

УДК 539.16.04

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО ПЛАНОВ  
СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ РАДИОХИРУРГИИ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА НА ОСНОВЕ  
ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ**

И.Р. Сагов<sup>2</sup>, Я.Н. Сутыгина<sup>1,2</sup>, Е.С. Сухих<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Е.С. Сухих

<sup>1</sup>Томский Областной Онкологический Диспансер,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 115, 634009

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [sagov-islam@rambler.ru](mailto:sagov-islam@rambler.ru)

**THE INFLUENCE OF THE TECHNICAL PARAMETERS OF THE SRS PLANS ON THE  
DOSIMETRIC AND RADIOBIOLOGIC EVALUATION**

I.R.Sagov<sup>2</sup>, Ya.N. Sutygina<sup>1,2</sup>, E.S. Sukhikh<sup>1,2</sup>

Scientific Supervisor: PhD, E.S. Sukhikh

<sup>1</sup>Tomsk Regional Oncology Center, Russia, Tomsk, Lenin str., 115, 634009

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: [sagov-islam@rambler.ru](mailto:sagov-islam@rambler.ru)

***Abstract.** Linac based radiosurgery to brain tumor is commonly planned with volumetric modulated arc therapy as it effectively achieves high conformality to complex target arrangements. The purpose of this study was to study the influence of the technical parameters on volumetric modulated arc therapy plan quality, delivery accuracy, and efficiency for SRS brain tumor.*

**Введение.** Лучевая терапия играет решающую роль в лечении первичных и вторичных опухолей головного мозга. За последние несколько десятилетий в лучевой терапии (ЛТ) произошел технический прогресс во всех аспектах лечения, включая улучшение иммобилизации пациентов, визуализации, дозиметрического планирования и проведения лучевой терапии. Достижения в области визуализации и технологий ЛТ позволили перейти от трехмерной конформной лучевой терапии (3-dimensional conformal radiotherapy - 3D-CRT) к лучевой терапии с модуляцией интенсивности и стереотаксическим методам, включая стереотаксическую радиохимию (Stereotactic radiosurgery - SRS). Стереотаксическая радиохимию на основе медицинских линейных ускорителей уже много лет вызывает интерес в сообществе радиационной онкологии. Основным преимуществом SRS является возможность доставки точно локализованной дозы по сравнению с традиционной лучевой терапией, что приводит к уменьшению объема нормальной ткани мозга, облучаемой высокими дозами, и сводит к минимуму риск долгосрочных последствий лечения [1].

Планирование лучевой терапии злокачественных опухолей заключается в определении таких физико-технических параметров облучения, использование которых приведет к максимальному лечебному эффекту при минимальном лучевом воздействии на нормальные органы и ткани.

Соответственно, при дозиметрическом планировании SRS медицинскому физика необходимо добиться резкого снижения дозы от периферии мишени до нормальных тканей. Высокий градиент изодозы можно улучшить с помощью изменения модуляции интенсивности пучков, положения углов гентри, деки стола и длины арки при дуговой терапии с объёмной модуляцией (Volumetric modulated arc therapy - VMAT). В системах дозиметрического планирования используется двухэтапный процесс оптимизации распределения дозы. Как правило, на первом этапе идеальное распределение плотности потока пучков оптимизируется, чтобы соответствовать заданным медицинским физиком предписаниям. На втором этапе система планирования учитывает возможность доставки ускорителя, выполняет сегментацию каждого пучка, которая включает в себя расчет формы и веса всех сегментов. Изменение технических параметров в системе планирования лечения, таких как инкремент, ширина сегмента так же влияет на оптимизацию плана и, следовательно, на его качество.

Целью данной работы является исследование влияния изменения технических характеристик системы планирования лучевой терапии на качество планов стереотаксической радиохирургии опухолей головного мозга на основе дозиметрических и радиобиологических критериев.

**Материалы и методы исследования.** В Томском областном онкологическом диспансере (ТООД) для проведения стереотаксической радиохирургии опухолей головного мозга используется высокоэнергетический линейный ускоритель Elekta Synergy. Для исследования взяты 2 случая стереотаксического облучения опухолей головного мозга в режиме гипофракционирования с разовой дозой 18 Гр. Дозиметрические планы SRS опухолей головного мозга рассчитаны на базе системы планирования MONACO v 5.11 (Elekta AB) с применением объёмной модуляции по интенсивности VMAT фотонных пучков с энергией 6 МВ.

Для определения влияния изменения технических характеристик системы планирования лучевой терапии на качество планов стереотаксической радиохирургии опухолей головного мозга для каждого клинического случая создано несколько терапевтических планов с разными параметрами. При дозиметрическом планировании изменяли следующие параметры геометрии пучков и технические параметры: угол мультилепесткового коллиматора; угол ротации гентри; угол терапевтического стола; количество арок и полуарок; длина арки облучения; ширина сегмента; инкремент. При дозиметрическом планировании алгоритм Монте-Карло выбран в качестве вторичного алгоритма для расчета дозы на втором этапе, то есть для окончательного расчета дозы. Доза рассчитывалась на среду, а не на воду. Для всех планов SRS опухолей головного мозга применена поправка на неоднородность.

Трёхмерная дозиметрическая оценка проводилась с помощью гистограмм доза-объем (ГДО) для мишени и органов риска. Оценка дозиметрических планов облучения проводилась с помощью рекомендаций и протоколов, для прогнозирования лучевых повреждений и подбора оптимальных распределений доз для каждого пациента. Так же для каждого случая проводилась оценка индекса конформности (Conformal index – CI) и индекса гомогенности (Homogeneity index – HI) дозового распределения для покрытия мишени [2]. Для оценки градиента дозы от периферии мишени до нормальных тканей проведена оценка индекса градиента дозы (Dose gradient index – DGI).

Для всех планов лечения сгенерированы планы гарантии качества с применением дозиметрического фантома ArcCHECK с сохранением геометрии и мониторинжных единиц каждого пучка. Сравнительный анализ дозовых распределений осуществлялся с помощью программного обеспечения 3DVH.

**Результаты.** Станция планирования MONACO оптимизирует дозиметрический план VMAT, используя приращение инкремента. Значение инкремента делит запланированную дугу VMAT на равные секторы. Количество секторов играет важную роль в движении лепестков коллиматора. В нашем исследовании мы заметили, что различные значения инкремента обеспечивали хорошее покрытие мишени и приемлемые планы. При малых значениях инкремента максимальная доза в опухоли увеличилась из-за более сильной модуляции по сравнению с другими планами. При высоких значениях инкремента увеличивается однородность покрытия мишени, но также увеличивается доза для органов риска. Также более сильная модуляция увеличивает количество мониторинговых единиц (Monitor units - MU) на 20-30%.

Дозиметрические планы с несколькими дугами имели более высокое качество покрытия мишени и снижение дозы на органы риска по сравнению с дозиметрическими планами с одной дугой.

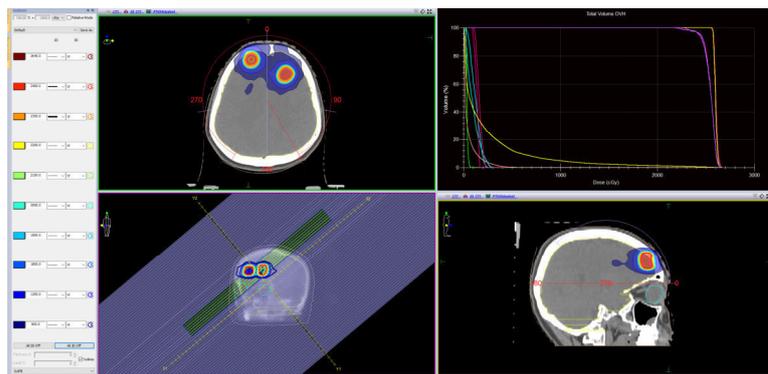


Рис. 1. Расположение пучков и распределение дозы при SRS опухолей головного мозга

Увеличение ширины сегмента позволяет повысить точность выполнения плана и эффективность без существенного влияния на качество плана VMAT. Как правило, дозиметрические планы SRS опухолей головного мозга, которые создаются с меньшей шириной сегмента, не только увеличивают целевой охват и конформный индекс, но также приводят к большему количеству контрольных точек и MU, которые будут давать более низкие спад дозы от периферии опухоли до нормальных тканей и большее время доставки лечения. Наши данные показали, что планы VMAT с шириной сегмента 1,0 см демонстрируют явное преимущество с точки зрения компромисса между качеством плана и доставкой.

**Заключение.** При дозиметрическом планировании необходимо тщательно подбирать технические параметры, использование жестких значений инкремента, ширины сегмента, увеличение количества арков могут создавать планы более низкого качества и увеличивать время лечения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Benedict S.H., Yenice K.M., Followill D. Stereotactic body radiation therapy: the report of AAPM Task Group 101 // Med. Phys. – 2010. – Vol. 37 (8). – P. 4078–101. DOI: 10.1118/1.3438081
2. Ghandour S., Matzinger O., Pachouda M. Volumetric-modulated arc therapy planning using multicriteria optimization for localized prostate cancer // J. Appl. Clin. Med. Phys. – 2015. – Vol. 16 (3). – P. 5410. DOI: 10.1120/jacmp.v16i3.5410