

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНЫХ МИШЕНЕЙ С ПРИОРИТЕТОМ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

И.Н. Канчели*, Г.И. Клёнов*, М.Ф. Ломанов*, О.В. Луговцов*, О.Г. Луговцова*, В.П. Похвата*,
В.С. Хорошков*, Ю.И. Бородин**, В.В. Вальский**, С.В. Саакян**

*ФГУП "ГНЦ РФ – ИТЭФ", **ФГУ МНИИ ГБ им. Гельмгольца ФАВМП m.lomanov@itep.ru.

Методика протонной терапии внутриглазных меланом на лучевой установке, работающей на синхротроне ИТЭФ с 1977 г., позволяла облучать опухоли глаза при визуальном наведении пучка протонов на мишень, которая была расположена в переднем отделе глаза. Получение разработанной за рубежом программы дозно-анатомического планирования EyePlan позволило приступить к лечению труднодоступных опухолей заднего отдела глаза. Для работы на собственной лучевой установке была создана соответствующая ей методика точной центрации внутриглазной мишени на пучке. Специальный фантом пары глаз использовался в качестве тренажёра для обучения персонала. Юстировки положения мишени отрабатывались при симуляции облучения и повторялись на каждом из нескольких сеансов лучевой терапии. По рентгеновским снимкам определялись положения танталовых маркеров, подшитых хирургом по краю основания опухоли. Планирование производится по программе EyePlan. Как правило, требуется несколько пробных усадок больного. Чтобы сократить их количество, заранее, по полученным из клиники данным, выполнялось предварительное планирование. Впервые введены поправки на различие между геометрической и зрительной осями глаза, неучтенные программой. Учет поправок позволил заметить различия между рассчитанной и реальной лучевой нагрузкой на критические структуры глаза.

Среди злокачественных новообразований, при которых успешно применяется метод протонной лучевой терапии, одно из ведущих мест занимает увеальная меланома. В семи мировых клиниках уже накоплен опыт лечения более 8000 больных. Эффективность метода составляет 96-99%. Этот опыт явился стимулом для дальнейшего развития этого метода лечения, используемого с 1977 г. МНИИ глазных болезней им. Гельмгольца и Институтом теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ) на пучке протонов синхротрона ИТЭФ [1].

Лечение опухолей заднего отдела глаза требует выбора оптимального направления пучка протонов, который должен подводиться к облучаемой мишени (опухоли), минуя многие радиочувствительные структуры глаза. Юстировка положения оси глаза зависит от больного, направляющего взор на «фиксационную точку». Облучение производится под телевизионным контролем врача. Все операции усадки больного и центрации глаза репетируются заранее. По специальной программе вычисляются координаты для установки направления взора, которое определяется путём анализа положения маркеров опухоли на рентгеновском снимке. Маркерами служат танталовые скрепки, подшитые хирургом по контуру основания опухоли на склере глаза. Каждый сеанс облучения должен проводиться при оперативных действиях персонала, осуществляющего повторный рентгеновский контроль положения глаза. Все эти действия стали возможными благодаря освоению полученной из Онкологического центра г. Клаттербридж (Великобритания) программы EyePlan [2], выполняющей все необходимые вычислительные действия. Для адаптации программы на собственной лучевой установке, разработанной ИТЭФ совместно с ИФВЭ г. Протвино [3] был внесен ряд изменений в методику ее использования. Большое значение имел накопленный ранее опыт лечения меланом переднего отдела глаза. С середины 2006 г., по новой методике пролечено 9 пациентов. Результаты лечения излагаются в отдельном докладе, а целью данного доклада является изложение опыта по созданию и освоению аппаратурно-программного комплекса для протонного облучения увеальных меланом заднего отдела глаза.

В центре протонной терапии ИТЭФ для лечения опухолей глаза служит одна из трёх кабин. Система формирования дозовых полей протонов представляет собой набор коллиматоров различной формы и размеров, гребенчатых фильтров, которые

позволяют получить модифицированный пик Брэгга с постоянной дозой и необходимой протяжённостью (плато), тормозителей и компенсаторов кривизны – болюсов. Для лечения офтальмологических больных используются две энергии протонного пучка – 80 и 100 МэВ. Максимальная глубина проникновения протонов в ткани при этом равна 55 мм, а протяжённость плато – до 25 мм по 80% изодозе.

В отличие от позиционеров, обычно применяемых для облучения внутриглазных мишеней, стереотаксическая лучевая установка дополнена отдельным устройством для центрации головы, в котором применена точная регулировка всех линейных и угловых координат. Разница в способах центрации мишени на пучке не помешала использовать одну и ту же программу на разных лучевых установках. Выведение центра глаза в изоцентр позиционера представляет собой сложную процедуру, выполняемую с использованием лазерных центраторов. Ввиду сложности производимых операций, в данной работе была построена «физическая» модель, фантом-имитатор системы глаз (рис.1), на котором отрабатывались все операции позиционирования мишени. Данный фантом глаз помогает решать такие задачи как: 1) периодические проверки подготовленности аппаратуры, 2) обучение персонала, 3) имитация операций позиционирования мишени, 4) точную установку обоих глаз пациента в системе координат протонной лучевой установки (ПЛУ), 5) наблюдение на дисплее фотокамеры за позиционированием взора на фиксационную точку.

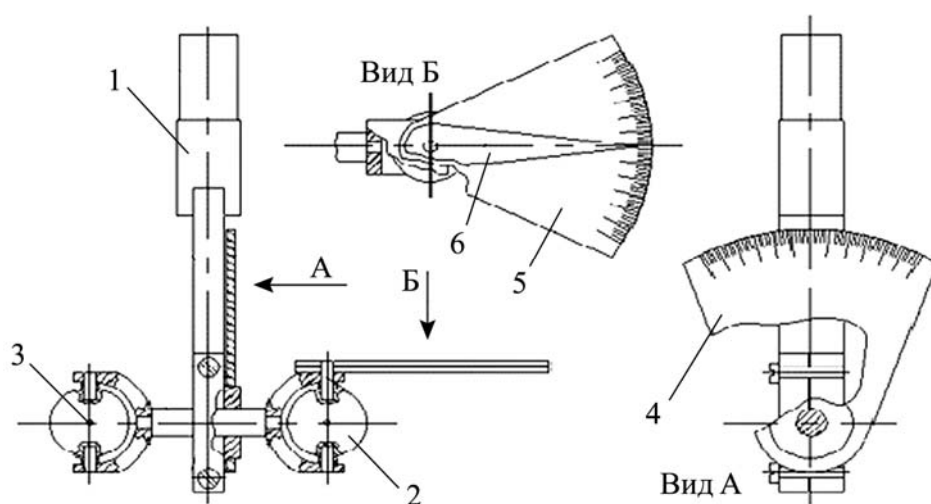


Рис.1. Конструкция фантома-имитатора глаз: 1 – крепление фантома на позиционере, 2 – сфера, имитирующая глазное яблоко, 3 – отверстие, имитирующее зрачок, 4 и 5 – шкалы для отсчета азимутального и полярного угла, 6 – стрелка на шкале.

В ходе исследования наметились существенные отличия данной методики планирования от обычно применяемых по программе EyePlan. Был расширен перечень топометрической информации, поступающей из клиники. По этим данным до прибытия больного на симуляцию облучения составлялся предварительный план облучения. В результате подготовка больного к протонному облучению, обычно выполняемая за несколько репетиционных усажек пациента [4], была сокращена до одного-двух сеансов.

К критическим структурам глаза относятся: хрусталик, цилиарное тело, диск зрительного нерва, зрительный нерв, макула. Планировщик добивается минимального вовлечения этих структур в дозное поле. По программе EyePlan делается расчёт оптимального плана облучения, для которого принимаются следующие условия: 1) пучок протонов должен проходить по возможности вне

контура лимба, 2) угол отведения глаза выбирается так, чтобы свести к минимуму облучение цилиарного тела, зрительного нерва, макулы и хрусталика (в порядке уменьшения значимости), 3) дозное поле пучка принимается таким, чтобы в его пределах полностью помещалась мишень заданной формы.

Необходимость согласовать собственные разработки с программой EyePlan заставила критически пересмотреть некоторые её положения. Было обнаружено, что в программе не учтено различие между зрительной линией и геометрической осью глаза. Эта разница составляет обычно $6 \pm 2^\circ$ (так называемый γ -угол). Неточность проведения вектора направления на фиксационную точку может компенсироваться поправками, возникающими при сопоставлении вида дна глаза с его снимком, выполняемым отдельно на фундус-камере. Эти моменты вносят в процесс планирования элементы искусства, так как результат планирования сильно зависит от опыта планировщика. Учёт γ -угла позволяет правильно определять положение мишени и влияет на выбор оптимального направления облучения.

Была создана программа, учитывающая γ -угол и позволяющая вводить не только положения скрепок, определённые по рентгеновским снимкам, но и их положение, заданное врачом во время подшивания. При работе с планами облучения было установлено, что учёт γ -угла приводил к значительно лучшему совпадению положения скрепок на плане облучения и их изображения на рентгенограммах, полученных при усадке больного. Один из таких результатов (рис.2) свидетельствует о том, что положение скрепок воспроизводится программой с точностью 0,5 мм.

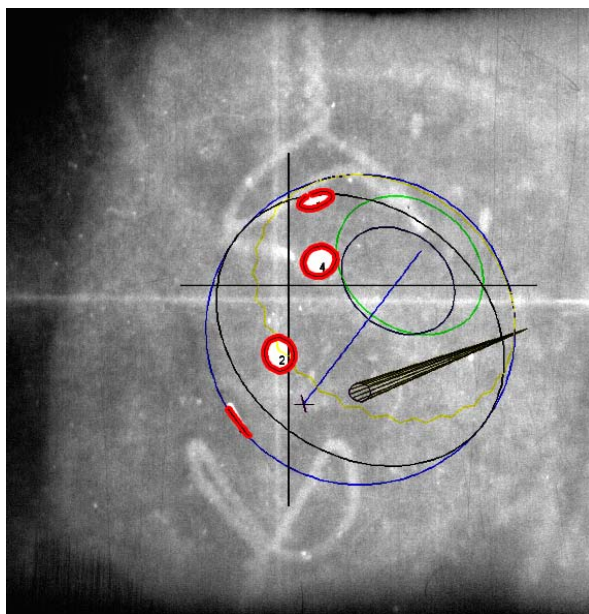


Рис.2. Сравнение экспериментальной рентгенограммы с данными планирования в EyePlan с учетом поправки на γ -угол для больного В.

Для оценки лучевой нагрузки на критические структуры глаза, проведено сравнение гистограмм доза-объем до и после введения поправки (рис.3).

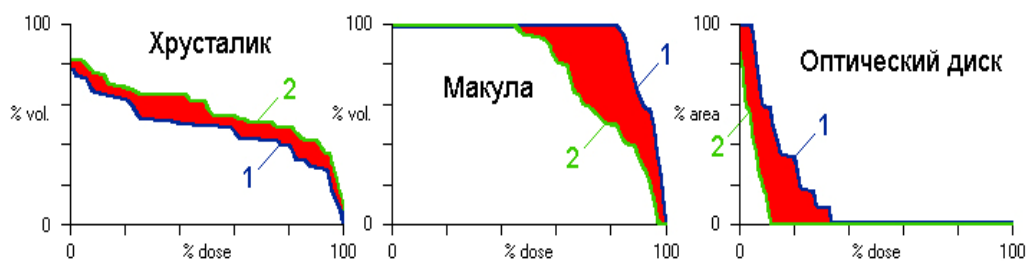


Рис.3. Гистограммы доза-объем для различных структур глаза до (1) и после (2) введения поправки на γ -угол.

Полученные изменения в оценках дозовых нагрузок, а следовательно и вероятности лучевых реакций доказывают, что учёт величины γ -угла необходим для того, чтобы корректировать практически каждую стадию планирования и облучения внутриглазных мишеней.

1. Гольдин Л.Л., Ломанов М.Ф., Лукьяшин В.Е. и др. Физико-технические и экспериментальные подходы к облучению опухолей глаза протонным пучком. В кн.: Использование протонных пучков в лучевой терапии. М. Атомиздат, 1979, Вып.3, с.133-139.

2. Sheen M. Eye Program user manual. Clatterbridge Centre for Oncology, Internal Report, 1992.

3. Хорошков В.С., Кленов Г.И. Развитие протонной лучевой терапии в мире и в России. Медицинская физика, 2005 г., № 3 , с. 16-23; № 4 , с. 5-23.

4. Chauvel P. Proton treatment of eye tumours. In: Linz U., editor. Ion beams in tumor therapy. Weinham: Chapman & Hall; 1995, p. 116-126.

COMPUTER PLANNING OF IRRADIATION OF INTRAOCULAR TARGETS WITH PRIORITY OF OPHTHALMOLOGIC INFORMATION

I.N.Kancheli*, G.i.Klenov*, M.F.Lomanov*, O.V.Lugovtsov*, O.G.Lugovtsova*, V.P.Pokhvata*, V.S.Khoroshkov*, Yu.I.Borodin**, V.V.Val'ski**, S.V.Saakyan**

*FSUE SSC RF ITEP, Moscow, Russia m_lomanov@itep.ru

“The Helmholtz Moscow Research Institute of Eye Diseases”, Moscow, Russia

The method of the proton therapy of the intraocular melanomas at the facility working at the ITEP synchrotron since 1977 allowed treating only eye tumors of the anterior segment of the eyeball, where it was possible to aim proton beam on the tumour's scleral shadow as a target. Receiving of the computerized planning system developed abroad prompted us to begin treatment of the tumors located in the posterior part of the eyes. For these purposes appropriate method of the precise positioning of the beam on the target (tumor) was developed. A special phantom of the pair of eyes was used for the personal training. Adjustments of the target position were made during irradiation simulations and repeated at every session of radiotherapy. The position of the tantalum clips sutured to the eye sclera by ophthalmologist around the tumor base was trusty defined by means of X-ray films. The films handling and the clips position corrections fulfilled by means of EyePlan program. If the patient preparation for irradiation continued more than half an hour session of irradiation was interrupted. The simulation of the patient immobilization also needs some repetitions. For time sparing the preliminary optimization planning of irradiation process was worked out on the basis of relevant ophthalmologist's data. For the first time corrections on the difference between the geometrical and optical axes of the eye, unaccounted in the program, were introduced. This amendment helped to disclose difference between calculated and real burden of irradiation on the critical eye structures.