

# Медицинские аспекты отечественных инновационных технических и технологических возможностей дистанционной и контактной лучевой терапии в онкологии: наука – практическому здравоохранению

В.А.Титова✉

ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии», МЗ РФ, Москва, Российская Федерация

✉Профсоюзная ул., д. 86, г. Москва, 117997, veratitova41@gmail.com

## Резюме

Эффективное внедрение программы Онкология в рамках государственного и частно-государственного партнерства, привлечение в лучевую терапию передовых медицинских технологий и молодых высокопрофессиональных кадров обеспечило практически повсеместно радикальную замену традиционных методик лучевой терапии и переход на использование современных диагностических технологий визуализации, включая не только сонографию, КТ, но и широко используемые сегодня МРТ и ПЭТ-КТ для первичной диагностики, мониторингования онкологического процесса после специальной терапии, а также решения задач индивидуального планирования лучевой терапии.

**Ключевые слова:** дистанционная и контактная лучевая терапия в онкологии; инновационные технические и технологические возможности традиционных методик лучевого лечения.

**Для цитирования:** Титова В.А. Медицинские аспекты отечественных инновационных технических и технологических возможностей дистанционной и контактной лучевой терапии в онкологии: наука – практическому здравоохранению. Трудный пациент. 2021; 19 (4): 60–64. doi: 10.224412/2074-1005-2021-4-60-64

## Medical Aspects of Domestic Innovative Technical and Technological Capabilities of Remote and Contact Radiation Therapy in Oncology: Science – Practical Health Care

Vera A. Titova✉

Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

✉Profsoyuznaya st., Mjscow, 117997, veratitova41@gmail.com

## Abstract

The effective implementation of the Oncology program within the framework of public and private-public partnerships, the involvement of advanced medical technologies and highly professional young personnel in radiation therapy, provided a radical replacement of traditional methods of radiation therapy almost everywhere, as well as the transition to the use of modern diagnostic imaging technologies, including not only sonography and CT, but also MRI and PET-CT widely used nowadays for primary diagnosis, monitoring of the oncological process after special therapy, as well as solving the problems of individual planning of radiation therapy [1].

**Keywords:** remote and contact radiation therapy in oncology; innovative technical and technological capabilities of traditional methods of radiation treatment.

**For citation:** Titova V. A. Medical aspects of domestic innovative technical and technological capabilities of remote and contact radiation therapy in oncology: science - practical health care. Trudnyj Pacient = Difficult Patient. 2021; 19 (4): 60–64. doi: 10.224412/2074-1005-2021-4-60-64

## Введение

На сегодняшний день социальная, экономическая и медицинская ситуация в стране требует активизации определенных научно-практических направлений и в области лучевой терапии, в том числе инновационных импортозамещающих технологий. В условиях текущей эпидемической обстановки в России, наличия значительного числа перенесших вирусную инфекцию и осложненных обострением сопутствующих соматических заболеваний пациентов, лучевая терапия рассматривается адекватным методом противоопухолевого воздействия особенно

у имеющих ограничения для радикальных хирургических методов и высокодозной цитостатической терапии онкологических пациентов. Научное медицинское сообщество озабочено тем, что к нам обращаются пациенты, уже перенесшие вирусную агрессию и имеющие существенные отклонения иммунологического статуса, что требует анализа возможных рисков увеличения частоты и тяжести побочных эффектов при существенном нарушении репарационных возможностей самого организма. Очевидно, что сегодня на потоке требуется применение таких программ лечения, которые гарантированно

продемонстрировали бы свой эффект, минимизируя частоту осложнений, и для которых необходим строго индивидуальный подход к маршрутизации и объему дорогостоящих диагностических и терапевтических мероприятий. Безусловно, мы нуждаемся в постоянном обновлении радиотерапевтической аппаратуры и применении новейших медицинских зарубежных технологий, которые необходимы для эволюционного развития метода, но мы также отдаем себе отчет в целесообразности сохранения определенной ниши и для отечественных инновационных технологий лучевой терапии [1, 2]. При этом научные медицинские разработки ведущих онкологических центров России направлены на широко масштабное использование современной конформной лучевой терапии в клиниках учреждений России любого технического уровня и финансового обеспечения, в том числе, с привлечением отечественной радиотерапевтической техники и ее технического обслуживания без дополнительных финансовых затрат медицинских учреждений в новых экономических реалиях, что требует оптимизации лечения онкологических пациентов при сохранении гарантированных принципов оказания высокотехнологичной медицинской помощи.

### Материал и методы

Крупные научные федеральные медицинские центры ФГБУ «НМИЦ радиологии» и ФГБУ «РНЦРР» Минздрава России уделяют особое внимание созданию современного технического радиотерапевтического комплекса для практического здравоохранения, включающего медицинский линейный ускоритель с энергией 6МэВ и аппарат для контактной лучевой терапии, основанный на линейке эволюционно развивавшихся версий аппаратов серии АГАТ-ВТ в сочетании с системой контроля качества лечения на базе отечественного дозиметра МКД-04 для прямой дозиметрии (*in vivo*) во время процедуры облучения, а также отечественных многоволновых лазерных технологий НИЛИ, ФДТ в сочетании с термотерапией и лазерной радиохимомодифицирующей гипертермией, интегрированных в процесс радиотерапии [3–7].

Для конформной дистанционной лучевой терапии на базе отечественного ускорителя ОНИКС в ФГБУ «НМИЦ радиологии» МЗ РФ были отработаны медицинские и дозиметрические программы лечения социально значимых онкологических заболеваний. Инновационными решениями для отечественного ускорителя, выполненными по заданию медицинских кураторов, являются: коллимационная система, многопараметровая мобильность стола с контролем функции дыхания и системами сопровождения медицинской процедуры; повышенные условия комфорта для пациентов с опухолями женской и мужской репродуктивной системы, колоректальным раком, злокачественными новообразованиями орофарингеальной зоны и др. По медицинским требованиям коллектива ФГБУ «НМИЦ радиологии» (академик РАН А.Д.Каприн), были утверждены и соблюдены ряд опций и медицинских критериев для эффективного использования метода в практическом здравоохранении: визуализация в мегавольтном пучке низкой энергии 2,5 МэВ; визуализация в киловольтном пучке; система синхронизации пучка с дыханием, оптическая система сканирования поверхности пациента; информационно-управляющая система и др. [2].

Строго локализованное и прецизионное радиотерапевтическое воздействие проводится сегодня за

Рис. 1. Общий вид аппарата БРАХИУМ – физико-техническая разработка АО «НИИТФА» ГК Росатом  
Fig. 1. General view of the BRAKHIUM device – physical and technical development of JSC "NIITFA" State Corporation Rosatom



минимально возможный промежуток времени на фоне профилактических мероприятий по снижению частоты осложнений, среди которой важную роль приобретает локальная и системная терапия низкоинтенсивным излучением оптоволоконного лазера. Аппаратура и медицинские технологии имеют разрешительные документы Росздрава РФ [3].

Современный комплекс для контактной лучевой терапии БРАХИУМ (рис. 1) поставляется с источниками  $^{192}\text{Ir}$  или  $^{60}\text{Co}$  по приоритетам медицинского учреждения и с наличием инновационных технологий контроля перемещения источника, что обеспечивает локальное подведение дозы к опухоли или ее ложе в автоматическом режиме [2].

Важным элементом в рамках импортозамещающих технологий является комплектация радиотерапевтической линейки аппаратами и утвержденными технологиями терапии сопровождения – малодозной многоканальной сцинтилляционным дозиметром МКД-04, разработанным в АО НИИТФА ГК Росатом при медицинском участии ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ, который имеет патентную поддержку и разрешение Росздравнадзора по медицинскому применению в лечебных учреждениях страны [3, 5, 6].

### Обсуждение результатов

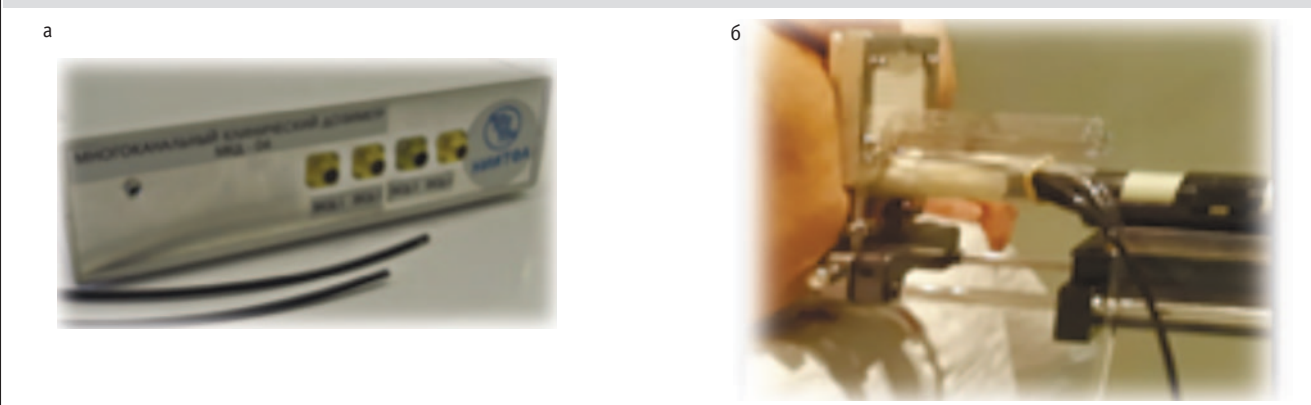
Повсеместный переход на широкое использование вариантов конформной дистанционной лучевой терапии с использованием ускорительной техники различных диапазонов энергии определил медицинский интерес к внедрению в практическое здравоохранение именно отечественного линейного ускорителя с энергией 6 МэВ с включением в конструкцию инновационных технических решений.

Инновационные решения для Брахиума были заложены не только в технические позиции аппарата, но и в привлечение новых медицинских технологий визуализации (МРТ) для определения положения МР – совместимых эндостатических устройств и обеспечения условий адекватного «оконтуривания» самой опухоли и органов риска. При этом в ФГБУ «РНЦРР» Минздрава России (академик РАН В.А.Солодкий), наряду с экспериментальными исследованиями по определению индивидуальных условий визуализации эндостатов в различных анатомических областях, были также изучены диагностические характеристики, определяющие положе-

**Рис. 2.** Визуализация MR-совместимых отечественных эндостатов аппарата Брахиум в водном фантоме: отработка условий визуализации – а; MR-томограмма кольпостата во фронтальной плоскости – б; MR-томограмма в сагиттальной плоскости с контурами мочевого пузыря и прямой кишки на фоне введенного кольпостата – в  
**Fig. 2.** Visualization of MR-compatible domestic endostats of the Brachium apparatus in a water phantom – refining the visualization conditions – a; MR-tomogram of the colpostat in the frontal plane – б; MR-tomogram in the sagittal plane with the contours of the bladder and rectum against the background of the inserted colpostat – c



**Рис. 3.** Общий вид отечественного многоканального дозиметра – а; процедура брахитерапии рака предстательной железы в условиях высокой мощности дозы с размещением детекторов в уретре и прямой кишке – б  
**Fig. 3.** General view of the domestic multichannel dosimeter – a; brachytherapy of prostate cancer at a high dose rate with the placement of detectors in the urethra and rectum – b



ние и контуры эндостатов и прилежащих тканевых структур нормального строения, области опухоли или ее рецидива (рис.2, а–в). При МР-топометрии назначение дополнительного контрастного усиления требуется не всегда, т.к. визуализация отдельных зон вблизи эндостатов и органов риска может быть достаточно четкой, что снижает потребность и затраты на контрастные вещества для проведения топометрических исследований. Протокол планирования МРТ включает выполнение Т2ВИ в сагиттальной, фронтальной и аксиальных проекциях с толщиной среза 4 мм. Наиболее целесообразным оказалось выполнение протокола в сагиттальной проекции для оценки правильности установки эндостатов на всем протяжении на одной томограмме, что в дальнейшем облегчает разметку аксиальных изображений. Анализ МР-томограмм в поперечной плоскости позволяет, например, констатировать четкую визуализацию костных и мягкотканых структур таза, послеоперационные изменения в тканях, а также полостные органы с определением их положения, объема и толщины стенок, внешние границы эндостата с окружающими тканевыми структурами – стенками влагалища [4].

Разрабатывая технологию МР-топометрии для комплекса Брахиум, считали важным использовать определенные преимущества источников  $^{60}\text{Co}$  и основного набора эндостатов и аппликационных систем для лечения опухолей малого таза (метракольпостат, метрастат), которые обеспечивают жесткую фиксацию звеньев между собой и изготавливаются из металла в комбинации с пластическими массами.

Это позволяет широко использовать для планирования контактной лучевой терапии КТ-топометрию, технология которой была разработана в ФГБУ «РНЦРР» Минздрава России [3].

Медицинскими кураторами Брахиума была разработана также технология изготовления индивидуальных аппликационных систем из медицинских стоматологических масс (ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ), что гарантировало проведение контактной лучевой терапии без интратканевого внедрения игл при противопоказаниях у определенных контингентов пациентов, что расширяет возможности противоопухолевой терапии, особенно в период пандемии.

Необходимо подчеркнуть, что отечественная система 3D планирования устраняет ранее существовавшие ограничения для визуально контролируемых технологий контактной лучевой терапии. При этом медицинские аспекты инновационной отечественной программы 3D планирования для контактной лучевой терапии с высокой мощностью дозы излучения были основаны на детальном анализе рекомендуемых вариантов индивидуального расчета доз в плоскости и объеме для источников  $^{192}\text{Ir}$  и  $^{60}\text{Co}$  для российских и иностранных вариантов аппаратов с проведенными нами экспериментальными и клиническими исследованиями [3, 5–9]. Важным преимуществом с медицинской точки зрения мы рассматривали возможность использовать для планирования любые DAICOM-изображения от первичных, визуально характеризующих размеры и объем опухоли и метастазов от диагностических до промежуточных, характеризующих динамику ре-

грессии опухоли и способных влиять на коррекцию условий брахитерапии по показаниям [10]. Медицинские требования к данной программе включали возможность использования модуля импорта изображений и модуля сегментации изображений на объеме для более точного оконтуривания опухоли и органов риска, модуля индивидуального выбора эндостатических устройств и их ориентации в облучаемой анатомической зоне, а также – модуля расчета дозы. Главным трендом разрабатываемой программы считали минимизацию влияния субъекта (специалиста) при индивидуальном оконтуривании «объекта» лечения и органов, требующих радиационной защиты, и определение медицинских требований к формированию терапевтического изодозного распределения с учетом закона снижения мощности дозы при реализации внутриполостной и интритканевой лучевой терапии.

Индивидуальное автономное автоматическое компьютерное оконтуривание опухоли и органов риска – важный этап в эффективной реализации органосохраняющей сочетанной лучевой терапии или только брахитерапии. При этом безусловным преимуществом совместного использования дистанционной и контактной лучевой терапии является расширение клинических возможностей радиотерапии и минимум на 25% повышение результативности лечения даже без применения операции и системной полихимиотерапии.

Разработанные в ФГБУ «РНЦРР» Минздрава России, апробированные и внедренные медицинские технологии для лечения рака женской и мужской половой системы, орофарингеальной зоны, колоректального рака и др. утверждены Минздравом России и разрешены Росздравнадзором для применения в практическом здравоохранении уже сегодня на отечественной радиотерапевтической аппаратуре с обеспечением гарантии качества лечения, благодаря доказательному подтверждению совпадения запланированной расчетной и реально подведенной терапевтической дозы.

Сцинтилляционный дозиметр оснащен несколькими детекторами, твердотельными фотоэлектронными преобразователями и компьютерным управлением (рис. 3). Он предназначен для дозиметрии *in vivo* непосредственно во время сеанса контактной лучевой терапии источниками  $^{192}\text{Ir}/^{60}\text{Co}$ , а также – пучка гамма-терапевтических аппаратов для дистанционной лучевой терапии в онкологических диспансерах с соответствующим аппаратным оснащением. Дозиметр имеет медицинскую методику для применения в практическом здравоохранении. Новые технические позиции касаются разработанных и внедренных в структуру Брахиума медицинских рекомендаций ФГБУ РНЦРР Минздрава России по использованию линейки закрытых источников, реализации положений по контролю за позиционированием малогабаритных источников, новых технических конструктивных решений и модернизации способов регистрации дозы и ее контроля во время сеанса облучения, что является звеном завершающейся разработки отечественной системы 3D планирования.

Современным подходом к планированию контактной лучевой терапии является внедрение визуальных технологий на базе интегрированных компьютерных программ оконтуривания.

Преимуществами Комплекса являются двукратное снижение цены продукта и сервисного обслуживания на внутреннем рынке РФ; сервисное обслуживание в короткие сроки с меньшей зависимостью от зарубежных комплектующих устройств.

Это расширяет возможности экономии средств для более широкого включения, например, современных методов визуального контроля – МРТ и ПЭТ-КТ для планирования конформной дистанционной и контактной лучевой терапии или закупки необходимых для онкологии медикаментов и аппаратных опций. При условии эксплуатации аппарата в течение 15 лет дважды производится перезарядка источника ионизирующего излучения  $^{60}\text{Co}$ , а так же – регулярное техническое обслуживание поставленного оборудования, что важно для практического здравоохранения сегодня.

## Выводы

С помощью современных телемедицинских технологий возможен индивидуальный подбор пациентов для безоперационного органосохраняющего лучевого лечения любых видов злокачественных новообразований с применением инновационной отечественной аппаратуры и методик.

При ограничении показаний для агрессивного противоопухолевого лечения сочетание дистанционной и контактной лучевой терапии – реальный шанс для стойкого излечения онкологических пациентов даже после перенесенной вирусной инфекции COVID-19.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests.** The author declare no conflict of interest.

## Литература / References

- Нуднов Н.В., Титова В.А. Современные методы визуализации и их роль в планировании контактной лучевой терапии (брахитерапии). Журнал Вестник рентгенологии и радиологии, 2021. [Nudnov N.V., Titova V.A. Sovremennye metody vizualizatsii i ikh rol' v planirovanii kontaktnoj luchevoj terapii (brakhiterapii). Zhurnal Vestnik Rentgenologii i Radiologii, 2021. (in Russian)]
- Смирнов В.П., Полихов С.А., Крылова Т.А., Шведун В.И., Осипов А.С., Каприн А.Д., Хмелевский Е.В., Гулидов И.А., Солодкий В.А., Панышин Г.А., Титова В.А. Отечественные инновационные медико-технологические возможности дистанционной лучевой терапии и брахитерапии злокачественных опухолей. Медицинская физика. 2021; 89 (1): 94–98. [Smirnov V.P., Polikhov S.A., Krylova T.A., Shvedunov V.I., Osipov A.S., Kaprin A.D., Khmelevskij E.V., Gulidov I.A., Solodkij V.A., Pan'shin G.A., Titova V.A. Otechestvennyye innovatsionnyye mediko-tehnologicheskie vozmozhnosti distantsionnoj luchevoj terapii i brakhiterapii zlokachestvennykh opukholej. Meditsinskaya Fizika. 2021; 89 (1): 94–98. (in Russian)]
- Солодкий В.А., Титова В.А., Белле Т.С., Колосков С.А. и др. Контактная лучевая терапия с использованием отечественного комплекса АГАТ-ВТ. Руководство для врачей и медицинских физиков». ISBN №978-5-7567-0983-4.000 Издательство «Аспект Пресс, М.: 2018; 192. [Solodkij V.A., Titova V.A., Belle T.S., Koloskov S.A. i dr. Kontaktnaya lucheвая terapiya s ispol'zovaniem otechestvennogo kompleksa AGAT-VT. Rukovodstvo dlya vrachej i meditsinskikh fizikov». ISBN №978-5-7567-0983-4.000 Izdatel'stvo «Aspekt Press, M.: 2018; 192. (in Russian)]
- Солодкий В.А., Сергеев Н.И., Титова В.А. Возможности КТ-МРТ визуализации эндостатов для контактной лучевой терапии внутриполостных аппаратов нового поколения. Медицинская физика. 2020; 3: 13–15. [Solodkij V.A., Sergeev N.I., Titova V.A. Vozmozhnosti KT-MRT vizualizatsii endostatov dlya kontaktnoj luchevoj terapii vnuritpolostnykh apparatov novogo pokoleniya. Meditsinskaya Fizika. 2020; 3: 13–15. (in Russian)]
- Титова В.А., Коконцев Д.А., Белле Т.С. Клинические задачи прямой дозиметрии (in vivo) при контактной лучевой терапии. Журнал Biomedical Photonics. 2018; 2: 19–24. [Titova V.A., Kokontsev D.A., Belle T.S. Klinicheskie zadachi pryamoj dozimetrii (in vivo) pri kontaktnoj luchevoj terapii. Zhurnal Biomedical Photonics. 2018; 2: 19–24. (in Russian)]
- Титова В.А., Панышин Г.А., Шевченко Л.Н., Крейнина Ю.М., Каскулова М.Х. Послеоперационная конформная лучевая терапия рака шейки и тела матки: роль контактной лучевой терапии. Трудный Пациент. 2019; 17 (8–9): 33–36.

[Titova V.A., Pan'shin G.A., Shevchenko L.N., Krejnina Jyu.M., Kaskulova M.Kh. Posleoperatsionnaya konformnaya lucheвая terapiya raka shejki i tela matki: rol' kon-taktnoj luchevoj terapii. Trudnyj Patsient. 2019; 17 (8-9): 33-36. (in Russian)]

7. Титова В.А., Паншин Г.А., Шевченко Л.Н., Петровский В.Ю. Квантово-цифровые технологии в онкологии. Трудный пациент. 2020; 18 (8-9): 62-67. [Titova V.A., Pan'shin G.A., Shevchenko L.N., Petrovskii V.Jyu. Kvantovo-tsifrovye tekhnologii v onkologii. Trudnyj patsient. 2020; 18 (8-9): 62-67. (in Russian)]
8. Павлов А.Ю., Титова В.А., Цыбульский А.Д. и др. Высокомощностная брахитерапия рака предстательной железы: прямая дозиметрия *in vivo* – важный фактор повышения эффективности лечения и снижения частоты осложнений. Журнал Вопросы онкологии. 2019; 4: 596-602. [Pavlov A.Jyu., Titova V.A., Tsybul'skij A.D. i dr. Vysokomoshchnostnaya brakhiterapiya raka predstatel'noj zhelezy: pryamaya dozimetriya *in vivo* – vazhnyj faktor

povysheniya effektivnosti lecheniya i snizheniya chastoty oslozhnenij. Zhurnal Vo-prosy onkologii. 2019; 4: 596-602. (in Russian)]

9. Васильев В.Н., Сумин А.В., Медведков А.М., Коконцев Д.А., Титова В.А., Коконцев А.А., Смыслов А.Ю. Калибровка сцинтилляционного дозиметра МКД-04 для гамма-излучения источника <sup>192</sup>Ir. Журнал Медицинская техника. 2020. [Vasil'ev V.N., Sumin A.V., Medvedkov A.M., Kokontsev D.A., Titova V.A., Kokontsev A.A., Smyслов A.Jyu.. Kalibrovka stsintillyatsionnogo dozimetra MKD-04 dlya gamma-izlucheniya istochnika <sup>192</sup>Ir. Zhurnal Meditsinskaya tekhnika. 2020. (in Russian)]
10. Моисеев А.Н. Система планирования для нового аппарата контактной лучевой терапии. Журнал Медицинская физика. 2021; 89 (1): 31. [Moiseev A.N. Sistema planirovaniya dlya novogo apparata kontaktnoj luchevoj ter- apii. Zhurnal Meditsinskaya fizika. 2021; 89 (1): 31. (in Russian)]

#### Информация об авторе / About the author

**Титова Вера Алексеевна** – д.м.н., главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии и комплексных методов лечения онкологических заболеваний научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ, Москва, Российская Федерация

**Vera A. Titova** – D.Sc. in medicine, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Статья поступила / The article received: 17.06.2021

Статья принята к печати / The article approved for publication: 18.07.2021