



Book of Abstracts

of the 7th All-Russian School of Young Scientists on BNCT

February 13-14, 2025, Moscow, Russia

Editor Sergey Taskaev



Invited lectures



Математическое моделирование фармакокинетики борных препаратов при планировании нейтрон-захватной терапии

И.Н. Шейно

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Москва
Эл. почта: igor.sheino@rambler.ru

Технология нейтрон-захватной терапии с борными препаратами (БНЗТ) заключается в селективной доставке препаратов, содержащих нуклид ^{10}B , к опухолевым клеткам и последующим облучением нейтронами. Это приводит (по реакции $^{10}\text{B}(\text{n},\alpha)^7\text{Li}$) к локализованному выделению энергии вторичными частицами с высокой ОБЭ и вызывает гибель клеток. БНЗТ подобна таргетной радионуклидной терапии, но в отличие от нее радиоактивным нуклид становится только в момент облучения. Доставка и удержание ^{10}B клетками опухоли во время облучения – ключевой момент технологии БНЗТ.

В докладе показано, что мощность поглощенной дозы в опухоли и нормальных тканях во время облучения линейно зависит от концентрации ^{10}B , в то же время, терапевтический эффект не линейно зависит от накопленной поглощенной дозы. Поэтому недостаток концентрации ^{10}B в опухоли, а значит и обусловленной ею поглощенной дозы, может привести к неполному уничтожению клеток опухоли. Это может привести к рецидиву и/или снижению эффекта БНЗТ, тогда как длительное нейтронное облучение, необходимое для достижения значения поглощенной дозы, достаточной для уничтожения опухолевых клеток, может повредить нормальные ткани.

Таким образом, значения концентрации ^{10}B в опухоли и здоровых тканей во время облучения становятся одним из ключевых факторов, влияющих на прогноз эффективности лечения методом БНЗТ, а фармакокинетические модели борных препаратов являются основным компонентом системы планирования.

Планирования БНЗТ заключается в выборе дозы вводимого препарата, режима его введения, времени и способа облучения пациента источником нейтронов заданной интенсивности для обеспечения максимального терапевтического эффекта.

В докладе рассматривается математическое моделирование динамики концентрации ^{10}B в крови пациента [1] при внутривенном введении (L)-4-dihydroxy-borylphenylalanine (BPA), наиболее часто используемым соединением бора в клинических исследованиях БНЗТ, и последующие процессы динамики накопления ^{10}B в опухолевых и здоровых тканях [2,3]. На нескольких примерах использования фармакокинетических моделей в зависимости от времени начала и продолжительности облучения на ускорителе источнике нейтронов рассчитываются значения поглощенной дозы, а затем определяется значение клинического критерия эффективности лечения: вероятность контроля опухоли без осложнений для нормальных тканей, что позволяет оценить эффект и оптимизировать процедуру БНЗТ.

Список литературы:

1. W.S. 3rd Kiger, M.R. Palmer, K.J. Riley, R.G. Zamenhof, P.M. Busse. A pharmacokinetic model for the concentration of ^{10}B in blood after boronophenylalanine-fructose administration in humans. Radiat. Res. 155(4) (2001) 611-8. doi: 10.1667/0033-7587(2001)155[0611:apmftc]2.0.co;2.
2. K. Ishiwata. 4-Borono-2-18F-fluoro-L-phenylalanine PET for boron neutron capture therapy-oriented diagnosis: overview of a quarter century of research. Ann. Nucl. Med. 33(4) (2019) 223-236. doi: 10.1007/s12149-019-01347-8.
3. N. Fukumitsu, Y. Matsumoto. Development of an Imaging Technique for Boron Neutron Capture Therapy. Cells 10(8) (2021) 2135. doi: 10.3390/cells10082135.



Линейные резонансные ускорители для медицинского применения

Т.В. Кулевой

НИЦ «Курчатовский институт», Москва Россия

НИЯУ «МИФИ», Москва Россия

Эл. почта:kulevoy@itep.ru

В мире все более актуальным становится развитие и усовершенствование существующих методов лечения злокачественных новообразований. На современном этапе развития лучевой терапии основной задачей, стоящей перед учеными, является достижение максимального эффекта воздействия ионизирующего излучения на опухоль, при минимальном воздействии на окружающие здоровые ткани, уменьшающим риск возникновения постлучевых реакций и осложнений. Особое место занимает методика борнейтронзахватной терапии (БНЗТ), в частности, при лечении ряда заболеваний, когда опухоль возникает в тканях, к которым нет непосредственного доступа (опухоли головного мозга и т.п.). Успешное внедрение методики БНЗТ в массовое освоение лечения онкозаболеваний при использовании реакторных технологий практически прервано в результате огромных сложностей в организации сертификации и лицензирования медицинских центров для работы с использованием делящихся материалов. Тем не менее, обеспечить требуемые согласно стандарту МАГАТЭ [1] параметры для БНЗТ возможно с использованием установок на базе ускорителей заряженных частиц, что существенно упрощает внедрение лечения методами БНЗТ в клиниках и сокращает расходы на эксплуатацию установок и, соответственно, повышает качество и экономическую целесообразность всего цикла лечения больных.

На сегодняшний день, прогресс в развитии ускорительных технологий позволяет разрабатывать ускорители на пучки протонов и ионов со средним током 10–15 мА при энергии единицы МэВ и в перспективе вплоть до 100-120 мА. Главным образом это связано с развитием ускоряющих структур с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой (RFQ), работающих в режиме малой скважности вплоть до непрерывного. Предложенные в России в конце 60-х годов прошлого столетия [2], данные структуры являются неотъемлемой частью любого высокоинтенсивного ускорительного комплекса. Они используются для группировки и ускорения пучка при начальных энергиях и имеют важные преимущества, а именно: возможность низкой (десятки кэВ) энергии инжекции сильноточного протонного пучка, большой средний ток, высокий (близкий к 100%) коэффициент токопрохождения и др.

В докладе рассмотрены принципы действия ускорителей RFQ, представлены примеры их использования в качестве установки для БНЗТ, а также представлены результаты развития технологии создания RFQ для работы в режиме малой скважности вплоть до непрерывного в нашей стране на примере проекта компактного источника нейtronов DARIA.

Список литературы:

1. *Advances in Boron Neutron Capture Therapy*. Intern. Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2023, 416 p.
2. В.В. Владимирский, И.М. Капчинский, В.А. Тепляков. *Линейный ускоритель ионов*. Авт. Свидетельство СССР №265312, Бюлл. ОИПТЗ 1970, № 10, стр. 75.



Создание соединений для потенциального использования в бор-нейтронозахватной терапии рака

В.И.Брегадзе

Институт элементоорганических соединений им. А.Н.Несмиянова РАН, Москва, Россия
Эл. почта: bre@ineos.ac.ru

В настоящее время бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) рассматривается как перспективная методика лечения злокачественных опухолей. В докладе планируется кратко изложить как развивалась проблема БНЗТ, какой вклад внесли российские и зарубежные учёные в решение возникавших проблем. Отмечается, что благодаря созданию в Институте ядерной физики СО РАН ускорительного источника нейtronов VITA и получения государственной премии «Вызов», увеличилось внимание высшего руководства страны к проблеме БНЗТ. Поэтому в настоящее время химикам необходимо увеличить усилия на решение проблемы создания необходимых соединений бора. В докладе будут представлены основные результаты в этом направлении, полученные различными научными группами. Соединения, пригодные для бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ) рака, должны обладать способностью селективно накапливаться в клетках злокачественных опухолей. Такая селективность может быть достигнута путем получения конъюгатов борсодержащих соединений с молекулами, склонными к селективному связыванию с раковыми клетками. Типы таких соединений были рассмотрены ранее [1, 2]. На сегодняшний день наиболее изученными в мире являются две молекулы: борофенилаланин (БФА) и борокаптат (BSH). Создан новый препарат, 3-бороно-L-тироzin (BTS), который улучшает характеристики основного исторического препарата [3]. Получен ряд соединений, содержащих полиздрические соединения бора [4-6]. В данной лекции представлены результаты по синтезу конъюгатов полиздрических соединений бора с некоторыми порфиринаами и липосомами. [5, 6]. Использование липосом является высокотехнологичным методом доставки лекарственных соединений в раковые клетки. Синтезирован ряд бис(дикарболидов) кобальта и других производных карборанов с холестерином с целью их дальнейшей трансформации в борсодержащие липосомы [7].

1. R. Barth, P. Mi, W.Yang. *Boron delivery agents for neutron capture therapy of cancer*. Cancer Commun. 38 (2018) 35.
2. V. Bregadze, I. Sivaev, S. Glazun. *Polyhedral boron compounds as potential diagnostic and therapeutic antitumor agents*. Anticancer Agents Med. Chem. 6 (2006) 75.
3. A. Raitano, et al. *Boronotyrosine, a borylated amino acid mimetic with enhanced solubility, tumor boron delivery, and retention for the reemerging boron neutron capture therapy field*. J. Med. Chem. 66 (2023) 13809.
4. D.A. Gruzdev, G.L. Levit, V.P. Krasnov, V.N. Charushin. *Carborane-containing amino acids and peptides: Synthesis, properties and applications*. Coord. Chem. Rev. 433 (2021) 213753.
5. A. Ignatova, Yu. Korostey, M. Fedotova, et al. *Conjugate of chlorin e6 with iron bis(dicarbollide) nanocluster: synthesis and biological properties*. Future Med. Chem. 12 (2020) 1015.
6. A.V. Nelyubin, N. Selovanov, A. Bykov, et al. *Primary Amine Nucleophilic Addition to Nitrilium Closododecaborate [B₁₂H₁₁NCCH₃]⁻: A Simple and Effective Route to the New BNCT Drug Design*. International Journal of Molecular Sciences 22 (2021) 13391.
7. V. Bregadze, I. Sivaev, R. Dubey, et al. *Boron-containing lipids and liposomes: new conjugates of cholesterol with polyhedral boron hydrides*. Chem.–Eur. J. 26 (2020) 13832.



Литий-нейтронозахватная терапия: первые результаты *in vivo*

Ю.С. Таскаева^{1,2}, А.И. Касатова¹, Н.П. Бгатова², С.Ю. Таскаев¹

¹Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии – филиал ФИЦ ИЦиГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
Эл. почта: taskaeva.iuliia@gmail.com

Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) представляет собой бинарную форму лучевой терапии, в основе которой лежит способность нерадиоактивного изотопа ¹⁰B поглощать тепловой нейtron. Продукты реакции ¹⁰B(n,α)⁷Li α-частица и ядро ⁷Li имеют высокий темп торможения и малую длину пробега, таким образом, большая часть выделенной энергии (84%) ограничивается размером одной клетки. В 93% ядро ⁷Li испускает γ-квант, длина пробега его составляет порядка 10 см в биологическом объекте, и он уносит с собой 16% энергии реакции ¹⁰B(n,α)⁷Li. Совершенно иным подходом к проведению нейтронозахватной терапии (НЗТ) может стать переход на новую реакцию, с использованием атомов других элементов вместо бора, в частности лития. Многолетний опыт использования лития (Li) в медицине и накопленные сведения о его токсичности в настоящее время позволяют предположить возможность его применения в качестве альтернативы бора для НЗТ. Отличительной чертой ЛинНЗТ, определяющей ее уникальность, является то, что вся энергия ядерной реакции ⁶Li(n,α)³H должна выделяться внутри клетки, содержащей ядро лития. Это свойство потенциально делает ЛинНЗТ методикой действительно избирательного уничтожения клеток злокачественных опухолей.

Пилотные эксперименты по накоплению лития в опухоли и оценки безопасности использования высоких доз лития продемонстрировали перспективность его применения в ЛинНЗТ [1]. В докладе приводится описание результатов использования ускорительного источника нейтронов VITA (Новосибирск) [2] для проведения ЛинНЗТ на экспериментальных животных с имплантированной меланомой кожи B16. Впервые была выполнена терапия с использованием лития хлорида, обогащенного легким изотопом лития-6, полученные результаты свидетельствуют о снижении динамики прироста опухоли в группе ЛинНЗТ в сравнении с контрольной группой. В докладе также представлены основные задачи, решение которых позволит существенно повысить эффективность ЛинНЗТ и перспективы развития метода.

Список литературы:

1. I. Taskaeva, A. Kasatova, D. Surodin, N. Bgatova, S. Taskaev. *Study of lithium biodistribution and nephrotoxicity in skin melanoma mice model: the first step towards implementing of lithium neutron capture therapy.* Life 13 (2023) 518.
2. С.Ю. Таскаев. Ускорительный источник нейтронов VITA. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2024. — 248 с.



Получение биополимерных наночастиц, содержащие различные агенты для нейтрон-захватной терапии

С.А. Успенский

Институт синтетических полимерных материалов имени Н. С. Ениколова РАН, Москва, Россия
Эл. почта: uspenskii@ispmt.ru

Развитие нанотехнологий в медицине открывает революционные возможности в лечении заболеваний, где классические методы демонстрируют низкую эффективность. Особое внимание сегодня уделяется полимерным наночастицам, которые становятся ключевым инструментом в бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ) — инновационном подходе к борьбе с онкологией. Их уникальные свойства позволяют преодолеть ключевые ограничения традиционной химиотерапии, такие как низкая селективность действия, токсичность для здоровых тканей и сложности в доставке терапевтических агентов к опухоли. Главным преимуществом наночастиц является их способность создавать высокую локальную концентрацию бора в злокачественных клетках, что критически важно для БНЗТ. Этот метод основан на избирательном поглощении борсодержащих соединений опухолью с последующей активацией их нейтронным излучением, что приводит к разрушению раковых клеток. Полимерные носители, функционализированные или инкапсулированные бором, усиливают терапевтический эффект благодаря:

- Умной доставке. Химическое средство к опухолевым рецепторам и возможность модификации поверхности (например, пептидами или антителами) обеспечивают точное нацеливание.
- Контролируемому высвобождению. Полимерные матрицы позволяют регулировать скорость высвобождения агента в ответ на pH, температуру или ферменты опухолевой среды.
- Мультимодальности. Возможность комбинировать бор с радиоактивными изотопами, противоопухолевыми препаратами или контрастными агентами для совмещения терапии и диагностики (тераностика).

В докладе будут представлены современные исследования, акцентирующие внимание на разработке «умных» полимеров, которые усиливают контроль над процессом лечения, в частности в БНЗТ.

Благодарности:

Данное исследование финансировалось Российским научным фондом (проект № 19-72-30005).



Измерения радиационных характеристик эпитеческих нейтронных пучков для нейтронозахватной терапии

Д.А. Касатов, А.И. Касатова, В.Д. Коновалова, К.С. Кузьмина, С.Ю. Таскаев

Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Эл. почта: KasatovD@gmail.com

Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) – методика терапевтического лечения злокачественных опухолей путём накопления в них стабильного изотопа бор-10 и последующего облучения нейтронами. В результате поглощения нейтрона бором происходит ядерная реакция с большим выделением энергии именно в той клетке, которая содержала ядро бора, что позволяет локально уничтожать опухолевые клетки. В преддверии внедрения БНЗТ в клиническую практику разработка системы контроля радиационных параметров нейтронного потока и сопутствующего гамма-излучения для БНЗТ становится важной задачей. Дозиметрия для БНЗТ сложна из-за множественности возможных нейтронных реакций и, следовательно, вторичного излучения, содержащего фотонны, заряженные частицы и ядра отдачи. Поэтому дозиметрия БНЗТ требует соответствующим образом разработанных систем математического моделирования и экспериментальных методов. В данной работе описываются экспериментальные методы измерения нейтронного потока и параметров дозы во время проведения БНЗТ в экспериментах, проводимых в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-72-30005.



Бор-нейтронозахватная терапия в России

С.Ю. Таскаев

Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
Эл. почта: taskaev@inp.nsk.su

Перспективной методикой лечения злокачественных опухолей рассматривается бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ), обеспечивающая избирательное уничтожение клеток опухоли за счет накопления в них атомных ядер бор-10 и последующего облучения нейтронами. В результате поглощения нейтрона бором происходит ядерная реакция с большим выделением энергии в опухолевой клетке, что приводит к ее гибели. В настоящее время методики БНЗТ начинает входить в клиническую практику и актуальной задачей становится проведение клинических испытаний в Российской Федерации.

Для терапии глубоко локализованных опухолей сформулированы требования, предъявляемые к пучку нейtronов; они изложены в книге МАГАТЭ [1]. Это: плотность потока эпитеplовых нейтронов, вклад потока тепловых нейтронов, направленность пучка, вклад в дозу фотонов и быстрых нейтронов. В докладе рассматривается важность этих параметров и необходимость их достижения. Также в докладе представляются и обсуждаются результаты, представленные в статье [2], в которой проведено сравнение и анализ глубинного распределения плотности тепловых нейтронов в фантоме на ускорительных источниках нейтронов, используемых или разрабатываемых для проведения БНЗТ. Показано, что благодаря оптимизации системы формирования пучка нейтронов ускорительные источники нейтронов, создающие очень разные начальные энергетические спектры нейтронов, в конечном итоге создают поле тепловых нейтронов, имеющее высокую степень сходства. Также в работе [2] обращено внимание к использованию коллиматора и сделано утверждение о том, что его использование приводит к существенному падению плотности потока нейтронов и, если его использовать, то только для более лучшей визуализации бора и только в течение непродолжительного времени перед проведением терапии. В докладе критически рассмотрены задачи, решение которых считается необходимым для проведения клинических испытаний методики БНЗТ в Российской Федерации, и они разделены на те, которые действительно необходимы, и на те, которые не дают значимой полезной информации. Также в докладе приводится краткое описание результата использования ускорительного источника нейтронов VITA-II α в китайской клинике, введения в эксплуатацию VITA-II β в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина и разработки VITA-III α для ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

Список литературы:

1. Advances in Boron Neutron Capture Therapy. Intern. Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2023, 416 p.
2. S. Green, B. Phoenix, S. Nakamura, et al. Accelerator neutron sources for BNCT: Current status and some pointers for future development. Appl. Radiat. Isot. 217 (2025) 111656.



Oral presentations



ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО D-D-ГЕНЕРАТОРА НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ЗАДАЧ БОР-НЕЙТРОННОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ

А.А. Пахомова¹, И.Н. Дружкова¹, Н.И. Игнатова¹, И.В. Изотов², С.С. Выбин², А.В. Поляков²,
Е.М. Киселёва², А.В. Масленникова¹ и В.А. Скалыга²

¹ Приволжский исследовательский медицинский университет, г. Нижний Новгород

² Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова
Российской академии наук, г. Нижний Новгород

Эл. почта: pakhomovaaa98@mail.ru

Бор-нейтроннозахватная терапия (БНЗТ) - перспективный метод лечения злокачественных новообразований. Одной из проблем, препятствующих широкому клиническому внедрению БНЗТ, является отсутствие компактных источников нейтронного излучения [1]. В настоящее время Институт прикладной физики РАН разработал новый дейтериевый генератор (D-D-генератор) нейтронов для задач БНЗТ. Поэтому проведение исследований *in vitro* D-D-генератора нейтронов и *in vivo* биораспределения L-борфенилаланина (L-BPA) является важным шагом в разработке инновационного метода лучевой терапии.

Цель – аprobация D-D-генератора нейтронов для задач БНЗТ на клеточных культурах, а также исследование биораспределения ¹⁰B в организме подопытных животных.

Материалы и методы. Препарат L-борфенилаланин. Материалом для исследования стали органы и ткани мышей, изъятые через 1,5, 3, 6 и 24 часа после инъекции L-BPA. Концентрация ¹⁰B в ткани определялась масс-спектрометрией с индуктивно связанный плазмой. Для клеточных исследований использовались клеточные линии: СT26 (рак кишечника мыши), U87 (gliобластома человека), huFB (фибробласти человека). Оценка выживаемости: MTT-тест и анализ колонизирующей активности.

Результаты. В эксперименте *in vitro* были проведены испытания нового D-D нейтронного генератора для задач БНЗТ. За 24 часа перед облучением клетки рассевали в 6-луночные культуральные планшеты по 2x105 клеток на лунку, либо в питательной среде, либо в той же среде с добавлением L-BPA (40 мкг/мл). Затем планшеты с клетками размещали в камере прибора и облучали, расчётная доза тепловых/эпитепловых нейтронов – $1,6 \times 10^{-4}$ Гр, быстрых – $1,6 \times 10^{-1}$ Гр. Согласно результатам теста MTT, значительных эффектов облучения для линий СT26 и huFB не наблюдалось. Однако для линии U87 в присутствии L-BPA было показано снижение жизнеспособности по сравнению с контролем на 38,4 %. Анализ колониеобразования показал снижение показателей по линиям U87 и незначительное снижение для линии huFB. Однако, для линии СT26 наблюдалось увеличение числа колоний на 8,4 %. Дополнительное исследование на линии клеток U87 не подтвердило корреляцию между эффектом от облучения и расстоянием до мишени. При *in vivo* исследовании на мышах линии BALB/c максимальное содержание бора в привитой опухоли СT26 составило $142,0 \pm 4,4$ мкг/г через 1,5 часа после внутривенного введения L-BPA. Затем оно снижалось по экспоненте уменьшалось и достигло минимальной терапевтической концентрации через 5,25 часов, что позволяет эффективно проводить нейтронное облучение до указанного периода времени. Соотношение содержания L-BPA



опухоль/кровь через 1,5 часов было 4,4, в других органах этот показатель находился в диапазоне 1,3-4,5.

Выводы. Определена частичная эффективность исследуемого нейтронного D-D-генератора, что указывает на необходимость оптимизации работы источника и проведения дополнительных исследований. Однако снижение выживаемости клеток U87 на 38,4% в присутствии L-BPA говорит о перспективности дальнейших исследований. Максимальная концентрация бора в опухоли подопытных животных была достигнута через 1,5 часов после внутривенного введения, минимальная через 5,25 часов, что указывает на эффективность нейтронного облучения в указанной период времени.

Список литературы:

1. С.Ю. Таскаев, В.В. Каныгин. *Бор-нейтронозахватная терапия*. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016. 216 с.



In vitro оценка возможности применения борных наночастиц, полученных методом лазерной фрагментации для бор-нейтронозахватной терапии.

**А.И. Касатова^{1,2}, К.С. Кузьмина², Д.А. Касатов², Е.В. Бармина^{1,3}, К.О. Айырыжы³,
П.А. Котельникова^{1,4}, М.С. Григорьева¹, Д.С. Петруня^{1,5}, Е.Л. Завьялов⁶, С.М. Деев^{4,5},
С.Ю. Таскаев^{1,2}, И.Н. Завестовская^{1,5}**

¹*Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии – филиал ФИЦ
ИЦиГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

¹*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*

²*Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*

³*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия*

⁴*Институт биоорганической химии им. акад. М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова РАН, Москва, Россия*

⁵*НИЦ "Курчатовский институт", Москва, Россия*

⁶*Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия*

Эл. почта: A.I.Kasatova@inp.nsk.su

Бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) – это метод радиотерапии злокачественных новообразований, в основе которого лежит реакция захвата бором-10 нейтрона с образованием ядра лития и ядра гелия, которая характеризуются высокой линейной передачей энергии и малой длиной пробега, что позволяет локально уничтожать опухолевые клетки [1]. В настоящий момент идёт разработка препаратов бора на основе наносистем с обеспечением их доставки в опухолевые ткани. В данной работе исследовались наночастицы элементного бора, которые были получены методом лазерной фрагментации в изопропаноле микропорошка бора, обогащённого изотопом бора-10 на 85%, с модифицированной покрытием Silane-PEG поверхностью. Было выявлено, что данные наночастицы не оказывают цитотоксического действия на клеточные культуры U87, BT474 и BJ-5TA в концентрациях бора-10, необходимых для проведения БНЗТ. Было проведено облучение данных клеточных культур, предварительно инкубированных с наночастицами элементного бора, потоком нейтронов на источнике нейтронов ускорительного типа VITA [2]. По данным клоногенного анализа доля выживших клеток доля выживших клеток U87 составила 35%, что достоверно отличается от результата, полученного в контрольных группах. Наибольший эффект после проведения БНЗТ с исследуемыми наночастицами был обнаружен для культуры клеток BT474, доля выживших клеток составила менее 1%. Облучение клеток потоком эпитеplовых нейтронов без бора не привело к достоверному снижению выживаемости, что говорит о безопасности применения выбранных параметров облучения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-62-00018,
<https://rscf.ru/en/project/24-62-00018/>.

Список литературы:

1. *Advances in Boron Neutron Capture Therapy*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2023. – 416p.
2. С.Ю. Таскаев. Ускорительный источник нейтронов VITA. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2024. 248 с.