



© В.К. Карандашов<sup>1</sup>, Р.В. Новиков<sup>1,2</sup>, Е.С. Круглова<sup>2</sup>, О.И. Пономарева<sup>2</sup>,  
 И.А. Буровик<sup>2</sup>, С.И. Тятков<sup>2</sup>, А.В. Кулиш<sup>2</sup>, Г.А. Лясович<sup>3</sup>, В.В. Протошак<sup>1</sup>, С.Н. Новиков<sup>2</sup>

## Роль промежностной имплантации парапростатического спейсера в сохранении постлучевого эректильного статуса

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования  
 «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации,  
 Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр  
 онкологии имени Н.Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург,  
 Российская Федерация

<sup>3</sup>Федеральное казенное учреждение здравоохранения «Медико-санитарная часть Министерства  
 внутренних дел Российской Федерации по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области»,  
 Санкт-Петербург, Российская Федерация

© Vasili K. Karandashov<sup>1</sup>, Roman V. Novikov<sup>1,2</sup>, Ekaterina S. Kruglova<sup>2</sup>, Olga I. Ponomareva<sup>2</sup>,  
 Ilya A. Burovik<sup>2</sup>, Stanislav A. Tyatkov<sup>2</sup>, Anna V. Kulish<sup>2</sup>, Georgii A. Liasovich<sup>3</sup>,  
 Vladimir V. Protoshchak<sup>2</sup>, Sergey N. Novikov<sup>2</sup>

## Role of Perineal Implantation of a Paraprostatic Spacer in Maintaining Erectile Function after Radiation Therapy

<sup>1</sup>S.M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg,  
 the Russian Federation

<sup>2</sup>N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Health of the Russian Federation,  
 St. Petersburg, the Russian Federation

<sup>3</sup>St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, St. Petersburg, the Russian Federation

**Введение.** Повышение безопасности лучевого лечения рака предстательной железы (РПЖ) — важная задача современной радиационной онкологии. Разработка методики облучения, позволяющая снизить риски постлучевой эректильной дисфункции, направлена на решение данной задачи.

**Цель.** Оценить механизмы снижения дозы на область сосудистых эректильных критических органов (ЭрКО) при лучевом лечении РПЖ, обусловленные промежностной имплантацией парапростатического биодеградируемого спейсера (ПБС).

**Материалы и методы.** В исследование вошли 20 пациентов с верифицированным РПЖ, которым проводилась стереотаксическая лучевая терапия (СТЛТ) в суммарной очаговой дозе 36,25 Гр. На этапе предлучевой подготовки выполнено промежностное введение отечественного спейсера в объеме 6–8 мл. Для анализа дозиметрических изменений, обусловленных введением биополимера, у каждого пациента рассчитано по четыре (всего 80) плана: стандартный план (СП) до имплантации ПБС без снижения дозы на область сосудистых ЭрКО (СП-1), сосудосберегающий план (ССП) до имплантации ПБС (ССП-1), стандартный план после имплантации ПБС без снижения дозы на область сосудистых ЭрКО (СП-2) и сосудосберегающий план после имплантации ПБС (ССП-2).

**Результаты.** Выявлено фактически полное отсутствие изменений в топографии верхушки предстательной железы относительно базальных структур полового члена. Значимых различий по величине радиационной нагрузки на область сосудистых ЭрКО при стандартном планировании (СП-1 и СП-2) независимо от использования ПБС получе-

**Introduction.** Improving the safety of prostate cancer (PCa) radiotherapy is the most important challenge facing modern radiation oncology. The development of a radiotherapy technique that reduces the risk of post-radiation erectile dysfunction aims to solve this problem.

**Aim.** To evaluate the mechanisms of dose reduction to the erectile critical organs (ErCO) during radiotherapy for PCa by perineal implantation of a paraprostatic biodegradable spacer (PBS).

**Materials and Methods.** The trial included 20 patients with verified PCa who received stereotactic radiotherapy (SRT) with a total dose of 36.25 Gy. In the pre-radiation preparation, a perineal injection of a domestically produced spacer was performed in the volume of 6–8 ml. Four plans (80 in total) were calculated for each patient to analyse dose changes due to the use of the biopolymer: a standard plan (SP) before PBS implantation without dose reduction to the ErCO vessel (SP-1), a vessel-sparing plan (VSP) before PBS implantation (VSP-1), a standard plan after PBS implantation without dose reduction to the ErCO vessel (SP-2) and a vessel-sparing plan after PBS implantation (VSP-2).

**Results.** There was virtually no change in the topography of the prostate apex in relation to the basal structures of the penis. There were no significant differences in radiation dose to vascular ErCO in standard planning (SP-1 and SP-2), regardless of the use of PBS. Additional optimization to maximise dose reduction under the vessel-sparing protocol (SSP-1 and

но не было. Дополнительная оптимизация, направленная на максимальное снижение дозы в рамках протокола сосудосбережения (ССП-1 и СПП-2), обеспечила существенное снижение дозы на область сосудистых ЭрКО по сравнению со стандартными планами, а имплантация ПБС позволила достигнуть наименьших показателей облучения внутренней половой артерии ( $p < 0,0001$ ).

**Выводы.** Промежностная имплантация ПБС позволяет повысить эффективность сосудосберегающей лучевой терапии РПЖ за счет временного смещения передней стенки прямой кишки относительно предстательной железы, что улучшает оптимизацию пространственного распределения дозы.

**Ключевые слова:** рак предстательной железы; лучевая терапия; спейсер; гиалуроновая кислота; эректильная дисфункция; внутренняя половая артерия; луковица полового члена; ножки кавернозных тел

**Для цитирования:** Карандашов В.К., Новиков Р.В., Круглова Е.С., Пономарева О.И., Буровик И.А., Тятков С.И., Кулиш А.В., Лясович Г.А., Протошак В.В., Новиков С.Н. Роль промежностной имплантации парапростатического спейсера в сохранении постлучевого эректильного статуса. *Вопросы онкологии*. 2025; 71 (5): 1091-1101.-DOI: 10.37469/0507-3758-2025-71-5-OF-2234

✉ Контакты: Новиков Роман Владимирович, novikov-spb@mail.ru

## Введение

Современная лучевая терапия рака предстательной железы (РПЖ) демонстрирует равнозначные с радикальной простатэктомией показатели онкологической эффективности лечения, что переносит проблему выбора предпочтительной лечебной тактики в плоскость представлений о возможности сохранения качества жизни [1, 2]. Эректильная дисфункция — частое осложнение оперативного вмешательства, в том числе при нервосберегающем варианте вмешательства. Кроме того, сохранение сосудисто-нервных пучков (СНП) неизбежно ведет к существенному повышению риска оставления позитивного хирургического края [3]. Большинство радиотерапевтических методик демонстрируют сохранность приемлемого статуса эректильной функции у 50–55 % исходно потенциальных больных к исходу пятилетнего срока наблюдения [4, 5]. Сосудосберегающая лучевая терапия РПЖ позволяет повысить этот показатель до 70–80 % [6–8]. Потребность в снижении лучевой нагрузки на окружающие предстательную железу нормальные ткани, в первую очередь прямую кишку, привела к созданию нового класса изделий медицинского назначения — биодеградируемых спейсеров [9]. Помимо очевидной роли парапростатических биодеградируемых спейсеров (ПБС) в протекции стенки кишки, в ряде исследований было продемонстрировано положительное влияние промежностной имплантации биополимеров на сохранение эректильной функции после проведенного облучения [10, 11]. Рандомизи-

SSP-2) resulted in a significant reduction in dose to vascular ErCO compared to standard plans, and implantation of PBS enabled the lowest levels of IPA exposure to be achieved ( $p < 0.0001$ ).

**Conclusion.** Perineal implantation of a PBS improves the effectiveness of vessel-sparing radiotherapy for PCa by temporarily displacing the anterior rectal wall relative to the prostate, providing additional opportunities to optimize spatial dose distribution.

**Keywords:** prostate cancer; radiation therapy; spacer; hyaluronic acid; erectile dysfunction; internal pudendal artery; penile bulb; crura cavernous

**For Citation:** Vasili K. Karandashov, Roman V. Novikov, Ekaterina S. Kruglova, Olga I. Ponomareva, Ilia A. Burovik, Stanislav A. Tyatkov, Anna V. Kulish, Georgii A. Liasovich, Vladimir V. Protoshchak, Sergey N. Novikov. Role of perineal implantation of a paraprostatic spacer in maintaining erectile function after radiation therapy. *Voprosy Onkologii = Problems in Oncology*. 2025; 71(5): 1091-1101. (In Rus).-DOI: 10.37469/0507-3758-2025-71-5-OF-2234

рованный характер этих работ, большое число включенных пациентов и длительные сроки наблюдения дают основание считать данный феномен доказанным. Очевидно, что основным неблагоприятным фактором, ассоциированным с риском развития радиационно-индуцированной эректильной дисфункции (РИЭД) при дистанционном лучевом лечении РПЖ, является величина дозы, подводимой к эректильным критическим органам (ЭрКО). Вместе с тем анализ литературы указывает на отсутствие четкого понимания механизмов снижения радиационной нагрузки на область ЭрКО при использовании ПБС. Цель исследования — оценить предполагаемые механизмы снижения радиационной нагрузки на область сосудистых ЭрКО при лучевой терапии РПЖ, обусловленные промежностной имплантацией ПБС.

## Материалы и методы

В исследование вошли 20 пациентов РПЖ групп низкого и промежуточного риска по NCCN (National Comprehensive Cancer Network), которым в качестве радикального лечения планировалась стереотаксическая лучевая терапия (СТЛТ) до суммарной очаговой дозы 36,25 Гр (эквивалентно 90,6 Гр).

Промежностная имплантация биополимера (стабилизированная гиалуроновая кислота — СГК) осуществлялась в литотомической позиции под УЗИ-контролем согласно описанной ранее методике [12]. 11 (55 %) из 20 пациентов было имплантировано 8 мл СГК, оставшимся 9 (45 %) наблюдаемым — 6 мл.

В предлучевую подготовку, помимо получения топометрических компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ), необходимых для дозиметрических расчетов лечебных планов, был добавлен дополнительный этап — первичные топометрические КТ и МРТ, выполненные перед процедурой введения ПБС. Лечебные (постимплантационные) топометрические исследования выполнялись минимум через сутки с момента введения ПБС.

В отделении радиотерапии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России разработан оригинальный протокол топометрической МРТ у больных РПЖ. Он состоит из двух МР-последовательностей: axial T2 space и axial T2-tirm. T2-взвешенные изображения (axial T2 space) использовались для оконтуривания простаты и основных ЭрКО: внутренней половой артерии (ВПА), ножек кавернозных тел (НКТ) и луковицы полового члена (ЛПЧ).

Определение границ, оконтуривание и оценка топографической анатомии сосудистых ЭрКО и предстательной железы осуществлялись по ранее описанной методике [13]. В ходе этой части исследования оценивались следующие пространственные параметры: апикально-бульбарное расстояние (АБР), апикально-артериальное расстояние (справа, слева) (ААР), простато-артериальное расстояние (справа, слева) (ПАР), базально-артериальное расстояние (справа, слева) (БАР), апикально-кавернозное расстояние (справа, слева) (АКР) (рис. 1).

Границами апекса и базиса предстательной железы (измерение АБР и БАР) были определены плоскости, проходящие на 5 мм дисталь-

нее и проксимальнее уровней появления ткани простаты при аксиальном сканировании.

При расчетах дозиметрических планов ориентировались на общепринятые требования к дозиметрическим планам СТЛТ РПЖ Radiation Therapy Oncology Group (RTOG 0938) [14]. Лечение пациентов планировалось на одном линейном ускорителе электронов TRUEBEAM STX (Varian Medical System) с минимальной шириной лепестка коллиматора в области изоцентра, равного 2,5 мм.

Покрывание мишени (планируемый объем облучения — PTV), включающий предстательную железу, проксимальную треть семенных пузырьков и уменьшенный отступ во всех направлениях 3 мм (в сторону прямой кишки — 2 мм) предписанной дозой оценивалось по показателям  $D_{\min}$  (минимальная доза в объеме PTV)  $\geq 95\%$ ;  $D_{95\%}$  (доза, подводимая к 95 % объема PTV)  $\geq 100\%$ ,  $V_{100\%}$  (объем, получающий минимум 100 % дозы) и  $D_{0,03\text{cc}}$  (доза, подводимая к 0,03 см<sup>3</sup>). Изменение величины радиационной нагрузки на прямую кишку анализировалось по переменным  $D_{\text{mean}}$  (средняя доза на выделенный объем прямой кишки),  $D_{0,1\text{cc}}$  (доза, подводимая к 0,1 см<sup>3</sup> прямой кишки),  $D_{2\text{cc}}$  (доза, подводимая к 2 см<sup>3</sup> прямой кишки), и  $V_{75\%}$  (объем, получающий минимум 75 % предписанной дозы). Характер дозиметрических изменений в области сосудистых ЭрКО оценивался по следующим показателям: ЛПЧ —  $D_2\%$  (доза, подводимая к 2 % объема органа (структуры),  $D_{\text{mean}}$  и  $D_{\text{max}}$  (максимальная доза, подводимая к органу (структуре)); НКТ —  $D_2\%$ ,  $D_{\text{mean}}$  и  $D_{100\%}$  (доза, подводимая к 100 % объема органа (структуры)); ВПА —  $D_2\%$ ,  $D_{\text{mean}}$  и  $D_{100\%}$ .

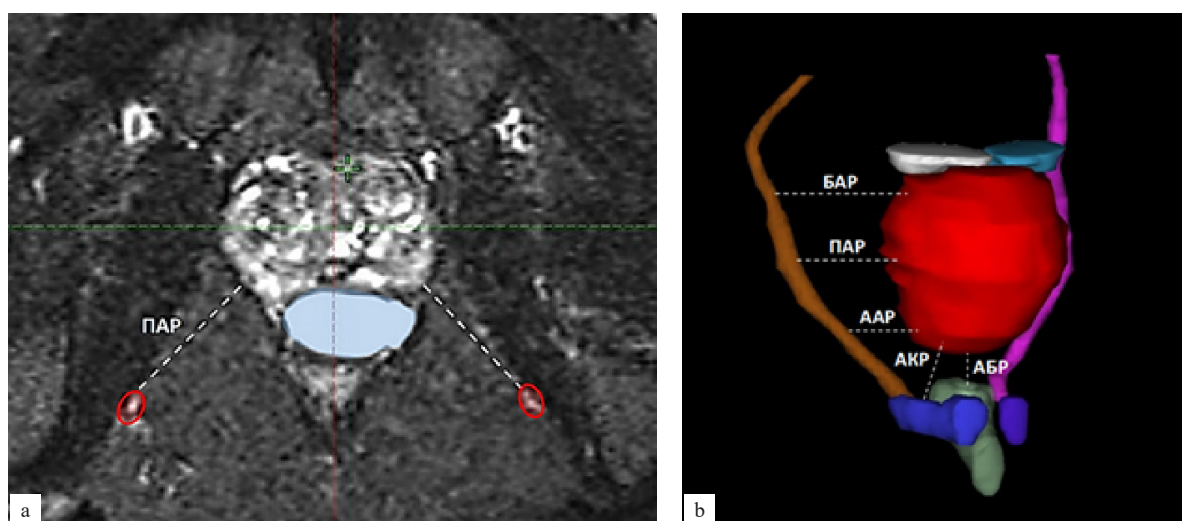


Рис. 1. А. ВПА в канале Alcock (красный контур); белой пунктирной линией отмечено простато-артериальное расстояние (ПАР); между предстательной железой и прямой кишкой имплантирован ПБС (голубой цвет) (axial T2-tirm); В. 3D-модель предстательной железы, проксимальной трети семенных пузырьков и сосудистых ЭрКО с обозначением оцениваемых пространственных параметров  
Fig. 1. A. IPA in Alcock's channel (red contour); the white dotted line marks the prostate-arterial distance (PAD); PBS is implanted between the prostate and the rectum (blue color) (axial T2-tirm); B. A 3D model of the prostate, the proximal third of the seminal vesicles and the vascular ErCO with the designation of the estimated spatial parameters



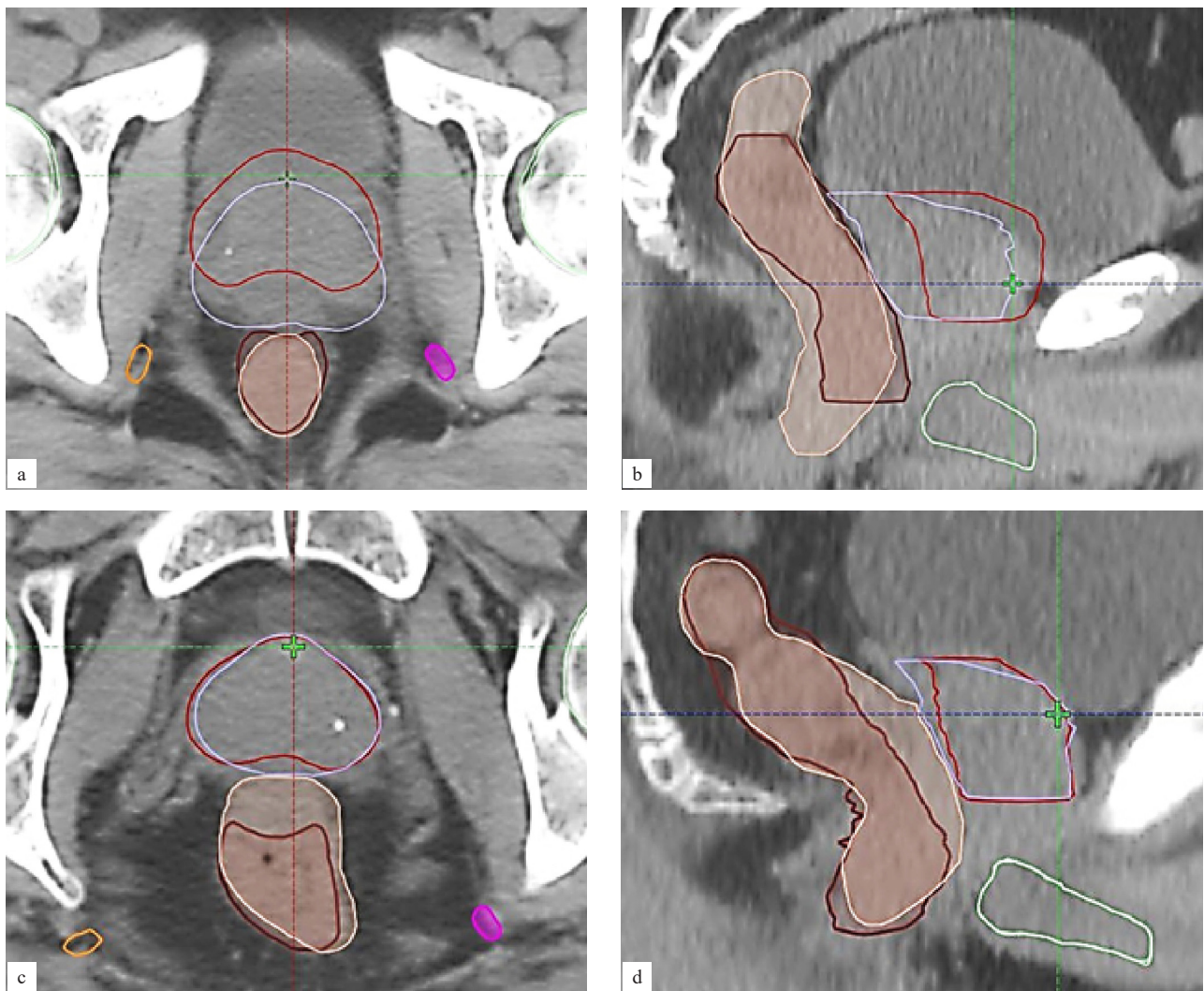


Рис. 2. Влияние ПБС на топографию органов в зоне имплантации (топометрическая КТ): А. Пациент Ш. 52 года. Переднее смещение предстательной железы (красный контур) относительно исходного положения (фиолетовый контур). Границы прямой кишки до (светлый контур) и после (темный контур) имплантации ПБС практически неизменны. Оранжевым и малиновым контуром обозначены правая и левая ВПА, голубым цветом — спейсер (аксиальная плоскость сканирования); В. Сагиттальный скан того же пациента. Зеленым контуром обозначена ЛППЧ; С. Пациент М. 67 лет. Заднее смещение прямой кишки при минимальном изменении контуров предстательной железы (аксиальная плоскость сканирования); D. Сагиттальная реконструкция КТ того же пациента

Fig. 2. The effect of PBS on the topography of organs in the implantation area (topometric CT): A. Patient Sh. 52 y.o. The anterior displacement of the prostate (red contour) relative to the initial position (purple contour). The boundaries of the rectum before (light contour) and after (dark contour) PBS implantation are practically unchanged. The right and left IPA are marked with orange and purple contours, the spacer (axial scan plane) is blue; B. Sagittal scan of the same patient. The green contour indicates the penile bulb; C. Patient M, 67 years old, posterior displacement of the rectum with minimal changes in the contours of the prostate (axial plane); D. Sagittal CT reconstruction of the same patient

У каждого пациента было рассчитано по четыре дозиметрических плана:

1. Стандартный план (СП) до имплантации ПБС без снижения дозы на область сосудистых ЭрКО (СП-1).
2. Сосудосберегающий план (ССП) до имплантации ПБС (ССП-1).
3. Стандартный план после имплантации ПБС без снижения дозы на область сосудистых ЭрКО (СП-2).
4. Сосудосберегающий план после имплантации ПБС (ССП-2).

Для статистических расчетов применялось программное обеспечение STATISTICA v.12.0 фирмы Statsoft Inc., USA. Значимость величин

изменений в сравниваемых дозиметрических планах осуществлялась при помощи непараметрического метода статистики Wilcoxon signed-rank test для зависимых переменных.

### Результаты исследования

Совмещение исходных и постимплантационных изображений подтвердило сформулированное ранее предположение о минимальной подвижности сосудистых ЭрКО относительно стенок мужского таза. У всех включенных в исследование 20 пациентов контуры ВПА, НКТ и ЛППЧ до и после введения ПБС практически не различались, что позволило с высокой точностью

изучить закономерности смещения предстательной железы относительно этих анатомических структур. Анализ полученных финальных изображений указывает на разнонаправленный характер пространственных изменений, обусловленных промежуточной имплантацией ПБС на основе СГК, позволяющий выделить два крайних типа: переднее (простатическое) и заднее (ректальное) смещение (рис. 2).

Подавляющее (16 из 20 человек) число наблюдений представлено переходными вариантами, включающими в себя оба типа смещений предстательной железы. Результаты сравнительной оценки пространственных параметров представлены в табл. 2.

Обращает на себя внимание фактически полное отсутствие изменений в топографии верхушки предстательной железы относительно базальных структур полового члена (АБР, АКР справа и слева). Смещения предстательной железы по отношению к ВПА хоть и статистически значимы в большинстве контрольных точек ( $p < 0,05$ ), но также не столь существенны. Средние значения этих изменений составили: ААР справа  $0,15 \pm 0,2$  (0,0–0,7) см, слева  $0,1 \pm 0,18$  (-0,2–0,6) см; ПАР справа  $0,1 \pm 0,17$  (-0,27–0,5) см, слева  $0,14 \pm 0,21$  (-0,2–0,6) см;

БАР справа  $0,15 \pm 0,2$  (-0,47–0,7) см, слева  $0,15 \pm 0,3$  (-0,46–1,0) см соответственно. В ряде наблюдений эти изменения носили отрицательный характер (уменьшение расстояний относительно исходных), что может быть объяснено субоптимальной имплантацией ПБС и формированием несимметричного пространства.

Выявление закономерностей изменений величин радиационной нагрузки на область сосудистых ЭрКО было основано на расчете 80 дозиметрических планов (по четыре плана для каждого из 20 пациентов).

Во всех случаях удалось достигнуть требуемых минимальных значений  $D_{\min}$ ,  $D_{95\%}$ ,  $V_{100\%}$  и не превысить лимита по  $D_{0,03cc}$ . Попарное сравнение планов продемонстрировало их соответствие между собой по всем оцениваемым показателям ( $p > 0,05$ ), что подтверждает достоверность выявленных закономерностей в изменениях радиационной нагрузки на область прямой кишки и сосудистых ЭрКО в зависимости от приоритетов (снижение дозы на область прямой кишки, сосудосбережение или их сочетание) оптимизации дозиметрического расчета. У всех пациентов удалось достигнуть требуемых максимальных ограничений на области других критических органов (мочевой пузырь, головки бедренных костей).

Таблица 1. Расстояние от предстательной железы до ЭрКО

| Показатель | Расстояние, см          |                         | Р     |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------|
|            | до имплантации          | после имплантации       |       |
| АБР        | $1,3 \pm 0,3$ (0,5–1,9) | $1,3 \pm 0,3$ (0,5–1,9) | 0,9   |
| АКР справа | $1,9 \pm 0,5$ (1,1–2,8) | $1,9 \pm 0,5$ (1,0–2,8) | 0,1   |
| АКР слева  | $1,9 \pm 0,4$ (0,9–2,7) | $1,9 \pm 0,4$ (0,9–2,7) | 0,6   |
| ААР справа | $2,8 \pm 0,9$ (1,4–5,2) | $2,9 \pm 0,9$ (1,4–5,2) | 0,005 |
| ААР слева  | $2,9 \pm 0,7$ (1,7–3,9) | $2,9 \pm 0,7$ (1,8–4,1) | 0,02  |
| ПАР справа | $3,3 \pm 0,9$ (1,7–5,7) | $3,4 \pm 1,0$ (2,0–5,7) | 0,05  |
| ПАР слева  | $3,3 \pm 1,0$ (1,6–5,2) | $3,5 \pm 0,9$ (1,6–5,2) | 0,01  |
| БАР справа | $3,9 \pm 0,9$ (2,2–5,6) | $4,1 \pm 0,9$ (2,6–5,6) | 0,02  |
| БАР слева  | $3,9 \pm 1,0$ (1,9–5,3) | $4,0 \pm 0,9$ (2,1–5,6) | 0,1   |

Table 1. The distance from the prostate gland to the ErCO

| Indicator | Distance, sm            |                         | p     |
|-----------|-------------------------|-------------------------|-------|
|           | before implantation     | after implantation      |       |
| ABD       | $1.3 \pm 0.3$ (0.5–1.9) | $1.3 \pm 0.3$ (0.5–1.9) | 0.9   |
| right ACD | $1.9 \pm 0.5$ (1.1–2.8) | $1.9 \pm 0.5$ (1.0–2.8) | 0.1   |
| left ACD  | $1.9 \pm 0.4$ (0.9–2.7) | $1.9 \pm 0.4$ (0.9–2.7) | 0.6   |
| right AAD | $2.8 \pm 0.9$ (1.4–5.2) | $2.9 \pm 0.9$ (1.4–5.2) | 0.005 |
| left AAD  | $2.9 \pm 0.7$ (1.7–3.9) | $2.9 \pm 0.7$ (1.8–4.1) | 0.02  |
| right PAD | $3.3 \pm 0.9$ (1.7–5.7) | $3.4 \pm 1.0$ (2.0–5.7) | 0.05  |
| left PAD  | $3.3 \pm 1.0$ (1.6–5.2) | $3.5 \pm 0.9$ (1.6–5.2) | 0.01  |
| right BAD | $3.9 \pm 0.9$ (2.2–5.6) | $4.1 \pm 0.9$ (2.6–5.6) | 0.02  |
| left BAD  | $3.9 \pm 1.0$ (1.9–5.3) | $4.0 \pm 0.9$ (2.1–5.6) | 0.1   |

Значимых различий по величине подводимой дозы на эти структуры и органы при сравнительном анализе также получено не было.

Дозиметрическое планирование с предварительным использованием ПБС без сосудосбережения (СП-2), при котором основной целью оптимизации являлась максимальная редукция дозы, подводимой к прямой кишке, позволило добиться существенного ее снижения по всем оцениваемым переменным ( $p = 0,0001$ ) относительно стандартного плана (СП-1) (табл. 2).

Значимых различий по показателям  $D_2\%$  ( $p = 0,34$ ),  $D_{mean}$  ( $p = 0,72$ ) и  $D_{max}$  ( $p = 0,58$ ), характеризующих величину дозы на область ЛПЧ, в сравниваемой паре планов получено не было

(табл. 5). Аналогичные закономерности выявлены при анализе лучевой нагрузки области НКТ ( $D_2\%$ ,  $D_{mean}$  ( $p < 0,05$ )), а также правой и левой ВПА ( $D_2\%$ ,  $D_{mean}$ ) ( $p < 0,05$ ).

Оптимизация пространственного распределения энергии ионизирующего излучения в рамках сосудосбережения позволила существенно снизить дозу на область сосудистых ЭрКО (табл. 2). Различия между показателями в планах СП-1 и ССП-1 по всем оцениваемым переменным (исключение ЛПЧ  $D_{max}$  ( $p = 0,08$ ), были значимыми ( $p < 0,05$ ). Схожая редукция дозы на область базальных структур полового члена и ВПА достигнута после имплантации СГК (планы СП-2 и ССП-2) ( $p < 0,05$ ).

**Таблица 2. Радиационная нагрузка на область сосудистых ЭрКО**

| Структура (орган) | Показатель  | СП-1                       | ССП-1                     | СП-2                       | ССП-2                    |
|-------------------|-------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| ЛПЧ               | $D_2\%$     | $3,9 \pm 3,0$ (1,9–16,2)   | $3,6 \pm 1,7$ (1,9–9,8)   | $3,7 \pm 2,4$ (2,0–13,4)   | $3,4 \pm 1,6$ (1,9–9,4)  |
|                   | $D_{mean}$  | $1,9 \pm 0,5$ (1,2–3,6)    | $1,8 \pm 0,4$ (1,2–3,1)   | $1,9 \pm 0,4$ (1,3–3,3)    | $1,8 \pm 0,3$ (1,3–2,9)  |
|                   | $D_{max}$   | $5,9 \pm 6,3$ (2,1–30,2)   | $5,5 \pm 5,0$ (2,1–24,4)  | $5,3 \pm 5,2$ (2,2–26,3)   | $4,7 \pm 3,5$ (2,1–18,8) |
| Правая НКТ        | $D_2\%$     | $3,4 \pm 3,0$ (1,4–15,0)   | $2,9 \pm 1,6$ (1,4–7,9)   | $3,2 \pm 2,5$ (1,4–12,8)   | $2,9 \pm 1,6$ (1,4–8,4)  |
|                   | $D_{mean}$  | $2,1 \pm 0,8$ (1,2–4,9)    | $1,9 \pm 0,6$ (1,2–3,7)   | $2,0 \pm 0,8$ (1,2–4,5)    | $1,9 \pm 0,6$ (1,2–3,7)  |
|                   | $D_{100\%}$ | $1,4 \pm 0,3$ (0,9–2,1)    | $1,4 \pm 0,3$ (0,9–1,9)   | $1,4 \pm 0,3$ (0,9–2,1)    | $1,4 \pm 0,3$ (0,9–1,9)  |
| Левая НКТ         | $D_2\%$     | $3,4 \pm 3,2$ (1,4–16,1)   | $2,9 \pm 1,5$ (1,4–8,0)   | $3,3 \pm 2,5$ (1,4–12,9)   | $2,9 \pm 1,6$ (1,4–8,5)  |
|                   | $D_{mean}$  | $2,1 \pm 0,9$ (1,2–5,1)    | $1,9 \pm 0,6$ (1,2–3,8)   | $2,0 \pm 0,7$ (1,3–4,5)    | $1,9 \pm 0,6$ (1,2–3,7)  |
|                   | $D_{100\%}$ | $1,3 \pm 0,3$ (0,9–2,0)    | $1,3 \pm 0,3$ (0,9–1,9)   | $1,4 \pm 0,3$ (0,9–2,0)    | $1,4 \pm 0,3$ (0,9–1,9)  |
| Правая ВПА        | $D_2\%$     | $17,8 \pm 4,4$ (12,5–31,8) | $12,9 \pm 2,2$ (9,6–17,2) | $17,6 \pm 4,4$ (12,3–31,8) | $9,5 \pm 2,6$ (6,7–17,2) |
|                   | $D_{mean}$  | $11,5 \pm 2,1$ (7,7–15,9)  | $9,4 \pm 1,7$ (6,6–13,7)  | $11,7 \pm 2,1$ (8,1–16,4)  | $7,3 \pm 1,9$ (5,0–11,6) |
|                   | $D_{100\%}$ | $2,2 \pm 0,7$ (1,2–4,0)    | $2,1 \pm 0,7$ (1,1–3,9)   | $2,2 \pm 0,7$ (1,2–3,8)    | $2,2 \pm 0,7$ (1,1–3,6)  |
| Левая ВПА         | $D_2\%$     | $17,5 \pm 3,5$ (12,7–25,7) | $13,1 \pm 2,4$ (9,8–18,4) | $16,9 \pm 3,4$ (12,5–26,7) | $9,6 \pm 2,7$ (6,9–18,1) |
|                   | $D_{mean}$  | $11,4 \pm 2,4$ (7,9–16,0)  | $9,7 \pm 1,9$ (6,6–13,5)  | $11,7 \pm 2,4$ (8,1–16,3)  | $7,5 \pm 2,1$ (5,0–12,9) |
|                   | $D_{100\%}$ | $2,2 \pm 0,7$ (1,2–4,0)    | $2,1 \pm 0,7$ (1,2–3,9)   | $2,3 \pm 0,8$ (1,2–3,8)    | $2,1 \pm 0,7$ (1,2–3,7)  |

**Table 2. Radiation exposure to vascular ErCO**

| Structure (organ) | Indicator   | SP-1                       | VSP-1                     | SP-2                       | VSP-2                    |
|-------------------|-------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| PB                | $D_2\%$     | $3.9 \pm 3.0$ (1.9–16.2)   | $3.6 \pm 1.7$ (1.9–9.8)   | $3.7 \pm 2.4$ (2.0–13.4)   | $3.4 \pm 1.6$ (1.9–9.4)  |
|                   | $D_{mean}$  | $1.9 \pm 0.5$ (1.2–3.6)    | $1.8 \pm 0.4$ (1.2–3.1)   | $1.9 \pm 0.4$ (1.3–3.3)    | $1.8 \pm 0.3$ (1.3–2.9)  |
|                   | $D_{max}$   | $5.9 \pm 6.3$ (2.1–30.2)   | $5.5 \pm 5.0$ (2.1–24.4)  | $5.3 \pm 5.2$ (2.2–26.3)   | $4.7 \pm 3.5$ (2.1–18.8) |
| right CCC         | $D_2\%$     | $3.4 \pm 3.0$ (1.4–15.0)   | $2.9 \pm 1.6$ (1.4–7.9)   | $3.2 \pm 2.5$ (1.4–12.8)   | $2.9 \pm 1.6$ (1.4–8.4)  |
|                   | $D_{mean}$  | $2.1 \pm 0.8$ (1.2–4.9)    | $1.9 \pm 0.6$ (1.2–3.7)   | $2.0 \pm 0.8$ (1.2–4.5)    | $1.9 \pm 0.6$ (1.2–3.7)  |
|                   | $D_{100\%}$ | $1.4 \pm 0.3$ (0.9–2.1)    | $1.4 \pm 0.3$ (0.9–1.9)   | $1.4 \pm 0.3$ (0.9–2.1)    | $1.4 \pm 0.3$ (0.9–1.9)  |
| left CCC          | $D_2\%$     | $3.4 \pm 3.2$ (1.4–16.1)   | $2.9 \pm 1.5$ (1.4–8.0)   | $3.3 \pm 2.5$ (1.4–12.9)   | $2.9 \pm 1.6$ (1.4–8.5)  |
|                   | $D_{mean}$  | $2.1 \pm 0.9$ (1.2–5.1)    | $1.9 \pm 0.6$ (1.2–3.8)   | $2.0 \pm 0.7$ (1.3–4.5)    | $1.9 \pm 0.6$ (1.2–3.7)  |
|                   | $D_{100\%}$ | $1.3 \pm 0.3$ (0.9–2.0)    | $1.3 \pm 0.3$ (0.9–1.9)   | $1.4 \pm 0.3$ (0.9–2.0)    | $1.4 \pm 0.3$ (0.9–1.9)  |
| right IPA         | $D_2\%$     | $17.8 \pm 4.4$ (12.5–31.8) | $12.9 \pm 2.2$ (9.6–17.2) | $17.6 \pm 4.4$ (12.3–31.8) | $9.5 \pm 2.6$ (6.7–17.2) |
|                   | $D_{mean}$  | $11.5 \pm 2.1$ (7.7–15.9)  | $9.4 \pm 1.7$ (6.6–13.7)  | $11.7 \pm 2.1$ (8.1–16.4)  | $7.3 \pm 1.9$ (5.0–11.6) |
|                   | $D_{100\%}$ | $2.2 \pm 0.7$ (1.2–4.0)    | $2.1 \pm 0.7$ (1.1–3.9)   | $2.2 \pm 0.7$ (1.2–3.8)    | $2.2 \pm 0.7$ (1.1–3.6)  |
| left IPA          | $D_2\%$     | $17.5 \pm 3.5$ (12.7–25.7) | $13.1 \pm 2.4$ (9.8–18.4) | $16.9 \pm 3.4$ (12.5–26.7) | $9.6 \pm 2.7$ (6.9–18.1) |
|                   | $D_{mean}$  | $11.4 \pm 2.4$ (7.9–16.0)  | $9.7 \pm 1.9$ (6.6–13.5)  | $11.7 \pm 2.4$ (8.1–16.3)  | $7.5 \pm 2.1$ (5.0–12.9) |
|                   | $D_{100\%}$ | $2.2 \pm 0.7$ (1.2–4.0)    | $2.1 \pm 0.7$ (1.2–3.9)   | $2.3 \pm 0.8$ (1.2–3.8)    | $2.1 \pm 0.7$ (1.2–3.7)  |

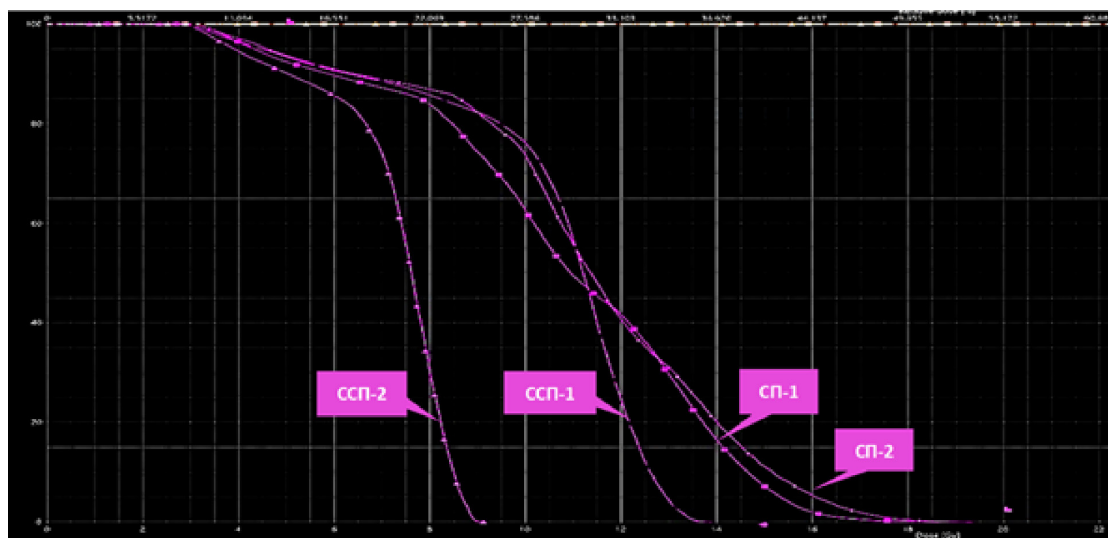


Рис. 3. Пациент К. 65 лет. Гистограммы доза-объем, характеризующие величину радиационной нагрузки на правую ВПА при различных лечебных планах

Fig. 3. Patient K. 65 y.o. Dose-volume histograms characterizing the radiation exposure to the right IPA under different treatment plans

Особый интерес представляют результаты сравнения двух сосудосберегающих планов — ССП-1 и ССП-2. Создание дополнительного пространства между предстательной железой и прямой кишкой дало преимущество в достижении минимальных значений радиационной нагрузки на область сосудистых ЭрКО. Максимальный дозиметрический выигрыш получен в отношении ВПА: средняя величина снижения дозы по показателям  $D_2\%$  и  $D_{mean}$  составила  $3,4 \pm 1,17$  (0,05–5,2) Гр ( $p = 0,0001$ ) и  $2,1 \pm 1,0$  (-0,7–3,6) Гр ( $p = 0,0001$ ) для правой артерии, для левой —  $3,5 \pm 1,14$  (0,3–5,3) Гр ( $p = 0,0001$ ) и  $2,2 \pm 0,8$  (0,1–3,5) Гр ( $p = 0,0001$ ) соответственно (рис. 3).

Расчеты не выявили аналогичных различий по изменению величины радиационной нагрузки на область базальных структур полового члена.

### Обсуждение

В 2017 г. Pinkawa M. и соавт. первыми сообщили о положительном влиянии ПБС на постлучевой статус эректильной функции [15]. Авторы отмечают ретроспективный характер исследования и не приводят объяснений возможных механизмов протективной роли промежуточного введения биополимера.

Namstra D.A. и соавт. в 2018 г. публикуют отдаленные результаты проспективного исследования III фазы (NCT01538628), включающего материалы 222 пациентов [10]. Помимо ожидаемого снижения показателей прямокишечной лучевой токсичности в группе, в которой применялись спейсеры, отмечен более высокий уровень сохранения эректильной функции, достаточной для осуществления половой функции:

через три года наблюдения после окончания лучевой терапии у 66,7 % исходно potentных мужчин сохранялась способность к совершению полового акта, в то время как в контрольной группе этот показатель составил только 37,5 % ( $p = 0,04$ ). Анализ дозиметрических планов показал, что после имплантации спейсера доза на область ЛПЧ была значимо ниже по сравнению с контрольной группой ( $p < 0,05$ ), а величина  $D_{mean}$  коррелировала со способностью достигать приемлемой эрекции на протяжении 15 мес. наблюдения ( $p = 0,03$ ).

Seymour Z.A. и соавт. представили данные объединённого анализа, включающего материалы 128 пациентов (64 % со спейсером и 36 % без него) из двух представленных выше исследований, имеющих удовлетворительные показатели эректильной функции до начала лучевой терапии [11]. Медиана наблюдения составила 33 (2,5–69,4) мес. В группе больных без спейсера чаще наблюдались снижение эректильной функции ( $p < 0,0001$ ), более высокий уровень беспокойства, связанного с сексуальной активностью ( $p = 0,0002$ ), и снижение суммарного показателя половой функции ( $p < 0,0001$ ). В исследовании Seymour Z.A. и соавт. отсутствует анализ изменений радиационной нагрузки на область эректильных структур, а наиболее вероятным механизмом снижения частоты развития РИЭД признается оптимизация величины подводимой дозы к ЛПЧ.

Рере Р. и соавт. оценили роль имплантации ПБС (SpaceOAR) в сохранении эректильной функции при проведении ДЛТ РПЖ в режиме умеренного гипофракционирования (СОД 60 Гр за 20 фракций) [16]. До лечения 32 из 56 (57,1 %) пациентов имели нормальную (медиана



на показателя ПЕФ-5 — 22 балла) сексуальную активность. Через 18 мес. после окончания ДЛТ 20 из 32 (62,5 %) исходно потентных больных сохраняли эректильную функцию, достаточную для осуществления половой жизни (медиана показателя ПЕФ-5 — 21 балл).

Влияние имплантации БДС на изодозное распределение в области ЛПЧ при планировании СТЛТ РПЖ продемонстрировано в исследовании Fried D.B. и соавт. [17]. В группе имплантации спейсера ( $n = 65$ ) среднее значение  $D_{\max}$  на ЛПЧ составило 22,64 Гр, без него ( $n = 28$ ) — 30,35 Гр ( $p = 0,0000$ ). Средний объем ЛПЧ, получающей 20 Гр или выше, составил 0,43 см<sup>3</sup> при имплантации спейсера по сравнению с 1,78 см<sup>3</sup> без него ( $p = 0,0000$ ).

Альтернативная гипотеза роли ПБС в развитии РИЭД была предложена Saigal K. и соавт., которые связали риски постлучевых эректильных нарушений с изменением финального распределения дозы в области СНП [18]. Дальнейшее развитие этой концепции получило в работе Hwang M.E. и соавт. [19]. Расчеты показали, что использование спейсера сопровождалось смещением контуров СНП в среднем на  $3,1 \pm 3,4$  мм от капсулы предстательной железы, что приводило к снижению дозы на эту область по показателю  $V_{34,4 \text{ Гр}}$  (объем, получающий минимум 34,4 Гр) по сравнению с контролем (до имплантации ПБС) на 10 % при стандартном планировании лучевого лечения ( $p < 0,01$ ).

Детальное рассмотрение различных аспектов гипотезы Saigal K. и соавт. ставит ряд важных вопросов, ответы на которые не столь однозначны. Так, современные представления об анатомии кавернозных нервов дают основание

говорить, скорее, о нервном сплетении, нежели отдельно расположенных нервных стволах, что ставит под сомнение возможность его достаточного смещения относительно облучаемой предстательной железы [20]. Фасциальный аппарат предстательной железы представляет собой единое целое и имеет тесную анатомическую связь с нервными элементами СНП [21]. Следовательно, промежностное введение ПБС, осуществляемое в пространство между прямой кишкой и апоневрозом Денонвиллье, ведет к смещению не только простаты, но и всего ее фасциального аппарата, включая кавернозные нервы.

Точная визуализация самих кавернозных нервов при стандартных методиках МРТ фактически невозможна, а предположительная топография нервных структур определяется по идущим рядом сосудам (*aa. prostaticae*) и локальным утолщениям парапростатических фасций на уровне 5 и 7 ч условного циферблата. Кроме того, точность и воспроизводимость оконтуривания СНП в качестве критической структуры характеризуются высокой степенью неопределенности и сильно зависят от опыта специалиста [22]. Наконец, в настоящее время отсутствуют результаты рандомизированных исследований, указывающих на радиационно-индуцированную нейропатию кавернозных нервов как основную или сколь-либо значимую причину развития постлучевой эректильной дисфункции [23].

Предпринята попытка объяснить наблюдаемый феномен сохранения эрекции при имплантации ПБС в рамках реализации протоколов сосудосберегающего облучения РПЖ, чья эффективность доказана рандомизированными исследованиями [6, 8].

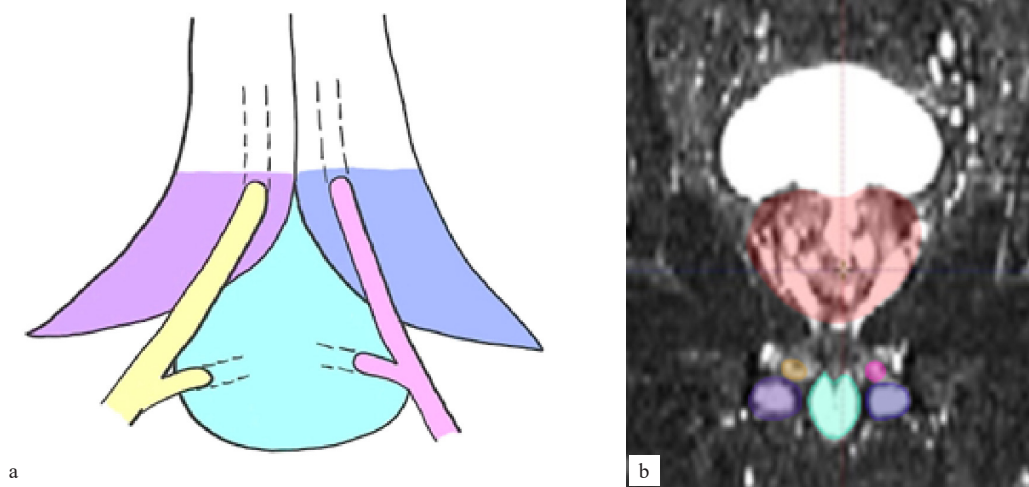


Рис. 4. А. Механизм снижения радиационной нагрузки на область СНП при имплантации ПБС по Hwang M.E. и соавт. [19]. Б. Парапростатическая фасциальная анатомия: DF — фасция (апоневроз) Денонвиллье, PF — параректальная фасция, LPF — латеральная тазовая фасция, LA — мышца, поднимающая задний проход, P — простата, Rec — прямая кишка

Fig. 4. A. The mechanism of reduction of radiation exposure to the NVB area during PBS implantation according to Hwang M.E., et al [19]. Б. Paraprostatic fascial anatomy: DF fascia (aponeurosis) Denonvilliers, PF — pararectal fascia, LPF — lateral pelvic fascia, LA — the muscle that lifts the anus, P — prostate, Rec — rectum



В первой части мы оценили вероятную роль пространственных изменений как причину снижения радиационной нагрузки на область сосудистых ЭрКО. Было выявлено два крайних варианта смещения анатомических структур в зоне имплантации ПБС — переднее (простатическое) и заднее (ректальное). У подавляющего большинства пациентов выявлены переходные варианты, включающие в той или иной степени оба типа описанных изменений. Детальный анализ измеренных расстояний на уровне контрольных точек выявил фактически полное отсутствие смещения апекса простаты по отношению к базальным структурам полового члена. Минимальная подвижность апикальных отделов объясняется прохождением уретры через мочеполовую диафрагму таза, непосредственно прилежащую к верхушке предстательной железы. Это имеет большое значение для понимания истинных причин развития РИЭД, так как минимальные расстояния от железы до базальных структур полового члена определяют максимальные риски постлучевых нарушений [13]. К числу базальных структур полового члена в полной мере должна быть отнесена и терминальная часть ВПА, которая на уровне медиальной поверхности кавернозных тел переходит в *a. cavernosa (profunda penis)* — основной источник кровоснабжения эректильной ткани (рис. 4). Минимальный диаметр этой части ВПА и ее наиболее близкое пространственное положение к предстательной железе, по всей видимости, определяет эту анатомическую структуру в качестве наиболее критически важной с точки зрения развития постлучевых гипоперфузионных нарушений в бассейне сосудов полового члена.

На взаимное положение предстательной железы и сосудистых структур оказывает влияние не только введение ПБС, но и физиологические процессы, происходящие в области таза (различная степень наполнения прямой кишки и мочевого пузыря, изменение тонуса стенок мышц таза и брюшной полости), полностью учесть которые весьма сложно, что указывает на определенную относительность полученных данных.

Во второй части работы представлены результаты сравнительного анализа различных алгоритмов расчета пространственного распределения дозы при лучевой терапии РПЖ относительно сосудистых ЭрКО. Доказано, что промежуточное введение биополимера само по себе не оказывает существенного влияния на дозное распределение области базальных структур полового члена и ВПА. Это подтверждает представления о минимальном изменении взаимной топографии мишени и сосудистых ЭрКО после введения ПБС и обосновывает необходимость дополнительной

оптимизации лечебного плана для достижения эффективного сосудосбережения.

Существенное снижение радиационной нагрузки на область сосудистых ЭрКО было достигнуто как в случае использования спейсера, так и без него. Сравнение двух сосудосберегающих планов выявило явные преимущества промежуточной имплантации ПБС относительно дозы, подводимой к ВПА. Очевидно, что в условиях минимальных изменений пространственных взаимоотношений простаты и сосудистых ЭрКО основная причина более благоприятного распределения дозы — отодвигание прямой кишки от мишени облучения. В зависимости от индивидуальной анатомии близкий контакт передней стенки кишки и поверхности железы может достигать 1/3 наружного контура последней. Клиническая значимость возможных постлучевых прямокишечных осложнений заставляет отдавать предпочтение этому органу при оптимизации лечебного плана.

Расчеты выполнены с учетом большого опыта СТЛТ РПЖ и максимальных технологических возможностей линейного ускорителя электронов последнего поколения, что позволяет осуществлять лечение с минимальным отступом при формировании PTV 3 мм во всех направлениях, кроме прямой кишки (2 мм). Это служит объяснением тому, что в большинстве наблюдений, независимо от применения ПБС и приоритетности оптимизации дозиметрических планов, удалось достичь допустимых параметров радиационной нагрузки на область сосудистых ЭрКО. Кроме того, это является причиной относительно небольших различий в абсолютных значениях сравниваемых переменных. Таким образом, полученные результаты помогли выявить базовые закономерности в распределении предписанной дозы, обусловленные имплантацией ПБС, которые при реализации общепринятых методик лучевого лечения РПЖ (отступ при формировании PTV 5–7 мм) будут значительно более существенны как в величине подводимой энергии ионизирующего излучения на область ЭрКО, так и демонстрируемых различиях при меняющихся целях оптимизации лечебного плана.

### Заключение

Анализ зарубежных публикаций, а также полученные результаты дают основание сделать ряд важных практических выводов:

- применение ПБС повышает шансы сохранить постлучевой статус эректильной функции на приемлемом уровне у большинства больных;
- промежуточная имплантация СГК обуславливает незначительные изменения топографии простаты относительно сосудистых ЭрКО, при

этом наименьший характер смещений зарегистрирован на уровне верхушки железы и базальных структур полового члена;

– в основе регистрируемого снижения радиационной нагрузки на область сосудистых ЭрКО лежит дополнительная степень свободы в процессе оптимизации дозиметрического плана, обусловленная смещением передней стенки прямой кишки после имплантации ПБС.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

#### Финансирование

Исследование проведено без финансовой поддержки.

#### Funding

The study was performed without external funding.

#### Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики

Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России (протокол № 16 от 21.09.2023).

#### Compliance with patient rights and principles of bioethics

The study protocol was approved by the Biomedical Ethics Committee of the N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Health of the Russian Federation (Protocol № 16 dated 21.09.2023).

#### Участие авторов

Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE.

Карандашов В.К. — автор идеи, получение и сбор материала, сбор литературных данных, написание текста статьи;

Новиков Р.В. — соавтор идеи, сбор литературных данных, редактирование текста статьи;

Круглова Е.С. — расчет дозиметрических планов;

Пономарева О.И. — сбор и анализ результатов;

Буровик И.А. — рецензирование текста статьи;

Тятков С.И. — получение и сбор материала;

Кулиш А.В. — получение и сбор материала;

Лясович Г.А. — получение и сбор материала;

Протошак В.В. — рецензирование текста статьи;

Новиков С.Н. — рецензирование текста статьи.

#### Authors' contributions

The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria.

Karandashov V. K. — is the author of the idea of the publication, received and collected the material, collected literature data and drafted the text of the article;

Novikov R.V. — is the co-author of the idea of the publication, corrected the text of the article;

Kruglova E.S. — calculated the dosimetric plans;

Ponomareva O. I. — collected and analyzed the results;

Burovik I.A. — reviewed the text of the article;

Tyatkov S.A. received and collected the material;

Kulish A.V. — received and collected the material;

Liasovich G.A. — received and collected the material;

Protoshchak V.V. — reviewed the text of the article;

Novikov S.N. — reviewed the text of the article.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Hamdy F.C., Donovan J.L., Lane J.A., et al. Fifteen-year outcomes after monitoring, surgery, or radiotherapy for prostate cancer. *N Engl J Med.* 2023; 388(17): 1547-58.-DOI: 10.1056/NEJMoa2214122.
2. Schaeffer E.M., Srinivas S., Adra N., et al. Prostate Cancer, Version 3.2024. *J Natl Compr Canc Netw.* 2024; 22(3): 140-50.-DOI: 10.6004/jncn.2024.0019.
3. Moris L., Gandaglia G., Vilaseca A., et al. Evaluation of oncological outcomes and data quality in studies assessing nerve-sparing versus non-nerve-sparing radical prostatectomy in nonmetastatic prostate cancer: a systematic review. *Eur Urol Focus.* 2022; 8(3): 690-700.-DOI: 10.1016/j.euf.2021.05.009.
4. Gaither T.W., Awad M.A., Osterberg E.C., et al. The natural history of erectile dysfunction after prostatic radiotherapy: a systematic review and meta-analysis. *J Sex Med.* 2017; 14(9): 1071-1078.-DOI: 10.1016/j.jsxm.2017.07.010.
5. Loi M., Wortel R.C., Francolini G., Incrocci L. Sexual function in patients treated with stereotactic radiotherapy for prostate cancer: a systematic review of the current evidence. *J Sex Med.* 2019; 16(9): 1409-1420.-DOI: 10.1016/j.jsxm.2019.05.019.
6. Spratt D.E., Lee J.Y., Dess R.T., et al. Vessel-sparing radiotherapy for localized prostate cancer to preserve erectile function: a single-arm phase 2 trial. *Eur Urol.* 2017; 72(4): 617-24.-DOI: 10.1016/j.eururo.2017.02.007.
7. Samlali H., Udrescu C., Lapiere A., et al. Prospective evaluation of a specific technique of sexual function preservation in external beam radiotherapy for prostate cancer. *Br J Radiol.* 2017; 90(1078): 20160877.-DOI: 10.1259/bjr.20160877.
8. Achard V., Zilli T., Lamanna G., et al. Urethra-sparing prostate cancer stereotactic body radiation therapy: sexual function and radiation dose to the penile bulb, the crura, and the internal pudendal arteries from a randomized phase 2 trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2023; S0360-3016(23)08307-4.-DOI: 10.1016/j.ijrobp.2023.12.037.
9. Новиков Р.В., Новиков С.Н., Протошак В.В., Джалилов И.Б. Радиационно-индуцированная эректильная дисфункция у больных раком предстательной железы: современные технологии лучевого лечения. *Онкоурология.* 2020; 16(3): 143-52.-DOI: 10.17650/1726-9776-2020-16-3-143-152. [Novikov R.V., Novikov S.N., Protoshchak V.V., Jalilov I.B. Radiation-induced erectile dysfunction in patients with prostate cancer: modern technologies of radiation treatment. *Oncourology.* 2020; 16(3): 143-52.-DOI: 10.17650/1726-9776-2020-16-3-143-152 (In Rus)].
10. Hamstra D.A., Mariados N., Sylvester J., et al. Sexual quality of life following prostate intensity modulated radiation therapy (IMRT) with a rectal/prostate spacer: secondary analysis of a phase 3 trial. *Pract Radiat Oncol.* 2018; 8(1): e7-e15.-DOI: 10.1016/j.prro.2017.07.008.
11. Seymour Z.A., Pinkawa M., Daignault-Newton S., et al. A pooled long-term follow-up after radiotherapy for prostate cancer with and without a rectal hydrogel spacer: impact of hydrogel on decline in sexual quality of life. *Front Oncol.* 2023; 13: 1239104.-DOI: 10.3389/fonc.2023.1239104.
12. Новиков Р.В., Живулина Т.В., Сысоева В.В., et al. Методологические аспекты имплантации отечественного парaproстатического спейсера на основе стабилизированной гиалуроновой кислоты неживотного происхождения. *Онкоурология.* 2024; 20(1): 67-78.-DOI: 10.17650/1726-9776-2024-20-1-67-78. [Novikov R.V., Zhivulina T.V., Sysoeva

- V.V., et al. Methodological aspects of implantation of a Russian prostate-rectum spacer based on stabilized hyaluronic acid of non-animal origin. *Onkourologiya = Cancer Urology*. 2024; 20(1): 67-78.-DOI: 10.17650/1726-9776-2024-20-1-67-78 (In Rus)].
13. Новиков Р.В., Пономарева О.И., Литинский С.С., Новиков С.Н. Анатомо-пографическое обоснование «сосудо-сохраняющей» лучевой терапии рака предстательной железы. Экспериментальная и клиническая урология. 2020; 2: 84-91.-DOI: 10.29188/2222-8543-2020-12-2-84-91. [Novikov R.V., Ponomareva O.I., Litinskiy S.S., Novikov S.N. Anatomoto-pographic justification of "vasopreserving" radiation therapy for prostate cancer. *Experimental and Clinical Urology*. 2020; 2: 84-91.-DOI: 10.29188/2222-8543-2020-12-2-84-91 (In Rus)].
  14. Lukka H.R., Pugh S.L., Bruner D.W., et al. Patient reported outcomes in NRG oncology RTOG 0938, evaluating two ultrahypofractionated regimens for prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2018; 102(2): 287-295.-DOI: 10.1016/j.ijrobp.2018.06.008.
  15. Pinkawa M., Berneking V., Schlentner M., et al. Quality of life after radiation therapy for prostate cancer with a hydrogel spacer: 5-year results. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2017; 99(2): 374-377.-DOI: 10.1016/j.ijrobp.2017.05.035.
  16. Pepe P., Tamburo M., Panella P., et al. Erectile dysfunction following hydrogel injection and hypofractionated radiotherapy for prostate cancer: our experience in 56 cases. *Arch Ital Urol Androl*. 2022; 94 (2): 166-168.-DOI: 10.4081/aiua.2022.2.166.
  17. Fried D.B., DuBose R.S., Johnson K., et al. Dosimetry for organs at risk with and without use of perirectal hydrogel spacer in prostate cancer patients treated with SBRT. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2017; 99(2\_suppl): e233.-DOI: 10.1016/j.ijrobp.2017.06.1161.
  18. Saigal K., Schofield D., Nguyen N., et al. SpaceOAR hydrogel improves neurovascular bundle dosimetry in MRI guided HDR brachytherapy. *Brachytherapy*. 2019; 18 (3 Suppl): 63-4.-DOI: 10.1016/j.brachy.2019.04.134.
  19. Hwang M.E., Mayeda M., Shaish H., et al. Dosimetric feasibility of neurovascular bundle-sparing stereotactic body radiotherapy with periprostic hydrogel spacer for localized prostate cancer to preserve erectile function. *Br J Radiol*. 2021; 94(1119): 20200433.-DOI: 10.1259/bjr. 20200433.
  20. Alsaid B., Bessede T., Diallo D., et al. Division of autonomic nerves within the neurovascular bundles distally into corpora cavernosa and corpus spongiosum components: immunohistochemical confirmation with three-dimensional reconstruction. *Eur Urol*. 2011; 59(6): 902-9.-DOI: 10.1016/j.eururo.2011.02.031.
  21. Kourambas J., Angus D.G., Hosking P., Chou ST. A histological study of Denonvilliers' fascia and its relationship to the neurovascular bundle. *Br J Urol*. 1998; 82(3): 408-10.-DOI: 10.1046/j.1464-410x.1998.00749.x.
  22. Roach D., Holloway L.C., Jameson M.G., et al. Multi-observer contouring of male pelvic anatomy: highly variable agreement across conventional and emerging structures of interest. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2019; 63(2): 264-271.-DOI: 10.1111/1754-9485.12844.
  23. Le Guevelou J., Sargos P., Ferretti L., et al. Sexual structure sparing for prostate cancer radiotherapy: a systematic review. *Eur Urol Oncol*. 2024; 7(3): 332-343.-DOI: 10.1016/j.euo.2023.08.003.

Поступила в редакцию / Received / 27.12.2024  
 Прошла рецензирование / Reviewed / 27.01.2025  
 Принята к печати / Accepted for publication / 20.03.2025

#### Сведения об авторах / Author's information / ORCID

Василий Кириллович Карандашов / Vasili K. Karandashov / ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5155-9491>.  
 Роман Владимирович Новиков / Roman V. Novikov / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1873-1293>.  
 Екатерина Сергеевна Круглова / Ekaterina S. Kruglova / ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-5645-8576>.  
 Ольга Игоревна Пономарева / Olga I. Ponomareva / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8314-3722>.  
 Илья Александрович Буровик / Ilya A. Burovik / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4714-1228>.  
 Станислав Александрович Тятков / Stanislav A. Tyatkov / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1877-8852>.  
 Анна Васильевна Кулиш / Anna V. Kulish / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8274-4967>.  
 Георгий Александрович Лясович / Georgii A. Liasovich / ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3066-5624>.  
 Владимир Владимирович Протошак / Vladimir V. Protoshchak / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4996-2927>.  
 Сергей Николаевич Новиков / Sergey N. Novikov / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7185-1967>.

