

ПРИМЕНЕНИЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИСТОЧНИКА INTRABEAM PRS-500 В НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

В.Б. Низковолос, А.И. Холявин, А.Ф. Гурчин

Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН, Санкт-Петербург

В институте мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН при комбинированном лечении опухолей головного мозга, с целью интраоперационной лучевой терапии (ИОЛТ), был использован рентгеновский излучатель Intrabeam PRS-500. К настоящему времени пролечены 14 пациентов с внутривентрикулярными новообразованиями разной степени анаплазии. Разовая доза при проведении ИОЛТ рассчитывалась, исходя из радиобиологической модели ВДФ (время, доза, фракционирование), при этом учитывались индивидуальные особенности каждого больного – тип опухоли, ее начальный размер, радикальность ее удаления. На основании полученного опыта разработаны показания к применению излучателя в нейрохирургии, оценены достоинства и недостатки, а также эффективность и безопасность метода.

Ключевые слова: *нейрохирургия, опухоли мозга, интраоперационная лучевая терапия, доза облучения*

Введение

По данным зарубежных авторов, заболеваемость первичными опухолями головного мозга в развитых странах достигает ~15 на 100 тыс. населения и выявляется отчетливая тенденция к увеличению этого числа [1, 2]. В настоящее время лечение таких заболеваний является комбинированным. На первом этапе выполняется хирургическое удаление опухоли, после чего проводится послеоперационная дистанционная лучевая терапия с параллельной химиотерапией. Исключение одного из перечисленных методов приводит к сокращению послеоперационной продолжительности жизни пациентов. Слабым звеном в комбинированном лечении представляется стандартная послеоперационная лучевая терапия. В качестве мишеней облучения принимаются ложа удаленных опухолей, которые в большом диапазоне разнятся по своим конфигурациям и размерам. Применяется, как правило, стандартный режим облучения – отпускается доза 2 Гр в день, пять дней в неделю с суммарной

дозой облучения 60 Гр. Порой особенности локализация опухоли и диффузный характер ее роста обуславливают необходимость подведения значительных доз радиации к функционально значимым мозговым структурам и крупным сосудам, что может привести к возникновению неврологических расстройств и нарушениям мозгового кровообращения.

При применении стандартной постоперационной лучевой терапии практически невозможно достичь равномерного облучения ложа удаленной опухоли из-за сложной пространственной конфигурации объекта облучения. Даже с применением современной техники не удастся провести лучевую терапию с соблюдением основного принципа этого вида лечения нейроонкологических больных, т.е. подведения к мишени облучения терапевтической дозы при минимальных радиационных нагрузках на здоровые ткани. Это, в свою очередь, приводит к нежелательному количеству осложнений.

Задача повышения эффективности послеоперационной лучевой терапии решается по

Таблица 1

Радиоактивные источники, применяемые в нейрохирургии для брахитерапии

Радионуклид	$T_{1/2}$	E_{γ}	Продолжительность эксплуатации источника
^{198}Au	2,7 сут	0,41 МэВ	9 сут
^{60}Co	5,2 года	1,2 МэВ	15 лет
^{192}Ir	74 сут	0,4 МэВ	250 сут
^{182}Ta	115 сут	1,23 МэВ	1 год
^{131}J	8 сут	0,36–0,64 МэВ	25 сут
^{125}J	60 сут	30 кэВ	180 сут
$^{125\text{m}}\text{Te}$	58 сут	30 кэВ	180 сут

двум направлениям – изменением дозного распределения путем концентрации поглощенной дозы в мишени и увеличения краевого градиента дозы, а также изменением временных режимов облучения вплоть до одноразового. Для этой цели в настоящее время довольно широко применяется интраоперационная лучевая терапия (ИОЛТ) – одноразовое облучение ложа удаленной опухоли непосредственно после ее удаления [3]. Анализ литературы показывает, что применение ИОЛТ повышает эффективность комбинированного лечения онкологических заболеваний, уменьшает сроки госпитализации больных [4]. В нейроонкологии задача оптимизации лучевого лечения является актуальной, однако применение дистанционной лучевой терапии (ДЛТ) для проведения ИОЛТ связано с рядом сложнейших задач – транспортировкой больного в зал облучения или обеспечения асептики в операционном зале, формированием дозного распределения сложной конфигурации и т.д. В связи с этим применение дистанционного ИОЛТ в нейроонкологии к настоящему времени используется крайне редко. В то же время в последние годы намечается отчетливая тенденция к модернизации применяемых методов лучевой терапии, особенно в случае лечения глиальных опухолей головного мозга.

Анализ литературы показывает, что при большинстве местно-распространенных, активно пролиферирующих и относительно радио- и химиорезистентных опухолей показана интенсификация лучевой терапии, т.е. проведение достаточно “агрессивного” лечения в короткие сроки. Следует учесть, что у 50–80 % онкологических больных к моменту установления диагноза констатируются III–IV стадии процесса. Именно у них следует ожидать наибольшего эффекта при использовании концепции “максимальная терапия – минимальное время”, которую можно отнести и к лучевому лечению.

Использование ускоренного курса одновременной химиоиммунолучевой терапии при лечении глиальных опухолей позволяет повысить её эффективность. При этом существенно (на недели) сокращается пребывание пациента в стационаре без ухудшения результатов лечения. Особо следует отметить, что интенсификация воздействия у данного контингента пациентов не сопровождается существенным возрастанием числа и степени тяжести токсических реакций и осложнений [5].

В связи с вышесказанным осуществлялись неоднократные попытки использовать для ИОЛТ дистанционное облучение и методы брахитерапии с различными радиоактивными источниками. В табл. 1 приведены радионуклиды, которые применялись в целях внутритканевой радионейрохирургии в стереотаксическом и интраоперационном режимах [6].

Материал и методы

В 90-х годах прошлого столетия в США фирмой Photoelectron Corporation совместно с сотрудниками Гарвардской медицинской школы был разработан прибор PRS-400 – рентгеновский излучатель, предназначенный для внутритканевой лучевой терапии внутримозговых образований [7, 8]. Изначальная идея этого прибора заключалась в его применении для стереотаксической внутритканевой радиохирургии опухолей мозга, с целью замены очень сложной в исполнении радионуклидной брахитерапии. Отсюда и специфическая форма излучателя – вводимая в опухоль часть представляет собой зонд диаметром 3 мм и длиной 10 см – размеры, подобные нейрохирургической канюле.

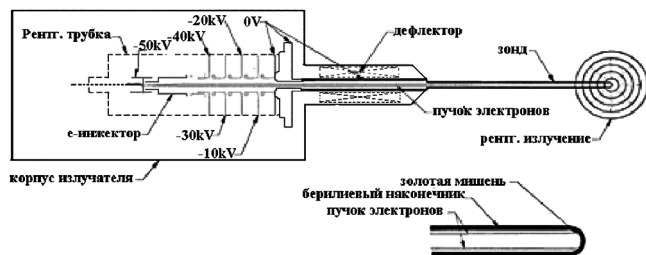


Рис. 1. Схема рентгеновского излучателя PRS-400

Излучатель PRS-400 (рис. 1) представлял собой единый блок, в котором находятся инжектор электронов, высоковольтная ускоряющая система, отклоняющая система и тонкий зонд, который заканчивается бериллиевым наконечником с нанесенным в торце слоем золота. По физической сути, это рентгеновская трубка специальной конструкции. Отклоняющая система вращает пучок электронов перед бомбардировкой золотой мишени, осуществляя таким образом ее охлаждение. Такая конструкция делает этот источник точечным излучателем, генерирующим рентгеновское излучение практически изотропно в 4π геометрии. Блок излучателя сконструирован достаточно легким (1,6 кг) чтобы его можно было размещать на стереотаксической раме аппарата CRW фирмы Radionix.

На начальной стадии этот прибор применялся в центральном госпитале Гарвардского университета для проведения стереотаксических радиохирургических операций при лечении опухолей головного мозга [9, 10]. Было проведено ограниченное количество попыток применения излучателя стереотаксическим способом, после чего пришли к заключению, что более эффективно его можно использовать в качестве излучателя при проведении ИОЛТ. Для этой цели этот прибор был оснащен набором сферических тканеэквивалентных уравнивающих аппликаторов, которые устанавливались на излучатель таким образом, что центр сферы аппликатора совпадал с точкой излучения.

Введение излучателя с таким аппликатором в полость удаленной опухоли обеспечивало одинаковое расстояние от точки излучения до стенок ложа опухоли и их равномерное облучение.

Разработка фирмы Photoelectron Corporation была передана в фирму Zeiss, которая стала выпускать свою промышленную мо-

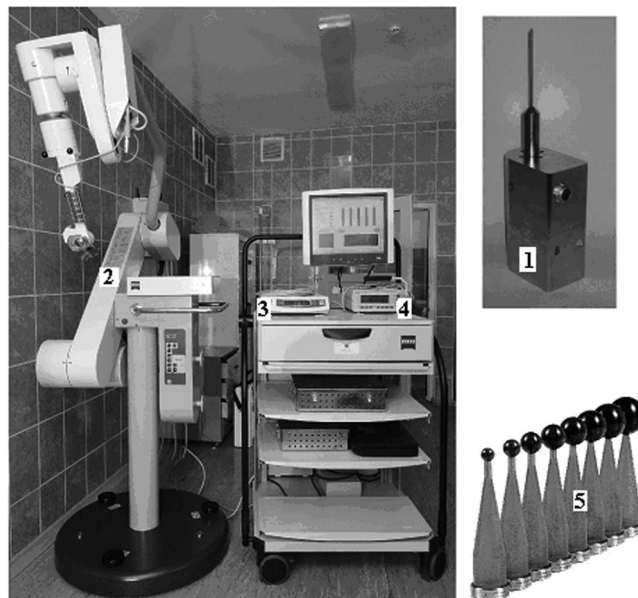


Рис. 2. Интраоперационная рентгеновская установка Intrabeam PRS-500

дификацию этого прибора – Intrabeam PRS-500. Прибор (рис. 2) состоит из излучателя (1), механического манипулятора (2), управляющей консоли (3), дозиметра (4) и набора аппликаторов (5).

Излучатель Intrabeam PRS-500 генерирует рентгеновское излучение в диапазоне энергий 15–50 кэВ при силе тока до 50 мкА, что обеспечивает мощность дозы облучения до 120 Гр/ч на расстоянии 10 мм от источника. Зонд облучателя представляет собой трубку диаметром 3 мм и длиной 10 см, в которой создан глубокий вакуум и которая заканчивается золотой мишенью, расположенной в бериллиевом наконечнике. Такая геометрия излучателя обеспечивает практически изотропное характеристическое излучение при бомбардировке ускоренными электронами золотой мишени. Источник может крепиться на стереотаксической раме CRW фирмы Radionix или манипуляторе (рис. 3).

Излучатель снабжен набором уравнивающих аппликаторов сферической формы с размерами 15–50 мм. Такая конструкция прибора позволяет использовать его без аппликаторов для стереотаксического облучения внутримозговых новообразований, и с аппликатором – для интраоперационного облучения ложа опухоли после ее удаления. Уравнивающие аппликаторы, введенные в ложе опухоли, обес-

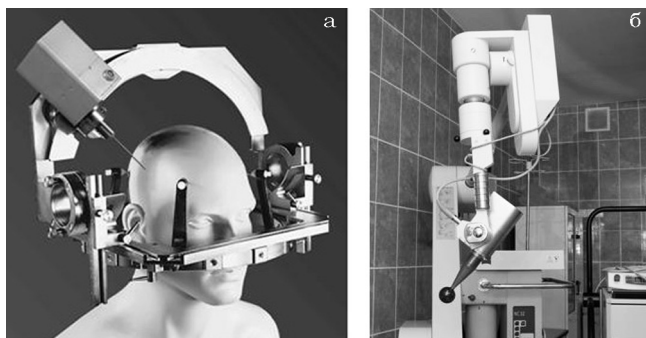


Рис. 3. Излучатель Intrabeam – PRS-500 на стереотаксической раме CRW (а), на манипуляторе (б)

печивают одинаковое расстояние от тканей мозга до излучателя, и в результате равномерную радиационную нагрузку на них.

В тканеэквивалентной среде, в связи с изотропным излучением и интенсивным поглощением рентгеновского излучения, доза с удалением от излучателя падает пропорционально $1/r^2$, создавая высокий краевой градиент дозного распределения. Эта особенность позволила применять этот излучатель как внутритканевой, избегая при этом переоблучения прилежащих здоровых тканей. Терапевтическая доза на ложе удаленной опухоли 15–20 Гр на расстоянии 5 мм от поверхности аппликатора может быть выдана за время около 30 мин. Установка получила широкое распространение, однако не в той области хирургии, для которой была изначально предназначена. Наиболее широко она применяется теперь в качестве источника для ИОЛТ при хирургическом лечении рака молочной железы. В нейрохирургии к настоящему времени использование Intrabeam PRS-500 не получило широкого распространения.

В Институте мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН установка Intrabeam PRS-500 используется с конца 2009 г. для проведения нейрохирургической ИОЛТ. В связи с ограниченным мировым опытом использования этого излучателя в нейрохирургии мы выбирали уровни доз и режимы облучения в сопоставлении с известными, широко применяемыми в нейрохирургии излучателями. Для сравнения мы взяли широко используемые и хорошо зарекомендовавшие себя в нейрохирургии дозные распределения от установок GammaKnife. Эта установка не используется для ИОЛТ, однако она может быть применена только в том же режиме, как установка Intrabeam PRS-500, т.е.

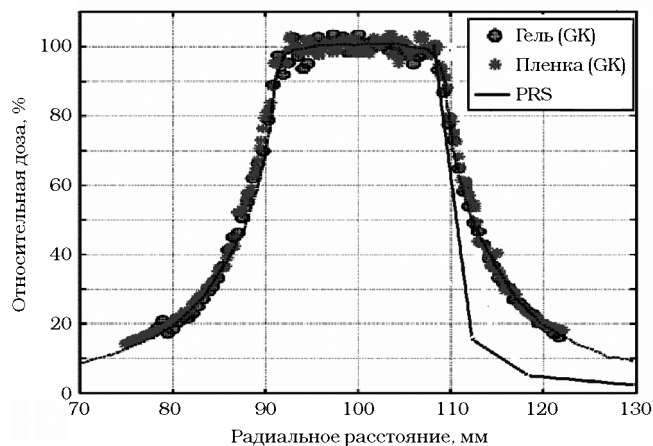


Рис. 4. Радиальные дозные распределения от установки GammaKnife и установки Intrabeam PRS-500 (сплошная линия)

в режиме разового облучения с разовой терапевтической дозой.

Такой режим был назван шведским нейрохирургом Лекселом [11] дистанционной радионейрохирургией – режим, при котором опухоль облучается высоко селективно, с минимальными нагрузками на здоровую ткань и поэтому терапевтическая доза радиации подводится одновременно, достигая эффекта, сравнимого с хирургическим.

На рис. 4 и в табл. 2 приведены в сравнении дозные распределения от источников Intrabeam PRS-500 и GammaKnife. Сравниваются радиальные дозные распределения от GammaKnife при облучении мишени диаметром 20 мм с дозным распределением от PRS-500 с аппликатором $\varnothing 20$ мм. Из приведенных данных видно, что краевой градиент и удаленные дозовые нагрузки у дозных полей от Intrabeam PRS-500 предпочтительней, чем у GammaKnife. На основании этого сравнения было сделано заключение о том, что уровень терапевтических доз при ИОЛТ с помощью Intrabeam PRS-500 должен быть практически такой же, как при радиохимирургии с помощью Gamma-Knife.

Режим ИОЛТ с дальнейшей фракционированной ДЛТ рассчитывался исходя из радиобиологической модели ВДФ (время – доза – фракционирование) [3]. В случае использования для ИОЛТ совместно с (ДЛТ) предполагалось, что ДЛТ будет проводиться в промежутках времени $7 \leq \Delta T \leq 40$ сут. Тогда:

$$\text{ВДФ}_c = \text{ВДФ}_{\text{иолт}} \times k(\Delta T) + \text{ВДФ}_{\text{длт}}. \quad (1)$$

Таблица 2

Дозовые нагрузки от установок Intrabeam – PRS 500 и GammaKnife

Расстояние от края мишени облучения	Доза Intrabeam PRS-500, Гр	Доза GammaKnife, Гр
0 мм	15	15
10 мм	1,0	3,0
6 см	0,009	1,5
5 м	250 мР/ч	

Здесь $ВДФ_{\text{иолт}} = 1,2 D_i^{1.538}$; ΔT – промежуток времени между ИОЛТ и ДЛТ; $ВДФ_{\text{длт}}$ – суммарная доза фракционированного облучения; $k(\Delta T) = \exp^{(-0,008 \times \Delta T)}$.

С учетом высокого пространственного градиента поглощенной дозы от излучателя Intrabeam PRS-500 ($Dr = 1/r^3$) и исходя из радиобиологической модели ВДФ было принято решение о применении разовой дозы ИОЛТ без дальнейшего применения фракционированной лучевой терапии. Тогда в выражении ВДФ:

$$ВДФ = 1,2 \times N \times d^{1.538} \times X^{-0.169}, \quad (2)$$

где N – количество сеансов терапии; X – время суток между сеансами терапии; D – доза за один сеанс терапии, Гр.

В случае неприменения дополнительного фракционированного облучения $N=1$ и $X=1$, тогда выражение (2) приходит к виду:

$$ВДФ = d^{1.538}. \quad (3)$$

Исходя из формул (2) и (3), можно установить уровень разовой дозы ИОЛТ от рентгеновского источника Intrabeam PRS-500, эквивалентной суммарной дозе стандартного курса лучевой терапии (однократная доза 2 Гр, 5 раз в неделю с суммарной дозой $D_c=60$ Гр).

$$D_c = 0,7d^{1.538}, \text{ откуда } d = 18 \text{ Гр.}$$

В связи с тем, что излучение от точечного рентгеновского источника распространяется в геометрии 4π и что в результате высокой поглощающей способности низкоэнергетического рентгеновского излучения оно поглощается по закону $d \sim 1/r^3$, важным становится вопрос о расстоянии от стенки аппликатора, на которое следует нормировать дозу ИОЛТ. Эта функция предусмотрена в программном обеспечении установки – дозу можно задавать на любом расстоянии от излучателя. В небольшом количестве литературных данных единообразия в этом вопросе нет. Некоторые авторы нормируют дозу на расстояние от стенки аппликатора в 2 мм, некоторые – на расстояние 5 мм [12,

13]. При разовом облучении эту нормировку следует применять дифференцировано, с учетом множества индивидуальных факторов: вида опухоли – ее радиочувствительности, злокачественности, диффузности или концентрированности распространения, потенциальной скорости роста, степени резекции опухолевого объема (тотально, субтотально, парциально) и удаленности от жизненно-важных структур мозга. Мы в большинстве случаев нормировали разовую дозу на расстояние 5 мм. В этом случае при аппликаторе $d=3$ см и запланированной дозе в 15 Гр на расстоянии 5 мм, доза 18 Гр приходилась на расстояние от стенки аппликатора $\sim 3,8$ мм. От этого расстояния и до стенки аппликатора доза радиации превышала рассчитанный уровень.

Результаты и обсуждение

В Институте мозга человека с применением установки Intrabeam PRS-500 были пролечены 14 пациентов [14]. В табл. 3 приведены результаты лечения больных.

В конце 2009 г. впервые в России был применен Intrabeam PRS-500 у мужчины 51 года с диагностированным в правой височной доле головного мозга новообразованием с линейными размерами 34 мм. По предварительным данным ПЭТ с ^{11}C -метионином, диагностирована опухоль мозга с высокой степенью злокачественности (глиобластома) (рис. 5).

В процессе хирургической операции опухоль была тотально удалена. По размеру ложа удаленной опухоли был выбран уравнивающий аппликатор диаметром 3 см. С помощью планирующей системы был задан режим облучения – напряжение на трубке 50 кВ, отпускаемая доза 17 Гр на расстоянии 5 мм от стенки аппликатора, продолжительность облучения 31 мин (рис. 6).

С помощью манипулятора излучатель с аппликатором был введен в ложе удаленной

Таблица 3

**Применение установки Intrabeam PRS-500 для ИОЛТ
в комбинированном лечении больных с опухолями мозга**

№	Дата операции	Доза, Гр на 5 мм	Продолжительность облучения	Радикальность	Гистология
1	19.11.09	7,6	0:19:47	Тотально	Метастаз рака легких
2	04.03.10	13	0:33:41	Парциально	Глиобластома GrIV
3	14.04.10	10,7	0:20:58	Субтотально	Кистозная менингиома
4	04.05.10	13	0:36:34	Тотально	Глиобластома GrIV
5	01.06.11	15	0:40:24	Субтотально	Анапластическая астроцитомы GrIII
6	24.05.11	20	0:42:30	Парциально	Глиобластома GrIV
7	23.06.11	20	0:40:44	Субтотально	Анапластическая астроцитомы GrIII
8	01.12.11	15	1:08:27	Субтотально	Глиобластома GrIV
9	24.01.12	17	0:34:44	Тотально	Анапластическая астроцитомы GrIII
10	04.02.12	15	0:31:53	Тотально	Анапластическая астроцитомы GrIII
11	07.02.12	17	0:45:57	Субтотально	Глиобластома GrIV
12	23.01.14	14	0:28:37	Субтотально	Анапластическая астроцитомы GrIII
13	27.02.14	12	0:34:16	Парциально	Нейробластома
14	22.04.14	17	0:44:22	Тотально	Анапластическая астроцитомы GrIII

опухоли и проведено облучение. Лечение пациент перенес хорошо, никаких клинических проявлений облучения в ближайший послеоперационный период не отмечено. В соответствии с выбранным протоколом дополнительное внешнее облучение не проводилось. Через 10 дней после операции пациент выписан и назначено дальнейшее медикаментозное лечение.

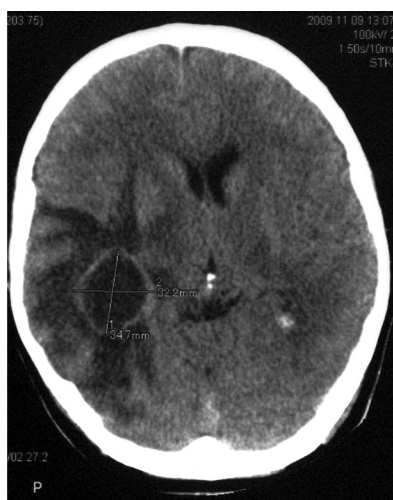


Рис. 5. КТ диагностированная опухоль мозга

Первые сведения о лечении опухолей мозга с помощью интраоперационного рентгеновского излучателя появились во второй половине 90-х годов прошлого столетия. Пока слишком мало случаев применения Intrabeam PRS-500 при лечении опухолей мозга в качестве ИОЛТ для того, чтобы дать статистическую оценку эффективности применения этого метода, однако даже при одинаковых результатах у данного метода интраоперационного облучения есть очевидные преимущества по сравнению с общепринятой методикой фракционированной лучевой терапии.

На основании полученного опыта нами были сформулированы показания к применению установки Intrabeam PRS-500 для интра-

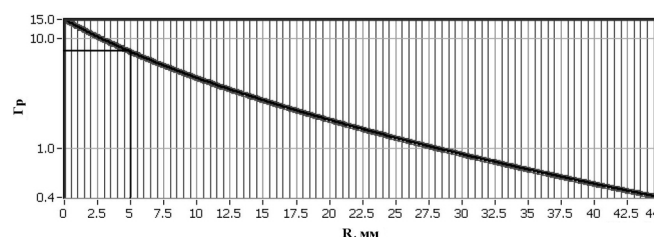


Рис. 6. Планирование облучения ложа удаленной опухоли по кривой дозного поглощения

операционной лучевой терапии в нейрохирургии опухолей мозга:

1. Новообразование должно представлять собой единый узел без диффузного распространения.
2. Линейные размеры новообразования до 5 см.
3. Интраоперационному облучению должны подвергаться радиочувствительные опухоли – все опухоли глиального ряда, менингиомы и вторичные опухоли (метастазы), независимо от вида и локализации первичной опухоли.
4. Ложе опухоли, удаленной повторно в результате продолженного роста, следует облучать с учетом анамнеза проведенного ранее лучевого лечения.
5. Вопрос о необходимости дистанционного постоперационного облучения после применения Intrabeam PRS-500 (доза и режим облучения) должен решаться индивидуально в каждом конкретном случае.

Эксплуатация установки Intrabeam PRS-500 позволила выявить ее достоинства и недостатки.

Достоинства:

- ✓ Возможность проведения основной программы комбинированного лечения в ходе одной хирургической процедуры.
- ✓ Возможность применения в условиях нейрохирургической операционной.
- ✓ Ускоренное начало химиолучевой терапии.
- ✓ Сокращение продолжительности стационарного лечения до 1,5 мес по сравнению с традиционными схемами послеоперационного облучения.
- ✓ Источник обладает малыми весом и размерами, легко крепится на стереотаксической раме и манипуляторе.
- ✓ Локальное дозное распределение снижает вероятность радиационных повреждений расположенных рядом здоровых тканей.
- ✓ Возможность использования установки для внутритканевой стереотаксической радиационной терапии.
- ✓ Значительное снижение затрат на лечение.
- ✓ Низкие радиационные нагрузки на пациента и персонал.
- ✓ Улучшение качества жизни пациента.

Недостатки:

- ✓ Использование связано с необходимостью хирургической интервенции и сопряженными с ней рисками.

- ✓ Увеличение продолжительности операции в пределах 20–70 мин.
- ✓ При использовании излучателя только для ИОЛТ с аппликаторами зонд можно было сделать большего диаметра (~5 мм), что снизило бы вероятность его деформаций в ходе эксплуатации.

Перечисленные недостатки не снижают основных достоинств применения Intrabeam PRS-500 в целях ИОЛТ нейрохирургических больных. Можно с полным основанием предположить, что с применением ИОЛТ снизится вероятность лучевых повреждений и соответственно повысится эффективность комбинированного лечения нейрохирургических больных.

Список литературы

1. CBTRUS. Statistical report: Primary Brain Tumors in the United States. 1998. 2002. 2005. P. 202–224.
2. Кондакова Е.Н., Берснев В.П., Симонова И.А. Нейрохирургическая служба Санкт-Петербурга и некоторые показатели работы // Поленовские чтения. Материалы юбилейной всероссийской научно-практической конференции. – СПб. 2007. С. 19.
3. Лисин В.А. Оценка предельно допустимой однократной дозы при интраоперационной лучевой терапии // Мед. физика. 2006. № 4. С. 18–23.
4. Интраоперационная электронная и дистанционная гамма-терапия злокачественных новообразований. Под ред. Чойнзонова Е.Л., Мусабаевой Л.И. // Успехи современного естествознания. 2010. № 2. С. 51–52.
5. Виноградов В.М., Карташов А.В. Химиолучевая терапия опухолей головного мозга // Практическая онкология. Т. 9. № 1. С. 47–57.
6. Flickinger J.C., Levine G., Maitz A., Lunsford L.D. Radioisotopes and radiophysics of brachytherapy // Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery. Ed. P.L. Gildenberg, R.R. Tasker. 1999. P. 564–568.
7. Douglas R.M., Beatty J, Gall K. et. al. Dosimetric results from a feasibility study of a novel radiosurgical source for irradiation of intracranial metastases // Int. J. Rad. Oncol. Biol. Phys. 1996. Vol. 36. P. 443–450.
8. Cosgrove G.R., Hochberg F.H., Zervas N.T. et. al. Interstitial irradiation of brain tumors us-

- ing a miniature radiosurgery device: Initial experience // *Neurosurgery*. 1997. Vol. 40. P. 518–525.
9. Cosgrove G.R., Zervas N.T. Interstitial radiosurgery // *Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery*. Ed. P.L. Gildenberg, R.R. Tasker. 1999. P. 619–630.
10. Colombo F., Francescon P., Cavedon C. et. al. Employ of a new device for intra-operative radiotherapy of intercranial tumours // *Acta Neurochir. Wien*. 2001. Vol. 143. P. 827–831.
11. Leksell L. The stereotaxic method and radiosurgery of the brain // *Acta Chir. Scan*. 1951. Vol. 102. P. 316–319.
12. Kalapurakal J.A., Goldmann S., Stellpflug W., et. al. Phase I study of intraoperative radiotherapy with photon radiosurgery system in children with recurrent brain tumours: preliminary report of first dose level (10 Gy) // *Int. J. Rad. Oncol. Biol. Phys.* 2006. Vol. 65. P. 800–808.
13. Gallina P., Francescon P., Cavedon C. et.al. Stereotactic interstitial radiosurgery and intraoperative radiotherapy with a miniature X-ray device in the treatment of selected brain tumors // In: *Radiosurgery*. Kondziolka D (Ed.) Basel. Karger. 2002. Vol. 4. P. 167–168.
14. Низковолос В.Б., Холявин А.И., Гурчин А.Ф. и соавт. Преимущества внутритканевого рентгеновского облучения при хирургическом лечении опухолей мозга // V международный конгресс “Невский радиологический форум”. С.-Петербург. 2011. С. 165–166.

THE USE OF INTRAOPERATIVE X-RAY SOURCE: INTRABEAM PRS-500 IN NEUROSURGICAL PRACTICE

V.B. Nizkovolos, A.I. Kholiyavin, A.F. Gurchin
Institute of Human Brain of RAS, St. Petersburg, Russia

At the Institute of Human Brain of RAS in the combined treatment of brain tumors for intraoperative radiation therapy (IORT) for the first time in Russia used the x-ray radiator: Intrabeam PRS-500. To date by installing treated 14 patients with intracranial tumors of different degrees of anaplasia. Single dose when performing IORT is calculated based on the radiobiological model of TDF (time, dose, fractionation), this takes into account the individual characteristics of each patient, type of tumor, its initial size, the removal efficacy. Developed indications for use of this device in neurosurgery, noted its strengths and weaknesses, evaluated the effectiveness and safety of the method.

Key words: *neurosurgery, brain tumors, intraoperative radiation therapy, radiation doses*

E-mail: Nizk@ihb.spb.ru