, есть отклонения от существующих клинических и методических рекомендаций).

3. Не принято (высока вероятность рецидива и/или развития осложнений, которых можно избежать).

Оценка контуров мишеней и предписанных доз проводилась в соответствии с действующими протоколами лечения, утвержденными клиническими рекомендациями, решениями междисциплинарных совещаний. Оценка контуров критических структур проводилась в соответствии с атласами RTOG, рекомендациями в протоколах лечения, действующими клиническими рекомендациями.

По результатам референсной оценки замечания и возможные пути их устранения были оформлены в рамках телемедицинских консультаций, а также проводились прямые консультации в формате «врач-радиотерапевт региональной клиники – врач-эксперт».

Для определения эффективности выполнения референсной оценки планов мы проанализировали количество непринятых планов в зависимости от числа обращений. Сравнивали процент непринятых планов при 1-м обращении и при 2, 3, 4-м и последующих обращениях. Значимость результатов оценивали по критерию  $\chi^2$  и точному критерию Фишера.

Учитывая особенности планирования и оконтуривания в зависимости от выбранной методики ЛТ, были выделены подгруппы в целях оценки риска ошибок при данных вариантах облучения вне зависимости от гистологического типа опухоли.

### Результаты и их обсуждение

#### Результаты референса

Мы начали проводить референсную оценку планов ЛТ в 2019 г. За 5 лет (с 2019 по 2024 г.) проведена оценка планов для 589 пациентов. В 2019 г. было оценено 3 плана, в 2020 г. – 42, в 2021 г. – 86, в 2022 г. – 142, в 2023 г. – 154, в 2024 г. – 162. Количество клиник, приславших планы на референс, составило 45 за все годы (в 2019 г. – 3, в 2020 г. – 17, в 2021 г. – 35, в 2022 г. – 40, в 2023 г. – 44, в 2024 г. – 45). Количество обращений от клиники варьировалось от 1 до 118 (среднее значение – 13,1, стандартное отклонение – 20,1).

Количество планов в зависимости от диагноза представлено в табл. 1.

**Таблица 1.** Количество планов лечения в зависимости от диагноза

**Table 1.** Number of treatment plans by diagnosis

Патология <i>Pathology</i>	Количество планов <i>Number of plans</i>	%
Опухоли ЦНС <i>CNS tumors</i>	223	37,9
Саркомы <i>Sarcomas</i>	123	20,9
Лимфома Ходжкина <i>Hodgkin's lymphoma</i>	96	16,3
Острый лейкоз <i>Acute leukemia</i>	80	13,6
Нейробластома <i>Neuroblastoma</i>	27	4,6
Нефробластома <i>Nephroblastoma</i>	22	3,7
Насофарингеальная карцинома <i>Nasopharyngeal carcinoma</i>	9	1,5
Опухоли слюнных желез <i>Salivary gland tumors</i>	3	0,5
Опухоли печени <i>Liver tumors</i>	1	0,2
Апластическая анемия <i>Aplastic anemia</i>	1	0,2
Плевропульмональная бластома <i>Pleuropulmonary blastoma</i>	1	0,2
Тимома <i>Thymoma</i>	1	0,2
Опухоль яичка <i>Testicular tumor</i>	1	0,2
Неходжкинская лимфома <i>Non-Hodgkin's lymphoma</i>	1	0
<i>Всего</i> <i>Total</i>	589	100

**Примечание.** ЦНС – центральная нервная система.

**Note.** CNS – central nervous system.

Наиболее часто оценивались планы пациентов с опухолями ЦНС (223; 37,9 %), лимфомой Ходжкина (96; 16,3 %), острым лейкозом (80; 13,6 %), саркомами мягких тканей (66; 11,2 %) и саркомой Юинга (57; 9,7 %). Пациенты с редко встречаемыми диагнозами (менее 5 %) не были включены в анализ.

Учитывая применение различных методик при одинаковом диагнозе и сходных методик при различных диагнозах, нами было выделено несколько подгрупп для более объективной оценки возникающих ошибок. Структура анализируемых групп представлена в табл. 2.

Пациенты с опухолями ЦНС были разделены на 2 подгруппы: с локальным (142; 63,7 %) или краниоспинальным (81; 26,3 %) облучением.

Среди пациентов с острым лейкозом мы отдельно выделили тех, которые получали профилактическое облучение головного мозга (70; 87,5 %).

Пациенты с саркомами мягких тканей и саркомой Юинга нами были объединены в одну группу из-за сходных подходов к планированию облучения, и их общее число составило 123.

**Таблица 2.** Структура анализируемых групп

**Table 2.** Structure of the analyzed groups

Группа Group	Количество планов Number of plans	%
Опухоли ЦНС (локальное облучение) CNS tumors (local irradiation)	142	27,2
Опухоли ЦНС (краниоспинальное облучение) CNS tumors (craniospinal irradiation)	81	15,5
Саркомы Sarcomas	123	23,6
Острый лейкоз (краниальное облучение) Acute leukemia (cranial irradiation)	80	15,3
Лимфома Ходжкина Hodgkin's lymphoma	96	18,4

### Оценка потребности в референсной оценке планов лучевой терапии у детей

Исходя из общемировой статистики, несмотря на успехи в лекарственной терапии, мы не наблюдаем уменьшения числа пациентов, получающих облучение [14]. Для оценки потребности в радиотерапии исследователи опираются на данные о заболеваемости населения, применяемых протоколах лечения и др. На сегодняшний день нет опубликованных данных о числе пациентов детского возраста, нуждающихся в облучении, упоминается лишь, что 33 % детей проходят облучение в странах с низким и средним уровнями дохода [15].

За последние годы не наблюдается значимых изменений в показателях заболеваемости детского населения, в 2023 г. в России было зарегистрировано 3806 новых случаев детского рака [16]. Результаты опроса 56 клиник показали, что в 2024 г. проходили облучение 1617 детей в 42 клиниках. Таким образом, в целом потребность в радиотерапии составила около 42 % от числа заболевших. Число пациентов в каждой

клинике варьировалось от 1 до 385 (среднее значение — 38,5 пациента в год, медиана — 7,5).

Для понимания опыта клиник в лечении детей мы объединили их в 4 группы: с числом пациентов 1–10, 11–25, 26–50 и более 50 в год.

Распределение пациентов, проходивших облучение в 2024 г., показано на рис. 1.



**Рис. 1.** Количество планов и клиник, сгруппированных по потоку пациентов за 2024 г. в Российской Федерации, по данным собственного опроса

**Fig. 1.** Number of treatment plans and clinics, grouped by patient flow for 2024 in the Russian Federation, based on an in-house survey

подавляющее большинство пациентов (1288; 79,7 %) проходили лечение в 6 крупных, хорошо оснащенных клиниках, имеющих большой опыт лечения детей. Находясь в тесном общении со специалистами этих медицинских учреждений, можно с уверенностью говорить о высоком качестве оказания в них медицинской помощи детям.

Основная поддержка требуется клиникам с небольшим потоком детей, нуждающихся в радиотерапии. В 2024 г. таких клиник было 36, в них получали радиотерапию 329 детей. На наш взгляд, при определении потребности в референсной оценке планов следует исходить из этих данных.

Не всегда референс проводился на основе полного набора данных. Зачастую на первом этапе врачи отправляли на оценку только контуры и предполагаемые дозы облучения, поэтому не было возможности оценить часть данных. Результаты оценки планов в абсолютном количестве и процентах представлены в табл. 3.

Количество планов, где имелись замечания хотя бы на одном этапе планирования, которые требовали внесения изменений, составило 255 (43,3 %). Это редко было связано с неприемлемым качеством оконтуривания критических структур (2,3 %) и предписанием доз (5,4 %), что говорит о достаточно высоком уровне общей радиотерапевтической подготовки врачей.

Доля ошибок в расчете дозы, из-за которых план не был принят при правильном оконтуривании мишени, составила 5,9 % (22 из 373 случаев). Таким образом, мы можем сделать вывод о высоком качестве дозиметрического планирования медицинскими физиками.

**Таблица 3.** Результаты референсной оценки планов облучения

**Table 3.** Results of the reference assessment of radiation plans

Параметр Parameter	Принято, n (%) Approved, n (%)	Принято с замечаниями, n (%) Approved with comments, n (%)	Не принято, n (%) Not approved, n (%)	Не оценено, n Not assessed, n	Всего оценено, n (%) Total assessed, n (%)
Мишень Target	265 (45,0)	108 (18,4)	216 (36,7)	0	589 (100)
Органы риска Organs at risk	501 (85,2)	74 (12,6)	13 (2,3)	1	588 (99,9)
Предписание дозы Dose prescription	467 (88,8)	31 (5,9)	28 (5,4)	63	526 (89,3)
Принятие плана Plan approval	235 (48,8)	73 (15,2)	174 (36,1)	107	482 (81,9)

Наиболее часто ошибки в планировании облучения были связаны с оконтуриванием мишени (36,7 %) и, как следствие, принятием плана в целом (36,1 %).

Таким образом, в данном исследовании мы сосредоточились на анализе наиболее частых ошибок, а именно связанных с оконтуриванием мишени, поиском возможных причин их возникновения и вариантов их устранения в дальнейшем.

#### Результаты оценки планов лучевой терапии в зависимости от диагноза и методики

При наиболее часто встречающихся патологиях/методиках (частота встречаемости в анализируемой группе – более 5 %) доля непринятых планов из-за ошибок оконтуривания мишени составила 36,7 % (216 из 589 случаев).

Наиболее сложными и с наибольшей частотой ошибок оказались пациенты с лимфомой Ходжкина, а также с опухолями ЦНС и краниоспинальным облучением.

Результаты оценки планов в зависимости от патологии/методики представлены в табл. 4.

В соответствии с целью референса (исключение в планировании грубых ошибок) в последующем разборе мы объединили параметры «принятые контуры» и «контуры, принятые с замечаниями».

#### Анализ ошибок при первом обращении

При оценке первых обращений из 45 клиник контуры были приняты в 22 (48,9 %) случаях, не приняты – в 23 (51,1 %).

При групповом анализе в зависимости от методики облучения и патологии нами выявлено, что при 1-м обращении две трети планов краниального облучения, более половины планов краниоспинального облучения и облучения при лимфоме Ходжкина не могли быть приняты.

Результаты анализа планов при 1-м обращении в зависимости от патологии/методики облучения представлены в табл. 5.

Методика тотального облучения головного мозга хорошо знакома «взрослым» радиотерапевтам и часто используется при метастатическом его поражении. Поражение ЦНС при лейкозах имеет особенности и проявляется прежде всего поражением мозговых оболочек, а не вещества головного мозга. С учетом этого в объем мишени следует включить верхние сегменты шейного отдела спинного мозга и ретроульбарные пространства (зрительные нервы) [17].

Пациентам детского возраста с лимфомой Ходжкина традиционно проводится малоинтенсивная химиотерапия, а при недостаточной ее эффективности, оцениваемой по позитронно-эмиссионной томо-

**Таблица 4.** Результаты оценки контуров мишени в зависимости от патологии/методики

**Table 4.** Results of target contouring assessment by pathology/technique

Патология/методика Pathology/technique	Количество планов Number of plans	Принято, n (%) Approved, n (%)	Принято с замечаниями, n (%) Approved with comments, n (%)	Не принято, n (%) Not approved, n (%)
Лимфома Ходжкина Hodgkin's lymphoma	96	32 (33,3)	11 (11,5)	53 (55,2)
ЦНС (всего) CNS (total)	223	107 (48,0)	40 (17,9)	76 (34,1)
ЦНС (локальное облучение) CNS (local irradiation)	142	75 (52,8)	23 (16,2)	44 (31,0)
ЦНС (краниоспинальное облучение) CNS (craniospinal irradiation)	81	32 (39,5)	17 (21,0)	32 (39,5)
Саркомы Sarcomas	123	57 (46,3)	24 (19,5)	42 (34,1)
Острый лимфобластный лейкоз (краниальное облучение) Acute lymphoblastic leukemia (cranial irradiation)	70	34 (48,6)	18 (25,7)	18 (25,7)
Всего Total	589	265 (45,0)	108 (18,3)	216 (36,7)

**Таблица 5.** Результаты анализа планов (контуров мишени) при 1-м обращении в зависимости от патологии/методики облучения  
**Table 5.** Analysis results of treatment plans (target contours) at 1<sup>st</sup> request by pathology/irradiation technique

Патология/методика <i>Pathology/technique</i>	Количество планов <i>Number of plans</i>	Принято, n (%) <i>Approved, n (%)</i>	Не принято, n (%) <i>Not approved, n (%)</i>
Острый лейкоз (краниальное облучение) <i>Acute leukemia (cranial irradiation)</i>	18	4 (22,2)	14 (77,8)
Лимфома Ходжкина <i>Hodgkin's lymphoma</i>	22	9 (40,9)	13 (59,1)
ЦНС (краниоспинальное облучение) <i>CNS (craniospinal irradiation)</i>	23	10 (43,5)	13 (56,5)
Саркомы <i>Sarcomas</i>	27	17 (63,0)	10 (37,0)
ЦНС (локальное облучение) <i>CNS (local irradiation)</i>	31	21 (67,7)	10 (32,3)
Любое 1-е обращение <i>Any 1<sup>st</sup> request</i>	45	22 (48,9)	23 (51,1)

графии после первых двух курсов, облучению должны подвергаться все зоны первичного поражения [18]. В нашей работе мы столкнулись с тем, что оконтуривание мишеней зачастую проводилось по актуальной визуализации на остаточную опухоль (как у взрослых пациентов) и не учитывались данные позитронно-эмиссионной томографии/компьютерной томографии до начала лечения.

При планировании краниоспинального облучения не учитывались особенности метастатического поражения ЦНС — по оболочкам головного и спинного мозга, и в объем облучения не включали позвоночный канал до крестцового отдела, зрительные нервы. Малый отступ на погрешности укладки для всей краниоспинальной оси не обеспечивал включение в мишень спинальные ганглии, нижние отделы головного мозга [19].

Наиболее частыми ошибками в оконтуривании мишени при планировании облучения сарком стали использование актуального опорного изображения, а не первичного [20, 21], ошибки в оценке субклинического распространения опухоли, недоучет анатомических барьеров распространения опухоли.

При планировании локального облучения задне-черепной ямки частыми ошибками стали недостаточный объем всего мозжечка, невключение ствола мозга в объем мишени.

#### **Динамика проведения референсной оценки планов лучевой терапии**

Проведение референса, кроме предотвращения грубых ошибок в планировании в конкретном случае, выполняет и образовательную задачу, заключающуюся в снижении ошибок в дальнейшем.

При сравнении всех планов в зависимости количества обращений от клиники и вне зависимости от патологии/методики мы получили достоверное ( $p = 0,019$ ) снижение количества ошибок с 51,1 % (при 1-м обращении) до 23,6 % (после 4-го обращения). Более подробно динамика отражена на рис. 2.

Таким образом, после 4-го обращения мы видим достоверное уменьшение количества непринятых

планов, что говорит об эффективности выбранного нами формата референсной оценки планов с указанием не только возможности или невозможности проведения ЛТ, но и всех неточностей и вариантов их устранения, даже если в конкретном случае они не являются критически значимыми.

Мы провели также анализ динамики принятия планов в зависимости от патологии/методики (рис. 3–7). На всех диаграммах статистически значимые отличия между рассматриваемыми группами отмечены скобкой с указанием уровня значимости  $p$  по критерию  $\chi^2$ .

На рис. 3 мы видим достоверное снижение процента ошибок с увеличением количества обращений у пациентов с саркомами, начиная с 4-го. Планирование облучения детей с этой патологией схоже с планированием облучения взрослых пациентов и требует индивидуального подхода в каждом случае.

Проведение краниального облучения у пациентов с острым лейкозом на первый взгляд радиотерапевта представляется хорошо знакомым по лечению пациентов с метастатическим поражением головного мозга. Незнание нюансов этой методики у детей приводит к большому проценту ошибок при 1-м обращении (77,8 %). После коррекции планов уже при 2-м обращении мы видим достоверное снижение процента ошибок (см. рис. 4).

Методика краниоспинального облучения применяется редко во «взрослой» радиотерапии и требует накопления опыта. Достоверное, практически 5-кратное снижение процента ошибок мы видим лишь после 4-го обращения (см. рис. 6).

Иную ситуацию мы наблюдаем при оценке планов лечения пациентов с лимфомой Ходжкина. Несмотря на накопление опыта, уровень ошибок остается очень высоким (около 50 %) (см. рис. 5). Это можно объяснить особенностями распространения болезни у детей, поражением групп лимфатических узлов, «нетипичных» для взрослых пациентов (парастернальных, ретрокуральных, заднего средостения и др.).

Мы не получили достоверной разницы в результатах с увеличением количества обращений у пациентов

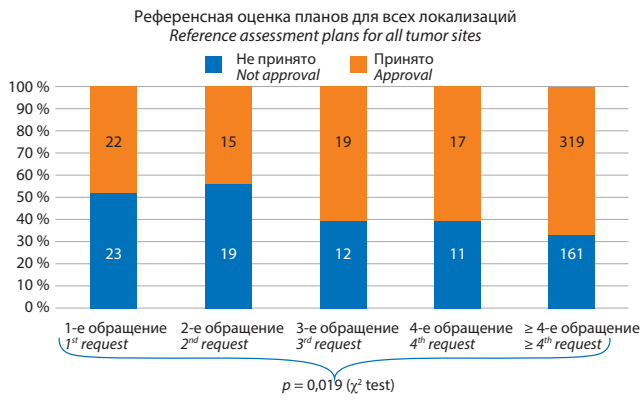


Рис. 2. Распределение принятия планов лечения в зависимости от количества обращений от клиники

Fig. 2. Treatment plan approval distribution by number of requests from the clinic

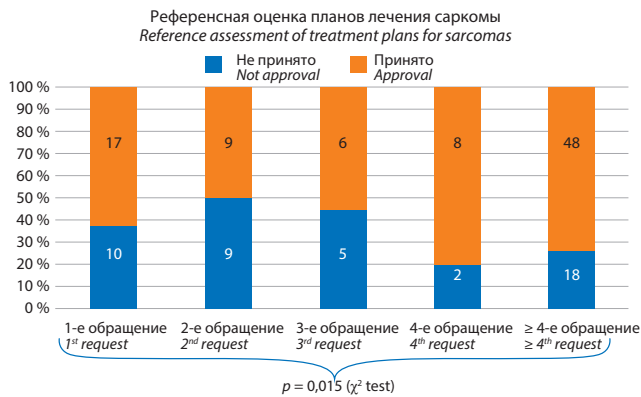


Рис. 3. Распределение принятия планов лечения пациентов с саркома-ми в зависимости от количества обращений от клиники

Fig. 3. Distribution of treatment plan approval for patient with sarcoma by number of requests from the clinic



Рис. 4. Распределение принятия планов краниального облучения пациентов с острым лейкозом в зависимости от количества обращений от клиники

Fig. 4. Distribution of treatment plan approval for acute leukemia patients by number of requests from the clinic

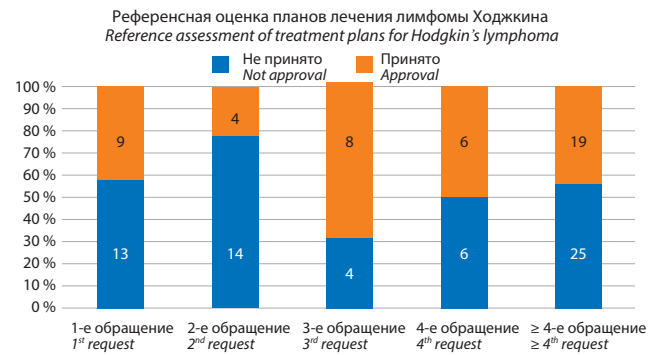


Рис. 5. Распределение принятия планов лечения пациентов с лимфомой Ходжкина

Fig. 5. Distribution of treatment plan approval of Hodgkin's lymphoma patients by number of requests from the clinic

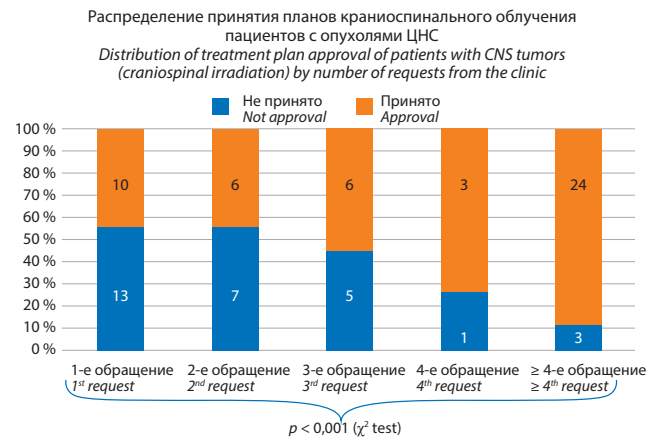


Рис. 6. Распределение принятия планов краниоспинального облучения пациентов с опухолями ЦНС

Fig. 6. Distribution of treatment plan approval of patients with CNS tumors (craniospinal irradiation) by number of requests from the clinic



Рис. 7. Распределение планов локального облучения пациентов с опухолями ЦНС

Fig. 7. Distribution of treatment plan approval of patients with CNS tumors (local treatment) by number of requests from the clinic

с локальным облучением опухолей ЦНС (см. рис. 7). Методики локального облучения схожи у педиатрических и взрослых пациентов. Уровень ошибок находится на относительно низком уровне (25–30 %).

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что отказаться от референса планов ЛТ можно лишь после 2-го обращения от клиники у пациентов с краниальным облучением по поводу острого лейкоза, а также после 4-го обращения у пациентов с краниоспинальным облучением. При этом следует иметь в виду, что ошибки появляются и после указанного количества обращений, что может быть связано со сменой врача, занимающегося лечением детей в отделении радиотерапии, а также другими причинами.

#### **Необходимые ресурсы для проведения референса**

Опираясь на данные, полученные в 2024 г., в референсе планов ЛТ нуждались 329 детей (число пациентов в клиниках – менее 50 в год). Исходя из того, что около 43 % планов ЛТ будут иметь грубые ошибки хотя бы в одном параметре, во 2-й и последующих итерациях референса будут нуждаться еще как минимум около 140 пациентов. Таким образом, ежегодная потребность в референсной оценке составляет не менее 470 пациентов.

Оценивая временные затраты на проведение референсной оценки и опираясь на собственный опыт, можно говорить о разбросе с 25–30 мин до нескольких часов на 1 пациента, когда требовалось разобраться в сложной клинической ситуации, оценить вероятность и степень выраженности возможных осложнений, отфильтровать необходимые данные из нескольких десятков пакетов файлов.

Кроме того, необходимым условием проведения референса является наличие программного обеспечения для возможности чтения файлов в формате DICOM-RT из разных систем планирования, установленных в различных клиниках.

#### **Заключение**

Система референса планов/протоколов ЛТ в детской практике была нами разработана и успешно внедрена, она продемонстрировала свою необходимость и эффективность в исключении грубых ошибок на этапе планирования. Это способствовало улучшению качества ЛТ и, как следствие, результатов лечения пациентов.

Анализ показал, что 43,3 % планов имели замечания, требующие коррекции. Наиболее распространенные ошибки связаны с оконтуриванием мишени (36,7 %) и принятием плана в целом (36,1 %). Реже встречались ошибки в оконтуривании органов риска (2,3 %) и предписании доз (5,4 %), что свидетельствует о достаточно высоком уровне подготовки специалистов в этих аспектах.

Наибольшие трудности возникали при планировании ЛТ для пациентов с лимфомой Ходжкина (55,2 % ошибок) и краниоспинальным облучением (39,5 % ошибок). Для этих групп требуются особое внимание и дополнительные образовательные мероприятия. В то же время для пациентов с локальным облучением опухолей ЦНС и саркомами уровень ошибок был ниже и снижался быстрее с увеличением опыта клиники в планировании ЛТ при данных патологиях.

Проведение референсной оценки планов ЛТ привело к достоверному снижению количества ошибок с 51,1 % при 1-м обращении до 23,6 % после 4-го обращения. Это подтверждает образовательную ценность системы референса и ее роль в повышении квалификации специалистов.

В ходе исследования нами было установлено, что около 42 % детей с онкологическими заболеваниями в Российской Федерации нуждаются в ЛТ (коэффициент использования ЛТ). Наибольшая потребность в референсной оценке планов наблюдается в клиниках с небольшим потоком пациентов детского возраста (менее 50 случаев в год). В данных клиниках проходят лечение около 20 % детей. По нашим оценкам, ежегодная потребность в референсной оценке составляет не менее 470 планов.

Для проведения референса необходимо специализированное программное обеспечение для работы с файлами DICOM-RT, а также нужны существенные временные ресурсы (от 30 мин до нескольких часов на пациента). Учитывая большое количество времени, необходимое для проведения референса, стоит рассмотреть вопрос об использовании систем искусственного интеллекта для более оперативного предоставления заключения региональным радиотерапевтам.

Для дальнейшего улучшения качества ЛТ в детской практике необходимо:

- обеспечить регулярный аудит планов ЛТ даже после накопления опыта клиниками, чтобы минимизировать ошибки, связанные с кадровыми изменениями;
- продолжить образовательные программы для радиотерапевтов, особенно по сложным методикам (краниоспинальное облучение, лимфома Ходжкина);
- расширить использование рекомендаций междисциплинарных совещаний и телемедицинских консультаций.

Референсная оценка планов/протоколов ЛТ у детей является важным инструментом повышения качества лечения и минимизации рисков. Внедрение системы референса планов ЛТ для детей доказало свою необходимость и эффективность.

Результаты проведенного исследования подчеркивают важность продолжения и расширения этой практики для обеспечения высокого качества лечения и снижения рисков для пациентов.

**ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES**

1. Baskar R., Lee K.A., Yeo R., Yeoh K.W. Cancer and radiation therapy: current advances and future directions. *Int J Med Sci.* 2012;9(3):193–9. doi: 10.7150/ijms.3635.
2. Peters L.J., O'Sullivan B., Giralt J., Fitzgerald T.J., Trotti A., Bernier J., Bourhis J., Yuen K., Fisher R., Rischin D. Critical impact of radiotherapy protocol compliance and quality in the treatment of advanced head and neck cancer: results from TROG 02.02. *J Clin Oncol.* 2010;28:2996–3001. doi: 10.1200/JCO.2009.27.4498.
3. Qureshi B.M., Mansha M.A., Karim M.U., Hafiz A., Ali N., Mirkhan B., Shaikat F., Tariq M., Abbasi A.N. Impact of peer review in the radiation treatment planning process: experience of a Tertiary Care University Hospital in Pakistan. *J Glob Oncol.* 2019;5:1–7. doi: 10.1200/JGO.19.00039.
4. Brunskill K., Nguyen T.K., Boldt R.G., Louie A.V., Warner A., Marks L.B., Palma D.A. Does peer review of radiation plans affect clinical care? a systematic review of the literature. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2017;97(1):27–34. doi: 10.1016/j.ijrobp.2016.09.015.
5. Gondi V., Cui Y., Mehta M.P., Manfredi D., Xiao Y., Galvin J.M., Rowley H., Tome W.A. Real-time pretreatment review limits unacceptable deviations on a cooperative group radiation therapy technique trial: quality assurance results of RTOG 0933. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2015;91(3):564–70. doi: 10.1016/j.ijrobp.2014.10.054.
6. Jomy J., Lu R., Sharma R., Lin K.X., Chen D.C., Winter J., Raman S. A systematic review and meta-analysis on the impact of institutional peer review in radiation oncology. *Radiother Oncol.* 2025;202:110622. doi: 10.1016/j.radonc.2024.110622.
7. Kelly S.M., Turcas A., Corning C., Bailey S., Cañete A., Clementel E., di Cataldo A., Dieckmann K., Gaze M.N., Horan G., Jenney M., Ladenstein R., Padovani L., Valteau-Couanet D., Boterberg T., Mandeville H. Radiotherapy quality assurance in paediatric clinical trials: first report from six QUARTET-affiliated trials. *Radiother Oncol.* 2023;182:109549. doi: 10.1016/j.radonc.2023.109549.
8. Weiss E., Hess C.F. The impact of gross tumor volume (GTV) and clinical target volume (CTV) definition on the total accuracy in radiotherapy theoretical aspects and practical experiences. *Strahlenther Onkol.* 2003;179(11):745–53. doi: 10.1007/s00066-003-1124-y.
9. Mitchell J.D., Chesnut T.J., Eastham D.V., Demandante C.N., Hoopes D.J. Detailed prospective peer review in a community radiation oncology clinic. *Pract Radiat Oncol.* 2017;7(1):50–6. doi: 10.1016/j.prro.2016.08.011.
10. Huo M., Gorayski P., Poulsen M., Thompson K., Pinkham M.B. Evidence-based peer review for radiation therapy – updated review of the literature with a focus on tumour subsite and treatment modality. *Clin Oncol (R Coll Radiol).* 2017;29(10):680–8. doi: 10.1016/j.clon.2017.08.002.
11. Montague E., Roques T., Spencer K., Burnett A., Lourenco J., Thorp N. How Long does contouring really take? results of the Royal College of Radiologists Contouring Surveys. *Clin Oncol (R Coll Radiol).* 2024;36(6):335–42. doi: 10.1016/j.clon.2024.03.005.
12. Ballo M.T., Chronowski G.M., Schlembach P.J., Bloom E.S., Arzu I.Y., Kuban D.A. Prospective peer review quality assurance for outpatient radiation therapy. *Pract Radiat Oncol.* 2014;4(5):279–84. doi: 10.1016/j.prro.2013.11.004.
13. Joye I., Lambrecht M., Jegou D., Hortobágyi E., Scalliet P., Haustermans K. Does a central review platform improve the quality of radiotherapy for rectal cancer? Results of a national quality assurance project. *Radiother Oncol.* 2014;111(3):400–5. doi: 10.1016/j.radonc.2014.03.003.
14. Jairam V., Roberts K.B., Yu J.B. Historical trends in the use of radiation therapy for pediatric cancers: 1973–2008. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2013;85(3):e151–5. doi: 10.1016/j.ijrobp.2012.10.007.
15. Bishr M.K., Zaghoul M.S., Elmaraghi C., Galal A., Abdelaziz M.S., Elghazawy H.I., Shaheen H., Ramzy E.S., Mesbah A., Eissa S.K., Hegazy R., Hamza A.M., Elkhateeb N., Mousa A.G. The radiotherapy utilization rate in pediatric tumors: An analysis of 13,305 patients. *Radiother Oncol.* 2021;154:220–6. doi: 10.1016/j.radonc.2020.09.058.
16. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М., 2024. [Malignant neoplasms in Russia in 2018 (morbidity and mortality). Ed. by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. M., 2024. (In Russ.)].
17. Острый лимфобластный лейкоз у детей: клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. М., 2024. 278 с. [Электронный ресурс]: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/529\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/529_2) (дата обращения: 02.09.2025). [Acute lymphoblastic leukemia in children: clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation. M., 2024. 278 p. [Electronic resource]: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/529\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/529_2) (accessed 09.02.2025). (In Russ.)].
18. Лимфома Ходжкина у взрослых: клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. М., 2024. 141 с. [Электронный ресурс]: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/139\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/139_2) (дата обращения: 02.09.2025). [Hodgkin's lymphoma in adults: clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation. M., 2024. 141 p. [Electronic resource]: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/139\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/139_2) (accessed 02.09.2025). (In Russ.)].
19. Ajithkumar T., Horan G., Padovani L., Thorp N., Timmermann B., Alapetite C., Gandola L., Ramos M., Van Beek K., Christiaens M., Lassen-Ramshad Y., Magelssen H., Nilsson K., Saran F., Rombi B., Kortmann R., Janssens G.O.; SIOPE BTG Radiotherapy Group. SIOPE – Brain tumor group consensus guideline on craniospinal target volume delineation for high-precision radiotherapy. *Radiother Oncol.* 2018;128(2):192–7. doi: 10.1016/j.radonc.2018.04.016.
20. Саркомы мягких тканей: клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. М., 2024. 185 с. [Электронный ресурс]: [https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/515\\_3](https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/515_3) (дата обращения: 02.09.2025). [Soft tissue sarcomas: clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation. M., 2024. 185 p. [Electronic resource]: [https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/515\\_3](https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/515_3) (accessed 02.09.2025). (In Russ.)].
21. Злокачественные новообразования костей и суставных хрящей: остеосаркома, саркома Юинга: клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. М., 2024. 140 с. [Электронный ресурс]: [https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/70\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/70_2) (дата обращения: 02.09.2025). [Malignant neoplasms of bones and articular cartilage: osteosarcoma, Ewing's sarcoma: clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation. M., 2024. 140 p. [Electronic resource]: [https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/70\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/70_2) (accessed 02.09.2025). (In Russ.)].

Статья поступила в редакцию: 20.09.2025. Принята в печать: 01.11.2025.

Article was received by the editorial staff: 20.09.2025. Accepted for publication: 01.11.2025.