

Дозовые нагрузки на персонал при проведении эндоурологических вмешательств

М.И. Зеликман¹, С.А. Нарышкин², О.В. Теодорович³

¹ НПЦ медицинской радиологии ДЗ, Москва

² НУЗ ЦКБ № 1 ОАО «РЖД»

³ РМАПО Росздрава РФ

Цель исследования. Последние 10 лет российское здравоохранение, отставая примерно на такой же срок от США, Японии и стран Европы, переживает бум внедрения малоинвазивных операционных вмешательств, выполняемых под контролем тех или иных методов медицинской визуализации. Одну из ниш в рентгенохирургии занимают эндоурологические операции. На фоне многочисленных положительных сторон современных малоинвазивных эндоурологических методик, позволяющих оперировать как через естественные мочевые пути, так и через перкутанные пункционные доступы, имеется один существенный недостаток – необходимость применения ионизирующего излучения для осуществления интраоперационного контроля (рентгеноскопии). С учетом того, что эндоурологические операции имеют ряд особенностей (взаиморасположение “излучатель – пациент – операционная бригада”, длительное время рентгеноскопии при выполнении сложных оперативных вмешательств и периодически возникающая необходимость работать в прямом пучке), вопрос об уровне лучевых нагрузок на персонал является актуальным. Это обстоятельство и определило основную цель данной работы.



Рис. 1. ТЛД и контейнер для их ношения.

Материал и методы

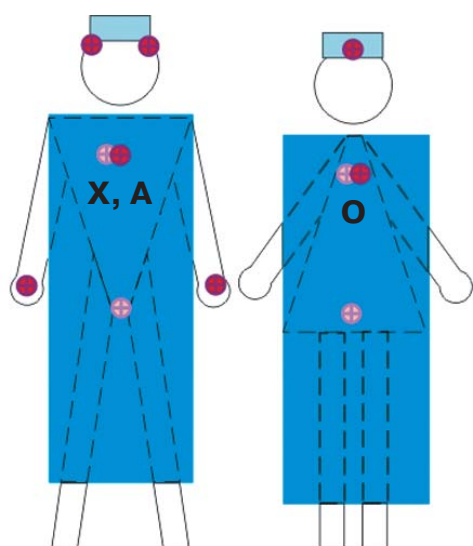
Первый этап исследования, результаты которого представлены в публикации, проводился на протяжении 6 мес (март–сентябрь 2006 г.). Работа выполнялась в условиях рентгеноэндоскопической операционной, специально оборудованной для эндоурологических вмешательств.

Контроль в процессе вмешательств осуществлялся при использовании рентгенохирургической установки типа C-arm (модель SXT-900A фирмы Toshiba). Излучатель располагался под операционным столом. Напряжение на аноде рентгеновской трубки менялось в пределах от 63 до 100 кВ. Сила тока рентгеновской трубки – 2 мА – оставалась постоянной на протяжении всех оперативных вмешательств и измерений. Дозовый контроль во время операционных вмешательств осуществлялся при помощи термолюминесцентных детекторов (ТЛД) LiF. После предварительной калибровки детекторы укладываются в специальную кассету, по два в каждую (рис. 1). Это позволяет проводить контроль поглощенной дозы с большей точностью, оценивая среднее значение показаний прибора по обоим дозиметрам.

Для изучения дозовых нагрузок были отобраны те члены операционной бригады, которые не могут покинуть пределы операционной во время рентгеноскопии. Таким образом, в исследовании участвовали оперирующий хирург, ассистент и операционная медсестра.

Каждому контейнеру с ТЛД был присвоен порядковый номер, в соответствии с которым произведена маркировка. Далее были сформированы 6 комплектов – по 3 комплекта (хирург, ассистент, операционная сестра) для каждого типа операций.

Расположение контейнеров с ТЛД у членов операционной бригады представлено на рис. 2.



Х – Хирург
А – Ассистент
О – Операционная медсестра

■ – Защитный фартук
● – ТЛД поверх защитного фартука
⊕ – ТЛД под защитным фартуком

Рис. 2. Размещение ТЛД у членов операционной бригады.

1. У хирурга и ассистента детекторы были закреплены на медицинском колпаке над латеральными углами глаз; на уровне груди (над и под защитным фартуком); под фартуком на уровне гениталий и на запястьях.

2. Так как операционная сестра не приближается к оси излучателя ближе чем на 130 см, то поворот головы не будет играть существенную роль в накоплении дозы. Мы сочли достаточным использование одного контейнера, закрепленного на медицинском колпаке по центру лба, для определения эквивалентной дозы на хрусталик глаза. Также операционная медсестра носила детекторы на уровне груди (над и под защитным фартуком) и под фартуком на уровне гениталий.

Детекторы, находящиеся под защитным фартуком, позволяют определить эффективную дозу; дозиметр, располагающийся перед фартуком, дает возможность рассчитать гипотетическую эффективную дозу при работе без защитных средств, а также сравнивать результаты с данными, полученными другими методами дозиметрии. Для определения уровня фонового излучения в защищенном от рентгеновского излучения месте (в соседнем помещении) хранились 3 контрольных контейнера.

Операционная бригада была обеспечена рентгенозащитными фартуками типа пончо и рентгенозащитными воротниками. Хирург и ассистент носили защитные фартуки со свинцовым эквивалентом 0,5 мм Рb, операционная медсестра – 0,35 мм Рb. Свинцовый эквивалент воротников равен 0,35 мм Рb.

При интервенционных рентгеновских вмешательствах в урологии можно выделить два

основных типа взаимного расположения рентгеновского излучателя, пациента и оперирующей бригады.

Первый тип (рис. 3) взаиморасположения (антеградные операции) применяется при вмешательствах на почках (чрескожная пункционная нефростомия, чрескожная нефролитотрипсия, чрескожная пункционная эндопиелотомия), антеградном стентировании мочеточника и др.

Пациент лежит на животе, головой в одну либо другую сторону в зависимости от стороны вмешательства. Хирург располагается с правого края операционного стола. Большую часть времени при рентгеноскопии зоной интереса является проекция оперируемой почки.

Второй тип взаиморасположения (рис. 4) (ретроградные операции) применяется при эндоскопических операциях на уретре (редко и кратковременно – для контроля проведения струны–проводника в мочевой пузырь), уретеропиелографии, ретроградном стентировании мочеточников, уретеролитоэкстракции, уретеролитотрипсии и некоторых других вмешательствах. Доступ при данном типе оперативных вмешательств осуществляется через естественные мочевые пути: уретра – мочевой пузырь – мочеточник.

При операциях второго типа пациент находится в положении на спине, с согнутыми в коленях и тазобедренных суставах и разведенными ногами. Врач стоит между разведенными ногами пациента. Арка рентгеновского аппарата во время вмешательства периодически передвигается вдоль туловища пациента, позволяя контролировать продвижение кон-

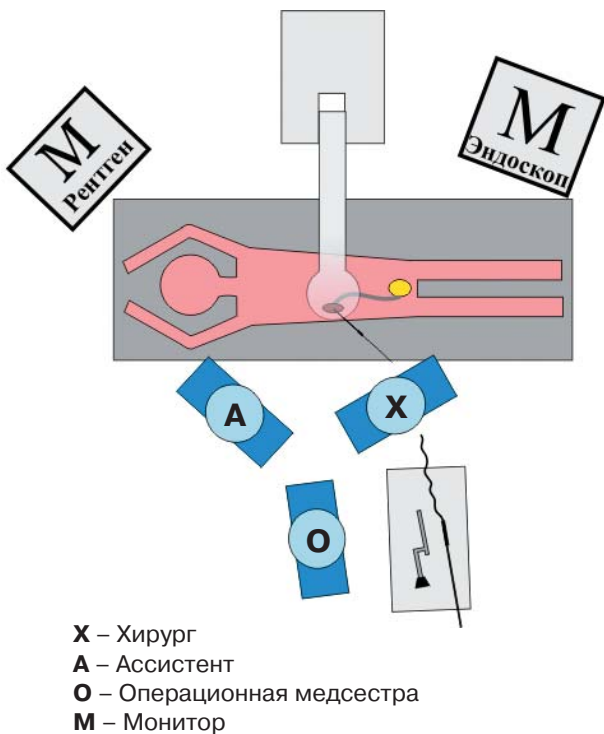


Рис. 3. Взаиморасположение “излучатель – пациент – операционная бригада” при антеградных операциях.

трастного вещества и инструментов по ходу мочеточников.

Из полученных показаний детекторов $E_{\text{изм}}$ вычиталось среднее значение полугодового фона $E_{\text{фон}1/2}$. Таким образом были получены значения эквивалентной дозы (мЗв) для каждого уровня $E_{1/2}$, отражающие профессиональное облучение персонала за полгода, при условии, что $E/D = 1$, где: E – доза эквивалентная; D – доза поглощенная:

$$E_{1/2} = E_{\text{изм}} - E_{\text{фон}1/2}$$

Далее было подсчитано общее время рентгеноскопии $T_{\text{общ}}$ отдельно для антеградных и ретроградных операций. Данные полугодовой дозы были поделены на общее время рентгеноскопии, и таким образом были рассчитаны величины мощности (мЗв/мин) эквивалентной дозы P_E для местоположения каждого контейнера в зависимости от типа выполняемой операции:

$$P_E = E_{1/2} / T_{\text{общ}}$$

Имея значения мощности эквивалентной дозы на разных расстояниях от пола, можно рассчитать мощность эффективной дозы

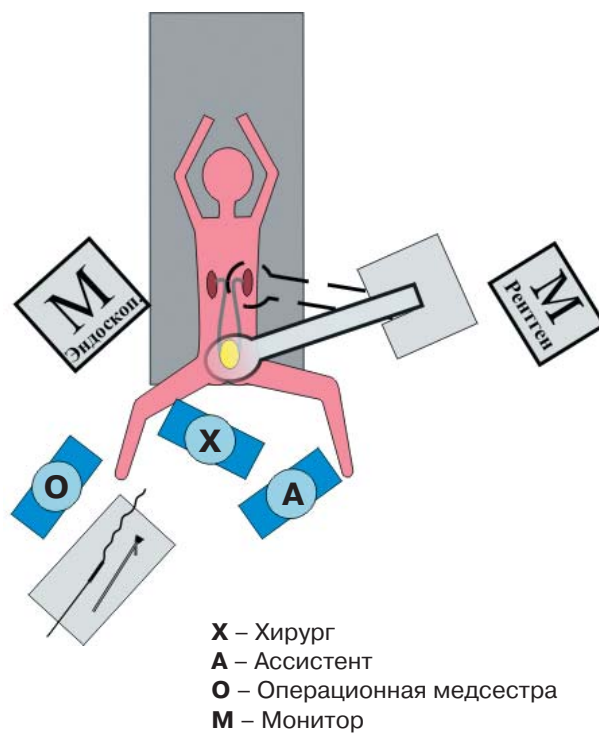


Рис. 4. Взаиморасположение “излучатель – пациент – операционная бригада” при ретроградных операциях.

(мЗв/мин) с использованием соответствующих коэффициентов по высоте [1]:

$$P_{E \text{ эфф}} = (0,15 P_{E 164} + 0,30 P_{E 125} + 0,50 P_{E 78} + 0,05 P_{E 40}),$$

где: 0,15 – коэффициент для головы и шеи; 0,30 – коэффициент для верхней половины туловища; 0,50 – коэффициент для нижней половины туловища; 0,05 – коэффициент для конечностей.

Теперь, зная мощность эффективной дозы и время рентгеноскопии, можно рассчитать эффективную дозу за операцию. Зная предел годовой эффективной дозы для медицинского персонала, вычисляют количество подобных оперативных вмешательств, которое может выполнить один хирург в течение года, не превысив пределов дозовой нагрузки.

Для контроля результатов дозиметрии при использовании ТЛД проводились измерения сцинтилляционным дозиметром ДКС – АТ 1121 (компания АТОМТЕХ).

Так как одной из задач исследования являлось изучение влияния конституциональных особенностей пациента на профессиональное облучение персонала, измерения проводились с использованием двух разных тканеэкви-

лентных фантомов, наполненных водой. Емкость последних составляла 10 и 20 л.

Как уже отмечалось, значение анодного тока оставалось неизменным в ходе всего эксперимента и равнялось 2 мА. Напряжение на трубке составляло 67 и 98 кВ для фантомов объемом 10 и 20 л соответственно. С применением каждого фантома измерения проводились для двух типов взаиморасположения “излучатель – пациент – хирург” для ретроградных и антеградных операций.

Пространство операционной было разделено на условные горизонтальные и вертикальные зоны относительно излучателя. Для каждой из горизонтальных зон измерения с использованием дозиметра ДКС – АТ 1121 проводились в пяти вертикальных точках (от уровня пола): 40 см – уровень ног, 78 см – гениталий, 110 см – рук хирурга и ассистента, 125 см – органов грудной клетки и 164 см – уровень глаз. Для антеградных операций дозиметрия осуществлялась на расстоянии 30, 40, 70, 130 и 260 см от оси излучателя, расположенного в области почки; для ретроградных – 30, 40, 70, 130 и 260 см от оси излучателя, расположенного в области мочевого пузыря, и на расстоянии 70, 80, 130 и 170 см от излучателя, расположенного в области почки. Зона 30 (70) см соответствует расположению рук хирурга, 40 (80) см – самого хирурга, 70 и 130 см (130 и 170 см) – уда-

ленности ассистента и операционной сестры соответственно, то есть измерения проводились на местах фактического нахождения персонала при осуществлении рентгенотелевизионного контроля.

Так как при ретроградных оперативных вмешательствах рентгеновский излучатель находится примерно одинаковое количество времени в положении “мочевой пузырь” и в положении “почка”, то для получения мощности дозы, действующей на операционную бригаду, рассчитано среднее значение мощности доз, полученных при вышеуказанных положениях излучателя.

Произведен сравнительный анализ данных мощности дозы, измеренной *in vitro*, со значениями мощности дозы, оцененными при использовании ТЛД. В результате проведенных исследований установлено, что дозы, измеренные при помощи ТЛД и сцинтилляционного дозиметра в одной и той же точке, соотносятся примерно как 1 : 1.

Результаты

1. Рассчитанные величины мощности дозы для местоположения каждого контейнера, в зависимости от типа выполняемой операции (антеградной или ретроградной), представлены в [таблице 1](#).

Таблица 1. Мощности дозы для антеградных и ретроградных операций в зависимости от места ношения ТЛД

Медперсонал	Положение ТЛД	Мощность эквивалентной дозы, мЗв/мин	
		антеградные операции	ретроградные операции
Хирург	Правый глаз	0,010142	0,005544
	Левый глаз	0,004501	0,008624
	Грудь поверх фартука	0,010655	0,006982
	Грудь под фартуком	0,00114	0,002259
	Гениталии под фартуком	0,002051	0,003285
	Правая кисть	0,019088	0,014579
	Левая кисть	0,030541	0,013347
Ассистент	Правый глаз	0,005014	0,005749
	Левый глаз	0,005071	0,004517
	Грудь поверх фартука	0,007179	0,005954
	Грудь под фартуком	0,000684	0,002259
	Гениталии под фартуком	0,001368	0,003080
	Правая кисть	0,013846	0,009651
	Левая кисть	0,011134	0,010472
Операционная сестра	Лоб	0,002051	0,001848
	Грудь поверх фартука	0,002051	0,003901
	Грудь под фартуком	0,001026	0,002464
	Гениталии под фартуком	0,001254	0,003901

Таблица 2. Зависимость мощности дозы, действующей на персонал, от типа оперативного вмешательства, конституции пациента, высоты от уровня пола и удаленности от оси излучателя (мощность дозы определена при помощи сцинтилляционного дозиметра)

Расстояние от оси, см	Высота от пола, см	Мощность дозы, мЗв/мин			
		антеградно		ретроградно	
		фантом 10 л	фантом 20 л	фантом 10 л	фантом 20 л
30	40	0,2140	0,8300	0,9300	2,9750
	78	0,8867	3,6667	2,4367	7,3500
	110	2,0767	3,2667	2,4300	7,9584
	125	1,1433	1,1933	1,3883	4,5417
	164	0,3300	0,4033	0,7887	1,3600
40	40	0,4100	1,7933	0,6167	2,1500
	78	0,8767	2,8300	1,3267	4,3800
	110	1,2467	2,3700	1,3117	4,0934
	125	0,7933	1,5033	0,9750	3,2267
	164	0,3000	0,3800	0,4512	0,8250
70	40	0,1127	0,4133	0,4597	1,4200
	78	0,4567	1,3767	0,4532	1,3567
	110	0,5433	1,1800	0,4290	1,4350
	125	0,4400	0,8300	0,4849	1,3550
	164	0,2147	0,4500	0,2724	0,6250
130	40	0,0883	0,2967	0,1739	0,5078
	78	0,1447	0,4500	0,1269	0,3660
	110	0,1620	0,4467	0,1400	0,4514
	125	0,1640	0,4067	0,1495	0,4450
	164	0,1337	0,2683	0,1493	0,3977

На основании этих данных и приведенных выше формул рассчитана общая мощность эффективной дозы для оперирующего хирурга, так как именно он подвергается наибольшему профессиональному облучению. Эта мощность эффективной дозы составила 4,3 мкЗв/мин.

Наибольшее время рентгенотелевизионного контроля при антеградных операциях приходится на чрескожную пенкупонную нефролитотрипсию (ЧПНЛ). Средняя длительность рентгеноскопии при ЧПНЛ в урологическом центре рассматриваемой клиники составляет 7,4 мин (для сравнения, среднее время рентгеноскопии при аналогичных операциях, выполняемых в США и странах Европы, редко бывает меньше 10 мин [2]). Соответственно, средняя эффективная доза за одну операцию составляет 31,82 мкЗв.

При подобной лучевой нагрузке и пределе эффективной дозы 20 мЗв/г [3] врач может выполнять ежегодно около 630 операций.

Мощность эффективной дозы для ретроградных операций составила соответственно 3,705 мкЗв/мин.

При средней длительности рентгенотелевизионного контроля в процессе ретроградных

операций, равной 1,7 мин, средняя эффективная доза за одну операцию составила 6,29 мкЗв. Соответственно, одним хирургом может быть выполнено до 3180 ретроградных операций в год.

Как известно, установлены годовые пределы эквивалентных доз для хрусталика глаза – 150 мЗв/г и кожи (в данном случае кожи рук хирурга) – 500 мЗв/г [3]. Средние эквивалентные дозы для хрусталика глаза и рук хирурга, выполняющего ЧПНЛ, составили 74 и 222 мкЗв за операцию соответственно. При данной лучевой нагрузке одним хирургом может выполняться до 2027 ЧПНЛ в год по пределу эквивалентной дозы для глаз и до 2252 операций в год по пределу эквивалентной дозы для кожи рук.

2. Значения мощности дозы, полученной при проведении сцинтилляционной дозиметрии, представлены в таблице 2. Для ретроградных операций указанная мощность дозы является усредненным значением между положениями излучателя “мочевой пузырь” и “почка”.

3. С целью сравнительного анализа уровня лучевой нагрузки на медицинский персонал результаты, полученные методами ТЛД

Таблица 3. Мощность дозы, воздействующей на операционную бригаду при антеградных операциях, определенная методами ТЛД и сцинтилляционной дозиметрии

Расстояние от оси, см	Высота от пола, см	Мощность дозы, мЗв/мин			
		антеградные операции			
		фантом 10 л	ТЛД	фантом 20 л	
30 – руки хирурга	110	2,0767	1,1453/1,8325	3,2667	
	40 – хирург	78	0,8767	1,2306	2,8300
	125	0,7933	0,6393	1,5033	
	164	0,3000	0,6850/0,2701	0,3800	
40 – руки ассистента	110	1,2467	0,8308/0,6680	2,3700	
	70 – ассистент	78	0,4567	0,4104	1,3767
	125	0,4400	0,4307	0,8300	
130 – операционная медсестра	164	0,2147	0,3008/0,3043	0,4500	
	78	0,1447	0,3078	0,4500	
	125	0,1640	0,1231	0,4067	
	164	0,1337	0,1231	0,2683	

Таблица 4. Мощность дозы, воздействующей на операционную бригаду при ретроградных операциях, определенная методами ТЛД и сцинтилляционной дозиметрии

Расстояние от оси, см	Высота от пола, см	Мощность дозы, мЗв/мин			
		ретроградные операции			
		фантом 10 л	ТЛД	фантом 10 л	
30 – руки хирурга	110	4,4400	0,8747/0,8008	14,7667	
	40 – хирург	78	2,3433	1,3554	7,9667
	125	1,5767	0,4189	5,5333	
	164	0,7133	0,3326/0,5174	1,1767	
40 – руки ассистента	110	2,2967	0,5791/0,6283	7,3000	
	70 – ассистент	78	0,7200	0,8208	2,2300
	125	0,7500	0,3572	2,1967	
130 – операционная медсестра	164	0,3900	0,3449/0,2710	0,9100	
	78	0,1830	1,1703	0,5500	
	125	0,2313	0,2341	0,7000	
	164	0,2103	0,1109	0,5833	

и сцинтилляционной дозиметрии, в зависимости от типа операционного вмешательства, были сведены в **таблицы 3, 4**.

На основании таблиц 3, 4 построены **графики 1–3**, позволяющие визуально сопоставить результаты сцинтилляционной дозиметрии, полученные *in vitro*, с результатами ТЛД, произведенной в реальных условиях работы операционной бригады. В том случае, если значению одной точки соответствовало два значения мощности дозы (на область глаз и рук у хирурга и ассистента крепилось по два контейнера), выбиралось наибольшее.

При анализе графиков обращают на себя внимание следующие обстоятельства:

– достаточно хорошее совпадение данных, отображающих мощность эквивалентной дозы, воздействующей на персонал во время операции (метод ТЛД), с данными, получен-

ными методом сцинтилляционной дозиметрии для фантомов емкостью 10 и 20 л;

– наибольшее совпадение данных, полученных методом ТЛД, прослеживается с данными сцинтилляционной дозиметрии при использовании фантома объемом 10 л;

– значительное превышение мощности эквивалентной дозы, действующей на операционную медсестру в области гениталий (особенно при ретроградном типе операций) над максимальным значением мощности дозы для этой точки, полученным методом сцинтилляционной дозиметрии.

Анализируя результаты дозиметрии и взаиморасположения членов операционной бригады во время проведения операций (**рис. 3, 4**), мы пришли к выводу, что операционная медсестра при обоих типах операционных вмешательств располагается боком по отношению

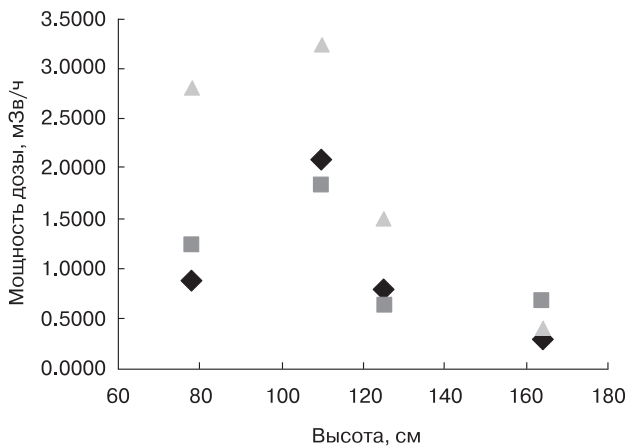


График 1

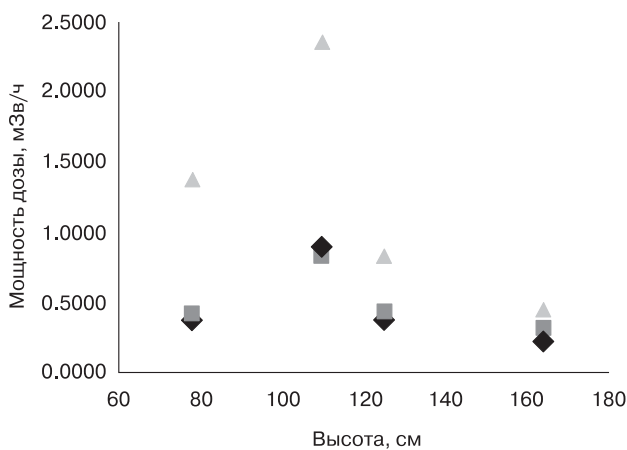


График 2

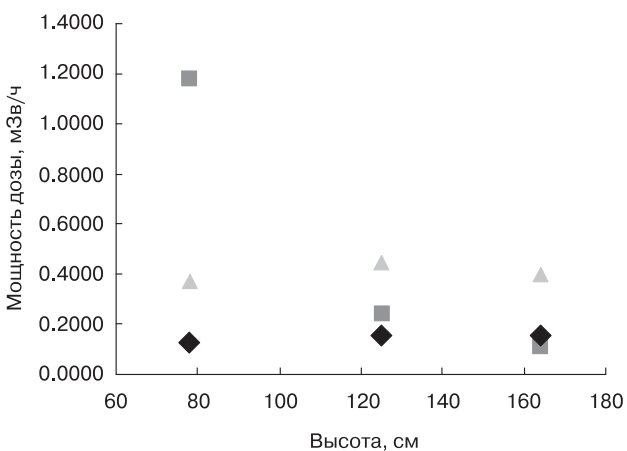


График 3.

к излучателю. Также был выявлен дефект конструкции защитного фартука, который недостаточно закрывает боковые поверхности тела (рис. 5).

Выводы

- Рентгеноэндоскопические операции в урологии с точки зрения лучевой нагрузки на персонал являются достаточно безопасными.

- При вышеперечисленных технических условиях и среднем времени рентгенотелевизионного контроля 7,4 мин и 1,7 мин при ЧПНЛ и ретроградных операциях соответственно, а также при наличии нормированного годового предела эффективной дозы 20 мЗв/г одним хирургом может выполняться не более 630 ЧПНЛ, или 3180 ретроградных операций в год.

- Профессиональные дозы облучения для хирурга за одну операцию при ЧПНЛ прибли-



Рис. 5. Выявленный дефект конструкции защитного фартука: боковая поверхность остается незащищенной.

зительно в 5 раз выше, чем при ретроградной операции.

● При оказании оперативного пособия пациенту повышенного питания (напряжение на трубке 98 кВ) по сравнению с пациентом астенического телосложения (напряжение на трубке 67 кВ) мощность дозы, действующая на операционную бригаду, увеличивается при антеградном типе операций в 1,2–4,4 раза (в среднем в 2,6 раза), а при ретроградном типе операций – в 1,8–3,5 раза (в среднем в 2,9 раза) в зависимости от точки измерения.

● Применение сцинтилляционного метода дозиметрии в дополнение к ТЛД-методу позволяет выявлять участки тела членов операционной бригады, подвергающиеся большей лучевой нагрузке по сравнению с предполагаемой. Далее, путем ретроспективного анализа, возможно выявить причину данного превышения и провести мероприятия, направленные на оптимизацию лучевой нагрузки.

Список литературы

1. Проведение радиационного контроля в рентгеновских кабинетах: Методические указания. МУ 2.6.1.1982-05. М., 2005.
2. MARTIR (Multimedia and Audiovisual Radiation Protection Training in Interventional Radiology). CD-ROM. Radiation Protection 119, European Commission. Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection. Luxembourg, 2002 (free availability from the Publication Department of the European Commission, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, e-mail: env-rad-prot@cec.eu.int).
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99). М., 1999.