

Оценка поглощённых доз с использованием воксельной модели животного-опухоленосителя

Wednesday 2 July 2025 11:50 (20 minutes)

Для обеспечения задачи практического внедрения клинически значимых методик оценки эффективности лучевой терапии крайне важны высокоточные расчёты распределения доз на этапе предклинических исследований. Такие расчёты служат основой для последующего трансфера технологий в клинику, позволяя заранее протестировать различные режимы облучения и оценить их влияние на биологические органы и ткани. Одним из ключевых инструментов этого процесса предлагается создание эквивалентной воксельной модели лабораторного животного-опухоленосителя с последующим использованием реализации моделирования взаимодействия ионизирующих излучений с тканями методом Монте-Карло. В рамках настоящего исследования в качестве исходных данных использовались томографические изображения (КТ и, при необходимости, МРТ) модельных животных, позволяющие сформировать трёхмерную воксельную сетку с учётом реальной анатомической структуры объекта. Предварительная обработка и преобразование файлов в формат, совместимый с расчётной средой Geant4, осуществлялись поэтапно: сначала на языке Python был реализован модуль автоматизированного чтения (с помощью библиотеки `pydicom`) и нормализации DICOM-данных, затем для каждого вокселя определялись соответствующие показатели плотности и материала (по числам Хаунсфилда), после чего результирующая модель сериализовалась в бинарный файл с использованием библиотеки Protocol Buffers (`protobuf`). Формат воксельной модели предоставляет возможность гибко выбирать разрешение (размер вокселя) в зависимости от задач расчёта. При необходимости получить наиболее точные данные об анатомии (например, для исследования костных структур или точного расположения опухоли) применялось более мелкое воксельное разбиение (0,5 мм), тогда как в сценариях, где приоритетной является скорость моделирования, использовались более крупные воксели (2,0 мм) для сокращения вычислительной нагрузки. Расчёт доз и траекторий частиц производился в универсальной среде моделирования Geant4 [1], которая при помощи специальных классов собственной разработки загружала подготовленную воксельную модель, извлекая из неё информацию о материале и плотности каждого элемента сетки. Физические процессы взаимодействия описывались комбинацией стандартных и дополнительно подключаемых физических списков, соответствующих типу изучаемого излучения. Дополнительно была предусмотрена возможность учёта относительной биологической эффективности (ОБЭ) для разных видов ионизирующего излучения, включая облучение быстрыми нейтронами, причём реализация процедуры расчёта ОБЭ интегрирована с GPU-модулем (CUDA) на серверной стороне. Формируемая дозиметрическая информация послужит основанием для дальнейшей оценки радиобиологической эффективности облучения и оптимизации соответствующих протоколов в условиях предклинических исследований. Представленная методика ориентирована на широкий спектр исследований, включая разработку экспериментальных протоколов для отечественного комплекса нейтронной терапии [2], углеродной терапии [3], модернизации подходов протонной терапии [4]. В перспективе полученные решения могут быть тиражированы для применения в клинической практике, что содействует трансферу передовых медицинских технологий и повышению эффективности лучевой терапии злокачественных новообразований.

1. Agostinelli S. et al., Nucl. Instr. and Meth. A 506(3) 250-303 (2003)
2. Мардынский Ю.С. и соавт., Вестник Российской Академии Наук 94(1) 80-86 (2024)
3. Solovov A.N. et al., Nanobiotechnology Reports 18(4) 606-609 (2023)
4. Lemaeva A. et al., Clinical and Translational Radiation Oncology 48 100814 (2024)

Primary author: КИЗИЛОВА, Яна (МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ "НМИЦ радиологии" Минздрава России)

Co-authors: Мг ЧЕРНУХА, Александр (МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ "НМИЦ радиологии" Минздрава России,); СОЛОВЬЕВ, Алексей (МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ "НМИЦ радиологии" Минздрава России); Мг САБУРОВ, Вячеслав (МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ "НМИЦ радиологии" Минздрава России,); Мг КАЗАКОВ, Евгений (МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ "НМИЦ радиологии" Минздрава России,); Dr КОРЯКИН, Сергей (МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ "НМИЦ радиологии" Минздрава России,)

Presenter: КИЗИЛОВА, Яна (МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ "НМИЦ радиологии" Минздрава России)

Session Classification: 7. Nuclear medicine

Track Classification: Section 7. Nuclear medicine.