

## **Установка для стереотаксической лучевой терапии узкими фотонными пучками на базе медицинского линейного ускорителя ЛУЭР-20М**

М.Ф. Ворогушин, М.И. Демский, А.П. Клинов, Ю.В. Мясников, И.А. Прудников  
*Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры  
им. Д.В. Ефремова, Санкт-Петербург, Россия*

На основе многолетнего опыта Центрального научно-исследовательского рентгенорадиологического института (ЦНИРРИ) Минздрава России в области лечения больных внутрочерепными заболеваниями (более 1200 больных) пучком протонов с энергией 1000 МэВ на синхроциклотроне ЛИЯФ им. Б. Константинова (г. Гатчина) и работ, проведенных в этом же институте в конце 70<sup>х</sup> гг. и начале 80<sup>х</sup> гг. по формированию и дозиметрии узких пучков фотонов тормозного излучения специалистами НПК ЛУЦ НИИЭФА им. Д.В. Ефремова была разработана, изготовлена и введена в 1997 г. в клиническую эксплуатацию первая в стране установка для фотонной стереотаксической лучевой терапии.

Установка предназначена для прецизионной стереотаксической лучевой терапии узкими пучками фотонов тормозного излучения в положении больного лежа на спине строго локализованных малообъемных внутрочерепных структур и новообразований и может быть применена для лечения больных следующих профилей:

- нейрохирургического (новообразования головного мозга, метастазы в головном мозге, артериовенозные мальформации);
- эндокринологического (аденомы гипофиза, эндокринная офтальмопатия, диабетическая ретинопатия);
- онкологического (облучение нормального гипофиза при гормонально-зависимых опухолях, преимущественно рака молочной и предстательной желез).

Принцип действия установки основан на стереотаксическом центрировании очага патологии с использованием стандартного рентгеновского аппарата с блоком визуализации; жесткой бескровной фиксации головы больного на лечебном столе при помощи индивидуальной маски, изготовленной из специальной пластмассы, и других радиологических приспособлений; изоцентрическом перемещении лечебного стола под источник узких пучков фотонов тормозного излучения с последующим статическим или ротационным облучением очага патологии.

Общий внешний вид установки представлен на фото (рис. 1), а на рис. 2 схематично представлено ее устройство, поясняющее принцип действия. Как видно из представленных иллюстраций, установка состоит из источника тормозного излучения 1, лечебного стола 2, рентгеновского центратора 3 с рентгеновской трубкой 4 и ЭОП(ом) 5, прибора-фиксатора головы 6 и блока формирования узких пучков фотонов тормозного излучения с набором сменных коллиматоров 7.

В качестве источника тормозного излучения использован отечественный медицинский линейный ускоритель электронов модели ЛУЭР-20М. Ускоритель ЛУЭР-20М предназначен для лучевой терапии широкого круга онкологических заболеваний. Он имеет два режима работы с тормозным излучением с максимальной энергией квантов 6 и 18 МэВ и шесть режимов работы с выведенными электронами с энергией 5,0; 8,0; 11,0; 14,0; 17,0 и 20,0 МэВ. Подвижная консоль штатива излучателя может вращаться в диапазоне углов  $\pm 180^\circ$ . Ускоритель отличается от многих других аналогичных аппаратов тем, что девиация изоцентра в процессе ротации консоли в указанном диапазоне углов составляет не более  $\pm 0,5$  мм, а в диапазоне углов, используемом при фотонной стереотаксической лучевой терапии ( $\pm 90^\circ$  от вертикального положения), девиация изоцентра заметно меньше. Это обстоятельство явилось определяющим в выборе источника тормозного излучения для фотонной стереотаксической лучевой терапии и предопределило устройство установки в целом. Управление работой ускорителя автоматизировано, на нем могут быть реализованы методы и планы лучевой терапии с использованием персонального компьютера.

При лучевой терапии узкими пучками фотонов тормозного излучения ускоритель работает в режиме генерирования тормозного излучения с максимальной энергией квантов 18 МэВ и мощностью дозы до 5 Гр/мин.

Формирование узких пучков фотонов тормозного излучения осуществляется набором сменных коллиматоров, имеющих внутренние отверстия конической формы. Набор состоит из пяти коллиматоров, изготовленных из вольфрамоникелевого сплава. Диаметры выходных отверстий коллиматоров имеют размеры 3,5; 7,0;

10,0; 15,0 и 20,0 мм. Коллиматоры устанавливаются и закрепляются в специальном держателе, жестко связанном с выходным фланцем радиационной головки ускорителя. Держатель коллиматоров и сами коллиматоры строго сцентрированы с ее центральной осью. Указанный выше набор коллиматоров позволяет проводить облучение структур и новообразований головного мозга с объемом от 0,05 до 40 см<sup>3</sup>.

Рентгеновский центратор предназначен для стереотаксического центрирования мишени облучения в изоцентр ускорителя и осуществление рентгенотелевизионного и рентгенографического контроля результатов центрирования. В качестве рентгеновского центратора использован рентгеновский аппарат модели ТУР-ДЕ19. В конструкции аппарата штатный штатив заменен на более жесткий с подвижной консолью, причем консоль соединена со штативом механизмом, позволяющим осуществлять прецизионное перемещение консоли в трех взаимно перпендикулярных направлениях, что позволило упростить технологию и повысить точность пространственного совмещения изоцентров рентгеновского центратора и ускорителя. На штативе аппарата установлены электромеханические ограничители поворота консоли, позволяющие строго фиксировать два положения консоли: горизонтальное (угол  $\xi = 0^{\circ}$ ) и вертикальное (угол  $\xi = 90^{\circ}$ ).

В качестве лечебного стола использован терапевтический стол модели "Polkam-11". В конструкцию стола внесен целый ряд дополнительных узлов и приспособлений для уменьшения люфтов и повышения жесткости его элементов, точной и воспроизводимой фиксации тумбы стола в двух положениях: в положении стереотаксического центрирования (угол  $\beta = 90^{\circ}$ ) и в положении лучевой терапии (угол  $\beta = 0^{\circ}$ ). Повышение жесткости элементов лечебного стола позволило уменьшить погрешность стереотаксического центрирования очага патологии в изоцентр ускорителя до  $\pm 0,5$  мм. С целью улучшения дозного распределения в очаге патологии помимо ротации консоли излучателя ускорителя осуществляется поворот основания стола в диапазоне углов  $\theta = \pm 20^{\circ}$  относительно вертикальной оси, проходящий через изоцентр ускорителя.

Прибор-фиксатор головы (ПФГ) предназначен для осуществления укладки головы больного, стереотаксического центрирования очага патологии и жесткой бескровной фиксации головы.

ПФГ состоит из: Г-образной консоли с подвижной декой, на которой производится укладка головы больного; электромеханической системы перемещения деки; системы отсчета координат положения деки; системы рентгеноконтрастных перекрестий; двух касетодержателей; блоков питания и переносного пульта управления.

Г-образная консоль жестко крепится к деке лечебного стола. Дека ПФГ имеет возможность перемещаться в трех направлениях: вдоль и поперек продольной оси деки лечебного стола на  $\pm 60$  мм и вверх-вниз относительно горизонтальной поверхности деки лечебного стола на  $\pm 80$  мм. На деке ПФГ автономно устанавливаются подголовники, расположены приспособления для крепления индивидуальной жесткой маски из пластмассы и приспособления для дополнительного закрепления головы. На Г-образной консоли и деке ПФГ смонтированы координатные линейки, позволяющие отсчитывать и воспроизводить координаты положения центра очага патологии. Система рентгеноконтрастных перекрестий используется для стереотаксического центрирования очага патологии и контроля правильности укладки и фиксации головы больного в процессе всего цикла лучевого лечения.

Технология укладки больного и стереотаксического центрирования очага патологии в изоцентр источника тормозного излучения зависит от основного заболевания. Так, например, при облучении наиболее распространенного внутричерепного заболевания – артериовенозных мальформаций головного мозга после проведения ангиографического исследования и внедрения металлических маркеров в кости свода черепа в зоне артериовенозной мальформации больной укладывается на лечебном столе. Голова больного фиксируется маской на деке ПФГ. Центрация очага патологии производится на рентгеновском центраторе в боковой проекции по совмещенным маркерам. Производятся две рентгенограммы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. В боковой проекции на рентгенограмме рентгеноконтрастные перекрестия должны быть совмещены с металлическими маркерами. В передне-задней проекции на горизонтальной оси определяются маркеры и производится расчет координат для вывода артериовенозной мальформации в изоцентр источника тормозного излучения. До проведения фотонной стереотаксической терапии с целью подтверждения правильности стереотаксического центрирования очага патологии производятся две рентгенограммы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с нанесением на них радиационного поля узкого пучка фотонов тормозного излучения, которые хранятся в личном деле каждого больного.

К настоящему времени полный курс облучения на данной установке прошли более **80** больных. Появление лучевых реакций и осложнений у больных не отмечалось. Контрольные исследования больных, прошедших курс лечения, позволяют отметить, что лучевая терапия узкими пучками фотонов тормозного излучения может быть альтернативным методом лечения протонной терапии и хирургическому лечению больных с указанными выше заболеваниями.

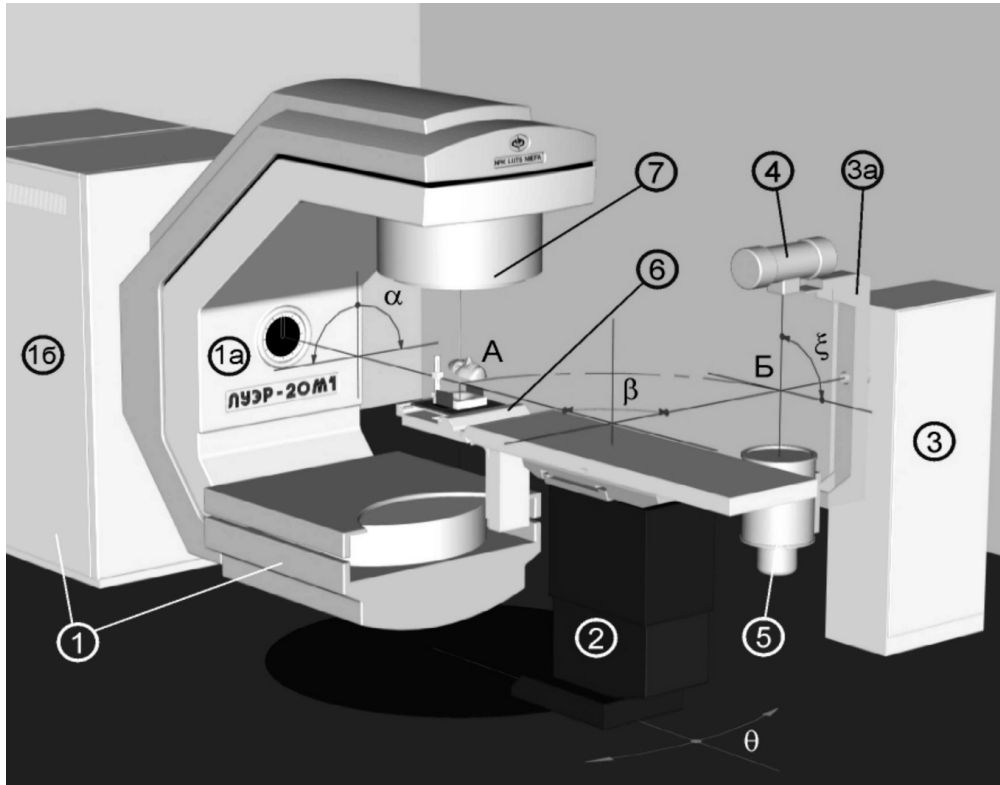


Рис. 1. Установка для терапии узкими фотонными пучками.

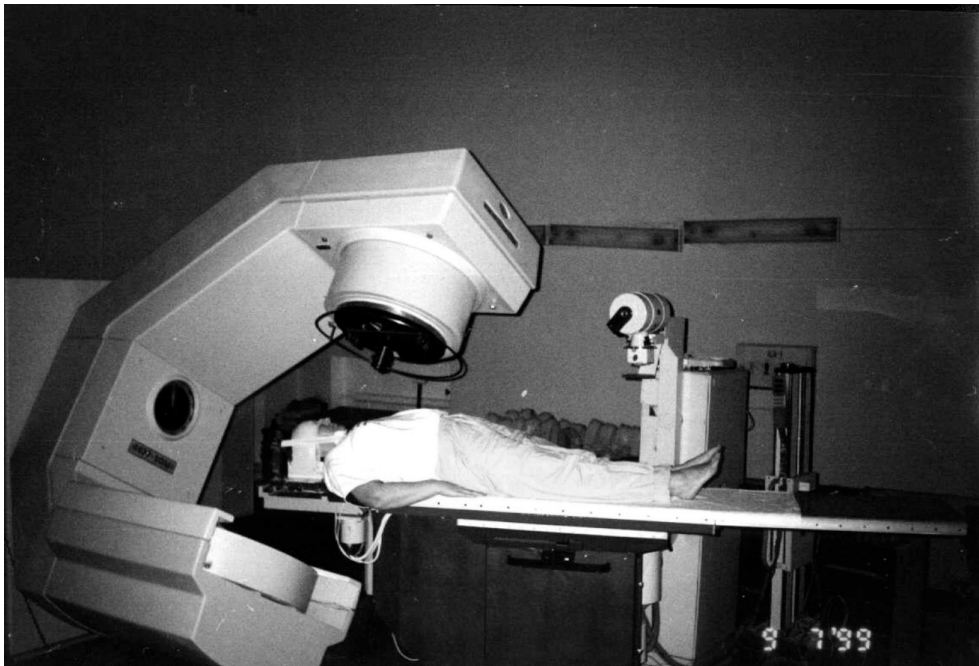


Рис. 2.