



## ТРЕХМЕРНАЯ КОНФОРМНАЯ РЕНТГЕНОТЕРАПИЯ ПРИ ОСТЕОАРТРИТЕ КОЛЕННОГО СУСТАВА: РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ, АНАЛИЗ ДОЗНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

М.В.Макарова<sup>1</sup>, М.Ю.Вальков<sup>1,2</sup>, Д.Ю.Третьяков<sup>2</sup>

1. ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России, 163000, Российская Федерация, г. Архангельск, пр-т Троицкий, д. 51
2. ГБУ АО «Архангельский клинический онкологический диспансер», 163045, Российская Федерация, г. Архангельск, пр. Обводного канала, д. 145, корп. 1

### Резюме

Остеoarтрит (ОА) – наиболее частая патология суставов из всех заболеваний ревматологического профиля. Стандартное медикаментозное лечение не всегда позволяет купировать болевой синдром. К альтернативным методам лечения болевого синдрома при ОА можно отнести ортовольтовую рентгенотерапию (ОВРТ), применяемую с 1970-х годов. При ОВРТ максимальная доза приходится на кожу. На основе современных методов диагностики, при выборе соответствующей энергии излучения можно уменьшить объемы облучения коленного сустава.

**Цель исследования.** Изложить методику планирования облучения пациентов с гонартризмом и сравнить ее по дозиметрическим критериям с ОВРТ.

**Материалы и методы.** Сравнение планов распределения дозы ортовольтового пучка проводили по двухмерному аксиальному плану в области изоцентра для энергии 200 кВ с двух тангенциальных полей и мегавольтового пучка энергией 6 МэВ для трехмерной конформной методики облучения с использованием 3- и 6-польной изоцентрических методик облучения. Для описания объемов облучения применяли CTV (clinical target volume) и PTV (planning target volume). Для оценки объемного распределения дозы оконтуривали отдельно кости, образующие коленный сустав. Отступ на PTV – 3 мм.

**Результаты.** Применение 6-польной методики позволяет достигнуть распределения 95% дозы на 93% объема, а 90% планируемой дозы 45 сГр покрывает 97% объема PTV. Средняя доза на кожу и сосудисто-нервный пучок на курс – 150 и 240 сГр соответственно. Средняя доза облучения за курс в критических анатомических областях составляет 280 сГр и 150 сГр. При непрямом сравнении планов ОВРТ и 3D-конформной лучевой терапии при распределении дозы ортовольтового пучка в аксиальной плоскости в сравнении с дозными распределениями для конформных методик облучения можно считать, что покрытие мишени для сравниваемых методик аналогично.

**Заключение.** Методика трехмерного конформного облучения коленного сустава при ОА с прогрессирующим болевым синдромом может потенциально привести к увеличению противоболевого эффекта за счет большего покрытия дозой костных элементов сустава, являющихся потенциальным источником боли. Трехмерная конформная радиотерапия мегавольтовым пучком позволяет в 2,5 раза уменьшить лучевую нагрузку на кожу, что может снизить частоту отсроченных неблагоприятных эффектов.

### Ключевые слова:

остеоартрит, коленный сустав, ортовольтовая рентгенотерапия, конформная лучевая терапия

### Оформление ссылки для цитирования статьи

Макарова М.В., Вальков М.Ю., Третьяков Д.Ю. Трехмерная конформная рентгенотерапия при остеоартрите коленного сустава: радиобиологические предпосылки, анализ дозного распределения. Исследования и практика в медицине. 2018; 5(3): 20-27. DOI: 10.17709/2409-2231-2018-5-3-2

### Для корреспонденции

Макарова Мария Васильевна, к.м.н., ассистент кафедры лучевой диагностики, лучевой терапии и онкологии ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России

Адрес: 163000, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Гайдара, д. 3

E-mail: mtim10@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9144-3901>

**Информация о финансировании.** Работа не имела финансовой поддержки со стороны, выполнена исключительно за счет средств авторов.

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

Статья поступила 06.04.2018 г., принята к печати 31.08.2018 г.

# THREE-DIMENSIONAL CONFORMAL RADIATION THERAPY FOR THE OSTEOARTHRITIS OF KNEE JOINT: THE RADIOBIOLOGICAL BACKGROUND, DOSE DISTRIBUTION ANALYSIS

M.V.Makarova<sup>1</sup>, M.Yu.Valkov<sup>1,2</sup>, D.Yu.Tretjakov<sup>2</sup>

1. Northern State Medical University, 51 Troitsky ave., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation

2. Arkhangelsk Regional Oncological Center, 145/1 Obvodnyi ch., Arkhangelsk, 163045, Russian Federation

## Abstract

Osteoarthritis (OA) is the most frequent rheumatological pathology of the joints. Standard medical treatment does not always allow to stop the pain syndrome. The alternative method of pain treatment caused by OA is orthovoltage X-ray therapy (OVRT). It was used from 1970. The maximum dose by OVRT lies on the skin surface. Based on the modern methods of diagnosis, choosing the appropriate radiation energy, it is possible to reduce the amount of irradiation of the knee joint.

**The purpose.** Is to present the technique of radiation planning in patients with gonarthrosis and compare it with OVRT by dosimetry criteria.

**Materials and methods.** Comparison of dose distribution plans of the orthovoltage beam was carried out according to the two-dimensional axial plan in the area of the isocenter for the energy of 200 kV from two tangential fields and a megavoltage energy beam of 6 MeV for a three-dimensional conformal radiation therapy using 3- and 6-fields isocentric irradiation techniques. To describe amounts of radiation were applied to the CTV (clinical target volume) and PTV (planning target volume). To estimate the volume distribution of the dose, bones forming the knee joint were contoured separately. The indent on the PTV was 3 mm.

**Results.** The application of the 6-fields technique allows achieving 95% dose distribution at 93% of the volume, and 90% of the planned dose of 45 SGR covers 97% of the PTV. The average dose on the skin and the neurovascular bundle are of 150 and 240 cGy, respectively. The average radiation dose per course in critical anatomical areas is 280 cGy and 150 cGy. It can be considered that the target coverage for the compared methods is similar as for OVRT, and for 3D conformal radiation therapy plans for dose distribution of the orthogonal beam in the axial plane in comparison with dose distributions for conformal radiation techniques.

**Conclusion.** The technique of three-dimensional conformal radiation therapy of the knee joint in OA with progressive pain syndrome can potentially lead to an increase in the analgesic effect due to greater coverage with a dose of bone elements of the joint, which are a potential source of pain. Three-dimensional conformal radiotherapy megavoltage beam allows reducing the radiation load on the skin in 2.5 times, which can reduce the frequency of delayed adverse effects.

## Keywords:

osteoarthritis, knee joint, orthovoltage X-ray therapy, 3D conformal radiation therapy

## For citation

Makarova M.V., Valkov M.Yu., Tretjakov D.Yu. Three-dimensional conformal radiation therapy for the osteoarthritis of knee joint: the radiobiological background, dose distribution analysis. Research'n Practical Medicine Journal (Issled. prakt. med.). 2018; 5(3): 20-27. DOI: 10.17709/2409-2231-2018-5-3-2

## For correspondence

Maria V. Makarova, MD, PhD, assistant of the department of radiation diagnosis, radiotherapy and oncology, Northern State Medical University  
Address: 3 Gaidara str., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation  
E-mail: mtim10@gmail.com  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9144-3901>

**Information about funding.** No funding of this work has been held.

**Conflict of interest.** Authors report no conflict of interest.

The article was received 06.04.2018, accepted for publication 31.08.2018

Остеоартрит (ОА) – наиболее частая патология суставов из всех заболеваний ревматологического профиля. Доля гонартрозов составляет 70–80% всех случаев ОА, а традиционные методы лечения (нестероидные противовоспалительные препараты, структурно-модифицирующие средства в сочетании с ибупрофеном) не всегда оказывают необходимый анальгезирующий эффект, сопровождаясь рядом осложнений [1].

К альтернативным или, скорее, дополнительным методам лечения болевого синдрома дегенеративно-воспалительных заболеваний суставов можно отнести лучевую терапию (ЛТ). В СССР/России для лечения больных, как правило, старше 40 лет, традиционно используют ортовольтовую рентгенотерапию (ОВРТ), ее клиническая эффективность была показана во многих исследованиях, главным образом ретроспективного характера [2–6].

Подходы к рентгенотерапии по поводу ОА основываются на разработках А.Н.Кишковского и соавт., предложенных в конце 70-х годов прошлого века [7]. При классической ОВРТ ориентиром для облучения служит суставная щель тибιο-фemorально-го сочленения, определяемая по рентгенограмме в боковой проекции. Доза облучения рассчитывается на глубину 3 см, чего явно недостаточно для классического планирования облучения по изоцентру, учитывая среднюю толщину нижней конечности в области коленного сустава 8–10 см. Площадь облучения при этой методике с медиального и латерального полей составляет 6 × 8 см или 8 × 10 см. Условия облучения: расстояние источник-кожа (РИК) 75 см, расстояние источник-центр (РИЦ) 78 см, разовая очаговая доза (РОД) 3–5 сГр, суммарная очаговая доза (СОД) 20–40 сГр за 6–8 фракций. Интервал между сеансами облучения 48 ч [8]. Позднее в методическом пособии для врачей от 1999 г. были предложены такие же условия облучения [9].

В литературе указано, что ЛТ по поводу ОА безопасна, не вызывает необратимых функциональных и морфологических изменений в суставе [7, 10]. Однако исследования последних лет показали, что лучевое воздействие в разовых дозах менее 1 Гр может сопровождаться усилением биологических эффектов [11, 12]. Кроме того, объем облучения области патологических изменений в суставе, вызывающих болевой синдром, при ОВРТ не конформен, что приводит к облучению рядом расположенных нормальных тканей вокруг сустава. Наконец, энергия излучения при ОВРТ не превышает 250 кэВ, в связи с чем возрастает лучевая нагрузка на кожу.

Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ), медицинское облучение пациентов

источниками внешнего облучения обычно осуществляется в ограниченном объеме тканей тела пациента, при минимально возможном воздействии на нормальные ткани, попадающие в облучаемую область. В таких ситуациях следует принимать меры предосторожности, предотвращающие нежелательные тканевые реакции [13]. Это предопределяет необходимость уменьшения объемов облучения коленного сустава, что возможно на основе современных методов диагностики, а также при выборе соответствующей (большей) энергии излучения [14].

Таким образом, очевидно, что методики облучения ОА с помощью ОВРТ несовершенны по сравнению с таковой при облучении по поводу злокачественных опухолей, даже если планируемая суммарная доза невелика.

**Цель настоящего исследования** – изложить методику планирования облучения пациентов с гонартрозом и представить сравнение этой методики с ОВРТ по дозиметрическим критериям.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Методика облучения

Сравнение проводили для распределения дозы: ортовольтового пучка (рентгенотерапевтический аппарат Xstrahl-200) по двумерному аксиальному плану в области изоцентра при физико-технических условиях 200 кВ, 15 мА, СПО 1 мм меди (фильтр №8) с двух тангенциальных полей со стандартным размером поля 10 × 10 см;

мегавольтового пучка (линейный ускоритель ELECTA SYNERGY) энергией 6 МэВ для трехмерной конформной методики облучения с использованием 3- и 6-польной изоцентрических методик облучения.

Топометрию проводили на специализированном компьютерном томографе с применением тонких срезов (1,25–2,5 мм). Пациента укладывали на спину при небольшом угле сгибания в коленном суставе до 5° с фиксацией в вакуумном матрасе.

Выбор и формирование облучаемого объема – оконтуривание CTV (clinical target volume – клинический объем мишени) и PTV (planning target volume – планируемый лечебный объем).

Рекомендации МКРЕ (доклад 50) рассчитаны на применение при облучении злокачественных опухолей. В случае лучевого лечения ОА неприменима концепция GTV (gross tumor volume – видимый опухолевый объем), поэтому для описания объемов облучения применяли только CTV и PTV.

Для детальной оценки объемного распределения дозы оконтуривали отдельно кости, образующие

коленный сустав: 1) дистальный метаэпифиз бедра, 2) проксимальный метаэпифиз большеберцовой кости, 3) надколенник, 4) суставную полость тибιο-фemorального сочленения (мениски, крестообразные связки, суставные хрящи бедра и большеберцовой кости, синовиальная оболочка), 5) суставную щель пателло-фemorального сочленения (задняя поверхность надколенника, хрящ надколенника, синовиальная оболочка), 6) подколенную анатомическую область, ограниченную сверху сухожилиями двуглавой мышцы бедра (снаружи) и полуперепончатой и полусухожильной мышцами (изнутри), снизу ее ограничивают головкой икроножной мышцы с содержащимися в ней подколенными сосудами с их ветвями. В клинический объем облучения включали анатомические зоны, которые могут быть вовлечены в воспалительный процесс – оконтуренные зоны 1–5. Зону 6 определили, как область риска. Отступ на PTV определили в 3 мм.

Сравнение планов ортовольтного и трехмерно конформного облучения проводили по количественным и качественным признакам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Аранжировка полей при использовании методик трехмерного конформного облучения представлена на рисунке 1.

Планирование трехмерной конформной ЛТ делает возможной оценку распределения дозы в объеме. Распределения дозы в трех проекциях для этого вида ЛТ представлены на рисунке 2.

Плоскостные (аксиальная плоскость) распределения дозы для ОВРТ представлены на рисунке 3.

На рисунке 4 представлены гистограммы дозы-объема для 3- и 6-польной методик трехмерного конформного облучения. Планирование ортовольтной терапии не подразумевает расчета объемного распределения дозы.

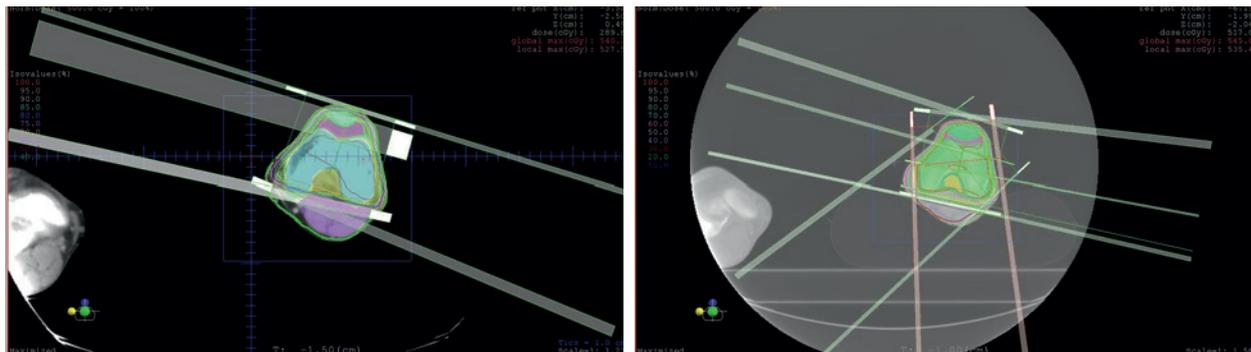


Рис. 1. Расположение полей при трехпольном и шестипольном трехмерном конформном облучении.

Fig. 1. The arrangement of fields in three-field and six-field three-dimensional conformal irradiation.

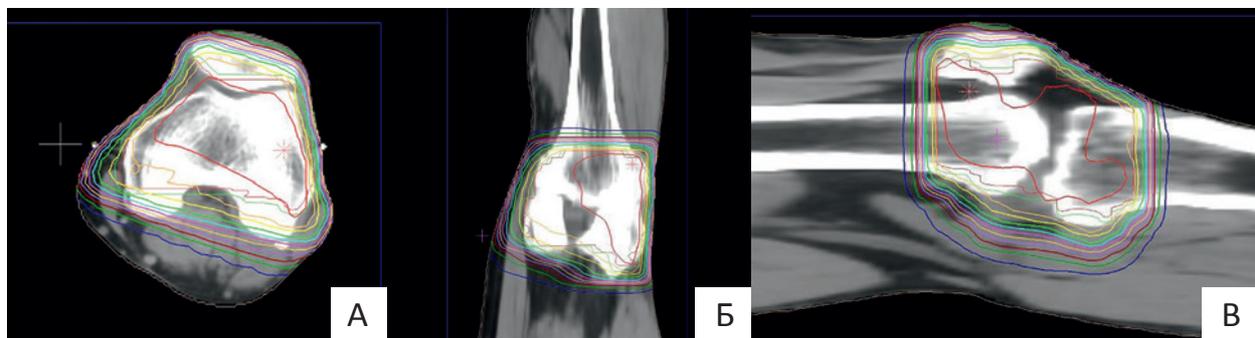


Рис. 2. Распределение дозы мегавольтного пучка при планировании лучевой терапии по поводу гонартрита. А) Аксиальная плоскость. Б) Корональная плоскость. В) Сагиттальная плоскость.

Fig. 2. Distribution of the dose of the megavolt beam in the planning of radiation therapy for gonarthrosis. А) Axial plane. Б) Coronal plane. В) Sagittal plane.

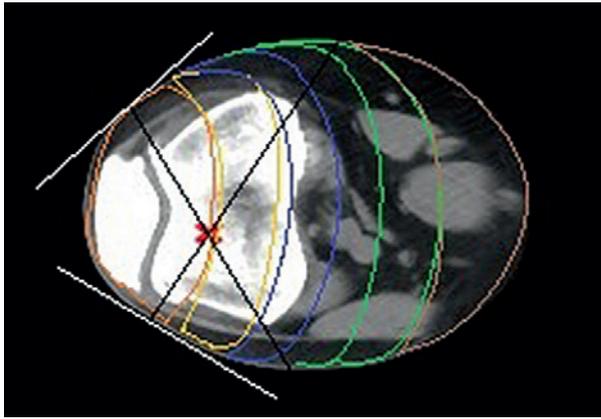


Рис. 3. Распределение дозы при ортовольтовой рентгенотерапии в аксиальной проекции.

Fig. 3. Dose distribution in orthovoltage X-ray therapy in axial projection.

Применение 6-польной методики позволяет достигнуть распределения 95% дозы на 93% объема. При этом 90% планируемой дозы 45 сГр покрывает 97% объема PTV. Средняя доза на кожу и сосудисто-нервный пучок подколенной области для всего курса облучения составляет 150 и 240 сГр соответственно. Программа планирования XiO (CMS-Elekta AB, Stockholm). Ниже в таблице 1 приведены количественные сведения о распределении дозы мегавольтового рентгеновского излучения для 6-польной трехмерной конформной методики. Видно, что анатомические зоны, составляющие PTV, удовлетворительно покрыты дозным облаком. Средняя доза облучения за курс в анатомических областях, принятых как критические, составляет 280 сГр и 150 сГр.

Прямое сравнение планов ОБРТ и 3D-конформной ЛТ невозможно. В таблице 2 приведены данные о распределении дозы ортовольтового пучка в аксиальной плоскости в сравнении с дозированными распределениями для конформных методик облучения. В целом, с ограничениями, можно считать,

что покрытие мишени для сравниваемых методик аналогично.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

ОБРТ является эффективным методом лечения ОА коленного сустава, однако накопленный опыт показывает, что данный вид лечения может быть не так безопасен, как было принято считать ранее [13]. Требования к конформности лучевой терапии по поводу злокачественных опухолей в настоящее время повышаются с учетом наличия рисков развития радиационно-индуцированных отдаленных вторичных злокачественных опухолей [15].

Популяция больных ОА молодеет [16], а общая ожидаемая продолжительность жизни, наоборот, удлинняется [17]. Соответственно, увеличивается и период наблюдения после облучения по поводу ОА. Учитывая возможный эффект индукции злокачественной опухоли, молодым пациентам (до 40 лет) ЛТ может быть применена только в исключительных случаях после тщательной оценки всех потенциальных рисков в сравнении с ожидаемой пользой от лечения [18]. Тем не менее можно ожидать, что число таких случаев будет увеличиваться, поэтому потребуются исследования по безопасности ЛТ через 20 лет и более. Мы полагаем, что должна измениться в сторону повышения конформности и методика ЛТ по поводу ОА.

В настоящем исследовании была предпринята попытка сравнения планов ОБРТ и трехмерной конформной ЛТ для пучка 6 МэВ. Несмотря на невозможность корректного прямого сравнения методик, можно считать, что покрытие дозой облучения являющейся основным источником боли области патологических изменений в пателло-фemorальном сочленении было одинаковым и при ОБРТ, и при конформном облучении. При этом средняя доза в костных структурах, составляющих сустав (метаэпифизы бедренной и большеберцовой кости и надколенник), а также в пателло-фemorальном сочленении, которые также являются источником боли [19], при ОБРТ была значительно ниже, чем при конформном облучении. Важное преимущество

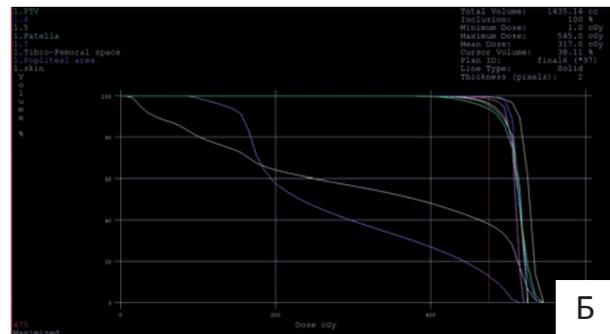
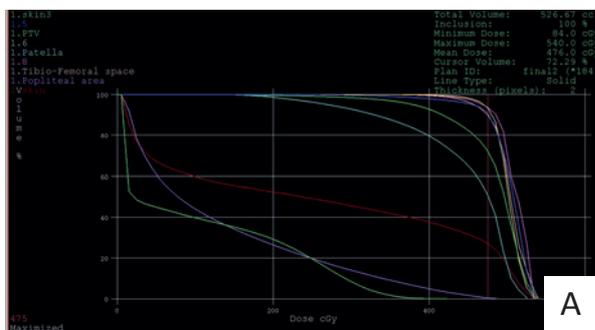


Рис. 4. Гистограмма дозы-объема при использовании А) 3- и Б) 6-польной методик.

Fig. 4. Dose-volume histogram using А) 3- and Б) 6-fold techniques.

**Таблица 1. Характеристики распределения разовой дозы в анатомических областях коленного сустава, составляющих РТВ, и критических структурах для 6-, 3-польной методики трехмерного конформного облучения пучком 6 МэВ (объемное) и ортовольтной рентгенотерапии (в аксиальной плоскости на уровне тибιο-фemorального сочленения)**  
**Table 1. Characteristics of the distribution of a single dose in the anatomical areas of the knee joint constituting PTV and critical structures for the six- and three-field technique of three-dimensional conformal irradiation with a 6 MeV beam (volume) and orthovoltage X-ray therapy (in the axial plane at the level of the tibio-femoral articulation)**

Анатомическая область	Dmin, cГр	Dmax, cГр	Dmean, cГр
Метаэпифиз бедренной кости	47/18/8	54/54/29	51/49/21
Метаэпифиз большеберцовой кости	38/33/15	55/54/35	52/49/28
Надколенник	28/9/30	52/53/42	51/44/34
ПФС	39/35/16	52/53/43	50/50/33
ТФС	35/30/43	53/54/52	51/49/48
Подколенная область	7/1/3	51/49/12	28/13/9
Кожа	1/1/3	45/42/53	15/15/39

**Примечание:** данные представлены через косую черту в следующем порядке: 3D-конформная ЛТ 6 полей/3D-конформная ЛТ 3 поля/ОВРТ. Dmin – минимальная разовая очаговая доза; Dmax – максимальная разовая очаговая доза; Dmean – средняя разовая очаговая доза; ПФС – пателло-фemorальное сочленение; ТФС – тибιο-фemorальное сочленение.

**Note:** the data is presented in a slash in the following order: 3D-conform LT 6 fields/3D-conform LT 3 fields/TIS. Dmin – minimal single focal dose; Dmax – maximum single focal dose; Dmean – is the average single-dose focal dose; PPS – patello-femoral articulation; TFS – is a tibio-femoral articulation.

**Таблица 2. Покрытие планируемого объема мишени для 3D-конформной и ортовольтной рентгенотерапии**  
**Table 2. Coverage of the planned target volume for 3D-conformal and orthovoltage X-ray therapy**

Вид ЛТ	Dmin, cГр	Dmax, cГр	Dmean, cГр	D95%, cГр	V95%,
3ДКЛТ (3 поля)	8	54	47	44	87
3ДКЛТ (6 полей)	27	55	51	47	93,7
ОВРТ (аксиальная плоскость на уровне ТФС)	40	54	49	–*	–*

**Примечание:** 3ДКЛТ – 3D-конформная лучевая терапия; Dmin – минимальная разовая очаговая доза; Dmax – максимальная разовая очаговая доза; Dmean – средняя разовая очаговая доза; D95% – 95% изодозное распределение; V95% – 95% планируемого объема. \*Расчет параметров D95% и V95% для ОВРТ не проведен в связи с недоступностью данных об объемном распределении дозы

**Note:** 3DCLT-three D conformal radiation therapy, Dmin – minimal single focal dose; Dmax – maximum single focal dose; Dmean – mean single focal dose; D95% – 95% isodose distribution. V95% – 95% of the planned volume.

\*Calculation of parameters D95% and V95% for TOCs was not carried out due to the unavailability of volumetric dose distribution data

трехмерного конформного подхода заключается в значимом снижении лучевой нагрузки на кожу: при мегавольтном облучении средняя доза была в 2,5 раза меньше, чем при ОВРТ. Ранее нами было показано, что в среднем через 10 лет после ОВРТ по поводу ОА тазобедренного сустава в коже происходят дистрофические изменения [20].

Разумеется, конформный подход к ЛТ незлокачественных заболеваний в целом и коленного ОА в частности требует проверки на эквивалентность эффективности лечения боли в рамках проспективного клинического исследования. Кроме того, реализация возможных отсроченных негативных эффектов облучения, доказывающих преимущество более оптимального дозного распределения дозы при конформном подходе, возможна только через очень длительный срок, 20–30 лет. Но уже накапливается база знаний о таких эффектах после ЛТ по поводу других незлокачественных заболеваний: облучение в сравнительно небольшой дозе в 2,5

раза увеличивает риск развития рака любой локализации и в 4 раза риск развития рака молочной железы у женщин, причем этот риск не уменьшается с течением времени и становится максимальным через 40 лет от момента проведения лучевой терапии [21].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описана методика трехмерного конформного облучения коленного сустава при ОА с прогрессирующим болевым синдромом. Ожидается, что ее применение может привести к увеличению противоболевого эффекта за счет большего покрытия дозой костных элементов сустава, являющихся потенциальным источником боли. Трехмерная конформная радиотерапия мегавольтным пучком позволяет в 2,5 раза уменьшить лучевую нагрузку на кожу, что, вероятно, сможет привести к снижению частоты отсроченных неблагоприятных эффектов.

### Список литературы

1. Ведение больных остеоартритом и коморбидностью в общей врачебной практике. Клинические рекомендации консенсуса экспертов Российской Федерации. М.: РНМОТ, 2016.
2. Дударев А.Л., Кишковский А.Н. Методические рекомендации по лучевой терапии неопухолевых заболеваний. Ленинград: Медицина, 1989.
3. Кравцов А.Я., Берке С.В., Громашов Е.П., Кантерман М.А., Силкин С.Н. Опыт использования рентгенотерапии при дегенеративно-дистрофических заболеваниях костей, суставов и воспалительных заболеваниях хирургического профиля. Вестник рентгенологии и радиологии. 1996;4:166.
4. Steffen CC, Muller K, Stellamor J, Zeithofer J. Influence of X-ray treatment on antigen induced experimental arthritis. *Ann Rheum Dis.* 1982 Oct;41(5):532-7.
5. Zschache H. The results of X-ray therapy in low-doses. *Radio-biol Radiother.* 1972;13(2):160-4.
6. Кишковский А.Н., Дударев А.Л. Лучевая терапия неопухолевых заболеваний. М.: Медицина, 1977.
7. Паньшин Г.А., Рыбаков Ю.Н. Рентгенотерапия неопухолевых заболеваний. Вестник РНЦРР МЗ РФ. 2005;5:386-387.
8. Кишковский А.Н., Александров С.Н., Дударев А.Л. Радиобиологические аспекты и клинические основы лучевой терапии неопухолевых заболеваний. М., 1981, с. 7-11.
9. Подляцук Е.Л., Рахманин Ю.А., Ставицкий Р.В., Сергиенко Н.Н. Лучевая терапия неопухолевых заболеваний. М.: Медицина, 1999.
10. Макарова М.В., Вальков М.Ю., Титова Л.В., Мардынский Ю.С., Золотков А.Г., Антипина И.Е., и др. Ортовольтная рентгенотерапия в симптоматическом лечении остеоартроза коленных суставов: анализ эффективности в сравнении со стандартными методами. *Радиология – практика.* 2009;4: 50-61.
11. Brenner DJ, Doll R, Goodhead DT, Hall EJ, Land CE, Little JB, et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2003 Nov 25;100(24):13761-6.
12. Prasanna A, Ahmed MM, Mohiuddin M, Coleman CN. Exploiting sensitization windows of opportunity in hyper and hypo-fractionated radiation therapy. *J Thorac Dis.* 2014 Apr;6(4):287-302. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2014.01.14
13. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1997b. Protection from potential exposures: application to selected radiation sources. ICRP Publication 76. Ann. ICRP 27 (2). Доступно по: <https://icru.org/home/reports/prescribing-recording-and-reporting-photon-beam-therapy-report-50>. Дата обращения 01.04.2018
14. Podgorsak EB. Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005.
15. McLean AR, Adlen EK, Cardis E, Elliott A, Goodhead DT, Harms-Ringdahl M, et al. A restatement of the natural science evidence base concerning the health effects of low-level ionizing radiation. *Proc Biol Sci.* 2017 Sep 13;284(1862). pii: 20171070. DOI: 10.1098/rspb.2017.1070
16. Балабанова Р.М., Дубинина Т.В., Эрдес Ш.Ф. Динамика заболеваемости ревматическими заболеваниями взрослого населения России за 2010–2014 гг. *Научно-практическая ревматология.* 2016;54(3):266-270. DOI: 10.14412/1995-4484-2016-266-270
17. Демографический ежегодник России. М.: Росстат, 2017.
18. Micke O, Micke O, Muecke R; German Cooperative Group on Radiotherapy for Non-malignant Diseases (GCG-BD). Radiotherapy for non-malignant disorders: state of the art and update of the evidence-based practice guidelines. *Br J Radiol.* 2015 Jul;88(1051):20150080. DOI: 10.1259/bjr.20150080.
19. Зайцева Е.М., Алексеева Л.И. Причины боли при остеоартрозе и факторы прогрессирования заболевания (обзор литературы). *Научно-практическая ревматология.* 2011;1:50-57.
20. Ковров К.Н., Макарова М.В., Левит М.Л., Гагарина Т.Ю., Смирнова М.Н., Вальков М.Ю. Морфологический анализ состояния облученной кожи после низкодозной рентгенотерапии остеоартроза тазобедренных суставов. *Лучевая диагностика и терапия.* 2011;2:72-6.
21. Schaapveld M, Aleman BM, van Eggermond AM, Janus CP, Krol AD, van der Maazen RW, et al. Second primary malignancies lymphoma. *N Engl J Med.* 2015 Dec 24;373(26):2499-511. DOI: 10.1056/NEJMoa1505949.

### References

1. Vedenie bol'nykh osteoartritom i komorbidnost'yu v obshchei vrachebnoi praktike. Klinicheskie rekomendatsii konsensusa ekspertov Rossiiskoi Federatsii [Management of patients with osteoarthritis and comorbidity in general practice. Clinical recommendations of consensus of experts of the Russian Federation]. Moscow, 2016. (In Russian).
2. Dudarev AL, Kishkovskii AN. Metodicheskie rekomendatsii po luchevoi terapii neopukhovevnykh zabolevaniy [The methodological recommendations for radiotherapy of non-tumor diseases]. Leningrad: "Meditsina" Publ., 1989. (In Russian).
3. Kravtsov AYa, Berke SV, Gromashov EP, Kanterman MA, Silkin SN. Opyt ispol'zovaniya rentgenoterapii pri degenerativno-distroficheskikh zabolevaniyakh kostei, sustavov i vospalitel'nykh zabolevaniyakh khirurgicheskogo profilya. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 1996;4:166. (In Russian).
4. Steffen CC, Muller K, Stellamor J, Zeithofer J. Influence of X-ray treatment on antigen induced experimental arthritis. *Ann Rheum Dis.* 1982 Oct;41(5):532-7.
5. Zschache H. The results of X-ray therapy in low-doses. *Radio-biol Radiother.* 1972;13(2):160-4.

6. Kishkovskii AN, Dudarev AL. Luchevaya terapiya neopukholevykh zabolevanii [Radiation therapy of non-tumor diseases]. Moscow: "Meditsina" Publ., 1977. (In Russian).
7. Pan'shin GA, Rybakov YuN. Rentgenoterapiya neopukholevykh zabolevanii. Vestnik RNTsRR MZ RF. 2005;5:386-387. (In Russian).
8. Kishkovskii AN, Aleksandrov SN, Dudarev AL. Radiobiologicheskie aspekty i klinicheskie osnovy luchevoi terapii neopukholevykh zabolevanii [Radiobiological aspects and clinical bases of radiation therapy of non-tumor diseases]. Moscow, 1981, pp. 7-11. (In Russian).
9. Podlyashchuk EL, Rakhmanin YuA, Stavitskii RV, Sergienko NN. Luchevaya terapiya neopukholevykh zabolevanii [Radiotherapy of non-tumor diseases]. Moscow: "Meditsina" Publ., 1999. (In Russian).
10. Makarova MV, Val'kov MJu, Titova LV, Mardynskij JuS, Zolotkov AG, Antipina IE, Grigor'eva EA, Grzhibovskij AM. Orthovoltage radiotherapy in the symptomatic treatment of osteoarthritis of the knee: analysis of effectiveness in comparison with standard methods. Radiology – Practice. 2009;4:50-61. (In Russian).
11. Brenner DJ, Doll R, Goodhead DT, Hall EJ, Land CE, Little JB, et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. Proc Natl Acad Sci U S A. 2003 Nov 25;100(24):13761-6.
12. Prasanna A, Ahmed MM, Mohiuddin M, Coleman CN. Exploiting sensitization windows of opportunity in hyper and hypo-fractionated radiation therapy. J Thorac Dis. 2014 Apr;6(4):287-302. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2014.01.14
13. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1997b. Protection from potential exposures: application to selected radiation sources. ICRP Publication 76. Ann. ICRP 27 (2). Available at: <https://icru.org/home/reports/prescribing-recording-and-reporting-photon-beam-therapy-report-50>. Accessed 01.04.2018
14. Podgorsak EB. Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005.
15. McLean AR, Adlen EK, Cardis E, Elliott A, Goodhead DT, Harms-Ringdahl M, et al. A restatement of the natural science evidence base concerning the health effects of low-level ionizing radiation. Proc Biol Sci. 2017 Sep 13;284(1862). pii: 20171070. DOI: 10.1098/rspb.2017.1070
16. Balabanova R, Dubinina TV, Erdes ShF. Trends in the incidence of rheumatic diseases in the adult population of Russia over 2010-2014. Rheumatology Science and Practice. 2016;54(3):266-270. DOI: 10.14412/1995-4484-2016-266-270 (In Russian).
17. Demograficheskii ezhegodnik Rossii [The Demographic Yearbook of Russia]. Moscow: Rosstat, 2017. (In Russian).
18. Micke O, Micke O, Muecke R; German Cooperative Group on Radiotherapy for Non-malignant Diseases (GCG-BD). Radiotherapy for non-malignant disorders: state of the art and update of the evidence-based practice guidelines. Br J Radiol. 2015 Jul;88(1051):20150080. DOI: 10.1259/bjr.20150080.
19. Zaitseva EM, Alekseyeva LI. The causes of pain in osteoarthritis and the factors of disease progression (a review of literature). Rheumatology Science and Practice. 2011;1:50-57. (In Russian).
20. Kovrov KN, Makarova MV, Levit ML, Gagarina TYu, Smirnova MN, Val'kov MYu. Morphological analysis of irradiated skin after the low dose x ray therapy of the hip joint osteoarthritis. Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2011;2:72-6. (In Russian).
21. Schaapveld M, Aleman BM, van Eggermond AM, Janus CP, Kroel AD, van der Maazen RW, et al. Second primary malignancies lymphoma. N Engl J Med. 2015 Dec 24;373(26):2499-511. DOI: 10.1056/NEJMoa1505949.

#### Информация об авторах:

Макарова Мария Васильевна, к.м.н., ассистент кафедры лучевой диагностики, лучевой терапии и онкологии ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9144-3901>

Вальков Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики, лучевой терапии и онкологии ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3230-9638>

Третьяков Дмитрий Юрьевич, медицинский физик, ГБУ АО «Архангельский клинический онкологический диспансер»

#### Information about authors:

Maria V. Makarova, MD, PhD, assistant of the department of radiation diagnosis, radiotherapy and oncology, Northern State Medical University

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9144-3901>

Mikhail Yu. Valkov, MD, PhD, DSc, professor, head of the department of radiation diagnosis, radiotherapy and oncology, Northern State Medical University

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3230-9638>

Dmitrij Yu. Tretjakov, medical physicist, Arkhangelsk Regional Oncological Center