

# **Протонная трехмерно-конформная "радиохирургия" артериовенозных мальформаций головного мозга: 3Д-компьютерное планирование, методика облучения, первые результаты**

**Лучин Е.И., Будяшов Ю.Г., Васильев С.А., Гаевский В.Н., Гулидов И.А., Иглин А.В., Мицын Г.В., Молоканов А.Г., Цейтлина М.А., Череватенко Е.П., Швидкий С.В.**

*Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем, г. Дубна, Моск. обл., Россия*

*Медицинский радиологический научный центр РАМН, г. Обнинск, Калужская обл., Россия  
НИИ скорой помощи им. Н.В.Склифосовского, отд. неотложной нейрохирургии, г. Москва, Россия*

Стереотаксическая радиохирургия с использованием различных аппаратных средств и излучений (узкие фотонные пучки - "гамма-нож", линейный ускоритель, протонные пучки) за последние 2-3 десятилетия заняла важное место среди методов лечения неоперабельных артериовенозных мальформаций (АВМ) головного мозга. Протоны по сравнению с фотонными излучениями имеют ряд преимуществ в пространственном распределении дозы.

В 2000-2001 г.г. в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) была разработана современная технология предлучевой диагностики, трехмерного компьютерного планирования, а также трехмерной реализации и верификации плана протонного облучения.

Технологические этапы предлучевой подготовки и протонной "радиохирургии" были следующими.

- Из специального перфорированного термопластика изготавливалась индивидуальная маска, иммобилизирующая голову пациента во время диагностических исследований и самого облучения.
- На КТ высокого разрешения "GE hi-speed" измерялось до ста КТ-срезов толщиной 2 мм. Также использовалась МРТ, с такой же, как у КТ, ориентацией срезов и визуальной корреляцией изображений при планировании облучения.
- Трехмерно-конформное компьютерное планирование облучения производилось на системе планирования "TPN", разработанной в первом госпитальном центре протонной терапии в Loma Linda University Medical Center, Калифорния, США, которая была адаптирована для использования с протонными пучками ОИЯИ и оборудованием процедурной кабины. Система планирования благодаря современному математическому алгоритму реалистично моделирует дозное распределение протонов на КТ-матрице. Параллельно используется система планирования, разрабатываемая в ОИЯИ.
- Оценка качества планов облучения производилась с помощью гистограмм доза-объем для мишени облучения и критических анатомических структур.
- Изготовление устройств формирования пучка. Данные о форме коллиматоров и болюсов, рассчитанные системой планирования, передавались по электронной почте в ОИЯИ, где производилось изготовление индивидуальных коллиматоров из сплава Вуда, индивидуальных болюсов (замедлителей сложной формы).
- Реализация плана лечения и верификация положения пучка относительно мишени и костных структур черепа. Система планирования реконструирует из КТ-срезов

цифровые краниограммы с угла облучения, которые сравниваются с рентгеновскими снимками, произведенными непосредственно перед облучением пациента с каждого поля. Точность юстировки мишени относительно протонного пучка находится в пределах 1 мм.

Для лечения больных с АВМ использовался международный протокол, в соответствии с которым мишень облучения включалась в 70-80% изодозу. Подводимые дозы составляли 25 Гр-экв в точке изоцентра (1 Грэй-эквивалент равняется 1 Гр физического, умноженный на относительную биологическую эффективность протонов, равную 1.1). На край мишени дозы составляли 18-20 Гр-экв. Облучение проводилось за два сеанса в течение двух последовательных дней. Количество входных полей составляло от 2 до 7 в зависимости от локализации и формы АВМ. Длительность одного сеанса облучения была около 1 часа.

За прошедшие 3 года проведена протонная "радиохирургия" 16 больным с АВМ головного мозга различных локализаций. Объем мишеней облучения составил от 1.5 до 66 см<sup>3</sup>. Все больные были признаны радикально неоперабельными как методами открытой нейрохирургии, так и эндоваскулярными методами.

Хорошо известно, что облитерация сосудов АВМ при "радиохирургии" происходит постепенно в сроки от 6 до 24 мес после лечения. Сроки наблюдения за больными составили: более 24 мес - 4 человека, 6-12 мес - 5 больных, до 6 мес - 7 больных. Контрольные обследования (МРТ и МРТ-ангиография) показали, что у всех четверых больных со сроком наблюдения более 24 мес произошла полная облитерация АВМ. В сроки 6-12 мес наблюдалась частичная облитерация патологических сосудов у 2 из 5 больных. Остальные больные с меньшим катамнезом не проходили контрольного обследования.

У одной пациентки через 18 мес. наблюдалась поздняя лучевая реакция на облучение в виде развития отека в полушарии мозга. Больной были проведены несколько курсов терапии дексазоном с последующим разрешением отека.

Разработанная методика протонной "радиохирургии" позволяет конформно облучать АВМ мозга любого размера, формы и локализации. Для полной оценки эффективности необходим дальнейший набор материала и более длительные сроки наблюдения. Для повышения эффективности лечения АВМ также планируется использование комбинированных методов лечения (открытое хирургическое вмешательство, эндоваскулярная эмболизация и протонная "радиохирургия").