МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Первый Московский государственный медицинский университет

имени И.М. Сеченова

РЕФЕРАТ НА ТЕМУ:

**НОВЫЕ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЕ**

Работу выполнил:

студент 2 курса, факультета

«Лечебное дело»

Сботов В.В.

Научные руководители:

Черкасов Ю.Е., Дегтярева Е.В.,

преподаватели кафедры

«Общая хирургия»

Москва 2016

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение………………………………………………………………………3
2. Робот-ассистированная хирургическая система «DAVINCI»…………….6
3. Радиохирургическое лечение «GAMMA KNIFE»……………………….11
4. Радиохирургическая система «CYBER KNIFE»………………………….29
5. Дистанционная стереотаксическая радиохирургия «NOVALIS»……….39
6. Линейный ускоритель «TRILOGY»……………………………………….42
7. Фракционная лучевая терапия«TRUE BEAM»…………………………...45
8. Радиотерапия «SYNERGY»………………………………………………...51
9. Метод электропорации «NANO KNIFE»…………………………………58

10.Хирургический электроскальпель «INTELLIGENT-KNIFE»………........62

11. Сравнительная характеристика возможностей разных систем………….64

1. Заключение……………………………………………………………………70
2. Список источников……………………………………………………………73

Проведение хирургических операций с помощью роботов уже не является сюжетом из научной фантастики. Их стали использовать в клиниках. Хотя у большинства людей «робот» ассоциируется с именем американского писателя, биохимика Айзека Азимова (1920-1992), первым этот термин ввел чешский писатель Карел Чапек (1890-1938) для обозначения механизма, обладающего антропоморфными свойствами.

Доктор Вин Дэвис в работе, посвященной достижениям робототехники, дал следующее определение робота-хирурга: «…управляемая система, наделенная чувствительностью и запрограммированная для выполнения движений и манипулирования инструментами при проведении хирургических операций». Задачей робот-ассистированной хирургии является расширение спектра возможностей хирурга.

Роботы-хирурги бывают пассивные, полуактивные и активные. Пассивный робот-хирург предназначен для удержания инструмента в определенном положении, что облегчает выполнение и увеличивает точность оперативного вмешательства. Изменять положение инструментов система может только с помощью хирурга (например, для удержания иглы при проведении биопсии в нейрохирургии).

Полуактивный робот-хирург выполняет ряд запрограммированных манипуляций, в определенной последовательности, осуществляя движения в различных направлениях (например, для протезирования коленного сустава).

Активный робот-хирург оснащен манипуляторами, подобными рукам хирурга, и фактически сам приводит в движение инструменты. В настоящее время такими системами дистанционно управляет хирург, а механические руки робота воспроизводят движения его кистей и пальцев, увеличивая точность, уменьшая усталость и устраняя тремор (например, трансуретральная простатэктомия, эндоскопическая телероботохирургия).

История развития робот-ассистированной хирургии насчитывает более 25 лет. Наработанные технологии Национального управления по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США (NASA) привели к появлению медицинских роботов-ассистентов, позволяющих совершать хирургические манипуляции.

Применение новых технологий дает возможность делать ранее считавшиеся невозможными операции, сокращает вероятность появления осложнений, уменьшает операционные травмы, снижает сроки госпитализации и реабилитации больных. Сейчас специалисты работают над модернизацией роботизированных аппаратов в следующих направлениях: уменьшение габаритов аппарата, минимизация разрезов, повышение чувствительности аппарата.

Впервые робота-хирурга использовали во время нейрохирургической биопсии в 1985 г. при помощи манипулятора «PUMA 560», разработанного [Виктором Шейнманом](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A8%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%BC%D0%B0%D0%BD,_%D0%92%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80&action=edit&redlink=1) в 1978 г.  В 1987 г. при помощи этого манипулятора была проведена холецистэктомия, в 1988 г. - трансуретральная резекция.

В 1986 г. Калифорнийский университет (США) и исследовательский центр Томаса Дж. Уотсона корпорации IBM начали совместную работу по созданию робота-хирурга. В 1992 г. компания «Integrated Surgical Systems» на основе результатов этих исследований создала систему «ROBODOC» (Robodoc Surgical Assistant System) для оказания хирургического лечения в области ортопедии при осуществлении протезирования суставов.

В1990 гг. в Имперском Колледже в Лондоне был создан робот для трансуретральной резекции гиперплазированной предстательной железы «PROBOT», допущенный к клиническим испытаниям в 1996 г. Система «PROBOT», оснащенная ультразвуковым щупом, позволяла создать трехмерную модель простаты, определить участок патологически измененной железы и произвести его резекцию.

В 1994 г. компания «Computer Motion Inc.» (США) изготовила робота-хирурга «AESOP» (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning) - механическую руку, наделенную семью степенями свободы движений и предназначенную для автоматического изменения положения эндоскопа при проведении лапароскопических операций.

Однако данные системы имели узкоспециализированное направление и помогали в осуществлении определенных этапов в хирургических операциях, не являясь в полном смысле роботизированными системами.

В 1995 г. Фредерик Молл создал робота-хирурга «DA VINCI». В 1998 г. появилась первая роботизированная система «ZEUS», предназначенная для дистанционной эндоскопической хирургии.

Системы «DA VINCI» и «ZEUS» имеют много общего: это активные роботы, управляемые дистанционно со специальной рабочей станции. Эти системы позволяют оператору находиться на значительном расстоянии от больного, управляя тремя «руками» робота (две - для удержания инструментов и осуществления манипуляций, третья - для продвижения эндоскопической камеры). Современная компьютерная и видеотехника создает перед глазами хирурга высококачественное изображение операционного поля.

Достаточно большой опыт применения роботов накоплен в области протезирования тазобедренного и коленного суставов. Системы «ROBODOC» и «ACROBOT» позволяют эффективно планировать оперативное вмешательство, подготавливать кость для установки протеза в оптимальной позиции, сокращая этим время операции и уменьшая ее травматичность.

 Роботохирургия продолжает стремительно развиваться. Стала реальностью так называемая трансконтинентальная телероботохирургия. В 2001 г. хирурги успешно удалили желчный пузырь с помощью дистанционно управляемого робота «ZEUS», установленного в одном из госпиталей Франции, находясь от пациентки на расстоянии 7000 км в Нью-Йорке. Современные средства связи обеспечили передачу сигналов в обоих направлениях (от видеокамеры лапараскопа к хирургу и обратно - от станции управления к роботу) по трансатлантическому волоконно-оптическому кабелю. Задержка сигнала составляла менее 200 мсек.

В феврале 2002 г. кардиохирурги из Columbia Presbyterian Medical Center (США) успешно провели аортокоронарное шунтирование с использованием системы «DA VINCI». Сложная малоинвазивная операция была проведена через три небольших разреза (8-15 мм) в области грудной клетки для введения двух манипуляторов и эндоскопа.

В августе 2002 г. с использованием системы «DA VINCI» в Virginia Urology Center (США) была выполнена урологическая операция по восстановлению целостности семявыносящих протоков.

В ноябре 2002 г. на сессии American Heart Association были представлены результаты 15 операций по устранению врожденного дефекта межпредсердной перегородки, проведенных в клинике, что положило начало открытой роботохирургии сердца без «вскрытия» грудной клетки.

Пока непосредственно возле больного должен находиться квалифицированный хирург, обеспечивающий доступ робота в зону оперативного вмешательства. В случае сбоя связи или прекращения визуального контроля хирурга, система входит в резервный режим ожидания, прекращая манипуляции.

Продолжаются работы по созданию новых роботов. В январе 2003 г. ученые из Сингапура сообщили о создании роботосистемы, предназначенной для обеспечения хирургического доступа к глубоко расположенным опухолям головного мозга. Робот, получивший название «HEXAPOD», обладает большим числом степеней подвижности по сравнению с традиционными роботами-манипуляторами и обеспечивает более высокую надежность и точность.

**РОБОТ-АССИСТИРОВАННАЯ ХИРУРГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА**

**«DA VINCI»**

В настоящее время универсальной роботизированной системой с дистанционным управлением считается система «DA VINCI»  компании «Intuitive Surgical Inc», названная в честь Леонардо да Винчи (1452-1519), сконструировавшего первого антропоморфного робота (1495), способного двигать конечностями и осуществлять иные действия.

Роботизированная система «DA VINCI» позволила хирургам проводить операции без разрезов, боли и осложнений. Эта передовая методика сочетает в себе все преимущества классической и лапароскопической операций.

Робот-хирург «DA VINCI» укомплектован специальными инструментами, обеспечивающими хорошую маневренность, позволяющими проводить максимально точные и аккуратные действия при выполнении хирургических операций. Встроенный процессор анализирует действия хирурга со скоростью 1000 единиц в секунду и посылает сигнал к рабочим органам, устраняя любые возможные проявления тремора. Пульт управления воспроизводит подвижность кисти и пальцев хирурга. Во время операции хирург располагается за удобным пультом управления, на экран которого выводится 3-D изображение оперируемого участка. Хирург управляет телеманипулятором с помощью специальных джойстиков, которые реагируют на прикосновения кончиков пальцев. Его движения с абсолютной точностью воспроизводятся робототехникой, что обеспечивает высокое качество операции и повышает безопасность ее проведения. Движения хирурга в реальном времени передаются на операционный стол системы.

Робот-хирург «DAVINCI» оснащен сверхточными манипуляторами из четырех рук, имеющими в диаметре 1 см. Одна рука имеет встроенную камеру, передающую изображения в реальном времени на пульт, две заменяют руки хирурга во время проведения операции, а четвертая служит в качестве ассистента. С помощью острия размещенного на конце лапароскопических рук, производятся надрезы величиной 1-2 см, снижающие уровень травматизма тканей (по сравнению с традиционной хирургической операцией, где минимальный разрез составляет 10 см).

Дополнительное оборудование, необходимое для выполнения оперативного пособия располагается на стойке оборудования и включает в себя инсуфлятор, коагулятор, источник света, аспиратор и ирригатор. Также на стойке расположен дополнительный монитор для ассистента и компоненты оптической системы.

Во избежание сбоя системы все операции совершаются только при вмешательстве хирурга, ход операции визуализируется на дополнительном экране, и за его ходом следит ассистент, в случае неисправности аппарат останавливает работу. Ассистент также подготавливает место для надрезов, следит за ходом операции, подносит стерильные инструменты.

Система обзора («Vision System»), являющаяся обязательным элементом системы, позволяет передавать изображения высокого качества на два цветных экрана в 3-D. Благодаря этому хирург имеет представление об операбельном месте с высоким разрешением и точностью картинки, что обеспечивает постоянный контроль и высочайшую точность проводимой операции. Передаваемое изображение может укрупняться, оптимизироваться, усиливаться и подавлять шумы за счет использования специального синхронизатора, мощного светового источника, а также блока управления работы камеры. Это является бесспорным преимуществом перед всеми предшествующими аппаратами и системами подобного типа. Благодаря этой особенности был значительно снижен риск попадания в рану инфекции, а также установлено ограничение контакта операционного оборудования с тканями надреза.

Каждая камера оснащена собственным источником света, имеет собственную панель управления. Для получения реального 3-D изображения одним из компонентов высокотехнологичной оптической системы является синхронизатор, обеспечивающий равномерное восприятие изолированных сигналов обоими глазами хирурга.

Связь хирурга с операционной обеспечивается при помощи микрофона и динамиков, расположенных как на консоли робота-хирурга «DA VINCI», так и на тележке пациента, находящегося в операционной.

Во время подготовки тележки пациента к операции все манипуляторы одеваются в специальные стерильные чехлы и остаются в них на протяжении всей процедуры. Для операции используются инструменты «Endo Wrist», созданные по образцу человеческого запястья и обладающие семиградусной свободой движения, превосходящие объем движений кисти человека. Набор инструментов (диаметром 5-8 мм) включает разнообразие зажимов, иглодержателей, ножниц; монополярных и биполярных электрохирургических инструментов; скальпелей и других специализированных инструментов (всего более 40 типов). Важной особенностью является ограничение использования инструментария (10 раз), при этом при смене инструментов интерфейс распознает тип инструмента и число его использований.

Минимальная кровопотеря во время операции составляет 109 мл. По сравнению с обычной малоинвазивной терапией, кровопотеря составляет 380 мл, при лапаротомии - 1355 мл крови. Это объясняется спецификой проведения оперативного вмешательства. Перед началом роботизированной простатэктомии брюшная полость пациента заполняется газом, что позволяет снизить риск образования кровотечения. Газы удаляются сразу же по окончании процедуры. Кроме того, отличная визуализация оперативного места позволяет вовремя обнаружить очаг возможного кровотечения и оперативно его устранить.

Уменьшается вероятность занесения инфекции. Сокращается время нахождения в стационаре. Болевые ощущения, сопровождающие послеоперационный период, минимизируются. Низка вероятность проявления нежелательных побочных эффектов по сравнению с открытой операцией. Сокращается период реабилитации пациента, что позволяет ему быстро вернуться к привычной жизни. Миниатюрные послеоперационные шрамы быстро срастаются.

С внедрением в практику лапароскопической нефрэктомии, при опухолях малого размера, с помощью [аппарата «DA VINCI»](http://abromed.ru/methods/xirurgiya-v-onkologii/robotic-surgery/)удается провести малоинвазивное вмешательство. Согласно исследованиям, возможности устройства позволяют воспроизвести все необходимые действия по удалению новообразования, не прибегая к дополнительному ручному вмешательству. Операция оказалась эффективной и для пациентов, которым была показана полная нефрэктомия.

С использованием системы «DA VINCI» применяется малоинвазивная операция при [раке предстательной железы](http://abromed.ru/diseases/cancer/rak-prostaty/): происходит полное удаление злокачественных новообразований с сохранением нервных волокон и потенции, сохранением связи между мочевым пузырем и уретрой.

Выполняемые операции с применением робота «DA VINCI»: [гистерэктомия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%8D%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F) и миомэктомия, радикальная [простатэктомия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8D%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F" \o "Простатэктомия), восстановление митрального клапана, реваскуляризация миокарда, абляция тканей сердца, установка эпикардиального электронного стимулятора сердца для бивентрикулярной ресинхронизации, желудочное шунтирование, фундопликация по Nissen, операции на позвоночнике (замена дисков), тимэктомия, лобэктомия легкого, эзофагоэктомия, резекция опухоли средостения, пиелопластика, удаление мочевого пузыря, радикальная нефрэктомия и резекция почки, реимплантация мочеточника, гидроконкатенация тканей головного мозга, тиреоидэктомия, тонзиллэктомия.

Решение относительно назначения малоинвазивной операции с применением хирургического робота «DA VINCI» принимается консилиумом врачей по индивидуальным показаниям для конкретного пациента. Существуют медицинские случаи, когда применение такой технологии не является возможным.

Недостатком системы является то, что при движении руки хирург испытывает сопротивление ткани и эти ощущения позволяют выбрать правильное направление и силу воздействия. При работе робота, обратная реакция отсутствует, поэтому специалисту нужно быть крайне внимательным к тому, как происходит воздействие и где при этом располагаются остальные составляющие микроинструмента.

В ведущих клиниках мира совершается 70% урологических процедур с помощью роботов «DA VINCI», в основном для простатэктомий, в некоторых случаях для абляций почек или коррекции аномалий мочевой системы. В США, примерно 80% простатэктомии при раке предстательной железы выполняются с помощью робота «DA VINCI» (более 73000 операций в год). Во Франции эта доля составляет 25%.

По статистике 2012 г., 85% урологических операций и 70% гинекологических операций в США проводят роботы-хирурги. Согласно данным 2013 г., 1400 больниц США используют робот «DA VINCI».

В 2011 г. в мире использовались 1750 роботов «DA VINCI». В 2012 г. общемировое число операций, выполненных с использованием системы «DA VINCI» составило 200000, главным образом [гистерэктомии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%8D%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F) и [простатэктомии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8D%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F). Сегодня более 3000 комплексов «DA VINCI» выполняют миллионы уникальных операций по спасению жизней.

В России установлено 25 хирургических систем «DA VINCI» в [Москве](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B2%D0%B0), [С-Петербурге](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D1%82-%D0%9F%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B1%D1%83%D1%80%D0%B3),  [Ханты-Мансийске](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D0%BD%D1%82%D1%8B-%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA), [Екатеринбурге](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B1%D1%83%D1%80%D0%B3), [Новосибирске](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%B1%D0%B8%D1%80%D1%81%D0%BA), Тюмени, Краснодаре, Ростове-на-Дону и на [о. Русский](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%83%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_(%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2,_%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B9)).

Таким образом, использование хирургического робота «DA VINCI»

связано со значительными преимуществами данной роботизированной системы при проведении минимально инвазивной хирургии: уменьшение послеоперационных болей, снижение кровотечения и рубцов, более короткое пребывание в больнице и скорое возвращение к привычной жизни пациентов.

Благодаря этой системе хирург может добиться высокой степени точности действий и широкой амплитуде движений. Имея визуальную и тактильную связь с роботом, хирург полностью контролирует процесс и проецирует свои действия на миниатюрное острие инструмента. Он обладает отличной степенью визуализации оперируемого участка. 3-D изображение оперируемого органа с высоким разрешением дает максимально четкую картину. Механические руки робота позволяют в точности повторять действия человеческой руки. Движения хирурга, полученные системой, анализируются, проходят фильтрацию и копируются с помощью инструментов.

Но, несмотря на бесспорную эффективность и безопасность хирургической системы «DA VINCI», ее применение допустимо не всегда. Главным недостатком системы является ее стоимость, высокие расходы на обслуживание и подготовку персонала. Также в некоторых случаях при отсутствии необходимых принадлежностей, определенные действия требуют вмешательства ассистирующего врача.

**РАДИОХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ «GAMMA KNIFE»**

«GAMMA KNIFE» относится к одной из разновидностей радиохирургического лечения. Термин «радиохирургия» предложил в 1951 г. шведский нейрохирург Ларс Лекселл (1907-1986).

«Радиохирургия» отличается от «хирургии» как направления медицины, предполагающее инвазивное вмешательство и требующее особых навыков; а также от «лучевой терапии», предполагающей многократное (фракционированное) облучение пораженных анатомических структур. В то же время, радиохирургия имеет ряд общих черт, как с хирургией, так и с лучевой терапией. С одной стороны, используется мощная лучевая нагрузка, с другой, осуществляется радикальное воздействие на патологический очаг. В этом плане радиохирургия представляет особое направление хирургии и радиологии, в котором сочетаются исключительная точность и высокая радикальность воздействия.

Первые исследования пучков протонов в стереотаксической радиохирургии в 1950 гг. начали Бьорж Ларссон из [Уппсальского университета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BF%D0%BF%D1%81%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82" \o "Уппсальский университет) (Швеция), нейрохирург Ладислав Стейнер,  и [Ларс Лекселл](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%BB,_%D0%9B%D0%B0%D1%80%D1%81) из [Каролинского института](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82) (Стокгольм, Швеция). Первый радиохирургический аппарат был сконструирован Л. Лекселлом и Б. Ларссоном, получившим название «GAMMA KNIFE» (1967) за свою непревзойденную точность. Изготовителем является шведская компания «ELEKTA» (1972).«GAMMA KNIFE» был внедрен в клиническую практику при активном содействии профессора Дейда Лунсфорда (Питтсбург, США, 1987).

Благодаря высокой степени точности, облучение с помощью установки «GAMMA KNIFE» хорошо переносится и относительно безопасно. Применение этой установки позволяет значительно расширить возможности существующих методов лечения, ускорить и упростить планирование лечения и подобрать более сложные поля облучения с максимальной безопасностью для окружающих структур. Установка «GAMMA KNIFE» широко используется как при лечении единичных и множественных метастазов в головном мозге, так и при первичной локализации опухоли в головном или спинном мозге.

Преимущество «GAMMA KNIFE» в одномоментности (по сравнению с [радиотерапией](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%8F)), в отсутствии хирургических рисков, высокой степени [конформности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C" \o "Конформность). Ограничения -  в малых размерах патологического очага и отсроченности результата.

«GAMMA KNIFE» - установка для [стереотаксической](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BE%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D1%85%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F)  радиохирургии [патологий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F)  [головного мозга](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D0%B7%D0%B3), для которой источником [ионизирующего излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%8E%D1%89%D0%B5%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) являются Кобальт-60. «GAMMA KNIFE» представляет собой аппарат с 201 источником фотонов, фиксировано расположенным в защитном кожухе по периметру пояса полусферы. Размер получаемой сферы определяется вторичным коллимационным шлемом, крепящимся к кушетке и перемещаемым вместе с ней. Источником фотонного излучения является радионуклид 6ОСо с периодом полураспада - 5,3 года, суммарной исходной активностью - 5168 Ки (1,9 х 1014 Бк) и мощностью на момент калибровки 3,3 Гр/мин. Источники и коллимационные отверстия располагаются в защитном кожухе для обеспечения механически-неподвижного положения радиационного изоцентра - точки дозового максимума, расположенного на пересечении всех пучков. [Дозовое](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%B7%D0%B0_(%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)) распределение, порождаемое источниками, близко к сферическому. Диаметр [изодозовой](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%98%D0%B7%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B7%D0%B0&action=edit&redlink=1" \o "Изодоза (страница отсутствует)) сферы определяется используемыми вольфрамовыми коллиматорами.

Пучки, выпущенные из радиально расположенных источников, фокусируются вместе и оказывают воздействие в полости черепа подобно хирургическому ножу, но не инвазивно. Каждый из этих пучков слишком слаб для того, чтобы повредить здоровые ткани, через которые он проходит на пути к патологическому очагу. Но пересекаясь в фокусе опухоли или сосудистого патологического образования (изоцентре), пучки суммируют свою энергию и разрушают патологический очаг. Погрешность при воздействии пучков радиоактивного GAMMA-излучения находится в пределах 0.3 мм, что позволяет получать блестящие результаты лечения. Данное качество играет ведущую роль в локализации патологического очага в функционально важных зонах или по соседству с радиочувствительными структурами (например, глазной нерв или ствол мозга). Точность обеспечивается жесткой фиксацией головы в раме, которая является непременным атрибутом стереотаксической нейрохирургии и радиохирургии.

В большинстве случаев «GAMMA KNIFE» позволяет избежать лучевого повреждения здоровой мозговой ткани вне видимых границ опухоли или артериовенозной мальформации (АВМ). Доза облучения достаточно велика для того, чтобы достичь необходимого эффекта после однократной процедуры (длительность сеанса достигает нескольких часов). Мощное излучение приводит к повреждению ДНК патологических клеток и клеточных мембран и нарушению роста опухоли. В стенках кровеносных сосудов происходит пролиферация эндотелия, вследствие чего просвет их сужается и вовсе закрывается. Кардинальным образом изменяется кровоснабжение, опухоль или [АВМ](http://www.lgk-russia.ru/patient/indications/artery_vien_malformation/) уменьшаются, или исчезают через некоторое время.

При расположении опухоли в глубинных отделах головного мозга традиционная нейрохирургическая операция невозможна, и радиохирургия - единственная альтернатива. Кроме первичных новообразований, особенно опухолей, расположенных в области турецкого седла и опухолей гипофиза, а также поражений головного мозга метастатического характера, «GAMMA KNIFE» применяется для лечения:

- *опухолей головного мозга* ([невриномы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0) слухового нерва ([акустические шванномы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%88%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0)), [менингиомы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B8%D0%BE%D0%BC%D0%B0) любых локализаций, [аденомы гипофиза](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0_%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B0), [метастазы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B7%D1%8B) одиночные и множественные, [краниофарингиомы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BE%D1%84%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B8%D0%BE%D0%BC%D0%B0), рецидивы глиальных опухолей, [глиомы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D0%BC%D0%B0), [эпендимомы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%BC%D0%B0" \o "Эпендимома), [медуллобластомы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B4%D1%83%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0), [хордомы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%B0), [невриномы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0), [пинеаломы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%B0), [герминомы](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%93%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0&action=edit&redlink=1), [гемангиобластомы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%B8%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0), [гемангиоперицитомы](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%93%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%B8%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%86%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0&action=edit&redlink=1), [гломусные опухоли](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D1%83%D1%81%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%BF%D1%83%D1%85%D0%BE%D0%BB%D1%8C));

- *сосудистых заболеваний головного мозга* (АВМ, [каверномы](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9A%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0&action=edit&redlink=1), [гемангиомы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%B8%D0%BE%D0%BC%D0%B0));

- *функциональных заболеваний головного мозга* ([невралгия тройничного нерва](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%B3%D0%B8%D1%8F_%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0), [паркинсонизм](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC) и [эссенциальный тремор](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%AD%D1%81%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D1%80&action=edit&redlink=1" \o "Эссенциальный тремор (страница отсутствует))[,](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0-%D0%BD%D0%BE%D0%B6#cite_note-Virginia-2) [височная эпилепсия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%81%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%BF%D1%81%D0%B8%D1%8F), [многоочаговая эпилепсия](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%BE%D1%87%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%BF%D1%81%D0%B8%D1%8F&action=edit&redlink=1), [болевой синдром](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%91%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BC&action=edit&redlink=1) при [таламическом синдроме](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A2%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BC&action=edit&redlink=1), при множественном метастатическом поражении костей осевого скелета);

- *заболеваний глаз* ([меланома](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0) [хориоидеи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%82%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%B0" \o "Сетчатка), прогрессирующая [глаукома](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B0)).

Радиохирургия показана в тех случаях, когда предшествующее хирургическое вмешательство не привело к полному устранению заболевания, либо при его рецидиве. Пожилым и ослабленным пациентам, при наличии показаний, проведение радиохирургического лечения предпочтительнее, т.к. переносится оно значительно легче, чем операция.

При метастазах рака радиохирургия имеет преимущества перед обычной лучевой терапией, в отношении опухолей, устойчивых к обычному облучению. К тому же отсутствует риск анестезиологических и хирургических осложнений (кровотечения, воспаления, ликвореи), присущих обычным нейрохирургическим операциям.

По сравнению с радиохирургией с использованием [линейных ускорителей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%BC%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9),  «GAMMA KNIFE» имеет несколько большую пространственную точность (свыше 0,5 мм), меньшую равномерность дозы внутри мишени (наиболее распространено облучение 50% изодозой, на [линейных ускорителях](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%BC%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9) - изодозы 80-90%). Кроме того, [линейные ускорители](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%BC%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9) (в отличие от «GAMMA KNIFE») позволяют лечить кроме [головного мозга](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D0%B7%D0%B3) также и [патологии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F) [позвоночника](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA). Последняя модель «GAMMA KNIFE PERFEXION» (2011), позволяет лечить шейный уровень спинного мозга и позвоночника, способна нейтрализовать сразу несколько десятков метастатических очагов мозга.

В настоящее время радиохирургия с применением «GAMMA KNIFE» нашла широкое применение в нейроонкологии. Основная задача лечения - контроль роста патологического новообразования. Результат лечения тем успешнее, чем дольше после радиохирургии отсутствуют признаки продолженного роста опухоли.

«GAMMA KNIFE» можно применять в сочетании с химиотерапией и при необходимости неоднократно. Облучение организма при этом методе происходит в незначительных дозах и не вызывает ухудшения самочувствия. Для достижения наилучшего результата в борьбе с заболеванием необходимо тесное сотрудничество врачей, занимающимися лучевой терапией, и нейрохирургами.

При лечении сосудистых изменений происходит закрытие патологических сосудов, по ним прекращается кровоток, что приводит к полному излечению больного.

**Таблица сравнения традиционных методов лечения и лечения с помощью «GAMMA KNIFE»:**

|  |  |
| --- | --- |
| **Традиционные методы лечения** | **Лечение с помощью**  **«GAMMA KNIFE»** |
| После любой хирургической операции неизбежен восстановительный период, т.к. во время операции пациент теряет силы, кровь. На месте рассечения тканей беспокоят болевые ощущения. | Полное отсутствие осложнений, которые могут возникнуть при обычном хирургическом вмешательстве. Никаких повязок, порезов, боли, кровотечений. |
| Лечение методом радиотерапии предполагает проведение большого количества сеансов. | Весь курс лечения заключается в проведении одного сеанса. Пациенту не нужно находиться в клинике длительное время. Операция может быть проведена амбулаторно. |
| При проведении хирургической операции обязательно затрагиваются соседние органы и ткани. | Можно достигнуть опухоли, до которой нельзя добраться обычным хирургическим путем. Не затрагиваются окружающие ткани. Высокая точность метода связана с тем, что пучки радиации направляются на опухоль под контролем МРТ или КТ. |
| При лечении методом радиотерапии окружающие ткани могут получить дозу облучения. | Точечное воздействие не затрагивает окружающие ткани. Нет негативного воздействия на волосы и кожу головы. |
| Метастазы в головном мозге практически не поддаются лечению традиционными способами. | Высокая точность метода позволяет с помощью «GAMMA KNIFE» избавиться от метастазов в головном мозге. |

Сеанс лечения на установке «GAMMA KNIFE» состоит из четырех основных этапов:

I. Пациент укладывается на специальный стол, его голова фиксируется в системе позиционирования стереотаксической рамы системы «LEKSELL», таким образом, чтобы выбранная мишень совпадала с изоцентром аппарата. Стереотаксическая рама позволяет исключить малейшую возможность изменения положения головы в процессе лечения и задает систему координат, в которой определяется положение патологического очага в пространстве. После местной анестезии рама жестко фиксируется на голове в четырех точках специальными винтами. При лечении больных детского возраста или пациентов с неадекватным поведением местная анестезия дополняется внутривенной седацией.

II. Компьютерную рентгеновскую (КТ) / магнитно-резонансную томографию (МРТ), а в случаях лечения больных с АВМ ангиографию (АГ) проводят после закрепления стереотаксической рамы с использованием специальных локалайзеров, крепящихся к раме. Локалайзеры содержат метки, которые считываются системой планирования и обеспечивают привязку томографических координат к координатам рамы, а через раму и систему позиционирования к изоцентру аппарата. Алгоритм определения координат работает без существенной потери точности при наклоне локалайзера на небольшие углы (вплоть до 20°) относительно плоскости сканирования. MP-сканирование проводится на MP-томографах «Signa Exite» 1.5Т и «Signa Horizont Echo Speed» 1.5T производства «General Electric» (США). Сканирование проводится в режимах,  позволяющих получать тонкие, до 1 мм, срезы высокого качества (3D-SPGR). В сочетании с внутривенным введением двойного объема контрастного вещества, данный метод позволяет выявлять мелкие объемные образования диаметром до 1-2 мм.

III. Планирование облучения осуществляется на рабочей станции с операционной системой HP-UX Hi с установленной специализированной системой планирования «LEKSELL GAMMA PLAN WIZARD 5.34» (LGP). Система планирования LGP позволяет с помощью подбора расположений изоцентров и их весов (относительного времени облучения каждого изоцентра) получать дозовые распределения сложной формы, соответствующей трехмерной форме мишени, заданной контурами на цифровых снимках MPT, КТ или АГ.

LGP позволяет отображать любые изодозовые кривые поверх томографических снимков, как в двухмерном, так и в трехмерном виде, а также строить гистограммы доза-объем, как для мишени, так и для критических структур, заданных и определенных врачом, что используется для выбора оптимального плана облучения. При планировании используются следующие характеристики облучения: предписанная доза и предписанная изодоза. Предписанная доза - это доза ионизирующего излучения, назначенная по краю мишени. Предписанная изодоза - отношение предписанной дозы к максимальному значению дозы в мишени в процентном выражении.

Выбирая диаметр коллиматоров, количество изоцентров, варьируя угол наклона головы, изменяя время облучения каждого изоцентра, создается план облучения, которым можно добиться высокоточного облучения мишени практически любой геометрической формы, с минимальным захватом в поле облучения прилежащей здоровой мозговой ткани, с высокими показателями конформности и селективности.

IV. Непосредственно облучение занимает от 10 минут до нескольких часов, в зависимости от типа патологии, числа опухолей, их размера и расположения. Автоматическая система позиционирования установки «GAMMA KNIFE», позволяет быстро производить перемещение между изоцентрами с высокой точностью (порядка 0,1 мм). Согласно плану лечения, голова последовательно смещается от изоцентра к изоцентру. Состояние пациента во время облучения контролируется с помощью аудио-видео наблюдения. Процесс лечения абсолютно безболезненный. В процессе лечения пациент находится в сознании и не ощущает никаких неудобств. При необходимости во время лечебного процесса делаются короткие перерывы для отдыха пациента. После окончания лучевой процедуры рамку с головы пациента удаляют, накладывают повязку, и пациент идет домой.

Под воздействием ионизирующего излучения разрушается ДНК клеток опухоли, у них исчезает способность к дальнейшему делению, что ведет к их постепенной гибели. Некоторые опухоли, после применения «GAMMA KNIFE», полностью исчезают, а некоторые уменьшаются в размерах и перестают расти. В последующем необходимо проходить периодические обследования на КТ или МРТ, для того чтобы проследить полученный клинический эффект. В зависимости от сложности заболевания контрольные обследования проводятся в течение года (1-4 раза). Медики оценивают результаты лечебного процесса, отмечая динамику изменений очаговых поражений.

С момента ввода в эксплуатацию суммарное количество больных, прооперированных с помощью «GAMMA KNIFE», достигло 1млн. человек. Всего в мире работает около 300 установок «GAMMA KNIFE», из них половина - в [США](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%A8%D0%90)  и [Японии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%8F), 56 - в [Китае](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%B9), в Германии, в Швейцарии, в Израиле и в России.

В [Российской Федерации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) первый «GAMMA KNIFE» был установлен в 2005 г. в [*НИИ нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D1%85%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B8_%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B8_%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%9D._%D0%9D._%D0%91%D1%83%D1%80%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE) (Москва), предлагающим эффективное неинвазивное лечение глубинно расположенных опухолей головного мозга, АВМ, а также тригеминальной невралгии при помощи установки «LEKSELL GAMMA KNIFE PERFEXION».

За годы работы в центре пролечено более 5000 пациентов. За 5,5 лет, с апреля 2005 г. по ноябрь 2010 г., радиохирургическое лечение на установке «GAMMA KNIFE» прошло 1617 больных с различной интракраниальной патологией (639 - со злокачественными опухолями, 801- с доброкачественными новообразованиями, 162 - с сосудистыми заболеваниями, 15 - с тригеминальной невралгией). Всего было проведено 1800 процедур облучения (в 183 случаях - лечение проводилось повторно). Возраст больных колебался от 4 до 86 лет (46 лет в среднем). Женщин было больше (1020 пациентки - 69 %). В целом распределение по патологии соответствует данным мировой статистики.

**Распределение больных по основным патологиям с указанием**

**предписываемых доз**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Заболевание | Количество больных, % | Предписанная доза, Гр |
| *Сосудистые патологии* |  |  |
| АВМ | 124 (8 %) | 20-30 |
| Другие сосудистые | 38 (2 %) |  |
| *Доброкачественные опухоли* |  |  |
| Менингиомы | 385 (24 %) | 14 |
| Невриномы | 279 (17 %) | 12-13 |
| Опухоли гипофиза | 30 (2 %) | 15-25 |
| Другие доброкачественные | 107 (7 %) |  |
| *Злокачественные опухоли* |  |  |
| Глиомы | 84 (5 %) | 20-25 |
| Метастазы | 525 (32 %) | 18-24 |
| Другие злокачественные | 30 (2 %) |  |
| *Другие патологии* |  |  |
| Тригеминальная невралгия | 15 (1 %) | 45 |

В данной серии (всего 1617 больных), 639 (40%) пациента были со злокачественными опухолями, 801 (49%) с доброкачественными образованиями, 162 (10%) больных имели сосудистые заболевания и 15 (1%) пациентов были облучены по поводу тригеминальной невралгии.

Ниже приводится распределение больных по основным патологиям, прошедших лечение в институте с указанием предписанных доз и изодоз, использованных при лечении.

За 5 лет стереотаксическую радиохирургию по поводу метастазов различных типов рака в головном мозге прошло 525 пациентов, которым было проведено 674 процедур. 149 повторных процедур были проведены по поводу возникновения новых очагов. Максимальное число процедур, проведенных одному пациенту - 5. Всего было пролечено 3183 очагов (максимально - 34 метастаза у одного пациента, в среднем 6 очагов на пациента; за 1 процедуру максимум - 32 опухоли, в среднем 4 за процедуру). 70 очагов (2%) были облучены повторно вследствие их продолженного роста. Ни один из очагов не облучался более 2 раз. Средний возраст пациентов составил 54 года (от 20 до 83 лет). Соотношение мужчин и женщин примерно 1:1,3.

При планировании на край очага назначалась доза до 24 Гр. В случае очагов большого размера, она снижалась до 18 Гр, в крайних случаях до 15 Гр, в зависимости от размера и объема опухоли. В случае близости критических структур (ствола мозга), краевая доза снижалась, но не ниже чем до 15 Гр. Изодоза составляла от 40% до 90%.

До и после лечения назначалась стероидная терапия. Доза и длительность, которой зависела от состояния, количества и суммарного объема метастазов, выраженности перифокального отека.

Контроль роста радиохирургически облученных метастазов достигается более чем в 90% случаев, а основной причиной смерти пациентов являлась прогрессия экстракраниального заболевания.

Гистологический вариант опухоли или количество очагов после радиохирургии на выживаемость не влияют. Особенностью радиохирургии является высокая эффективность как в отношении радиочувствительных опухолей (рак молочной железы, рак легкого), так и в отношении метастазов, потенциально резистентных к обычной лучевой терапии - почечно-клеточного рака и меланомы. Ведущее значение имеет состояние пациента, контроль первичного очага и возраст. Необходимым условием успешного лечения является контроль первичного очага и метастазов в других органах, т.к. по статистике основной причиной смерти пациентов с церебральными метастазами, прошедших радиохирургию, является прогрессия экстракраниальных опухолей. Оценивая полученные результаты, можно отметить, что радиохирургическое облучение при метастатическом поражении головного мозга позволяет эффективно контролировать рост опухолей без повышенного риска ухудшения состояния вне зависимости от локализации и количества новообразований, значительно расширяя возможности комбинированного лечения.

Одним из наиболее распространенных стандартных показаний к радиохирургическому лечению при относительно небольших размерах, является невринома слухового нерва. Среди пациентов было 285 больных с акустической или вестибулярной шванномой (АШ). Соотношение мужчин и женщин примерно 1:2,5. Средний возраст больных - 48 лет (от 14 до 80). Часть больных ранее были оперированы. У 11 больных АШ были проявлением нейрофиброматоза II типа, у 2 больных - I типа.

При планировании чаще всего использовались дозы 12-13 Гр по 50% или 65% изодозе на край опухоли. При расчете доз толерантности использовалась методика, где безопасным для ствола является облучение, при котором не более 10 мм**3** получают дозу более 12 Гр, и не более 1 мм**3** - более 15 Гр. Средний объем опухоли на момент радиохирургии составил 4,9 см**3** (от 0,36 см**3** до 12,2 см**3**) при среднем диаметре - 26 мм. Контроль опухолевого роста за время наблюдения составил 98%.

Из всех пациентов только у 2% пациентов развился парез лицевого нерва (3-5 баллов по шкале Хаус-Бракмана) в сроки от двух дней до 1,5 лет после лечения. На фоне стероидной терапии выраженность поражения лицевого нерва регрессировала. Ухудшение слуха отмечено у 12,5% пациентов, улучшение - более чем у 6%, у остальных функция слуха со стороны опухоли оставалась стабильной (81,5%).

Следует отметить характерные изменения МРТ характеристик АШ после радиохирургии. В сроки от 4 до 6 месяцев после радиохирургии равномерное накопление контраста, присущее АШ в большинстве случаев, сменяется характерным накоплением контраста по периферии опухоли с неконтрастируемой центральной частью. Во многих случаях отмечается незначительное временное увеличение размеров новообразования, которое вероятно обусловлено лучевым патоморфозом, а не истинным ростом опухоли. В последующем происходит постепенное уменьшение ее размеров. Эффективность микрохирургического лечения и радиохирургии АШ практически одинакова, и достигает 93-95% при более чем 10-летнем катамнестическом наблюдении. Следует отметить, что при радиохирургии удается сохранить слух на том же уровне, что и до лечения, в 51-80% случаев. При современном микрохирургическом лечении попытки сохранить слух на дооперационном уровне эффективны в 10-20% случаев. Вероятность развития стойкой нейропатии лицевого нерва (3-6 баллов по шкале Хаус-Бракмана) - при радиохирургии не превышает 10%, при микрохирургии - 22%. Частота прочих осложнений при нейрохирургическом удалении АШ (ликворея, инфекции) составляет около 15%, а летальность не менее 1%. Все это обусловливает наметившуюся тенденцию к расширению показаний к радиохирургическому лечению при небольших невриномах слухового нерва.

 Менингиомы основания черепа, особенно распространяющиеся на кавернозный синус, являются одним из основных показаний к проведению радиохирургического лечения. При хирургическом лечении тотальное удаление опухоли в разных сериях составляет 17-100%, в среднем у 64,5% больных и определяется в основном локализацией опухоли и ее гистологией. При менингиомах основания задней черепной ямки радикальное удаление достигается не более чем в 40%. Частота рецидивов после тотального удаления составляет около 15%. Нарастание послеоперационного неврологического дефицита отмечается в среднем в 20%. При хирургическом лечении менингиом петрокливальной области нарушение функции черепно-мозговых нервов наблюдается в 20% - 54% случаев. Хирургическая летальность составляет около 8,6% (в среднем от 0 до 14,3%). За 5,5 лет радиохирургия была проведена 391 пациенту с менингиомами различной локализации.

Преобладали базальные менингиомы, расположенные в петрокливальной области и в мосто-мозжечковом углу - 24%, образования тенториального и фалькс-тенториального расположения - составили 18%, области кавернозного синуса - 20%, крыльев основной кости и наклоненных отростков - 11%. В 19% зоной роста опухолей являлись большой серповидный отросток и верхний сагиттальный синус. У 14% пациентов новообразования располагались конвекситально, при этом определяющим моментом для выбора радиохирургии являлся отказ пациентов от хирургического лечения или соматическая отягощенность, обуславливающая повышенный риск оперативного вмешательства. Средний возраст больных составил 50 лет (от 5 до 85 лет). Соотношение мужчин и женщин примерно 1:3,4. Объем опухоли в среднем составлял 5,43 см**3**, варьируя в широких пределах (от 0,05 до 19,9 см**3**). Ведущими неврологическими симптомами являлись головные боли, пароксизмальная симптоматика, нарушение функции различных черепно-мозговых нервов, в основном иннервирующих движения глаз, чувствительность лица и мимические движения.

Особенностью радиохирургии  менингиом является предварительная оценка отношения опухоли к функционально важным и радиочувствительным структурам: зрительным путям, стволу головного мозга, гипофизу. Например, при базальной локализации менингиомы и вовлечении зрительных путей в патологический процесс, необходимо оценить риск их лучевого повреждения с учетом имеющихся зрительных нарушений и возможности дальнейшего ухудшения зрения из-за низкой радиорезистентности этих образований. При планировании облучения в большинстве случаев назначалась доза 14 Гр на край опухоли по 50%. При близком расположении критических структур, доза снижалась до 12 Гр или ниже.

Из больных, прошедших контрольные осмотры, у 30% пациентов отмечен значительный регресс головных болей, усиление цефалгии отмечено у 13%. У одного пациента (1%) с менингиомой мосто-мозжечкового угла развился умеренно выраженный периферический парез лицевого нерва со стороны опухоли, уменьшившийся на фоне приема дексаметазона. У 4 пациентов с конвекситально расположенными опухолями отмечалось появление значительного перифокального отека, сопровождавшегося масс-эффектом (наличие клинических и МРТ-признаков компрессии мозга, наличие деформации базальных цистерн, смещение срединных структур мозга более 5 мм), что в обоих случаях привело к значительному ухудшению состояния. Применение стероидных гормонов позволило справиться с данным осложнением консервативно. Прогрессия заболевания в виде продолженного роста опухоли или появления новых образований отмечено в 3% случаев у пациентов с анапластическим вариантом менигиом. В остальных случаях отмечен удовлетворительный контроль роста новообразований. Контроль роста менингиом после радиохирургии, в среднем достигает 93% и практически не зависит от анатомической локализации опухоли.

Заранее обдуманное частичное удаление опухоли для функциональной сохранности пациента с последующей радиохирургией позволяет избежать травматичного радикального удаления новообразований сложной локализации с наличием нервных и сосудистых структур и уменьшить вероятность постлучевых осложнений.

В настоящее время, учитывая эффективность и минимальную инвазивность, радиохирургическое лечение является методом выбора при небольших менингиомах основания черепа.

Согласно существующим протоколам ведения больных с аденомами гипофиза методом выбора является их хирургическое, преимущественно транссфеноидальное удаление. При пролактиномах лечение начинают с назначения агонистов допамина. Частичная резекция опухоли или ее рецидив, распространение аденом на кавернозный синус, тяжелое соматическое состояние пациента являются показанием к проведению радиохирургического лечения. При хирургическом удалении аденом эффективность лечения достигается в среднем приблизительно в 70%, летальностью в среднем не более 1% и низким уровнем послеоперационного дефицита (менее 3%). Частота рецидивов при длительном наблюдении составляет до 20%. При сочетании хирургии с фракционной лучевой терапией улучшается контроль роста опухоли, но возрастает частота осложнений в виде гипопитуитаризма (до 50%).

В случае применения «GAMMA KNIFE» эффективность лечения составляет примерно 80%. Гипопитуитаризм отмечается не более чем в 10%, рецидивирование - не более чем 1%, при нулевой летальности.

За рассматриваемый период в НИИ пролечено 30 пациентов с аденомами гипофиза. В 24 случаях радиохирургии предшествовало хирургическое удаление опухолей, в ряде случаев неоднократное. В трех случаях, кроме хирургии было проведено также радиологическое лечение. В 6 случаях радиохирургия была проведена без предшествующего хирургического вмешательства. Предписанная доза для гормонально-неактивных аденом устанавливалась в 15 Гр (реже 16 Гр), для гормонально-активных (преимущественно соматотропных), доза варьировала от 18 до 25 Гр. Предписанная изодоза в большинстве случаев соответствовала 50%.

Радиохирургия в лечении АВМ применяется в случае неэффективности или невозможности применения хирургической или эндоваскулярной методик. По существующей статистике ежегодный риск развития спонтанного кровоизлияния составляет от 1 до 5%, а летальность около 1%. При возможности проведения резекции АВМ, их тотальное удаление достигается в 85-100% случаев. Уровень послеоперационного дефицита варьирует от 1,5 до 40% (в среднем менее 15%), летальности от 0 до 13% (в среднем - 4,4%). При эмболизации полного выключение АВМ удается достигнуть в 24%, субтотального - в 31%, частичного - 45%, при уровне интраоперационных осложнений около 5% и летальности менее 1%. Частота полной облитерации АВМ при проведении радиохирургии составляет в среднем 80-85%. Неврологический дефицит после радиохирургии развивается не более чем в 4% случаев. Окклюзия АВМ после радиохирургического лечения ожидается в срок примерно 2-3 года. При этом вероятность облитерации прямо пропорциональна предписанной дозе: чем она выше, тем выше вероятность выключения АВМ из кровотока. Однако с увеличением предписанной дозы возрастает и риск постлучевых реакций со стороны здоровой мозговой ткани. Обычно используется доза по краю АВМ равная 25 Гр, по 50% изодозе. Учитывая, что АВМ не выключается из кровотока сразу после радиохирургии, риск кровоизлияния в течение латентного интервала между лечением и облитерацией составляет примерно 4,3%. Этот уровень риска не превышает вероятность разрыва АВМ, которая не подвергалась никакому лечению. В Центре прошли радиохирургию 124 пациента с АВМ. По сравнению с другими патологиями можно отметить относительно молодой возраст пациентов (в среднем 26 лет, от 5 до 65).

На край образования в большинстве случаев подводилась доза от 20 до 25 Гр, в редких случаях ниже (до 15 Гр) или выше (до 30 Гр), которая за редким исключением соответствовала 50% изодозе. Контрольная АГ назначается через 2 года; при сохранении сосудистой сети, АГ повторяют еще через год. Если после этих сроков АВМ обнаруживается вновь - радиохирургическое лечение может быть повторено. В Центре для пациентов с АВМ повторной радиохирургии за данный период не проводилось.

 В лечении глиальных новообразований, в том числе злокачественных, радиохирургия имеет ограниченное значение из-за диффузного характера роста и отсутствия отчетливых границ, исключительно при небольших рецидивных опухолях, после ранее проведенного комбинированного лечения, включающего удаление опухоли, фракционированную лучевую терапию и химиотерапию. Проведение стереотаксической радиохирургии может быть показано как первый этап лечения при небольших пилоидных астроцитомах труднодоступной локализации, имеющих четкие границы с мозговым веществом, или в случаях их рецидива. За 5 лет было пролечено 107 пациентов с глиальными опухолями. Из них 80 имели злокачественные новообразования (глиобластомы). У пациентов с глиомами низкой степени злокачественности преобладали пилоидные астроцитомы 58%.

Среди прочих видов внутричерепной патологии, у пациентов, прошедших радиохирургию, можно отметить кавернозные ангиомы, гломусные опухоли, невриномы различных черепно-мозговых нервов (исключая невриномы VII-VIII нервов), среди которых доминируют невриномы тройничного нерва, параганглиомы, гемангиобластомы  и хордомы. Отдельно отметим один случай гамартомы гипоталамуса, для которых радиохирургия может оказаться наиболее эффективным и безопасным способом лечения. Среди неупомянутых злокачественных опухолей встречались медуллобластомы.

Основные виды возможных осложнений после радиохирургии - постлучевые реакции (ПЛР) в виде развития отека в зоне облучения с возможным увеличением, как самого очага, так и зоны перифокального отека, а также формирования лучевых некрозов (ЛН). Частота развития ПЛР составляет около 4%. Они развиваются в течение первых 3-6 месяцев после радиохирургии, иногда через несколько лет после лечения.

Причиной осложнения является облучение малыми дозами «GAMMA KNIFE». В большинстве случаев отек проходит без дополнительных вмешательств в течение месяца. Другие виды неврологических осложнений на головном мозге могут зависеть от вида опухоли, локализации, размера, а также индивидуальных особенностей организма. Наилучшие результаты удаления опухолей «GAMMA KNIFE» отмечаются при размерах опухоли не более 3,5 см в диаметре (кроме АВМ). Связано это с тем, что при облучении мишени большого размера, возрастает риск местных постлучевых осложнений.

При облучении мишеней большего размера, значительно возрастает риск развития ранних и отсроченных лучевых реакций в виде развития лучевого некроза с выраженной реакцией окружающего мозгового вещества. Расположение патологического объемного образования в непосредственной близости от функционально значимых структур может также ограничивать возможность однократного применения высокой дозы ионизирующего излучения, что может обусловить выбор лечения в пользу фракционированного лечения, т.е. лучевой терапии. Особенно чувствительны к ионизирующему излучению зрительные пути, разовая лучевая нагрузка на которые согласно международным рекомендациям, не должна превышать 8 Гр. Наличие быстро прогрессирующего неврологического дефицита, признаков внутричерепной гипертензии и симптомов выраженной дислокации срединных структур мозга является противопоказанием к проведению радиохирургии.

Любое вмешательство на головном мозге всегда имеет определенное количество неврологических осложнений. Тяжесть и вид таких осложнений зависит как от характера вмешательства, так и от локализации опухоли, которую оперируют. В процентном отношении радиохирургическое лечение опухолей головного мозга имеет по разным статистическим данным в среднем в 10 раз меньшее число осложнений по сравнению с нейрохирургической операцией.

Дифференциальный диагноз между продолженным ростом метастаза или злокачественной глиомы и ЛН невозможен с применением обычных диагностических опций, таких как КТ / МРТ с контрастным усилением. Дифференциальный диагноз между ними проводится на основании позитронно-эмиссионной томографии или таких методик как МР-спектроскопия и КТ- или МР-перфузионное исследование. Лечение симптоматических постлучевых реакций ПЛР (в том числе ЛН) заключается в проведении глюкокортикостероидной терапии. Известны примеры эффективного применения гипербарической оксигенации при данных состояниях. В редких случаях, при неэффективности консервативного лечения и псевдотуморозном течении процесса, показано хирургическое удаление некротического очага (в центре - 1 наблюдение). Всего острые и отсроченные постлучевые реакции (от легких до выраженных) отмечены у 4,8% пациентов.

Противопоказано применение радиохирургии в случае тяжелого декомпенсированного состояния больного, наличия «острых» симптомов сдавления головного мозга, окклюзионной гидроцефалии, повышенного внутричерепного давления (гипертензионно-ликворный синдром).

  Многофункциональный комплекс *«Центр радиохирургии» на базе НИИ скорой помощи имени Н.В. Склифосовского* предоставляет уникальную комбинацию ультрасовременного аппарата стереотаксической радиохирургии - «GAMMA KNIFE» и сверхвысокопольного магнитно-резонансного томографа напряженностью магнитного поля 3 Тесла. Такое сочетание позволяет значительно улучшить качество проводимого лечения и сократить продолжительность операции.

Направления работы института - радиохирургическое лечение следующих заболеваний: опухоли головного мозга, краниовертебрального перехода и верхних сегментов шейного отдела спинного мозга, метастазы в головном мозге, АВМ головного мозга и венозные ангиомы, невралгия тройничного и языкоглоточного нервов, фармакорезистентная эпилепсия.

Дополнительные преимущества, связанные с наличием МР-томографа GE SignaHDxt 3.0 Тесла: большая точность наведения - выполнение МРТ с толщиной среза 1 мм и менее; выявление очагов, не видимых на аппаратах предыдущего поколения; высокая напряженность магнитного поля позволяет в несколько раз сократить время исследования по сравнению с наиболее распространенными 1.5 Тесла томографами более чем в два раза; применение дополнительных методик, таких как функциональное МРТ и трактография, позволяют уменьшить дозовую нагрузку на здоровые ткани мозга; доступные высокоточные МР-спектроскопия и МР-перфузия способны определить тип опухоли и степень злокачественности без биопсии.

Интегрированная система магнитоэнцефалографии (МЭГ) Micro Mag Link дает возможность анализа ЭЭГ в режиме реального времени, что особенно важно для уточнения источников патологической активности при диагностике и лечении эпилепсии.

*Клиника стереотаксической и радиационной нейрохирургии «На Гомольце»* (Прага, Чехия) была открыта в октябре 1992 г. Каждый год здесь проводятся 15000 сложнейших операций, а успешное лечение проходят около 50000 пациентов. В 2009 г. на аппарате «GAMMA KNIFE» было проведено 9500 радиохирургических операций. В последние годы, в клинике с помощью «GAMMA KNIFE» проходят лечение около 800 пациентов в год. За последние несколько лет на установке «GAMMA KNIFE» прошли лечение 10532 человека. Из них с заболеванием:

|  |  |
| --- | --- |
| АВМ | 911 |
| менингиома | 1808 |
| аденома гипофиза | 845 |
| невриномы слухового аппарата | 975 |
| злокачественные опухоли глиальных клеток головного мозга | 256 |
| увеальные меланомы (меланома глазной оболочки) | 263 |
| метастазы | 2443 |
| анавризмы сосудов | 211 |

Альтернатива установке [«GAMMA KNIFE»](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0-%D0%BD%D0%BE%D0%B6) - «X-KNIFE»   была разработана в 1990 гг. ХХ в. компанией «Radionics»  производства Leksel. «X-KNIFE» - современный медицинский ускоритель, оснащенный дополнительным оборудованием, включающим в себя [коллимационные](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80) устройства (цилиндрические и листовые), стереотаксические рамки, стереотаксические локалайзеры и специальное программное обеспечение для планирования процедуры [радиотерапии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%8F" \o "Радиотерапия)и. Благодаря простоте настройки и использованию, «X-KNIFE» получил большое распространение во всех крупных клиниках мира.

Подводя итоги, можно отметить, что стереотаксическая радиохирургия - это относительно молодое и стремительно развивающееся направление современной нейрохирургии. Стереотаксическая радиохирургия с применением установки «GAMMA KNIFE» является эффективным и достаточно безопасным методом лечения пациентов с различными видами внутричерепной патологии, позволяющим сохранять на высоком уровне качество жизни больных при низкой вероятности развития осложнений. Возможность проведения амбулаторного лечения целого ряда заболеваний, без обязательного анестезиологического, реанимационного и реабилитационного сопровождения, обусловливает потенциальную экономическую эффективность данного метода лечения.

Сущность радиохирургического метода заключается в использовании стереотаксической техники для высокоточного облучения небольших интракраниальных мишеней высокими дозами ионизирующего излучения, с использованием внешних источников за одну фракцию. Доказана его высокая эффективность при лечении различных опухолей, АВМ и функциональных поражений головного мозга.

Следует особо указать на успешность применения данного вида лечения у больных, которым обычная операция противопоказана вследствие наличия тяжелых сопутствующих заболеваний, а также при локализации патологического процесса в глубинных и функционально важных зонах головного мозга.

Точная координация направления и мощности облучения позволяет сконцентрировать максимальную энергию непосредственно в области, подлежащей удалению. Фокусировка в глубоких слоях исключает вероятность поражения здоровых тканей и препятствует развитию побочных явлений. Прицельное воздействие кратковременным интенсивным излучением снижает суммарную дозу радиации по сравнению с традиционной методикой радиотерапии.

Каждый год количество выполняемых радиохирургических процедур увеличивается, что является подтверждением высокой эффективности и безопасности метода для нейрохирургических больных.

К 2008 г. в мире проведено около миллиона радиохирургических операций на «GAMMA KNIFE», опубликовано более 2000 медицинских статей с результатами лечения и анализом накопленного опыта. Нейрохирурги и медицинские физики, работающие на «GAMMA KNIFE», объединены во Всемирное Общество (Leksell Gamma Knife Society), которое организует ежегодные конференции и обучающие программы для пользователей «GAMMA KNIFE» со всего мира.

**РАДИОХИРУРГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «CYBER KNIFE»**

Радиохирургические методы лечения приобретают все большее распространение в лечении многих нейрохирургических заболеваний. Они фактически вытеснили хирургические методы лечения метастазов рака в головном мозгу, их используют в дополнение к хирургическому вмешательству при невозможности во время операции радикально удалить опухоль, они являются альтернативой в лечении опухолей и сосудистых заболеваний головного и спинного мозга, позвоночника, избавляя пациента от многих осложнений открытого хирургического вмешательства. При этом используют ионизирующее излучение высокой мощности, собранное в узкий направленный пучок. Доза облучения достаточна для необходимого эффекта при однократном воздействии. Поэтому данный вид лучевого воздействия называют радиохирургией в отличие от радиотерапии, при которой лучевое воздействие осуществляют многофракционно, небольшими дозами. В этом отношении радиохирургию используют в качестве альтернативы общепринятой многонедельной лучевой терапии.

В настоящее время в нейрохирургии в основном используют радиохирургические установки «GAMMA KNIFE», «CYBER KNIFE», «NOVALIS», «TRILOGY».

В 1987 г. профессор нейрохирургии и радиационной онкологии медицинского центра Стэнфордского университета (США) Джон Р. Адлер совместно с Питером и Расселом Шонбергами из «Schonberg Research Corporation» разработали «CYBER KNIFE» - роботизированную неинвазивную радиохирургическую систему, обеспечивающую непревзойденную точность лечения доброкачественных и злокачественных опухолей в любом месте организма. Первая установка «CYBER KNIFE» была внедрена в клиническую практику в медицинском центре Стэнфордского университета в 1994 г.

«CYBER KNIFE» сочетает технологию контроля по изображению с компактным линейным ускорителем, способным перемещаться в трех измерениях согласно плану лечения, и робота-манипулятора с компьютерным управлением. «CYBER KNIFE» позволяет направлять энергию на любую часть тела с любого направления, непрерывно отслеживая перемещения опухоли и пациента на протяжении процедуры, производит соответствующие корректирующие действия с минимальным облучением здоровой ткани и жизненно важных органов. «CYBER KNIFE» не требуются инвазивные рамки для фиксации головы или других частей тела пациента, что значительно повышает гибкость системы, а также анестезию.

Размер поля определяется коническими вольфрамовыми коллиматорами (5-60 мм) или микро-многоступенчатыми диафрагмами (МПД), имеющими 41 пару пластин толщиной 2,5 мм каждая и позволяющими сформи­ровать круговые поля излучения размером до 12×10 см.

Мощность дозы составля­ет до 800 МЕ/мин (в некоторых моделях – 1000 МЕ/мин). Равномерность пучка фотонов достигает 14% из-за отсут­ствия выравнивающего фильтра. Симметрия пучка не пре­вышает 2%. Полутень пучка составляет менее 4,5 мм. Про­пускание коллиматора не превышает 1%. Роботизированный манипулятор имеет 6 степеней свободы и при движении учитывает положение пациента и лечебного стола для пре­дотвращения столкновений.

«CYBER KNIFE» позволяет синхронизировать дви­жение узкого пучка фотонов с движениями мишени за счет системы слежения, работающей в инфракрасном диапазо­не. В системе «CYBER KNIFE» используются рентгеновские лу­чи для получения изображений, позволяющих локализо­вать мишень во время лечения. Монтаж источника излучения на роботе позволяет получить почти полную свободу в положении источника в пространстве близ пациента и моментальное перемещение источника, что позволяет облучать с самых различных направлений без необходимости перемещения, как пациента, так и источника, что возникает при использовании современных конструкций.

Первоначальный метод (все еще используемый) - метод 6-D (коррекции производятся вращательными и поступательными движениями в трех направлениях - X,Y и Z) или отслеживание положения черепа. Следует отметить, что необходимо использовать некоторые анатомические и искусственные особенности для ориентации робота при излучении рентгеновского излучения, поскольку опухоль никак не может быть в достаточной степени определена (если она полностью видима) на изображениях рентгеновской камеры. Радиоизображения, реконструированные цифровым способом (DRR), и компьютерный алгоритм определяют, какие коррекции движения робота необходимы в связи с движениями пациента. Система изображений позволяет «CYBER KNIFE» излучать с точностью до 0,5 мм без использования механических зажимов, прикрепляемых к голове пациента. Продолжительность лечения с использованием технологии «CYBER KNIFE» 30-90 мин.

Система контроля дыха­тельных движений «Syncrony» постоянно синхронизирует облучение с движением мишени при дыхании пациента. Работа системы основана на создании корреляционной мо­дели между дыхательной активностью пациента, отслежи­ваемой в режиме реального времени, и положением облуча­емой мишени в различных точках дыхательного цикла. При облучении ряда локализаций используются адаптивные системы визуализации и слежения за рас­положением внутренних органов пациента при помощи ко­ординатных маркеров.

Процедуру проводят амбулаторно, особенно пациентам, которым противопоказана традиционная радиотерапия или хирургическая операция. Система «CYBER KNIFE» позволяет избежать многих возможных рисков и осложнений, связанных с другими методами лечения.

Для работы с опухолями спины используются изображения спинальных процессов при помощи «XSIGHT-SPINE». Позвонки могут двигаться относительно друг друга, поэтому применяют алгоритмы искривления изображения для коррекции искажений изображений рентгеновской камеры.

Допустимая доза облучения, которую может получить спинной мозг однократно без риска возникновения острых и отдаленных осложнений - 8 Гр. При наличии близко расположенных к мозгу опухолей может возникнуть ситуация, при которой невозможно спланировать облучение, чтобы вся ткань опухоли получила дозу - 17,5-25 Гр. В отличие от радиотерапии мозга, которая может проводиться ежедневно в течение нескольких недель, радиохирургическое лечение проводят в несколько приемов (1-5).

Педаченко Ю.Е. в статье «Кибер-нож-радиохирургия в лечении опухолей спинного мозга и позвоночника» проанализировав 971 пациента со спинальными опухолями, отмечает значительное снижение интенсивности боли у 84-96% пациентов со спинальными опухолями, подавление роста опухоли - у 75-100% (в зависимости от гистологического типа опухоли). Осложнения и неудачи «CYBER KNIFE» обусловлены продолженным ростом опухоли, неврологическими и общими радиационными нарушениями.

Анализ данных свидетельствует о достаточно широком использовании «CYBER KNIFE» при лечении новообразований позвоночника, в частности, его метастатического поражения. Этому можно найти несколько объяснений. Во-первых, высокая частота распространения метастазов в позвоночник (возникновение спинальных метастазов характерно для большинства больных со злокачественными опухолями внутренних органов, количество ежегодно выявляемых спинальных метастазов достигает 100000). Во-вторых, пациенты, у которых выявляют метастатическое поражение, часто неоперабельны вследствие сопутствующих заболеваний. В то же время, интенсивная боль, которая может достигать 3 баллов (в соответствии с Pain Score Scale) требует поиска альтернативных способов лечения и устранения боли. Радиохирургия в таких ситуациях может быть альтернативой, поскольку ее применение способствует не только значительному уменьшению интенсивности боли, но и непосредственному воздействию на патологический очаг. Педаченко Ю.Е. отмечает значительное снижение интенсивности боли у 84-93% больных со спинальными метастазами после проведения радиохирургического лечения.

Анталгический эффект радиохирургии может быть обусловлен уменьшением опухоли вследствие замещения ее соединительной тканью, подавления высвобождения медиаторов боли из-за гибели клеток опухоли. При применении радиохирургии боль регрессирует в ранние сроки, без соответствующих радиологических изменений. Большинство пациентов отмечают исчезновение боли в первые несколько недель после облучения, у некоторых ее интенсивность значительно уменьшается через несколько суток. Отсутствие продолженного роста опухоли в катамнезе либо ее уменьшение отмечают у 75-100% больных, в зависимости от гистологической структуры опухоли. Педаченко Ю.Е. приводит следующие результаты радиохирургии«CYBER KNIFE» в зависимости от источника метастазов в позвоночнике:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Локализация первичной опухоли | Частота выявления, % | |
| регресс боли | подавление роста опухоли |
| все больные | 86 | 88 |
| рак почки | 94 | 87 |
| рак груди | 96 | 100 |
| рак легких | 93 | 100 |
| меланома | 96 | 75 |

Необходимая доза облучения при метастатическом поражении позвоночника составляет от 17,5 до 25 Гр. Если доза облучения не превышает 17,5 Гр, возможен продолженный рост опухоли. В то же время, при планировании лечения следует учитывать близость расположения спинного мозга, являющегося весьма радиочувствительной структурой. Однократная доза воздействия на спинной мозг более 8 Гр токсична для него и обусловливает возникновение пострадиационной миелопатии. В связи с этим при наличии первичных опухолей позвоночного канала, в частности, менингиомы, шванномы, нейрофибромы, применяют 2-3 или 5 сеансов облучения. Это обусловлено тем, что, располагаясь в позвоночном канале, а не в телах позвонков (как большинство метастатических опухолей), они тесно прилежат к спинному мозгу. Необходимая доза облучения по краям опухоли для достижения цели лечения является сверхпороговой для спинного мозга. Поэтому для предотвращения его повреждения лечение проводят за несколько сеансов.

Проведение радиохирургического лечения по поводу опухолей позвоночника и спинного мозга показано больным при наличии следующих критериев:  хорошо отграниченные опухоли при отсутствии или минимально выраженном сдавлении спинного мозга; наличие остатков опухоли после нерадикального хирургического вмешательства; продолженный рост опухоли; опухоли, для удаления которых требуются сложные хирургические доступы при относительно короткой предполагаемой продолжительности жизни; наличие соматических противопоказаний к выполнению открытого хирургического вмешательства.

Недавно появившаяся усовершенствованная модель «XSIGHT» - «XSIGHT-LUNG» позволяет отслеживать положение некоторых легочных опухолей без имплантации сравнительных маркеров.

Для некоторых опухолей мягких тканей используется метод синхронизации, изобретенный в 1998 г. Небольшие металлические маркеры высокой плотности, изготовляемые из золота для биологической совместимости, хорошо видимые на рентгеновских изображениях, имплантируются в пациента хирургическим путем для получения хорошего контраста рентгеновских изображений. Процедуру производит интервенционный радиолог или нейрохирург. Если маркеры окажутся слишком далеко от местоположения опухоли или не будут достаточно рассеяны друг относительно друга, станет невозможным точно распределить облучение. Как только маркеры размещаются на местах, они отображаются на сканере CT, система контроля изображения программируется в соответствии с их позицией. После получения изображений рентгеновской камерой определяется положение опухоли относительно маркеров и осуществляется облучение любой части человеческого тела. Метод синхронизации не требует какой-либо анатомии скелета для позиционирования облучения. Тем не менее, маркеры могут мигрировать и ограничивать точность лечения, если оно не могло быть проведено в надлежащее время между моментом имплантации и лечением для стабилизации маркеров.

При методе синхронизации используется комбинация имплантируемых фидуциарных маркеров и светоизлучающие оптические волокна (рентгеновские инфракрасные LED-маркеры), устанавливаемые на коже пациента. Их положение отмечается следящей инфракрасной камерой. Система синхронизации периодически получает изображение внутренних маркеров и вычисляет модель связи между движением внешних LED-маркеров и внутренних маркеров.

Для предотвращения скрытых перемещений робота и изменений изображения используется прогнозирование движения. Перед началом лечения компьютерный алгоритм создает модель корреляции, отвечающую за взаимосвязь движения внутренних маркеров с внешними. В ходе лечения система периодически отмечает положение внутренних маркеров и соответственного положение опухоли, основанное на движении накожных маркеров. Во время лечения корреляционная модель обновляется в ходе фиксированных временных шагов. При методе отслеживания синхронизации не делаются предположения о характере дыхания пациента.

Для правильной работы системы синхронизации необходимо, чтобы для любой корреляционной модели существовала функциональная зависимость между маркерами и внутренними фидуциарными маркерами. Маркеры обычно размещаются в животе пациента, благодаря чему их движение отражает внутреннее движение диафрагмы и легких. Первые пациенты прошли лечение в больнице Кливленда (штат Огайо, США) в 2002 г. Этот метод используется главным образом при онкологических заболеваниях легких и поджелудочной железы.

Для изменения позиции пациентов при лечении используется робототехническое ложе с шестью степенями свободы - «ROBO COUCH».

Безрамная основа системы «CYBER KNIFE» повышает клиническую эффективность. В традиционной, основанной на применении рамы, радиохирургии точность вмешательства зависит от соединения жесткой рамы с пациентом. Рама прикрепляется к черепу пациента инвазивными алюминиевыми или титановыми шурупами. Система «CYBER KNIFE» - единственное радиохирургическое устройство, не требующее рамы для точного определения цели. После установления рамы относительные позиции человеческой анатомии могут определяться сканерами CT или МРТ. После сканирования врач может спланировать облучение, используя выделенную компьютерную программу, и рама убирается. Использование рамы требует выполнения линейной последовательности событий до лечения пациента. Поэтапная радиохирургия посредством системы «CYBER KNIFE» дает преимущество пациентам, которые до этого получали большие дозы обычной радиотерапии и пациентам, имеющим глиомы близ критических областей мозга.

Радиохирургия может применяться в одиночку для лечения опухолей мозга или в совокупности с хирургией или радиотерапией всего мозга, что зависит от специфических клинических обстоятельств.

Другой особенностью системы является наличие ряда трекинговых систем, которые отслеживают расположение опухоли в пространстве, в том числе в режиме реального времени. Это позволяет автоматически подстраивать наведение пучка во время сеанса лечения, что обеспечивает высокую (субмиллиметровую) точность не только позиционирования ускорителя, но и самого облучения без стереотаксической рамки. Слежение обеспечивается двумя парами «рентгеновская трубка - детектор на аморфном кремнии», изображения с которых поступают в компьютер, который обрабатывает их и создает стереоскопическое изображение. Ориентирами для этой системы служат костные структуры пациента, рентгеноконтрастные метки и сама опухоль. При радиохирургическом лечении области легких во время дыхания происходит смещение опухоли в пространстве. Комплекс трекинговых систем «CYBER KNIFE» позволяет проводить точное лечение, не ограничивая дыхание пациента, моделируя позицию терапевтической мишени по положению ИК датчиков на теле пациента (по дыхательной экскурсии). Высокая точность позиционирования пучка ионизирующего излучения позволяет применять в лечении пациента большие дозы излучения за сеанс, что позволяет сократить курс лечения от нескольких недель до 1-5 дней.

Система «CYBER KNIFE» дает возможность удалять опухоли и метастазы в труднодоступных местах при новообразованиях самых различных локализаций: рак поджелудочной железы, рак легкого, печени, почек, мочевого пузыря, простаты, позвоночника, рака горла и мозга и доброкачественных опухолей шеи и головы (до 3 см), метастазированных участков легких, новообразований мозга и позвоночного столба, опухолей различной этиологии паренхиматозных органов и др.

Ни одно исследование не выявило какого-либо превышения показателя выживания при использовании системы по сравнению с другими методами. С увеличением точности облучения растет возможность увеличения дозы и возможно последующее увеличение эффективности, особенно в местных коэффициентах. При этом объемы исследований были ограничены, и необходимы более обширные исследования для определения изменения показателя выживания.

Лечение производится специальным радиационным методом - радиационный поток фотонов с точностью до 1 мм воздействует на опухоль, не подвергая облучению близлежащие органы и ткани. Именно это делает лечение «CYBER KNIFE» безопасным, безболезненным, обходящимся без хирургического вмешательства. Такой способ лечения становится незаменимым, когда опухоль невозможно удалить хирургическим путем, если опухоль расположена близко к важным органам и тканям (сосуды, нервные центры и т.д.). «CYBER KNIFE» способен воздействовать на опухоли размером до 5 см и на метастазы в количестве 3-4 шт. Стоит отметить быстроту срока лечения, который длится от одного до трех дней, при этом каждая процедура занимает не более 1,5 часа и проводится в амбулаторных условиях. Такой вид лечения можно безопасно проводить сразу же после проведения классической лучевой терапии, если она не дала необходимого результата.

Противопоказаниями к проведению «CYBER KNIFE» по поводу спинальных опухолей являются психические нарушения, из-за которых пациент не может неподвижно лежать на столе в течение 30-60 мин.

Осложнения «CYBER KNIFE» обусловлены продолженным ростом опухоли и осложнениями, не связанными с поражением нервной ткани. В зависимости от характера продолженного роста опухоли выделяют рост самой опухоли или появление метастазов на отдалении от облученного очага. Первый вид продолженного роста обусловлен малой дозой облучения опухоли, вследствие неправильного определения дозы и недостаточной точности облучения подвижных опухолей. При недостаточной точности доставки дозы ткань опухоли не получит необходимую дозу облучения и лечебный эффект не будет достигнут. Появление метастазов на отдалении от облученной опухоли следует расценивать как следствие распространенного системного онкологического процесса и недостаток предоперационной диагностики (если не проведена ПЭТ). Для предотвращения продолженного роста опухоли необходимо учитывать радиочувствительность ее определенных гистологических типов. Так, продолженный рост при меланоме и почечноклеточной карциноме отмечен при облучении дозами менее 17,5 Гр.

Потенциально возможным и самым тяжелым осложнением спинальной радиохирургии является радиационное поражение спинного мозга. Природа и патогенез радиационной миелопатии не отличаются от таковых при поражении головного мозга. В его основе лежит сверхпороговое радиационное воздействие. В зависимости от сроков возникновения неврологические осложнения подразделяют на острые (возникают в первый месяц после радиохирургии и быстро исчезают), подострые (возникают через 3-6 месяцев после облучения) и отдаленные. К острым осложнениям относят увеличение интенсивности боли и прогрессирование неврологического дефицита. Подострые осложнения характеризуются преходящим усугублением имеющихся симптомов. Отдаленными осложнениями считают возникновение радиационного некроза, проявляющегося стойкой миелопатией. Острые осложнения отмечены у 2-3% больных. Боль возникает через 2 суток после сеанса радиохирургии и при применении кортикостероидов и противовоспалительных препаратов исчезает в течение 1-2 суток. Особенностью отдаленных осложнений является возникновение миелопатии через 5-13 месяцев после проведения радиохирургического лечения, если при планировании лечения и его проведении доза облучения вещества спинного мозга превышала 8-10 Гр.

Возможны разнообразные реакции окружающих органов и тканей на лучевое воздействие: кожные реакции, фарингит, ларингит, трахеит, эзофагит, гастрит, проктит.

При проведении «CYBER KNIFE» следует учитывать высокую радиочувствительность не только спинного мозга и других невральных структур, но и кишечника. Особая осторожность необходима при облучении верхнего поясничного и нижнего грудного отделов позвоночника в связи с высокой радиочувствительностью ткани почки.

Модели аппарата «CYBER KNIFE» непрерывно совершенство­вались, менялось их название. В 2011 г. на рынок были пред­ставлены три новые модели под общим названием «CYBER KNIFE M6». Модель «М6 FI» имела диафрагму «IRIS», изме­няющую размер облучаемой сферической области в зависимости от условий облучения без замены тубуса. Модель «M6 FM» комплектовалась микроМПД, а модель «M6 FIM» – той и другой диафрагмами вместе. Как правило, с помощью лучевой терапии на «CYBER KNIFE» стереотаксическому облучению подвергают мета­стазы спинного мозга, предстательной железы, небольшие мишени в легких и в ряде других локализаций.

Стереотаксическое облучение начинает все шире при­меняться в лучевой терапии. Это вызвано тем, что усовер­шенствование методов диагностики позволяет выявлять опухолевые процессы, протекающие в I–II стадии, когда очаг поражения еще невелик. Именно в этих случаях стерео­таксическое облучение показывает лучшие результаты, по­скольку почти не повреждаются близкорасположенные нор­мальные ткани и здоровые органы. Поэтому практически всеми компаниями, выпускающими медицинские линей­ные ускорители, разрабатываются новые и усовершенству­ются существующие устройства получения малых полей облучения и системы управления ими. Для некоторых «стереотаксических» локализаций аль­тернативой может стать контактная лучевая терапия, одна­ко возможности ее применения ограничены по сравнению с дистанционным стереотаксическим облучением.

На сегодняшний день более 50000 пациентов по всему миру воспользовались возможностями лечения опухолей, предоставляемыми «CYBER KNIFE». Среди этих людей есть и те, опухоли которых прежде считались неоперабельными или требовали сложного хирургического вмешательства.

Таким образом, «CYBER KNIFE» - инновационная технологическая разработка, действие которой основано на точечном поражении злокачественного образования в организме человека. Роботизированная мобильная радиохирургическая установка применяется для лечения опухолей различной этиологии, метастазированных участков и органов человека.

Установка с ускорителем воздействует высокими дозами ионизирующего излучения точно на клетки новообразования, не затрагивая регионарные здоровые ткани и органы.

Перед лечением пациент проходит диагностическое обследование с целью уточнения локализации и локальности опухоли (МРТ, КТ). Система обрабатывает данные и программирует область воздействия и дозу облучения.

Само облучение осуществляется специальным манипулятором робота, на новообразование направляются лучи под разными углами, при этом здоровая ткань не страдает, т.к. робот синхронизирует свою работу с дыхательными и другими неактивными движениями человека. Робот оснащен инновационной системой автоматизированного контроля с реагированием в доли секунды.

По заявлению производителя, в настоящее время в мире установлено около 250 установок «CYBER KNIFE», более 100000 пациентов получили лечение. Большинство из этих установок находится в клиниках США, Японии. В меньшей степени - в странах Европы и Азии. Приведенные данные свидетельствуют о перспективности применения «CYBER KNIFE».

**ДИСТАНЦИОННАЯ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКАЯ РАДИОХИРУРГИЯ «NOVALIS»**

«NOVALIS» представляет собой линейный ускоритель с энергией фотонов 6 МэВ. Установка позволяет проводить как стереотаксическую радиохирургию (однократное облучение в большой дозе), так и стереотаксическую радиотерапию (фракционированное облучение). Формирование рабочего пучка излучения производится при помощи микромультилепесткового коллиматора или при помощи конических коллиматоров.

«NOVALIS» - совместная разработка американского производителя линейных ускорителей «Varian Medical Systems» и немецкого разработчика программных компонентов в области медицины «Brain LAB».

 «NOVALIS**»** использует фотонный и электронный лучи, которые проходя через линейный ускоритель, разрушают клеточную структуру опухоли. Первым шагом в лечении является получение снимков с использованием КТ и МРТ. Результаты этих процедур объединяются для создания детальных, трехмерных изображений анатомии пациента с высоким разрешением, которые помогают врачам-онкологам и медицинским физикам в точном планировании радиационного лечения.

Автоматические системы контроля местоположения, дозы, формы поля лечения в процессе лечения отслеживают все параметры. При возникновении отклонения от заданного плана лечения система автоматически прекращает подачу лучей, гарантируя точность и надежность лечения. Использование технологии контроля дыхания позволяет избежать сдвигов области облучения при дыхании пациента, повышая точность лечения и позволяя избежать ненужного облучения здоровых тканей. Благодаря техническим характеристикам, мощность аппарата может регулироваться в зависимости от местонахождения опухоли. Различные конструкции и приборы безопасности обеспечивают безопасность пациента и медперсонала.

Опыт показал, что использование «NOVALIS» предоставляет онкологическим пациентам широкий выбор лечения, существенно повышает эффективность лучевой терапии, снижает процент продолженного роста опухолей, увеличивает продолжительность жизни. Снижение воздействия облучения на нормальную ткань уменьшает осложнения после лучевой терапии. Особенно эффективно использовать «NOVALIS» для лечения рака носоглотки, предстательной железы, легких, молочной железы, опухолей в позвоночнике, метастазов в различных органах, послеоперационного облучения при опухолях головного мозга и шейного отдела, грудной и брюшной полости.

Из общего количества излечиваемых опухолей: 49% - лечится хирургической операцией, 40% - лучевой терапией, 11% - химиотерапией и другими видами лечения.

Радиолучевая терапия проводится за много сеансов (фракций) в течение нескольких недель, в то время как радиохирургия - за одну фракцию. При лучевой терапии используется масочная фиксация пациента при помощи термопластических материалов, а при радиохирургии жесткая фиксация при помощи стереотаксической рамы.

Одноразовое подведение высокой дозы к опухолям головного мозга считается более эффективным по сравнению с подведением дозы за несколько сеансов. Некоторые виды опухолей более эффективно разрушаются под воздействием на них высокой дозой.

С другой стороны, одноразовое подведение высокой дозы накладывает ограничения на размер очага (3-3,5 см для опухолей и АВМ головного мозга), т.к. с ростом размера очага возрастает дозовая нагрузка на прилегающие здоровые ткани и риск постлучевых осложнений. В таком случае альтернативой радиохирургии является радиотерапия, в которой за счет подведения дозы за несколько сеансов, снижается риск подобных повреждений. В отличие от радиохирургии используется не только различие в радиочувствительности облучаемого очага и прилежащих тканей, но также и различие в скорости их восстановления.

Стереотаксическая радиохирургия может рассматриваться в качестве отдельного лечения или в качестве дополнительного лечения после хирургического вмешательства в случаях, когда полное удаление опухоли не представляется возможным. На выбор метода лечения влияет тип опухоли. Во многих медицинских центрах радиохирургия стала рутинной процедурой при лечении различных опухолей нервной ткани: неврином черепно-мозговых нервов, менингиом и гемангиом, аденом гипофиза, глиом, эпендиом, краниофаренгеом, медуллобластом, акустических нейром (опухолей слухового нерва), метастазов в мозг при раке молочной железы, раке кожи, раке легких и других злокачественных новообразованиях; воспалениях тройничного нерва; при АВМ. Некоторые виды опухолей, такие, как глиобластома, не лечатся стереотаксической радиохирургией.

Другим фактором является местоположение опухоли: опухоли, находящиеся в хирургически труднодоступных местах лучше излечиваются стереотаксической радиохирургией. Современные аппараты для стереотаксической радиохирургии дают возможность лечения внутричерепных повреждений, которые раньше считались неоперабельными из-за их близости к критическим структурам.

Немаловажным фактором, определяющим выбор метода лечения, является возраст и состояние здоровья пациента. У пациентов с высоким медицинским риском, связанным с анестезией, стереотаксическая радиохирургия является альтернативой. С другой стороны, молодые пациенты могут желать избежать радиационного облучения из-за отдаленного риска рака, который может быть вызван облучением много лет спустя.

Во время лечения, роботизированный стол постоянно отслеживает и перемещает тело пациента в 6 измерениях, что позволяет корректировать малейшие движения пациента, даже вызванные дыханием. Это позволяет линейному ускорителю гарантировать точное попадание пучков высокой дозы радиации. Технология «NOVALIS**»**  позволяет системам получения изображений, автоматизированному столу и линейному ускорителю работать вместе, обеспечивая лечение так, как запланировано в каждое отдельное мгновение. Средняя продолжительность процедуры - 15 минут.

Побочные эффекты лучевой терапии чаще всего наблюдаются в области облучения: покраснение или шелушение кожи, тошнота, головная боль, повышение температуры тела, различные приступообразные состояния, общее недомогание и слабость. Большинство побочных эффектов, наблюдаемых во время проведения лучевой терапии, регрессируют в течение нескольких недель после окончания лечения.

Точность центрации пучка (не более 0.75 мм) достигается за счет прецизионного дозио-анатомического планирования и жесткой фиксации черепа в стереотаксическом головном кольце (стереотаксической раме). Кольцо фиксируется к черепу под местной анестезией с помощью четырех небольших винтов. При фракционированном облучении фиксация производится с помощью индивидуально изготавливаемой термопластической маски.

Таким образом, радиохирургическая установка «NOVALIS» имеет наиболее широкие возможности как при формировании поля облучения при мишенях сложной формы, так и возможность фракционирования, когда в этом есть необходимость. С ее помощью можно формировать поля облучения, не затрагивая окружающие  ткани.

Лечение состоит в многократном облучении очага определенной дозой и занимает достаточно продолжительное время (1-1,5 мес.).

**ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ «TRILOGY»**

Линейный ускоритель «TRILOGY» занимает особое место в нейрохирургическом арсенале, являясь высокоспециализированным инструментом для неинвазивного лечения широкого спектра внутричерепной патологии (онкологии, АВМ, тригеминальной невралгии), а также для радиохирургического облучения патологических образований спинного мозга, позвоночника, органов брюшной и грудной полости, малого таза.

«TRILOGY» позволяет проводить облучение как электронным так и фотонным излучением (6, 10 Мегаэлектронвольт), как больших (до 40 см) так и малых (менее 1 см) опухолей мощным потоком излучения (до 10 Грей в минуту).

Аппарат оснащен специальным стереотаксическим устройством для позиционирования пациента, дополнительными коллиматорами и специальным стереотактическим кольцом (рамкой), укрепляемым на голове пациента перед началом лечения.

В основу лечения положен метод стереотаксического наведения излучения на облучаемую зону в головном мозге. Облучение может производиться, как с помощью многолепесткового коллиматора (при сложной форме облучаемой области, так и с помощью цилиндрических коллиматоров заданного диаметра (при шарообразной форме опухоли). При этом излучение от каждого из них в отдельности не оказывает повреждающего действия на мозг, но сходясь в одной точке (изоцентре), они дают суммарное излучение, достаточное для того, чтобы вызвать желаемый биологический эффект в патологическом очаге. Это позволяет в большинстве случаев избежать лучевого повреждения здоровой мозговой ткани вне видимых границ опухоли или АВМ, функционально и жизненно важных структур мозга.

Доза облучения достаточно велика для того, чтобы достичь необходимого эффекта после однократной процедуры (длительность сеанса может длиться от 15 минут до одного часа). Поэтому данный вид лучевого лечения называется «стереотаксической радиохирургией», в отличие от стереотаксической радиотерапии (2-6 сеансов) и в отличие от радиотерапии - когда больному проводится до 30-40 сеансов небольшими дозами. Мощное излучение приводит к повреждению ДНК патологических клеток и клеточных мембран, вследствие чего нарушается безудержный рост опухоли. В стенках кровеносных сосудов происходит пролиферация эндотелия (внутреннего слоя сосудистой стенки), вследствие чего просвет их сужается и вовсе закрывается. Кардинальным образом изменяется кровоснабжение (или кровенаполнение) и, в конечном итоге, опухоль или АВМ уменьшаются, а в ряде случаев – исчезают через некоторое время.

Погрешность точности наведения пучков при стереотаксическом облучении не превышает 0,5-1 мм. Это позволяет очень точно наводить пучки в случаях локализации патологического очага в функционально важных зонах или по соседству с радиочувствительными структурами (зрительный нерв, хиазма или ствол мозга). Точность обеспечивается жесткой фиксацией головы в рамке, которая является непременным атрибутом стереотаксической радиохирургии.

Показания для радиохирургии: доброкачественные опухоли головного мозга; невриномы слухового нерва и других черепно-мозговых нервов; менингиомы любой локализации; опухоли шишковидной железы; опухоли гипофиза; метастазы рака в головной мозг (3-5); АВМ и кавернозные ангиомы; первичные внутримозговые опухоли (I-III степени злокачественности) - при возникновении продолженного роста после проведенного хирургического лечения, лучевой терапии и химиотерапии, как составная часть комплексного лечения или как самостоятельный вид лечения; невралгия тройничного нерва.

Следует особенно подчеркнуть, что радиохирургическое лечение показано больным на той стадии заболевания, когда патологический очаг еще небольших размеров до 3,5 см и не вызывает грубых неврологических симптомов, при удовлетворительном качестве жизни. Это имеет особенное значение при локализации очага в недоступных или труднодоступных и функционально важных зонах головного мозга. Радиохирургия также показана в тех случаях, когда предшествующее хирургическое вмешательство не привело к полному удалению опухоли, либо при ее рецидиве. Пожилым и ослабленным пациентам, при наличии показаний, проведение радиохирургического лечения также предпочтительнее, т.к. переносится оно значительно легче, чем оперативное вмешательство. В некоторых ситуациях (при метастазах рака), радиохирургия имеет преимущества перед обычной лучевой терапией в отношении опухолей, устойчивых к обычному облучению. Основная задача лечения - контроль роста патологического новообразования. Это означает, что результат лечения тем успешнее, чем дольше после радиохирургии отсутствуют признаки продолженного роста опухоли.

Противопоказано применение радиохирургии в случае быстро развивающихся симптомов сдавления головного мозга, например, опухолью значительных размеров. Также при больших размерах образования лучевая нагрузка на здоровую окружающую мозговую ткань становится чрезмерно высокой, что повышает риск развития постлучевых осложнений.

Таким образом,«TRILOGY» - более совершенная установка радиохирургии, чем «GAMMA KNIFE», «CYBER KNIFE» и «NOVALIS», направляющая на опухоль дозу в несколько раз больше, чем в указанных выше аппаратах. Это уменьшает время лечения рака.

Основные преимущества «TRILOGY» - его неинвазивность. Для проведения лечения нет необходимости в длительной дооперационной подготовке, в послеоперационном лечении и реабилитации. Следует особо указать на успешность применения данного вида лечения у больных, которым обычная операция противопоказана вследствие наличия тяжелых сопутствующих заболеваний, а также при локализации патологического процесса в глубинных и функционально важных зонах головного мозга. К тому же отсутствует риск анестезиологических и хирургических осложнений (кровотечения, воспаления, ликвореи и пр.), присущих обычным нейрохирургическим операциям. Возможность амбулаторного лечения серьезных патологий мозга (опухолей, АВМ) приводит к значительной экономии материальных ресурсов.

**ФРАКЦИОННАЯ ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ «TRUE BEAM»**

В основу первых аппаратов для лучевой терапии были положены разработки ускорителей, применявшихся в науч­ных исследованиях. Но для их использования в клиниках потребовалась существенная модернизация аппаратов. Необходимо было создать специальные выходные устрой­ства для формирования полей облучения с размерами, наи­более характерными для лечения различных локализаций опухолевых очагов, через которые фотоны и электроны вы­водились бы на пациентов. Потребовались специальные ле­чебные столы для размещения пациентов с возможностью последующего центрирования мишени относительно осей радиационного пучка. Кроме того, необходимо было разра­ботать системы технического и дозиметрического контроля процесса облучения. Дальнейшее развитие медицинских линейных ускори­телей проходило по пути усовершенствования их конструк­ции, повышения надежности работы отдельных узлов и си­стем, обеспечения точности дозиметрического контроля отпускаемой дозы и увеличения ее максимальной мощно­сти, увеличения максимальных размеров полей облучения.

Система «TRUE BEAM» представляет собой революционную технологию нового поколения в радиотерапии злокачественных заболеваний, использует полностью модернизированную систему контроля и множество технических инноваций, что позволяет динамически синхронизировать методики визуализации, позиционирования пациента, отслеживание его движений и непосредственную доставку излучения.

Система «TRUE BEAM», разработанная специалистами компании «Varian» (США), используется для проведения всех видов современной лучевой терапии, в том числе радиотерапии и радиохирургии под визуальным контролем, радиотерапии с модулированной интенсивностью, ротационной лучевой терапии с объемной модуляцией интенсивности излучения и стереотаксической радиотерапии наряду с традиционной и трехмерной конформной лучевой терапией.

Система «TRUE BEAM» превосходит другие устройства для проведения радиотерапии, поскольку позволяет осуществлять лучевые и радиохирургические вмешательства с использованием одной и той же технологической базы; позволяет проводить лечение с применением технологии Rapid Arc, которая учитывает движения опухоли и компенсирует их путем синхронизации дозы и получения изображений при непрерывном движении устройства вокруг пациента намного быстрее, поскольку обеспечивает 10-кратное увеличение мощности дозы по сравнению с другими линейными ускорителями. В качестве источника излучения использован радиоактивный элемент кобальт-60 (суммарно 200 источников). Данную систему рекомендуется использовать преимущественно для удаления опухолевой массы, не превышающей размеры 4 см.

Отличие системы «TRUE BEAM» от других технологий заключается в возможности доставки более высокой дозы излучения за более короткий промежуток времени, что, в свою очередь, увеличивает эффективность процесса лечения, а также уменьшает продолжительность и количество сеансов облучения в ходе курса радиотерапии. Наиболее важным отличием системы «TRUE BEAM» является возможность получения снимков высокого разрешения, точнее сфокусироваться на зоне облучения. Таким образом, врачи достигают максимально возможного результата с минимальным облучением здоровых тканей.

Радиотерапия с помощью технологии «TRUE BEAM» может быть проведена при всех типах злокачественных опухолей, требующих лучевой терапии. Тем не менее, особую эффективность данная технология обеспечивает при лечении рака легких, молочной и предстательной желез и области спинного мозга.

Для облучения опухолевых тканей в лучевой терапии применяются рентгеновские лучи, обладающие выраженным разрушающим действием на главные структуры опухолевых клеток - ДНК, что вызывает блокировку их роста и дальнейшего размножения. Каждое облучение или сеанс принято называть фракцией. Частота, количество и длительность фракций зависит от конкретного типа опухоли, стадии процесса и ответа опухолевых клеток на повторное воздействие ионизирующего облучения. Существуют различные методики и схемы для проведения фракционной лучевой терапии, например, методика продолжительной фракционной лучевой терапии, когда сеансы назначаются более одного в день, чтобы раковые клетки не успели набрать силы между отдельными облучениями. При таком сильном воздействии общая продолжительность терапии заканчивается быстрее вследствие значительной ускоренности процесса.

В качестве примера можно привести следующие данные: существующие стандартные схемы радиотерапии предполагают, в случае рака предстательной железы, выполнение 40 сеансов облучения, а при фракционном методе воздействия - 32. При раке легких существующий лечебный протокол подразумевает 30 сеансов с облучающей дозой 2 Гр каждая, но с применением методики лучевой Rapid Arc с Объемной Модуляцией Интенсивности пациенту достаточно получить всего 3 фракции с дозой 18 Гр. Данный подход резко повысил, в ряде случаев, показатель выздоровления с 10 до 90%.

Механический рукав установки «TRUE BEAM» поворачивается на 360° и применяется в качестве хирургического скальпеля, передавая радиацию большой силы с высочайшей точностью (до 2,5 мм).

С помощью устройства «BRAIN LEBA», которое может встраиваться в установку, появляется возможность осуществления недоступных ранее, внечерепных и внутричерепных процедур.

Система «TRUE BEAM» обеспечивает следующие преимущества:

1. *Ускорение процесса лечения* путем автоматизации, визуализации и позиционирования пациента, сокращения необходимых для лечения этапов до 5 раз.

2. *Сокращение сеанса облучения дозой* с мощностью до 2400 мониторных единиц в минуту в режиме без использования выравнивающих фильтров. В этом случае сеанс облучения, который при использовании стандартной схемы радиотерапии с модулированной интенсивностью продолжается обычно 10-15 минут, проводится менее чем за 2 минуты.

3. *Уменьшение длительности сложных радиохирургических вмешательств* с 40-120 минут до 5-20 минут, обеспечение более высокой эффективности лечения за счет использования большей дозы за укороченный промежуток времени.

4. *Более эффективное облучение мишени*, поскольку во время доставки пучка лучей не оставляет опухоли много времени для изменения ее положения. При этом чувствительность системы составляет менее 1 мм. Подобная точность обеспечивается невероятно сложной структурой системы, которая выводит на новый уровень синхронизации технологии визуализации, позиционирования пациента, отслеживания движений, формирования пучка лучей и его доставки и осуществляет контроль всех процессов каждые 10 мсек в течение сеанса облучения.

5. *Непрерывное отслеживание* системой в ходе всего процесса лечения  более 100 тысяч базовых *координат*, что позволяет убедиться в сохранении фокуса доставки излучения. Подобный высокий уровень чувствительности помогает специалистам с невероятной точностью воздействовать на опухоль, расположенную внутри непрерывно движущегося органа.

6. *Проведение радиотерапевтических и радиохирургических вмешательств на единой платформе*, что является более удобным для пациента.

Перед лучевым лечением проводят приготовление к КТ-симуляции. Ее цель - определить облучающий объем на основании точных сведений о местоположении, габаритах очага патологии, неповрежденных тканях, а также представить в виде 3-D модели пациенту все полученные данные.

Поэтапный состав КТ-симуляции: 1) получение анатомо-топографических данных об опухолевом образовании и структурах, прилежащих к нему; 2) разметка на поверхности тела облучающих полей; 3) ввод в планирующую систему изображения анатомотопографии; 4) построение радиотерапевтического процесса и расчет факторов лечебного плана.

При способе 3D-планирования облучающего процесса выполняются следующие процедуры.

Проводится укладка клиента на компьютерном томографе на сеансе облучения. Тушью на коже больного создают точечные татуировки. Ставят одну точку в произвольном месте, например, на уровне грудины с облучением опухолевого образования бронха, затем две точки на теле на боковых поверхностях. На первую точку приделывают пластырем металлическую метку. На КТ делают срез сквозь эту метку из металла. Установку других двух точек выполняют в одной аксиальной плоскости при помощи лазерного центратора с целью использовать потом их постоянно для того, чтобы воспроизвести в период лечения укладку пациента. КТ делают без задержки дыхания пациента. Толщина среза в районе поражения опухоли составляет 5 мм, и 1 см на остальном протяжении. Обычно сканирующий объем составляет + 5-7 см в каждую сторону. В систему 3D-планирования передаются все КТ-изображения. Делается это по локальной сети.

Подвижность опухолевого образования оценивают за счет дыхания под контролем рентгеноскопии (на симуляторе). Данный фактор учитывают с целью определения планируемого облучающего объема.

На каждом КТ-скане медицинский физик совместно с врачом обрисовывает опухолевое образование и зоны субклинического распространения. Чтобы учесть микроскопическую инвазию прибавляют 0,5 см. Полученный объем относится к клиническому облучающему объему (CTV).

При помощи план-системы на каждом КТ-скане автоматически к полученному CTV прибавляется отступ, заданный врачом, и учитывающий подвижность опухолевого образования при дыхании и разнообразные погрешности с обычным значением 1-1,5 см. Полученный объем - это планируемый облучающий объем (PTV).

Происходит построение гистограмм, по которым идет проверка всех условий запланированного облучения. Начинается выбор необходимого количества облучающих полей.

Расположение центра облучаемого объема (центральной точки) в отношении к референтной точке определяется физиком. Он указывает расстояния между ними в сантиметрах, в трех плоскостях. Данные расстояния планирующая система вычисляет автоматически.

Выполняется проверка радиологом на симуляторе запланированных облучаемых полей. Центральный луч во время виртуальной симуляции направляют на центральную точку, пользуясь расстояниями между ней и референтной точкой, находящейся постоянно на коже. Для облучения в процессе укладки пациента будут использоваться: расположение в трех плоскостях центральной точки в отношении к референтной точке на коже (с целью наведения пучка излучения на центр опухолевого образования), а также татуировки, расположенные на боковых поверхностях тела. Если источник излучения вращается по 360° дуге, центр пучка излучения всегда будет попадать в центр опухолевого образования (изоцентрический способ планирования).

Линейная установка «TRUE BEAM» является по безопасности, точности и скорости самым безопасным вариантом лечения. Риск отклонения от границы опухоли пучка ионизирующего излучения не превышает и 0,75 мм.

По эффективности действия на множество опухолевых образований лучевое лечение на установке совместимо с хирургией, однако безопасность его и возможное повторное воздействие намного выше. Лучевой метод лечения искореняет возможность распространения опухолевых новообразований.

Режим высокой точности позиционирующей системы и супервысокой мощности дозы позволяет уничтожить опухолевое образование за 1 облучающий сеанс без использования хирургии. Эта технология в корне меняет взгляд на онкологическое лечение больных, ранее считавшихся безнадежными.

В применении этой технологии ограничений почти нет. Лучевое излечение проходит за несколько или даже за один день, госпитализация в стационар при нем не требуется, оно почти не оказывает воздействия на формирование лучевых осложнений.

Таким образом, система «TRUE BEAM» превосходит другие методы по следующим параметрам:

в аппарат встроено устройство для компьютерной томографии, позволяющее вести контроль над положением опухоли и осуществлять корректировку направления пучка до каждого сеанса облучения;

синхронизация с дыханием 3D-облучения для распространяющихся метастазов;

внутри опухоли распределение части объема внутри объема облучения дает возможность концентрировать максимальную энергию и практически полностью исключать попадание пучков на органы, расположенные рядом;

облучение движущейся аркой дает возможность ускорить время сеанса с 15-20 до 2 минут, при сокращении периода требуемого отсутствия движения пациента это существенно увеличивает точность;

данная установка является единственной, позволяющей полностью удалить опухолевое образование за 1 сеанс облучения с помощью однократного подвода высокомощной дозы, вызывающей в опухолевом образовании изменения по типу инфаркта, затем в продолжение нескольких месяцев образование приобретает вид рубца;

при установке данной облучающей системы появляется возможность сократить в 30 раз площадь поражения.

**РАДИОТЕРАПИЯ «SYNERGY»**

Лучевая терапия (радиотерапия) - лечение ионизирующими излучениями. При лучевой терапии происходит воздействие на опухоль как для излечения больного (радикальная лучевая терапия), так и для временного облегчения его состояния (паллиативная лучевая терапия). Лучевая терапия может быть использована как для лечения опухолей, так и при некоторых неопухолевых заболеваниях (воспалительных процессах - мастит, панариция, гидраденит, экзема, нейродермит и др.), в тех случаях, когда другие методы  лечения оказались   безуспешными.

Источниками ионизирующих излучений могут быть: радиоактивные изотопы, применяемые в виде специально изготовленных препаратов (радиоактивные препараты), или излучения, генерируемые аппаратами (рентгеновские аппараты, GAMMA-аппараты, ускорители заряженных частиц). Естественные радиоактивные элементы (радий, радий-мезоторий) в настоящее время в целях терапии (радиевая терапия) уже не применяются.

В основе лучевой терапии опухолевых заболеваний  лежит известная в радиобиологии особенность неодинаковой радиочувствительности здоровых и опухолевых тканей. В силу большей радиочувствительности опухоли при лучевом воздействии повреждаются сильнее, чем окружающие их здоровые ткани, неизбежно попадающие в зону облучения. Чем больше интервал в радиочувствительности здоровых и опухолевых тканей (терапевтический интервал), тем легче уничтожить опухоль путем облучения, без нанесения значительного вреда здоровым окружающим тканям. Естественно, что опухоли, обладающие высокой радиочувствительностью, расширяют терапевтический интервал.

Достаточный для лечения терапевтический интервал имеет место при [раке шейки матки,](http://oncoportal.net/illness/seek/id/122.html) [опухолях молочной железы,](http://oncoportal.net/illness/seek/id/7.html) [опухолях миндалин,](http://oncoportal.net/illness/seek/id/39.html) [опухолях глотки,](http://oncoportal.net/illness/seek/id/39.html) опухолях носоглотки, [опухолях гортани](http://oncoportal.net/illness/seek/id/39.html) и некоторых других органов.

Лучевая терапия может применяться как самостоятельный метод лечения (например, при опухолях носоглотки, [раке губы](http://oncoportal.net/illness/seek/id/27.html) и др.). Наиболее часто лучевую терапию проводят в комбинации с хирургическим методом лечения или химиотерапией (комбинированная лучевая терапия). При комбинированном лучевом и хирургическом методах лечения, лучевую терапию могут применять как в предоперационном (предоперационная лучевая терапия), так и в послеоперационном (послеоперационная, или профилактическая лучевая терапия) периодах.

Облучение опухоли проводят главным образом для подавления ее активности; в тех случаях, когда нет возможности удалить опухоль с сохранением принципа абластики. Основной целью лучевой терапии в таких случаях является попытка привести больного в операбельное состояние. При проведении пред- и послеоперационной лучевой терапии облучению подвергается не только опухоль или ее вместилище, но и зоны возможного метастазирования. Например, при раке молочной железы дополнительно облучают подмышечные впадины, надключичные и подключичные области, средостение.

Существуют следующие методы лучевой терапии: аппликационная, внутренняя, внутриполостная, внутритканевая, дистанционная.

*Аппликационная лучевая терапия* - лечение с помощью β- или γ-активных препаратов, расположенных на специальных аппликаторах, которые удерживают радиоактивные источники в определенном месте и на необходимом расстоянии от поверхности тела. Проводится для лечения заболеваний кожи или слизистых оболочек. Аппликаторы в виде муляжей, применявшиеся ранее очень широко, теперь используются редко. Чаще применяются так называемые гибкие β -аппликаторы, предназначенные для лечения поверхностных заболеваний - экземы, нейродермитов, капиллярных [гемангиом](http://oncoportal.net/illness/seek/id/197.html) и др. Они изготавливаются в виде гибкой пластмассовой пластинки, содержащей равномерно распределенный радиоактивный фосфор, таллий или стронций, которая накладывается на пораженную кожу на несколько минут или даже часов. При работе β -аппликаторами необходимо тщательно следить за сохранностью полиэтиленового пакета, в котором находится аппликатор, т.к. в противном случае возможно загрязнение кожи больного пылевыми частичками радиоактивных препаратов.

*Внутренняя лучевая терапия*  проводится путем введения в организм (peros или непосредственно в ток крови) радиоактивных препаратов - чаще: I 131 (радиоактивный йод), Р 32 (радиоактивный фосфор), Аu 148 (радиоактивное золото). Внутренняя лучевая терапия используется при заболеваниях щитовидной железы, болезнях крови (полицитемия, лейкозы), лимфогранулематозе. Больные, получающие радиоактивные препараты внутрь, требуют изоляции в специальных палатах; их мочу и кал в течение 10 дней после приема препарата собирают в специальные контейнеры.

*Внутриполостная лучевая терапия* - облучение опухолей полостных органов путем подведения к ним радиоактивных препаратов, чаще всего кобальта-60 (радиоактивный кобальт). Наиболее часто употребляют при лечении рака шейки и полости матки, влагалища, мочевого пузыря, прямой кишки, пищевода и носоглотки. Препараты вводят на несколько часов или даже на сутки. Введение осуществляется только в специально оборудованных помещениях - радиоманипуляционных. При введении препаратов персонал находится за специальными свинцовыми ширмами. Больные с радиоактивными препаратами содержатся в специальных палатах. Особенностью ухода за больными, которым производится лечение, является тщательный контроль и предупреждение выпадения препаратов. После извлечения препаратов больные могут находиться в общих палатах.

*Внутритканевая лучевая терапия*  - облучение опухолей путем внедрения в них игл радиоактивного кобальта или прошивания опухоли нейлоновыми нитями, наполненными тонкими отрезками проволоки, изготовленными из радиоактивного кобальта, золота или иридия. Чаще всего применяется при поверхностно расположенных опухолях, а также опухолях языка и полости рта. Радиоактивные иглы и нити вводят на несколько дней, а затем извлекают. В последнее время вместо игл и нитей в опухоли вводят путем инъекции - коллоидные растворы радиоактивного золота-198 или очень мелкие иридиевые зерна. Введение зерен производят с помощью специального пистолета, а коллоидных растворов - с помощью шприцев в защитных свинцовых футлярах.

*Дистанционная лучевая терапия* - облучение с помощью специальных установок, генерирующих ионизирующие излучения, причем источник излучения располагают на некотором расстоянии от больного. Источником излучения может быть рентгеновский аппарат (рентгенотерапия); радиоактивный кобальт или цезий (телегамматерапия); бетатрон или линейный ускоритель (мегавольтная терапия). В зависимости от того, какой вид излучения бетатрона используется -  электронное или тормозное. Различают мегавольтную терапию электронную или тормозным излучением. Дистанционная лучевая терапия является самым распространенным видом лучевой терапии. Она осуществляется только в специальных процедурных кабинетах, где источники излучения устанавливаются стационарно.

Рассмотрим главные особенности современных линейных ускорителей на примере ускорителя «SYNERGY». Лучевая терапия на линейном ускорителе  «SYNERGY», назначается больным с различной распространенностью процесса от I до IV стадии согласно международным стандартам и клиническим рекомендациям.

Для точного определения локализации и размеров опухоли предварительно проводится тщательная топометрическая подготовка с использованием КТ и [МРТ](http://oncoportal.net/novosti/mrt-diagnostika-v-kieve.html), а также исследование окружающих здоровых тканей.

Индивидуальное объемное планирование проводится с выбором оптимальных доз для опухоли и снижением лучевой нагрузки на окружающие здоровые ткани.

Важным свойством линейного ускорителя  «SYNERGY» является возможность использования 2-х видов излучения: 3-х энергий тормозных фотонов (6, 10, 15 МеВ) и 6   энергий электронов (4, 6, 9, 12, 15, 18 МеВ), которые выбираются в зависимости от глубины расположения опухолевого процесса.

Точность планирования и безопасности на линейном ускорителе  «SYNERGY»,  обеспечивается последними технологическими достижениями в виде многолепестковой диафрагмы, которая позволяет конфигурировать поле облучения опухоли различной сложной индивидуальной формы, обеспечивая надежную защиту всех окружающих тканей.

Реализация точного подведения дозы в линейном ускорителе «SYNERGY», осуществляется с помощью специального устройства (Portal vision), контролирующего положение опухоли у пациента перед началом лечебной процедуры.

Неподвижность и комфортность пациента во время лечения на линейном ускорителе «SYNERGY» обеспечивается фиксирующими устройствами в виде термопластических масок и вакуумных матрасов. Система видеонаблюдения позволяет пациенту сохранять контакт с врачом в течение всего сеанса лечения. Лечение на линейном ускорителе «SYNERGY» хорошо переносится больными и проводится в амбулаторных условиях.

**Перечень опухолей, для лечения которых эффективна лучевая терапия на линейном ускорителе «SYNERGY»:**

|  |  |
| --- | --- |
| **Локализация** | **Виды опухолей** |
| опухоли головного мозга | опухоли головного мозга III-IV ст. злокачественности,  глиобластома,  эпиндимома,  медуллобластома,  опухоли шишковидной железы,  герминома,  краниофарингиома,  менингиома,  метастазы рака разных локализаций в головной мозг |
| опухоли головы и шеи (ЛОР) | злокачественные опухоли следующих локализаций:  полость рта,  глотка,  гортань,  слюнные железы,  верхнечелюстная пазуха носоглотки,  [недифференцированные формы рака щитовидной железы](http://oncoportal.net/illness/seek/id/11.html) |
| опухоли легких | злокачественные опухоли легких I-IV ст., средостения,  [мезотелиома плевры](http://oncoportal.net/illness/seek/id/55.html) |
| опухоли спинного мозга | астроцитомы,  гемангиомы,  менингиомы,  эпендимомы,  хондромы,  хондросаркомы,  хордомы,  метастазы в позвоночник |
| опухоли молочной железы | [злокачественные опухоли молочной железы I-IV ст.](http://oncoportal.net/illness/seek/id/7.html) |
| опухоли желудочно-кишечного тракта | множественные метастазы в печень,  первичный рак печени,  опухоли поджелудочной железы I-IV ст. + регионарные лимфоузлы,  опухоли пищевода I-IV ст.,  опухоли желудка I-IV ст.,  опухоли толстой и прямой кишок I-IV ст.,  метастазы в лимфоузлы брюшной полости и забрюшинного пространства и малого таза |
| опухоли мочеполовой системы | рак почки III-IV ст. с поражением лимфатических узлов и надпочечников,  рак мочевого пузыря,  рак простаты I-IV ст.,  семинома яичка,  рак полового члена I-IV ст.,  рак шейки и тела матки I-IV ст.,  [рак вульвы, влагалища I-IV ст.](http://oncoportal.net/illness/seek/id/115.html) |
| опухоли костей, суставов и мягких тканей | миеломы,  саркомы |
| опухоли кожи | базалиома,  саркома Меркеля,  [саркома](http://oncoportal.net/illness/seek/id/191.html) Капоши,  лимфома кожи,  рак кожи,  [меланома (послеоперационный курс)](http://oncoportal.net/illness/seek/id/37.html) |
| лимфома | оджкинская (лимфогранулематоз) и неходжкинская лимфома |

Последовательность этапов выполнения ЗD-конформной лучевой терапии:   
  Первый этап - подготовка пациента, включает в себя прохождение ряда диагностических процедур КТ, МРТ, УЗИ, анализ крови и, при необходимости, выполнение биопсии. Благодаря таким данным проводится разработка плана лечения и подготовка к облучению.

Второй этап - сканирование, проводится с целью получения точных визуальных данных для планирования лучевой терапии. Во время этой процедуры пациент фиксируется в одном положении, которого нужно будет придерживаться во время последующего лечения.

Планирование лучевой терапии проводится медицинским физиком и лучевыми терапевтами согласно полученным визуальным изображениям сканирования. Каждый план является уникальным и неповторимым, потому что создается в соответствии с каждым частным случаем для получения максимальных результатов облучения.

Пациента фиксируют в нужном положении согласно предварительно разработанным данным после сканирования. Затем выполняются портальные снимки с визуализиацией для подтверждения правильности избранного положения пациента. Во время нее выполняется сканирование в реальном времени.

Локализация нужна для сравнения изображений полученных во время сканирования и при предыдущей визуализации расположения опухоли для возможной корректировки отклонений.

Завершающий этап облучения становится возможным только после выполнения всех предыдущих этапов. Сразу после того, как пациент будет размещен согласно фиксированным данным, а опухоль будет локализована, начнется процесс облучения. Медицинский персонал постоянно наблюдает за пациентом и проводит необходимые коррекции.

Таким образом, лучевая терапия является одним из ведущих методов лечения онкологических заболеваний. Эффекты лучевой терапии обусловлены повышенной чувствительностью раковых опухолей к ионизирующему излучению, которое подводится линейным ускорителем. Под действием излучения линейного ускорителя раковые клетки погибают. При этом нормальные клетки организма, которые окружают опухоль, в дальнейшем возобновляют свою функцию.

Радикальная программа лучевого лечения «SYNERGY» предполагает дифференцированное облучение первичного очага, зон инфильтрации вокруг него и путей регионарного метастазирования. Выполнение этой программы обеспечивается возможностями линейного ускорителя: в случае распространенных процессов (III стадия) и радиорезистентных форм опухолей дополняется лучевой терапией 1-3 сеансами облучения на «CYBER KNIFE». Высокая точность подведения дозы в злокачественную опухоль позволяет значительно повысить тумороцидный эффект, при этом лучевая нагрузка на окружающие здоровые ткани не увеличивается. Эти два метода дополняют друг друга в достижении полного излечения от рака.

**МЕТОД ЭЛЕКТРОПОРАЦИИ «NANO KNIFE»**

«NANO KNIFE» - метод необратимой электропорации, в результате которой происходит целенаправленное разрушение раковых клеток при помощи сильных локализованных электрических полей.

«NANO KNIFE» был разработан группой ученых компании «Angio Dynamics» (Нью-Йорк, США) в 2007 г. Ведущие онкологические центры мира применяют методику необратимой электропорации с 2009 г. для лечения неоперабельных форм рака поджелудочной железы, рака прямой кишки, печени, почек, легких, простаты, метастазов, включая рецидивы заболевания и метастатические поражения.

Необратимая электропорация представляет собой альтернативу для пациентов с опухолями, располагающимися близко к кровеносным сосудам, нервам и другим структурам, которые могут быть повреждены при применении таких методов, как коагуляция при помощи радиочастотной или микроволновой абляции, замораживания посредством криотерапии или традиционной открытой хирургии.

«NANO KNIFE» представляет собой конструкцию, состоящую из генератора электрического тока, монитора, показывающего состояние пациента, педали для ног и различных электродов со специальными функциональными наконечниками. Число электродов и допустимая длина рассчитываются согласно структуре, необходимой величине и площади зоны, которую необходимо подвергнуть абляции (процессу удаления или разрушения некоторой части биологических тканей, сводя к минимуму риск повреждения близлежащих органов или кровеносных сосудов).

В сравнении с другими методами, где используется термальная абляция, необратимая электропорация разрушает опухоли при помощи интенсивных выбросов электричества, оставляя здоровые ткани организма неповрежденными. Необратимая электропорация – минимально инвазивная процедура, при которой не требуется делать хирургический разрез. Время установки игл варьируется в зависимости от размера и местонахождения опухоли. Поскольку сама процедура считается минимально инвазивной, на восстановление больного может потребоваться меньше времени, чем при других видах лечения, которое будет сопровождаться болезненными ощущениями от самих игл.

Благодаря использованию «NANO KNIFE», удается избежать образования рубцов и свести к минимуму неприятные, болезненные ощущения и риск повреждения соседствующих с очагом интактных тканей, близлежащих органов, нервных стволов и кровеносных сосудов, т.к. электроды прекращают свое действие на расстоянии приблизительно в 1 см от опухоли.

«NANO KNIFE» используется для малоинвазивных и хирургических операций под общим наркозом в специальной операционной, оснащенной лечебной и визуализационной диагностической аппаратурой.

Весь процесс лечения «NANO KNIFE» - общее обезболивание, контролируемый ввод электродов (от двух до шести, с помощью УЗИ, МРТ и КТ) и непосредственное электропоративное воздействие на опухоль (от одного до нескольких часов, в зависимости от размера опухоли). Электрические поля (в 3000 В) короткими пульсациями до 100 мсек перфорируют мембраны раковых клеток, образуя в них поры, что приводит к потере ими клеточного содержимого и апоптозной гибели опухолевых клеток.

Процесс электропорации удаляет внешний защитный слой раковой клетки, что автоматически приводит к разрушению этой клетки. Данный метод лечения оказывает воздействие на новообразование циклами, которые подбираются автоматически. По окончании сеанса пациенты остаются в клинике до следующего дня, после чего их выписывают для дальнейшего амбулаторного наблюдения. Заживление происходит в среднем на протяжении двух недель.

Значимые побочные эффекты, как показывает практика, при использовании «NANO KNIFE» отсутствуют. Большинство пациентов завершают лечение курсом индивидуально подобранной химиотерапии, которая значительно усиливает и пролонгирует эффект электропорации раковых клеток.

Процесс необратимой электропорации может разрушать практически любые виды рака. Это очень важно при лечении новообразований, которые неудачно расположены и быстро растут.

Технология «NANO KNIFE» принесла много положительных результатов. Действуя совокупно с другими методами по излечению рака, она смогла помочь избавиться даже от сложных опухолей на поздних (III-IV) стадиях развития.

После проведения операции «NANO KNIFE» возможны осложнения: со стороны поджелудочной железы (минимальное прободение); со стороны сосудов – тромбоз в результате местного отека (7-10%), для предотвращения данных последствий, через 3 недели после проведения операции выполняют АГ, КТ или Допплер сосудов; в течение 3 недель после проведения операции может возникнуть кровотечение (7%); противопоказано лечить раковую опухоль системой «NANO KNIFE» при наличии у пациента метастатического рака поджелудочной железы.

Также существуют и некоторые относительные показания: сердечная аритмия; кардиостимулятор (перед проведением операции его необходимо отключить или перенастроить); металлический стент в зоне абляции (необходимо удалить перед операцией).

Благодаря возможности точечного воздействия на раковые клетки, применение «NANO KNIFE» дает возможность уничтожать опухоль в самых труднодоступных местах поджелудочной железы, не задевая при этом даже непосредственно соприкасающиеся с нею желчные протоки, кровеносные сосуды и мочевыводящие пути.

Ранее опухоли, которые задевали воротную вену, признавались неоперабельными. Стремительное развитие медицинской науки открыло новые возможности для лечения заболеваний, еще недавно считавшихся абсолютно безнадежными. Применение «NANO KNIFE» позволяет произвести уничтожение опухоли и одновременно части вены, с последующей затем реконструкцией сосуда.

Для получения открытого доступа к опухоли выполняется разрез (10 см) по средней линии живота (его центральной части). Метод не наносит ущерба желчным протокам и кровеносным сосудам. Эффективность его составляет почти 100%. Благодаря тому, что прилегающие ткани при этом методе не повреждаются, он широко применяется в хирургии онкозаболеваний печени. Поскольку хирургическая резекция опухолей печени во многих случаях невозможна из-за прорастания опухоли в полую вену или кровеносные сосуды, именно «NANO KNIFE» становится единственным методом лечения.

Также «NANO KNIFE» применяют для лечения опухолей прямой кишки. «NANO KNIFE» позволяет разрушить опухоль, сохранив при этом нормальное функционирование половой сферы, а также сфинктеров и простаты. Этот метод применяют при обширной резекции всех тазовых органов.

Процедура электропорации раковых клеток может назначаться повторно по мере необходимости (не ранее чем спустя 3-4 недели), а также при наличии отдаленных вторичных опухолевых очагов и в случае неоперабельных форм рака, когда удалить новообразование традиционным хирургическим способом либо другими миниинвазивными методами не представляется возможным.

Необратимая электропорация – эффективный метод лечения опухолей, прилегающих к крупным кровеносным сосудам, и другим жизненно важным структурам, которые невозможно вылечить с помощью классических методик (стандартная операция, химиотерапия, лучевая терапия).

Достоинства «NANO KNIFE»: врачи могут воздействовать на опухоли, которые невозможно удалить другими методами, процедура проводится под общей анестезией и пациент не испытывает неприятных ощущений, сокращается пребывание пациента в клинике.

Недостатком необратимой электропорации можно назвать то, что ввиду новизны этого подхода специалисты не располагают конкретными данными в отношении долгосрочных, отдаленных результатов лечения «NANO KNIFE», но кратковременные прогнозы очень благоприятны.

На сегодняшний день метод одобрен и допущен к использованию в мировой онкологической практике, однако во всем мире существует пока еще не так много медучреждений, имеющих это высокотехнологичное оборудование.

Таким образом, «NANO KNIFE» – это абсолютно новый виток развития онкологической науки и эффективная, реальная помощь для тяжелых, безнадежных раковых больных, для лиц с запущенной онкопатологией, которым по тем либо иным объективным причинам не подходят другие варианты лечения.

Аппарат «NANO KNIFE» строго дозированно воздействует высоковольтным электрическим током непосредственно на клетки опухоли посредством тонкоигольных электродов. Огромным достоинством данной технологии является отсутствие значимых побочных эффектов и возможность лечения труднодоступных образований.

**ХИРУРГИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОСКАЛЬПЕЛЬ «INTELLIGENT-KNIFE»**

Хотя радиохирургические аппараты «CYBER KNIFE», линейные ускорители, прочно завоевали звание главных инноваций в сфере лечения рака, традиционные хирургические технологии тоже не стоят на месте. Группа биохимиков из Имперского колледжа (Лондон) вместе с коллегами из [Дебреценского университета](http://www.unideb.hu/portal/en" \t "_blank) (Венгрия) разработали хирургический электроскальпель «IINTELLIGENT-KNIFE»(«I-KNIFE»),соединенный с масс-спектрометром и способный во время операции определять, по химическому составу выделяемого тканями газа, границы раковых опухолей. Авторы разработки, венгерский химик Золтан Такац и его коллеги, в своей работе опирались на полученные ранее данные о том, что здоровые и злокачественные ткани различаются по своему липидному профилю.

Любая клетка отделена от окружающей среды липидной мембраной, состав которой может меняться. Количественное соотношение липидов позволяет определить, к какой именно ткани принадлежит клетка. Опухолевые ткани обладают своим собственным соотношением липидных мембран. Однако для того, чтобы отличить здоровую клетку от больной по мембранным липидам, нужно было эти клетки выделить, очистить липиды и проанализировать их с помощью масс-спектрометра.

Развитие рецидивов рака после хирургического вмешательства часто связано с тем, что крохотные участки опухоли, поразившие соседние здоровые ткани, остались нераспознанными и неудаленными во время операции. Во многих случаях хирургу очень трудно визуально определить границы опухоли, т.к. невооруженным глазом крохотные группы раковых клеток увидеть невозможно.

Для идентификации раковых клеток в «I-KNIFE» встроены специальные датчики, различающие компоненты газообразного вещества, выделяющегося во время прикосновения электроскальпеля к тканям, делая анализ продуктов горения во время разрезания им ткани, содержащие ионизированные молекулы липидов, которые можно выявлять с помощью масс-спектрометра. Хирурги сверяются с видеодисплеем, на котором опухолевые ткани подсвечены красным, здоровые - зеленым, а промежуточные - желтым цветом.

«I-KNIFE» позволяет хирургу точно определить границы раковой опухоли и полностью удалить злокачественное новообразование, не повреждая при этом здоровые ткани.

Для проверки «I-KNIFE» было собрано 3000 образцов тканей, полученных в ходе 300 хирургических операций, связанных с удалением раковых опухолей, с результатами гистологических исследований этих же образцов. Оказалось, что «I-KNIFE» способен эффективно дифференцировать здоровые и опухолевые ткани из разных органов, различать типы опухолей, определять их биохимический состав, распознавать первичную или метастатическую природу.

Созданная база данных здоровых и пораженных тканей подвела ученых к испытаниям «I-KNIFE» в реальных условиях. Всего с «I-KNIFE» была проведена 81 операция, и почти во всех случаях инструмент правильно отличал рак от здоровой ткани. Информация от «I-KNIFE» поступает с 1-3 секундной задержкой (гистологическое исследование ткани в лаборатории занимает около получаса). «I-KNIFE» может полностью заменить интраоперационное гистологическое исследование и минимизировать пребывание пациента под общим наркозом. Также облегчается задача выполнения радикальной и экономной резекции органа.

Также ученые установили, что их разработка значительно снижает риск того, что в организме останутся раковые клетки, которые могут привести к повторному проявлению болезни и ее прогрессированию.

Ближайшей задачей ученых является выяснение отдаленных результатов «I-KNIFE» - резекций: оценка риска рецидивов и продолжительности жизни пациентов.

Необходимо также провести испытания для ситуаций, когда раковая опухоль располагается на границе нескольких тканей и выявление здоровых клеток от больных усложняется.

Таким образом, «I-KNIFE» - это важнейшее открытие в современной медицине, позволяющее более быстро, а главное более эффективно и качественно проводить операции по удалению раковых опухолей.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗНЫХ СИСТЕМ**

Прежде всего, сравним радиохирургические системы «CYBER KNIFE» с «GAMMA KNIFE*»*. «CYBER KNIFE» (1994) -  [линейный ускоритель](http://cyberclinika.com/metodi-lecheniya/linejnyj-uskoritel-kiev.html) на роботизированной руке (имеющей 6 степеней свободы) с энергией фотонов 6 MV. «GAMMA KNIFE» (1968) - 201 источник радиоактивного 60Со, стационарно расположенных в полусфере аппарата, со средней энергией фотонов 1,25 MV. Большая энергия фотонов имеет меньшую полутень в профилях пучка излучения, соответственно, меньше облучаются здоровые органы и ткани вокруг опухоли.

При лечении на «CYBER KNIFE» с увеличением энергии максимум ионизации смещается в глубину (15мм для 6 MV и всего 5мм для 1,25 MV), что позволяет снизить лучевую нагрузку на коже.

Различие между установками состоит в производстве облучения. «GAMMA KNIFE» делает это путем распада кобальта, а «CYBER KNIFE» посредством рентгеновского излучения. У «GAMMA KNIFE» несколько источников излучения, у «CYBER KNIFE» - один сверхточный линейный ускоритель. Мегавольтное рентгеновское излучение «CYBER KNIFE» в 4 раза мощнее, чем энергия от кобальта, используемая в «GAMMA KNIFE».

«GAMMA KNIFE» предназначен для неинвазивной хирургии мозга, тогда как «CYBER KNIFE» может лечить рак, удалять опухоли и метастазы по всему телу и в тех частях тела, которые движутся вместе с дыханием пациента, благодаря точным системам слежения за изображением опухолей.

«GAMMA KNIFE» - система, основанная на рамке с источниками излучения. «CYBER KNIFE» - гибкая, бескаркасная система.  [Устройство и технологии «CYBER KNIFE»](http://cliniccyberknife.ru/kiber-nozh-pribor-apparat-sistema-radiohirurgii-printsyp-kak-rabotaet-cyberknife.html) позволяют ему проводить лечение в несколько сессий (1-7), в зависимости от размера опухоли и ее близости к критическим органам, таким как зрительные нервы, хиазма, ствол мозга, спинной мозг, желудок, кишечник, двенадцатиперстная кишка, мочевой пузырь. Это позволяет лечащим врачам-онкологам и медицинским физикам подобрать наиболее безопасный и эффективный курс лечения.

[«CYBER KNIFE»](http://cliniccyberknife.ru/) не требует установки на голову ввинчивающейся в череп рамки для иммобилизации, использует комфортную термопластическую маску, чем помогает избежать головной боли, тошноты и риска инфицирования, который иногда случается из-за стереотаксической рамки «GAMMA KNIFE». Лечение происходит без анестезии.

При лечении на «GAMMA KNIFE» пациент должен находиться в жесткой стереотаксической рамке от 4 до 7 часов при периодичной местной анестезии.

В систему «CYBER KNIFE» входят две рентгеновские трубки и два цифровых детектора, которые позволяют отслеживать положение пациента в реальном времени на протяжении всего сеанса лечения, а так же автоматически делать коррекцию в доставке дозы. В «GAMMA KNIFE» не предусмотрено такое отслеживание.

Малые размеры коллиматоров «GAMMA KNIFE» могут сберегать критические ткани организма от воздействия радиации, но исключают возможность лечения метастаз и опухолевых поражений с размерами больше 3 см. Вследствие неоднократного облучения, «CYBER KNIFE» может лечить опухоли значительно большего объема и размера.

Погрешность направленного фотонного пучка у «GAMMA KNIFE» не превышает 0,3 мм, в то время как у «CYBER KNIFE» она не превышает 1 мм. При невриноме слухового нерва предпочтительнее «GAMMA KNIFE». При операциях на спинном мозге и позвоночнике - «CYBER KNIFE».

«GAMMA KNIFE» использует радиоактивный изотоп 60Со. Период полураспада кобальта 5,5 лет, поэтому каждые 5,5 лет необходимо изымать из аппарата старые 201 источник и заряжать новые. Для того чтобы отработанные кобальтовые «таблетки» перестали быть опасными, необходимо минимум 5 периодов полураспада (27,5 лет).

**Таблица сравнения разных радиохирургических систем:**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **CYBER KNIFE** | **GAMMA KNIFE** | Другие **LINAC** системы (**SYNERGY**, **NOVALIS**, **TRILOGY**) |
| Предназначение для радиохирургии | да | да | нет |
| Анатомические области поддаются лечению с радиохирургической точностью | по всему телу | мозг/основание черепа (минус крайние бока) | переменно |
| Дозиметрический метод IMRT (интенсивно модулированной лучевой терапии) | да | нет | да |
| IGRT – лучевая терапия с системой визуализации | да | нет | да |
| Делает «традиционную» радиотерапию или IMRT | нет | нет | да |
| Жесткая фиксация головы или рамка для тела, необходимые для радиохирургической точности | нет | да | да |
| Способны согласованно и однородно лечить цели несферического объема > 3.5 см | да | нет | да |
| Способны фракционированной радиохирургией сохранять критически прилегающие ткани | да | нет | да |
| Отслеживание вынужденных движений пациента с радиохирургической точностью (<1 мм) | да | не доступно | меняется в зависимости от метода и производителя |
| Отслеживание движений позвоночника с радиохирургической точностью (<1 мм) | да | не доступно | нет |
| Отслеживание объема движения органов с радиохирургической точностью (<1 мм) | да | не доступно | нет |
| Отслеживание движений дыхательных органов с радиохирургической точностью (<1.5 мм) | да | не доступно | нет |
| Способность в реальном времени с субмилиметровой точностью перемещать и чередовать лучи, адаптируя их к движущейся цели | да | не доступно | нет |

«TRUE BEAM» [и «TRILOGY»](http://radiotherapy.emcmos.ru/equipment) - линейные ускорители последнего поколения, являющиеся наиболее универсальными системами для проведения лучевой терапии на сегодняшний день. Данные аппараты позволяют проводить как радиохирургическое лечение, так и лучевую терапию онкологических заболеваний.

Преимущество линейных ускорителей «TRUE BEAM» [и «TRILOGY»](http://radiotherapy.emcmos.ru/equipment)  перед «GAMMA KNIFE» и «CYBER KNIFE» при проведении радиохирургии обусловлено возможностью облучения опухолей большего размера.

В отличие от «GAMMA KNIFE», использующегося только при радиохирургии опухолей головного мозга, системы «TRUE BEAM» [и «TRILOGY»](http://radiotherapy.emcmos.ru/equipment)  позволяют проводить высокоточную лучевую терапию опухолей любых локализаций с точностью облучения до долей миллиметра.

«TRUE BEAM» [и «TRILOGY»](http://radiotherapy.emcmos.ru/equipment)  являются моделями последнего поколения, в которых заложены самые современные функции, такие как Respiratory Gating - функция мониторинга дыхания, отсутствующие на «GAMMA KNIFE» и «CYBER KNIFE».

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **«TRUE BEAM»** | **«TRILOGY»** | **«GAMMA KNIFE»** | **«CYBER KNIFE»** |
| функция непрерывного отслеживания дыхания | да | да | не всегда | да |
| лечение опухолей разного размера | да | да | нет | нет |
| радио  терапевтические и радио  хирургические вмешательства | да | да | нет | нет |
| основные направления лечения (локализации) | опухоли любой локализации | опухоли любой   локализации | головной мозг | головной мозг,  позвоночник, тело |
| разнообразные методы лечения для снижения повреждений окружающих тканей | да | да | нет | да |

Таким образом, «TRUE BEAM» [и «TRILOGY»](http://radiotherapy.emcmos.ru/equipment)  являются современными установками для радиохирургического лечения и лучевой терапии злокачественных новообразований. Эти установки могут применяться для лечения всех видов рака, включая сложные случаи рака легких, молочной железы, предстательной железы, головного мозга, прямой кишки, опухолей головы, шеи и другой локализации, в том числе у детей.

Возможность проведения лучевой терапии за один сеанс (радиохирургии) позволяет помогать пациентам даже в случаях, ранее считавшихся безнадежными. В применении этой технологии ограничений почти нет. Удаление опухоли производится за один сеанс. Госпитализация в стационар не требуется, при этом виде лечения практически не бывает лучевых осложнений.

Большой интерес также представляет **статистика ис­пользования аппаратов лучевой терапии в разных странах мира:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Страна | Население  ×106 (2007) | Количество центров | Линейные ускорители | Gamma-аппараты |
| США | 301,62 | 2400 | >4400 | <100 |
| Япония | 127,77 | 800 | >900 | 60 |
| Германия | 82,31 | 220 | >410 | 34 |
| Франция | 61,7 | 180 | >380 | 20 |
| Великобритания | 60,8 | 160 | >300 | 23 |
| Голландия | 16,4 | 21 | >88 | 0 |
| Бельгия | 10,58 | 25 | 50 | 11 |
| Чехия | 10,29 | 28 | 35 | 16 |
| Швеция | 9,18 | 18 | 71 | 0 |
| Швейцария | 7,51 | 26 | 34 | 14 |
| Израиль | 7,12 | 9 | 25 | 5 |
| Дания | 5,46 | 6 | 50 | 1 |
| Финляндия | 5,3 | 10 | 35 | 0 |
| Норвегия | 4,74 | 9 | 35 | 1 |
| Китай | 1321,92 | 1031 | 1000 | 510 |
| Индия | 1131,04 | 187 | 232 | 237 |
| Бразилия | 183,99 | 266 | 200 | 77 |
| Россия | 142,07 | 140 | 100 | 250 |
| Египет | 74,03 | 32 | 31 | 20 |
| Колумбия | 43,93 | 41 | 25 | 25 |
| Аргентина | 39,36 | 63 | 80 | 37 |
| Греция | 11,17 | 28 | 33 | 12 |
| Польша | 39,2 | 32 | 112 | 3 |
| Венгрия | 10,06 |  | 35 | 16 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Медицина - самая стремительно развивающаяся область знаний. За последние десятилетия новые технологии и научные открытия изменили представление об организме и его болезнях, а вместе с ними и подход к лечению человека в целом.

Совсем недавно проведение сложных хирургических операций с помощью роботов можно было встретить только в научно-фантастических фильмах. Сегодня умные машины спасают жизни и стоят на страже здоровья человечества.

Роботохирургия стала долгожданным прорывом в хирургическом лечении, который значительно расширяет возможности врачей. Роботы никогда не устают и могут безошибочно работать 24часа в сутки. Умная машина способна нивелировать дрожание рук хирурга, блокировать ошибочные команды и указывать руководителю на появившиеся проблемы. Каждая из «рук» роботизированной системы выполняет намного больше движений, чем хирург.

«Руки» робота-хирурга могут достичь пораженных участков органа там, куда невозможно добраться при проведении традиционной операции. С помощью робота операция совершается намного точнее и сохраняет неповрежденными тончайшие сплетения нервов и кровеносных сосудов. Роботизированная хирургия успешно применяется при лечении рака.

Точность использования микроинструментов, а также уменьшение влияния человеческого фактора в процессе оперативного вмешательства – основные достоинства роботизированной хирургии.

Также преимуществами роботизированной хирургии являются:

- *наименьший риск осложнений*, свойственных классической хирургии;

- сравнительно *короткий послеоперационный период* и стремительное выздоровление;

- *понижение необходимости в переливании крови*;

- *уменьшение риска попадания инфекции* в раны;

- после операции *минимальная болезненность*;

- *отсутствие* послеоперационных *больших шрамов*;

- 3-D изображение, передаваемое на дисплей, повышает *возможность хирурга контролировать глубину проникновения в ткани*;

- роботизированные «руки» обеспечивают *безграничную свободу движений* в любых направлениях, а также лучшую точность;

- *дистанционное управление* роботом позволяет оказать пациенту скорую помощь, когда хирург находится на расстоянии.

В будущем новые возможности манипуляторов и визуального контроля позволят довести до совершенства оперативные вмешательства на бьющемся сердце. «Руки» робота смогут двигаться в такт сокращениям, постоянно оставаясь на одинаковом расстоянии от зоны оперативного вмешательства и как бы нивелируя колебания стенки сердца. При этом операционное поле, которое хирург видит на экране, будет оставаться неподвижным.

Сегодня онкология - раздел медицины, занимающийся диагностикой и лечением опухолей, претерпел значительные изменения в связи с научно-техническим прогрессом. С улучшением неивназивных методов визуализации опухолей с компьютерной обработкой изображения, появились новые методы применения радиации для лечения рака. Среди них такие, как «CYBER KNIFE», «GAMMA KNIFE» и некоторые другие.

Отличительной особенностью этих методов лечения является то, что они - неинвазивные, как и лучевая терапия, но оказывают максимально точный «хирургический» эффект на опухоли. В настоящее время «CYBER KNIFE» стал альтернативой хирургическим вмешательствам, когда опухоль находится в труднодоступной области. Важными преимуществами «CYBER KNIFE» является то, что он абсолютно не травматичен, для него не характерны побочные эффекты, которые встречаются особенно при химиотерапии или осложнения после операции. Кроме того, после «CYBER KNIFE» не остаются шрамы или рубцы.

Медицинские линейные ускорители электронов в настоя­щее время стали основным типом аппаратов, применяемых в лучевой терапии злокачественных заболеваний. Они стре­мительно вытесняют из парка оборудования для облучения онкологических пациентов GAMMA-терапевтические аппара­ты с источниками кобальта-60.

Медицинские ускорители электронов используются в лу­чевой терапии достаточно длительное время. Однако высокая мощность поглощен­ной дозы, гибкость механических характеристик, меньшие вес и габариты постепенно выявили существенные преиму­щества линейных ускорителей перед другими их типами.

Появление нового радиологического оборудования позволило внедрить сложные методики об­лучения пациентов, существенно улучшить терапевтический интервал поглощенных доз на мишень и окружающие здоровые ткани. Лучевая терапия XXI в. характеризуется стремительным развитием клинических технологий и созданием нового сложного оборудования для проведения облучения. Основ­ное внимание обращается на создание, как универ­сальных, так и специализированных, линейных ускорите­лей.

В конце ХХ в. линейные ускорители электронов вытеснили другие типы ускорителей, став основными аппаратами дистанционной лучевой терапии во всех развитых странах. Он раз­гоняет и выводит пучки электронов из ускоряющего волно­вода на мишень, в результате чего генерируется тормозное рентгеновское излучение. При убранной мишени из уско­рителя выводятся электроны. Помимо точной фокусировки поглощенной дозы в опухоли, прецизионного механическо­го вращения излучателя и механиче­ского коллимирующего устройства, а также других мер для защиты здоровых тканей применяют многопластинчатую диафрагму, ограничивающую форму поля облучения, а также системы контроля качества и количества излучения во время сеанса. Другое характерное отличие линейных ускорителей от ап­паратов GAMMA-терапии - их универсальность. С использованием линейных ускорителей можно про­водить сеансы как конформной лучевой терапии, так и лу­чевой терапии с модулированной интенсивностью излуче­ния, в том числе ротационной лучевой терапии, лучевой терапии с визуальным контролем, стереотаксической ради­отерапии и радиохирургии различных органов и систем. Современный прецизионный медицинский линейный уско­ритель электронов отличается от аппарата для GAMMA-тера­пии. Различия заключаются в технической реализации устройств, степени соответ­ствия клиническим требованиям лучевой терапии, техно­логичности и точности проводимого процесса лечения. В настоящее время обеспечить весь спектр современных высокотехнологичных процедур лучевой терапии может только линейный ускоритель, который является основной лечебной единицей в радиотерапевтическом отделении.

За время истории лучевой терапии злокачественных новообразо­ваний существен­но расширились технические возможности проведения лу­чевой терапии, что позволило повысить эффективность лу­чевого компонента при радикальном, комбинированном и комплексном лечении онкологических пациентов и повы­сить качество их жизни.

Внедрение высокотехнологичных методов лучевой те­рапии в клиническую практику является закономерным проявлением прогресса в техническом и клиническом про­цессе лечения пациентов с онкологическими заболевания­ми. Накопленный в мире опыт позволил улучшить результаты лечения пациентов, ка­чество их жизни и увеличить ее продолжительность после проведения лучевой терапии.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:**

1. Как роботы-хирурги лечат рак.

medportal.ru/enc/surgery/

1. Кибер-нож – современный метод радиохирургии опухолей.

[www.rusmedserv.com/cyberknife](http://www.rusmedserv.com/cyberknife)

1. Лечение опухолей головного мозга с применением линейного ускорителя «NOVALIS».

singmedassistant.livejournal.com

1. Нано-нож.

newmed.co.il/onkologiya/nanonozh/

1. Оборудование «TRILOGY».

radio-neuro.com.ru

1. Педаченко Ю.Е. Кибер-нож-радиохирургия в лечении опухолей спинного мозга и позвоночника. – Украинский нейрохирургический журнал, № 2, 2009.
2. Преимущества системы True Beam.

radiotherapy.emcmos.ru/equipment

1. Про лучевую трапию.

www.nsiru/forpatient/treatment/aboutradiotherapy/

1. Робот-ассистированная хирургическая система Да Винчи.

robotdavinci.com

1. Тарутин И.Г., Титович Е.В. «Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии». - Минск, Беларуская наука, 2014. – 175 с.
2. True Beam – передовая технология в лечении рака.

[www.lechenie-raka.pro/truebeam](http://www.lechenie-raka.pro/truebeam)

1. True Beam – новая эпоха лучевого лечения.

anadolu-ural.ru/stati/

1. Умный нож чует запах рака.

www.gazeta.ru/health/2013/07/19

1. Умный хирургический нож за 3 секунды определяет раковую опухоль.

revolverlab.com

1. Хирургические роботы. Роботизированная хирургия.

[www.livemd.ru/tags/hirurgicheskie\_roboty](http://www.livemd.ru/tags/hirurgicheskie_roboty)

1. Хирургический робот Да Винчи.

[www.rusmedserv.com/davinci](http://www.rusmedserv.com/davinci)

1. Хирургический скальпель отличает раковые клетки от здоровых.

iboch.bas-net.by/

1. Что такое Гамма-нож?

[www.lgk-russia.ru](http://www.lgk-russia.ru)

1. Электроскальпель.

medportal.ru/mednovosti/tag/elektroskalpel/

Конец формы