**Сравнение устойчивости дозового распределения VMAT и 3D-CRT планов к геометрическим неопределенностям при проведении лучевой терапии пациентам с металлическими протезами**

***Жаркова А.П.1, 2, Черняев А.П.1, Нечеснюк А.В.2, Логинова А.А.2***

*Студент*

*1Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

*2Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия*

*E–mail:* [*zharkova.ap18@physics.msu.ru*](mailto:zharkova.ap18@physics.msu.ru)

Влияние высокой электронной плотности металлоконструкции на дозовое распределение может существенно усложнить задачу дозиметрического планирования лучевой терапии. Сильное поглощение излучения в материале импланта может повлиять на качество покрытия мишени, а краевые эффекты – возникновение максимумов и минимумов на границе сред с разной электронной плотностью – могут быть причиной дестабилизации протеза. В мягких тканях возможно возникновение максимумов дозы до 25 % от предписанной дозы [1]. Такие эффекты происходят на расстоянии порядка миллиметров от границы сред. В силу этого следует использовать расчетный воксель с линейным размером ≤ 1 мм, выбирая алгоритмы на основе метода Монте-Карло, т. к. метод Монте-Карло наиболее точно рассчитывает поглощение излучения в протезе и обратное рассеяние вторичных частиц, вызывающих возмущения дозы на границе сред.

Металлоконструкции создают артефакты на изображениях компьютерной томографии (КТ). Это может привести к увеличению ошибки при расчете дозы, так как система дозиметрического планирования получает из КТ-изображений информацию об электронной плотности тканей пациента. Многие системы дозиметрического планирования позволяют предписать оконтуренным объемам электронную плотность вручную. Таким образом предписание им плотности мягких тканей, может существенно повысить точность расчета.

Также точность расчета дозы может снизить некорректная информация о материале и геометрических размерах протеза, полученная из изображения КТ. Для большей точности следовало бы выполнять оконтуривание всех составных частей протеза и предписание им реальной плотности, однако часто такая подробная информация недоступна [2].

Помимо наличия неопределенностей в расчетах, на точность доставки предписанной дозы влияет точность укладки пациента. В планах ротационной лучевой терапии, модулированной по объему (VMAT – Volumetric Modulated Arc Therapy) мощность излучения моделируется в зависимости от формы мишени и плотности тканей. В силу этой особенности такие планы могут показать меньшую устойчивость к геометрическим смещениям мишени относительно поля облучения в сильно неоднородной среде, чем планы конформной трехмерной лучевой терапии (3D-CRT – Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy).

В данном исследовании использовались данные КТ-изображений 6 (шести) пациентов с протезами тазобедренного сустава, находящимися в поле облучения. Для каждого пациента были рассчитаны 3D-CRT и VMAT с использованием алгоритма на основе метода Монте-Карло с размером расчетного вокселя 1 мм. Предписанная доза – 45 Гр. Артефакты оконтурены в виде объемных структур, им предписана плотность мягких тканей, а протезам – плотность титана.

Проверка устойчивости планов к геометрическим смещениям проводилась путем моделирования сценариев неточной укладки пациента. Было проведено 21 смещение изоцентра каждого плана в трех направлениях – 7 в латеральном, 7 в вертикальном и 7 в продольных направлениях – с последующим пересчетом дозы в каждом из положений изоцентра.

Анализ результатов показал, что в VMAT планах возможно большее снижение покрытия мишени (точка D98 на гистограмме доза-объем) – на 1.84 ± 0.16 %, чем в 3D-CRT – 0.58 ± 0.12 %. Также было проанализировано изменение дозы в таких органах риска, как тазобедренный сустав, прямая кишка и мочевой пузырь. В VMAT в большинстве случаев относительное изменение доз в органах риска при смещениях изоцентра плана больше, чем в 3D-CRT планах (см. Табл. 1). Однако в исходных несмещенных VMAT планах абсолютное значение дозы в органах риска меньше, чем в 3D-CRT планах.

VMAT планы обладают меньшей устойчивостью к геометрическим смещениям как по отношению к покрытию мишени, так и по отношению к органам риска. Однако уменьшение покрытия мишени в VMAT планах при геометрических смещениях не превышает допустимое изменение дозы 5 %, рекомендованное МАГАТЭ [3]. Также нельзя сказать, что 3D-CRT планы имеют бесспорное преимущество в устойчивости по отношению к органам риска, так как качество исходных 3D-CRT планов уступает качеству VMAT планов.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Орган риска** | **Методика облучения** | **Значение дозы в исходном несмещенном плане, Гр** | | **Максимальное изменение значения дозы при смещениях, %** | |
| **D2** | **Dmean** | **D2** | **Dmean** |
| **Тазобедренный сустав** | VMAT | 44.5 ± 1.0 | 41.9 ± 1.5 | 2.0 ± 1.9 | 2.7 ± 1.3 |
| 3D-CRT | 45.7 ± 0.25 | 44.12 ± 0.18 | 0.63 ± 0.25 | 1.1 ± 0.3 |
| **Прямая кишка** | VMAT | 38 ± 3 | 17.7 ± 2.3 | 3 ± 8 | 6 ± 7 |
| 3D-CRT | 44.1 ± 0.6 | 23.0 ± 2.6 | -2 ± 3 | 10 ± 7 |
| **Мочевой пузырь** | VMAT | 39.2 ± 2.6 | 14.7 ± 2.1 | 23 ± 24 | 16 ± 13 |
| 3D-CRT | 44.0 ± 0.7 | 11.8 ± 2.7 | 22 ± 18 | 12 ± 13 |

Таблица 1. Изменение среднего и максимумов значений дозы (точка D2 на гистограмме доза-объем) при смещении изоцентров 3D-CRT и VMAT планов

**Литература**

1. Reft C. et al. Dosimetric considerations for patients with HIP prostheses undergoing pelvic irradiation. Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 63 //Medical physics. – 2003. – Т. 30. – №. 6. – С. 1162-1182
2. Nadhum M., Boman E., Rossi M. The robustness of prostate radiotherapy for patients with hip prosthesis //Medical Dosimetry. – 2021. – Т. 46. – №. 3. – С. 212-218.
3. Серия изданий МАГАТЭ по здоровью человека, N 31. 2022.