

## АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ВНУТРИГЛАЗНЫМИ И ДРУГИМИ ОПУХОЛЯМИ ПРИ ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ

Е.М. Иванов<sup>1</sup>, В.И. Максимов<sup>1</sup>, А.Н. Черных<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИЦ “Курчатовский институт” – С.-Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, Гатчина

<sup>2</sup> НИЦ “Курчатовский институт” – Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова

Протонная лучевая терапия основана на использовании протонных пучков для прецизионного воздействия на опухоли, в том числе и на расположенные близко к критическим структурам. Точность проведения протонной терапии должна поддерживаться в течение всей процедуры от топометрии пациента до облучения. Многократное (при фракционировании) размещение пациента с субмиллиметровой точностью может быть получено, если система верификации положения пациента постоянно и с высокой точностью совмещена с системой координат лучевой установки. В статье представлен метод, разработанный для позиционирования пациента и проект роботизированного кресла-позиционера.

Ключевые слова: *протонная терапия, онкоофтальмология, позиционирование, кресло-позиционер*

### Онкоофтальмологический комплекс протонной терапии НИЦ “Курчатовский институт” – ПИЯФ

Онкоофтальмологический комплекс протонной терапии в НИЦ “Курчатовский институт” – ПИЯФ создается на базе циклотрона Ц-80. Пучок протонов, выведенный из циклотрона, имеет энергию 70 МэВ, что соответствует пробегу примерно 4 см в тканезквивалентной среде. Этот параметр обеспечивает возможность облучать злокачественные новообразования глаза практически всех локализаций, поверхностные злокачественные новообразования в области орбиты глаза, головы и шеи [1].

Основные преимущества применения протонного пучка в лучевой терапии – возможность качественного улучшения пространственных распределений дозы излучения с вы-

сокими краевыми градиентами дозы и кардинальным снижением лучевой нагрузки на здоровые ткани по сравнению с традиционно используемыми для этих целей пучками электронов и  $\gamma$ -квантов. Риск возникновения лучевых осложнений заметно уменьшается даже при увеличении подводимой к мишени дозы. Увеличение дозы в мишени заметно повышает вероятность резорбции опухоли [2].

### Принцип позиционирования

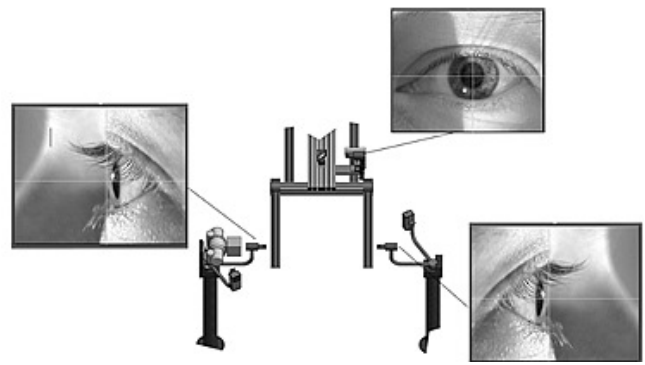
Целью позиционирования мишени в лучевой терапии является точное совмещение заданного при дозно-анатомическом планировании дозового распределения с облучаемой мишенью. Во время облучения протонами пациенты с новообразованиями глаза и орбиты, а

в некоторых случаях – со злокачественными новообразованиями головы и шеи, располагаются в положении сидя. В протонной онкоофтальмологии используются поля малых размеров, а вплотную к мишени располагаются критические структуры, ответственные за зрение. Это требует более высокой, чем обычно, точности позиционирования мишени.

Процедуру позиционирования и ориентации глазного яблока пациента перед проведением облучения внутриглазных злокачественных новообразований можно разделить на три этапа:

1. Размещение пациента таким образом, чтобы центр больного глаза располагался в полюсе лучевой установки, причем центры глазных яблок должны располагаться на одной горизонтали, находящейся в вертикальной плоскости, перпендикулярной оси пучка.
2. Выведение мишени в положение, предусмотренное планом облучения.
3. Линейная поправка положения головы пациента и угловая поправка (поворот) глазного яблока после окончания второго этапа и рентгеновской (по рентгеноконтрастным скрепкам, подшитым к основанию опухоли) проверки положения мишени.

В проекте создания онкоофтальмологического комплекса протонной терапии в НИЦ “Курчатовский институт” – ПИЯФ комплекс аппаратных средств позиционирования глаза пациента расширен включением в состав оборудования системы ТВ-камер [3]. ТВ-камеры расположены таким образом, что их оптические оси совпадают с осями системы координат установки – две латеральных и одна фронтальная. Обработка изображения с каждой из ТВ-камер осуществляется посредством специального программного обеспечения, позволяющего визуализировать систему координат установки с помощью перекрестия с линиями толщиной 0,1 мм (рис. 1). Таким образом, реализация первого этапа позиционирования с применением разработанного метода в совокупности с роботизированным креслом-позиционером на основе системы микропозиционирования типа “Гексапод” может быть выполнена с высокой точностью и разрешающей способностью, в 10 раз превосходящей метод лазерной визуализации системы координат.



**Рис. 1.** Общий вид размещения оборудования комплекса аппаратных средств позиционирования глаза пациента

### Роботизированное кресло-позиционер

ПИЯФ совместно с ИТЭФ в настоящее время разрабатывает новую систему позиционирования, основанную на использовании промышленного робота, созданного и активно применяемого в различных областях народного хозяйства, таких как станкостроение, автомобилестроение, военная промышленность и т.п.

Робот представляет собой 6-DOF устройство микропозиционирования типа “Гексапод”, обеспечивающее шесть степеней свободы выходному звену (платформе) и обладающее высокой точностью позиционирования. Платформа и основание системы 6-DOF связаны между собой шестью штангами, каждая из которых представляет собой электромеханическую поступательную пару (рис. 2).

Электромеханический исполнительный механизм является наиболее простым по своему конструктивному исполнению и эксплуатационным характеристикам. Штанга соединена с основанием и платформой сферическими шарнирами, и ограничена от вращения относительно продольной оси. Изменение длины каждой штанги позволяет осуществлять линейные и угловые перемещения подвижной платформы. Кинематический анализ 6-DOF системы микропозиционирования типа “Гексапод” для разрабатываемого проекта представлен в [4]. Применение подобного робота в конструкции кресла-позиционера позволяет обеспечить повторяемость позиции в пределах

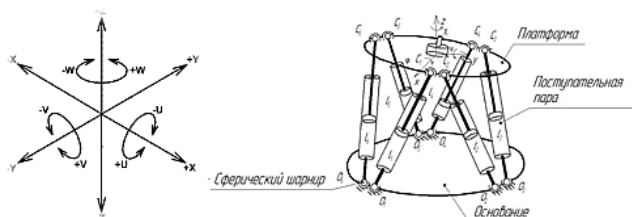


Рис. 2. 6-DOF системы микропозиционирования типа “Тексапод” [4]

$\pm 0,1$  мм и прецизионные перемещения вдоль направлений XX, YY и ZZ в диапазоне  $\pm 100$  мм.

Проект роботизированного кресла включает в себя:

- ✓ механизм поворота на  $360^\circ$ ;
- ✓ механизм регулировки смещения вдоль вертикального направления;
- ✓ механизм перемещения на расстояние 1000 мм вдоль оси Z от системы формирования и мониторинга дозы;
- ✓ новую систему иммобилизации – подголовный модуль с дополнительными степенями свободы;
- ✓ кресло с дополнительными регулировками положения пациента и его осанки;
- ✓ систему управления с использованием стандартного протокола связи.

Общий вид роботизированного кресла-позиционера представлен на рис. 3. Подробное описание конструкции, кинематический анализ и анализ на критические напряжения несущей рамы кресла-позиционера приведены в работе [5].

### Перспективы

Протонная терапия является одним из основных и успешных способов лечения новообразований глаза. Статистика европейских центров протонной лучевой терапии, основанная на многолетнем применении пучков протонов при лечении меланомы глаза, свидетельствует о следующих уже полученных результатах:

- ✓ локальный контроль опухоли – 98,0 %
- ✓ сохранение глаза – 88,7 %
- ✓ сохранение зрения – 70 %
- ✓ пятилетняя выживаемость 95,0–97,0 % [6].

Применение промышленных роботов обеспечило элегантный и довольно недорогой

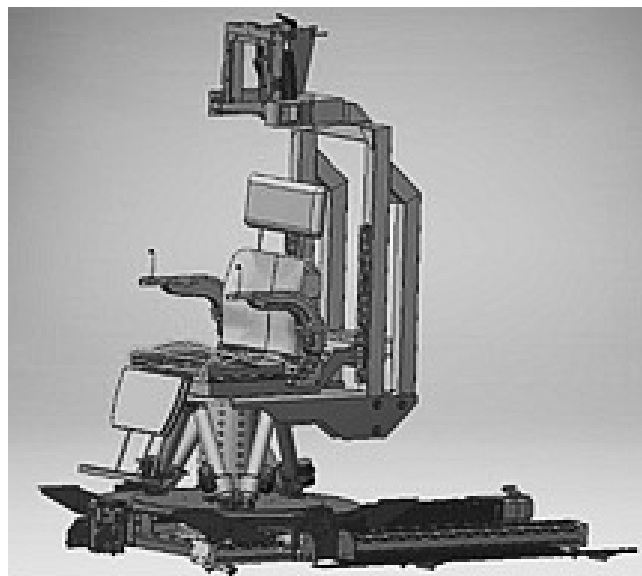


Рис. 3. Общий вид роботизированного кресла-позиционера]

метод для очень точного позиционирования пациента. Разрабатываемые ПИЯФ и ИТЭФ робототехнические системы могут быть адаптированы для использования в конвенциональной лучевой терапии, требующей той же точности, что и протонная терапия, или для других медицинских применений.

Реализация совместного проекта ПИЯФ и ИТЭФ по разработке онкофтальмологического комплекса протонной терапии обеспечит высокотехнологичной медицинской помощью онкофтальмологических пациентов в Северо-Западном регионе России.

### Список литературы

1. Chernykh A.N., Khoroshkov V.S., Klenov G.I. Radiation oncology ophthalmic center based on the C-80 accelerator at the NRC “Kurchatov institute” – PNPI // 26th Russian Particle Accelerator Conference RUPAC2018, Protvino, Russia JACoW, Proc. of RuPAC-2018. Protvino, 2018. P. 145–148.
2. Черных А.Н. Карпунин В.О., Хорошков В.С. Технологические этапы протонной лучевой терапии внутриглазных новообразований // Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии: материалы XXVI Междунар. конф. и

- дискус. науч. клуба. – Гурзуф, 2018. С. 225–234.
3. Бородин Ю.И., Хорошков В.С., Черных А.Н. и соавт. Способ протонной лучевой терапии внутриглазных злокачественных новообразований. Патент на изобретение RU 2680208. Опубл. 18.02.2019.
  4. Мамаев Ю.А. Динамика движения роботизированной головки с параллельной кинематикой (гексапода) для окончательной обработки деталей сложной геометрии. Дисс. канд. техн. наук. Курск. 2014.
  5. Черных А.Н. Конструкция и кинематический анализ роботизированного кресла для протонной лучевой терапии // В сб. “Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии: материалы XXVII Междунар. конф. и дискус. науч. клуба”. – Гурзуф, 2020. – в печати, публикуется в научной электронной библиотеке [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru).
  6. Gragoudas E.S. Proton Beam Irradiation of Uveal Melanomas: The First 30 Years. IOVS. November 2006. Vol. 47. № 11.

#### **HARDWARE SUPPORTING POSITIONING OF PATIENTS WITH INTERNAL EYE AND OTHER TUMORS WITH PROTON PROTECTION**

*E.M. Ivanov<sup>1</sup>, V.I. Maksimov<sup>1</sup>, A.N. Chernykh<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *NRC Kurchatov Institute – PNPI, Gatchina, Russia*

<sup>2</sup> *NRC Kurchatov Institute – ITEP, Moscow, Russia*

Proton therapy is based on the use of proton beams to target tumors located close to critical structures. The accuracy of proton therapy should be maintained throughout the procedure from the patient's topometry to irradiation. Multiple (during fractionation) patient placement with submillimeter accuracy can be obtained if the patient position verification system is constantly and with high accuracy combined with the coordinate system of the radiation unit. The article presents a method developed for patient positioning and a design of a robotic positioner chair.

Key words: *proton radiation therapy, oncophthalmology, positioning, chair-positioner*

E-mail: [chernykh-aleksey@yandex.ru](mailto:chernykh-aleksey@yandex.ru)