

## ПРОТОННАЯ И ИОННАЯ ТЕРАПИЯ – СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД ЛЕЧЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ

**Төлеуханов Әлішер Сапарұлы**

*[alisher-toleukhanov@mail.ru](mailto:alisher-toleukhanov@mail.ru)*

Студент физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева,

Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Шаханова Г.А.

Первые пациенты получали лечение протонными пучками в 1955 году в лаборатории Лоуренса Беркли в Калифорнии. В 1970 году пучки протонов начали использоваться в исследовательских центрах для лечения больных раком с использованием фракционированных схем лечения.

Лишь в 1990 году протонное лечение проводилось в больничных учреждениях с использованием технологий и методов, сопоставимых с методами современной фотонной терапии. Клинические данные убедительно подтверждают вывод о том, что протонная терапия превосходит обычную лучевую терапию в ряде участков заболевания.

Исследования планирования лечения показали, что распределение доз протонов превосходит распределение доз фотонов в широком диапазоне очагов заболевания, что указывает на то, что могут быть достигнуты дополнительные клинические преимущества, если эти планы лечения могут быть надежно предоставлены пациентам.

Оптимальное распределение дозы протонов может быть достигнуто с помощью протонов с модуляцией интенсивности (ИМРТ), но очень немногие пациенты получали эту передовую форму лечения. Ожидается, что широкое внедрение ИМРТ обеспечит дополнительное улучшение клинических результатов.

Достижения последнего десятилетия привели к повышенному интересу к протонной терапии. В настоящее время протонная терапия претерпевает изменения, которые сделают ее основным направлением лечения рака. Например, сейчас возмещаются расходы на протонную терапию, наблюдается быстрое развитие технологии протонной терапии, и доступно множество новых вариантов оборудования, конфигурации учреждения и финансирования.

В течение следующего десятилетия новые разработки повысят эффективность и точность протонной терапии и улучшат наши возможности по проверке расчетов планирования лечения и обеспечению качества проведения протонной терапии. С внедрением новых клинических исследований в нескольких учреждениях и регулярной доступностью ИМРТ, возможно, в течение следующего десятилетия появится возможность количественно оценить клинические выгоды, полученные от оптимизированной протонной терапии. В этот же период будет построено несколько новых установок для протонной терапии, и ожидается, что стоимость протонной терапии снизится, что сделает протонную терапию доступной для более широкого круга больных раком.

Резерфорд предположил существование протонов в 1919 г.; однако только в 1955 г. первых пациентов лечили пучками протонов в Лаборатории Лоуренса Беркли (LBL) в Калифорнии. В период с 1919 по 1955 гг. произошло два события, которые оказали важное влияние на протонную терапию.

Во-первых, в 1930 году Э. О. Лоуренс построил первый циклотрон, проложив путь для будущих ускорителей частиц с энергией, достаточно высокой для применений в лечении рака.

Затем в 1946 году Роберт Уилсон предположил, что из-за их физических свойств пучки протонов будут полезны для лечения глубоко укоренившегося рака, заявив: «Будет легко получить хорошо сфокусированные узкие пучки быстрых протонов, и поскольку диапазоном пучков легко управлять, скоро станет возможным прецизионное экспонирование четко определенных небольших объемов внутри тела». Уилсон также описал использование

вращающегося колеса переменной толщины, то есть колеса модуляции диапазона (RMW), вставленный в протон пучок, как метод сложения нескольких пиков Брэгга переменной энергии и веса, чтобы расширить область остановки протонов в глубину, чтобы доставить однородную дозу в расширенный объем мишени.

Существуют различные методы, используемые для проведения протонной лучевой терапии, которые делятся на две общие категории:

- методы пассивного рассеяния;
- методы точечного сканирования (также называемого сканированием карандашным лучом).

В методе пассивного рассеяния используются рассеивающие устройства (где рисунок?) в сопле подачи лечебного средства [обычно двойные рассеиватели для больших полей и одиночные рассеиватели для небольших (например, радиохирurgia) полей] для бокового распространения луча и RMW или гребневого фильтра 7 для создания рассеянного-брэгговского фильтра. пик (СОБП) в целевом объеме (как понять?). Между выходом из сопла и поверхностью пациента используется коллиматор для конкретного поля лечения, чтобы формировать поле в поперечном направлении, чтобы соответствовать максимальной дальности обзора лучей целевого объема. Компенсатор диапазона используется для коррекции неровностей поверхности пациента, неоднородности плотности на пути луча и изменения формы дистальной объемной поверхности мишени.

Размер SOBP выбирается таким образом, чтобы охватить наибольшую глубину целевого объема. Размер SOBP постоянен на всем целевом томе; поэтому, как правило, наблюдается некоторое оттягивание области высоких доз в нормальные ткани проксимальнее целевого объема. Поскольку обычно используются несколько лечебных полей, каждое из которых направлено под разным углом, возвращение этой высокой дозы обратно в нормальную ткань не суммируется по всем полям. В принципе, использование RMW для получения SOBP в методах пассивного рассеяния модулирует как энергию, так и интенсивность луча. Однако это не следует путать с обработкой протонами с модулированной интенсивностью (IMPT), достигаемой с помощью методов сканирования луча, как описано ниже.

Протонная терапия переживает примечательный переходный период. В течение следующего десятилетия будут достигнуты важные успехи в предоставлении лечения протонной терапией, планировании лечения и системах обеспечения качества, которые повысят эффективность, надежность и точность протонной терапии. Также ожидается, что стоимость для пациентов снизится, что сделает протонную терапию более конкурентоспособной с финансовой точки зрения по сравнению с фотонной терапией.

Наблюдения Роберта Уилсона о потенциальных преимуществах протонной терапии для лечения рака вызвали интерес среди ученых-клиницистов и привели к гипотезе о том, что сильно локализованное распределение доз, достигаемое с помощью протонных пучков, приведет к более высокой вероятности местного контроля и выживаемости без болезней и более низкой вероятности для повреждение нормальных тканей.

Эта гипотеза остается движущей силой клинических исследований протонной терапии. Важно отметить, что преимущества распределения дозы протонов сохраняются для каждого пучка, используемого в плане лечения, и для лечения равной сложности с точки зрения таких факторов, как техника, количество пучков, направления пучка и т. д., Протоны. почти всегда будет иметь лучшее распределение дозы для фотонов. Исключение составляют случаи, когда бережное отношение к коже является клинически важным, поскольку фотоны оказывают большее воздействие на кожу, чем протоны.

Также важно отметить, что в некоторых клинических ситуациях преимущество протонов может быть уменьшено из-за ошибок, вызванных неопределенностью дальности протонов в плане лечения или движением мишени во время проведения лечения.

В настоящее время протонная терапия дороже фотонной. В 2003 году Гойтейн и Джерманн оценили относительные затраты на протонную и фотонную терапию, заключив, что

с некоторыми предсказуемыми улучшениями соотношение затрат (протоны / фотоны), вероятно, составит около 1,7. Однако эти оценки, вероятно, устарели.

Ставки возмещения в настоящее время позволяют разрабатывать и эксплуатировать установки протонной терапии с разумной нормой прибыли. В будущем вполне вероятно, что ставки возмещения расходов на лечение протонной терапией снизятся, поскольку капитальные затраты на существующие учреждения будут распределяться между большим количеством пациентов, поскольку эти учреждения выйдут на полную мощность.

Кроме того, общие затраты на протонную терапию будут снижены по мере того, как процедуры протонной терапии станут более эффективными, а количество пациентов увеличится. Увеличение количества пациентов позволит распределить капитальные затраты на протонную терапию среди большего числа пациентов, а затраты на одного пациента снизятся.

Повышение эффективности может быть достигнуто следующими способами:

- Использование комнат для установки за пределами процедурной комнаты увеличит пропускную способность, особенно для педиатрических пациентов, которым требуется анестезия, которая в настоящее время требует, чтобы эти пациенты проводили в процедурной комнате больше времени, чем пациенты, которым не требуется анестезия;
- Использование более быстрых автоматизированных методов визуализации для позиционирования пациента как снаружи, так и внутри процедурного кабинета;
- Использование робототехники как снаружи, так и внутри процедурного кабинета для перемещения и позиционирования пациентов, для перемещения устройств визуализации и обращения с лечебными приборами;
- Использование усовершенствованных технологий ускорителя, транспортировки пучка и доставки лечения, которые сократят время, необходимое в настоящее время для изменения энергии и переключения пучка из одного помещения в другое;
- Использование методов ИМРТ, которые могут сократить время лечения, поскольку меньшее количество устройств пациента (формирующие поле коллиматоры и компенсаторы диапазона) необходимо будет вручную вставлять и снимать для каждого поля лечения. Также будет возможно после процедуры настройки обработки для первого поля обработки обрабатывать все последующие поля сеанса лечения, содержащие копланарные поля, без повторного входа в процедурную комнату;
- Возможно использование больших и меньших фракций (гипофракционирование) в протонной терапии, чем в настоящее время используется в фотонной терапии. Протонная терапия щадит нормальные ткани в гораздо большей степени, чем это возможно с помощью фотонных лучей, что делает гипофракционирование потенциально эффективным. При уменьшении количества лечебных фракций стоимость курса терапии для пациентов снижается;
- По мере роста спроса на протонную терапию будет построено больше установок, и на рынок выйдет больше производителей оборудования. Конкуренция между производителями должна снизить стоимость систем терапии частицами. Кроме того, быстрый рост оборудования для протонной терапии, вызванный сильным рыночным спросом, позволит производителям продавать больше систем (т. е. высокие затраты на запуск бизнеса и разработку технологий для систем протонной терапии могут быть распределены между большим количеством систем).

Протонная терапия переживает примечательный переходный период. В течение следующего десятилетия будут достигнуты важные успехи в предоставлении лечения протонной терапией, планировании лечения и системах обеспечения качества, которые повысят эффективность, надежность и точность протонной терапии. Также ожидается, что стоимость для пациентов снизится, что сделает протонную терапию более конкурентоспособной с финансовой точки зрения по сравнению с фотонной терапией.

Лечение ИМРТ станет доступным для рутинного использования во все большем числе учреждений, и будут разработаны методы для повышения точности и точности этого метода лечения. При наличии передовых методов ИМРТ можно будет количественно оценить клинические выгоды, полученные от оптимизированной протонной терапии, и сравнить

клинические исходы фотонов и протонов с использованием наилучшего распределения доз для обоих методов.

Потребуется разработать методы, позволяющие сделать расчеты плана лечения протонами более точными и убедиться, что планы лечения действительно реализуются при проведении лечения протонами. Бессмысленно сравнивать протоны с фотонами, если мы не сможем продемонстрировать, что наилучшие распределения доз в планах лечения протонами действительно могут быть доставлены пациентам.

Будет построено больше современных учреждений протонной терапии на базе больниц, и все большее число пациентов будет получать лечение. Как заявили Шульц-Эртнер и Цуджи, «потенциал терапии частицами может быть использован только в том случае, если будет достигнута полная интеграция терапии частицами в клиническую среду и междисциплинарные стратегии лечения, и если новые медицинские и технологические достижения будут должным образом включены в общий процесс лечения..»

#### **Список использованных источников**

1. Уилсон Р. Р., "Радиологическое использование быстрых протонов", Радиология 47, 487–491.
2. Гойтейн М. и Дж. Кокс, «Должны ли потребоваться рандомизированные клинические испытания протонной лучевой терапии?» Д. Клини. Онкол. 26, 175– 176
3. Ломакс А. Дж., «Протонная терапия с модуляцией интенсивности и ее чувствительность к неопределенностям лечения. 1. Возможные последствия расчетных неопределенностей»
4. Информационный бюллетень «Частицы». Доступна с: <http://ptcog.web.psi.ch/ptcentres.html>