

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ НЕЙТРОНЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ С ПРЕПАРАТАМИ БОРА И ГАДОЛИНИЯ

^aКулик В.К., ^aКулагова Т.А., ^aГолубева Е.Н., ^aДемиденко М.И., ^bБугай А.Н.

^aНИУ «Институт ядерных проблем» БГУ, Минск, Беларусь

^bЛаборатории радиационной биологии, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Одним из направлений в решении проблемы избирательного поражения опухолевых клеток при лучевой терапии является развитие метода нейтрон-захватной терапии (НЗТ). НЗТ является технологией, использующей препараты, содержащие нуклиды (^{10}B или ^{157}Gd), которые, поглощая нейтроны, образуют вторичное излучение и высокоэнергетичные частицы, направленные на уничтожение опухолевых клеток. Пациента после введения препарата с нерадиоактивными изотопами ^{10}B или ^{157}Gd , облучают пучком нейтронов с плотностью потока 10^9 нейтрон/см²×с и энергиями в интервале от 0,5 эВ до 10 кэВ. Теряя части энергии при проникновении в ткань, нейтроны захватываются ^{10}B или ^{157}Gd . Образующийся $^{11}\text{B}^*$, распадается на высокоэнергетичные альфа-частицы, ядра ^7Li и гамма-квант (94% случаев) [1] или, в случае с ^{157}Gd , образуется высокоэнергетическое гамма-излучение и Оже-электроны. Эффективность НЗТ зависит, главным образом, от концентрации ^{10}B или ^{157}Gd и их избирательного накопления и распределения именно в опухолевых клетках-мишенях. В клинической практике используют боркапнат и борфенилаланин [2], а также фармацевтические препараты гадолиния для МРТ. В качестве эффективных «носителей» изотопа ^{10}B в настоящее время рассматривают бор-нитридные наночастицы. Цель работы — подбор оптимальных параметров НЗТ с использованием препаратов, содержащих бор и гадолиний. Процесс взаимодействия продуктов деления с веществом опухоли моделировался с помощью программного кода MCNP. Голова пациента в программном пакете была представлена в виде сферы радиусом 8 см, опухоль — сферой, расположенной в центре фантома головы, радиусом 2 см.

Ранее нами было показано, что при 4 положениях атомов бора: на поверхности клеточной мембраны, внутри цитоплазмы, внутри ядра, в межклеточном пространстве — большинство образованных ионов He и Li не выходят за пределы клетки (пробег ≤ 10 мкм) в направлении их распространения и теряют свою энергию непосредственно в ней. Т.е. ионы локально разрушают одну опухолевую клетку, ограничивая при этом воздействие на соседние клетки. Доза же от гамма-лучей, образующихся при гадолиний-НЗТ, распределяется не только в опухоли, но и в здоровой ткани, повышая вероятность её повреждения.

При моделировании установлено, что достижение дозы, равной 2 Зв, в опухоли, содержащей ^{10}B в концентрации 100 мкг/г, возможно за 75 минут облучения. Накопление этой же дозы при аналогичной концентрации ^{157}Gd в опухоли возможно за 12 часов. Такой продолжительный период времени вызывает необходимость увеличения концентрации ^{157}Gd в опухоли или плотности потока нейтронов. Но т.к. плотности потока нейтронов в пучках ядерных реакторов, использующихся для клинических исследований НЗТ, не превышают 10^9 нейтрон/см²×с, целесообразнее искать способы повышения концентрации препарата в ткани, учитывая при этом цитотоксичность гадолиния. Таким образом, не смотря на большее в ≈ 66 раз сечение захвата нейтронов гадолинием, основной вклад в поражение опухолевых клеток вносят продукты ядерной реакции, и с этой точки зрения борнитридные наночастицы выглядят более перспективными.

Библиографические ссылки

1. Locher G.L. / Amer. J. Roentgenol. Radium Ther. 1936. Vol. 36. № 1. P. 1–13.
2. Soloway A.H. et.al. / Chem. Rev. 1998. P. 1515–1562.