

Одна шкала, чтобы править всеми: интерпретируемое многомасштабное глубокое обучение для прогнозирования выживаемости клеток после протонного и ионного углеродного облучения

Источник: Frontiers in AI — Medicine

Оригинал: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2026.1807677>

глубокое обучение

интерпретируемый ИИ

онкология

радиобиология

радиотерапия

Введение

Связь между физическими характеристиками радиационного поля и биологическим повреждением имеет центральное значение как для лучевой терапии, так и для радиационной защиты, однако взаимосвязь между пространственными масштабами передачи энергии и биологическими эффектами до сих пор изучена не полностью.

Методы

Для решения этой задачи мы разработали интерпретируемую модель глубокого обучения (**Deep Learning, DL**), которая прогнозирует выживаемость клеток после облучения протонами и ионами углерода, используя механизм последовательного внимания (**sequential attention**) для выделения релевантных признаков и понимания вклада различных масштабов передачи энергии. Модель, обученная и протестированная на наборе данных **Particle Irradiation Data Ensemble (PIDE)**, включает, помимо линейной передачи энергии (**linear energy transfer, LET**),

нанодозиметрические и микродозиметрические величины, смоделированные с помощью **MC-Startrack** и **Open-TOPAS**, что позволяет проводить многомасштабную характеристику.

Результаты и обсуждение

Достигая высокой точности прогнозирования, наш подход также делает акцент на прозрачности процесса принятия решений. Мы демонстрируем высокую точность в прогнозировании относительной биологической эффективности (**relative biological effectiveness, RBE**) для экспериментов *in vitro*. Несколько масштабов используются одновременно, при этом ни один отдельный пространственный масштаб не является преобладающим. Величины, определенные в меньших пространственных доменах, как правило, оказывают большее влияние, в то время как **LET** играет меньшую роль.

Перевод выполнен: 17.07.2026 | ai4med.ru

Машинный перевод. Рекомендуем сверять с оригиналом при клиническом использовании.