

Рентгеноурологические исследования и дозовые нагрузки на пациентов

*А.Д. Каприн, А.А. Костин, А.В. Меских, А.Б. Блинов,
Р.В. Ставицкий, Н.В. Харченко*

Российский научный центр рентгенорадиологии

В современной клинике рентгенологические методы обеспечивают диагностику более 70% заболеваний человека. В том числе они играют важную, часто ведущую роль в распознавании урологических заболеваний. В значительной степени ценность рентгенологического метода связана с качеством получаемых изображений. Этот фактор зависит от правильности выбора режима работ рентгенодиагностического аппарата, от качества приемника рентгеновского изображения, размера поля облучения, его ориентации и т.д.

Получение высококачественного изображения обеспечивает прежде всего набор специализированной рентгенодиагностической аппаратуры. Он, как правило, может быть выполнен в двух вариантах (табл. 1). Первый вариант является более упрощенным, чем второй. Он в основном предназначен для проведения специализированных рентгеноурологических исследований. Второй вариант предусматривает возможность проведения рентгенохирургических процедур в урологической практике.

Естественно, что при наличии пленочного приемника рентгеновского изображения необходимо иметь соответствующий набор аппаратуры:

- комплекс камер с усиливающими экранами;
- приспособление для проявки пленок (автоматизированное);
- негатоскопы.

Рабочее место врача-рентгенолога может быть оснащено компьютерным устройством для цифровой переработки пленочного изображения, что может расширить динамический диапазон и качество изображения.

При пленочной рентгенографии в урологической практике режим работы рентгеновской трубки определяется возрастом и толщиной исследуемого объекта. В табл. 2 и 3 представлены типичные режимы работы рентге-

новской трубки при рентгенографических исследованиях в урологической практике для детей и взрослых. Все режимы указаны для условий применения дополнительного фильтра 2 мм А1. Любой вид рентгеноурологических исследований сопровождается облучением пациента. В последнее время появились сведения о реакции организма на внешнее облучение в малой дозе (1–70 мЗв). Эти данные свидетельствуют о том, что даже при самых малых дозах облучения появляется реакция организма, сопровождающаяся гомеостазом, степень выраженности которого зависит от состояния здоровья облученного. В результате можно считать, что малые дозы ионизирующего излучения, прямое негативное действие которых мало и плохо обнаруживается, обладают потенцирующим эффектом. Это воздействие может вызвать ухудшение состояния организма, что сопровождается потенцированием явных или скрытых заболеваний одной или нескольких систем организма. Эффект гомеостаза может быть недостаточным для полной компенсации действия малых доз. В этом случае малые дозы могут быть промоторами (возбудителями или усилителями) заболеваний, включая онкологические. Рентгенологические исследования мочевыделительной системы проводятся нездоровым людям, что в большей степени провоцирует реакцию на дополнительное радиационное воздействие по сравнению со здоровым организмом. Фактически ионизирующее излучение в относительно малых дозах является промотором развития изменений в облучаемой части организма.

При рентгеноурологических исследованиях дозовые нагрузки особенно велики. В первичный пучок облучения попадают такие жизненно важные органы и ткани, как активный костный мозг, толстая кишка, гонады, печень и др. В связи с этим необходимо решение нескольких задач:

Таблица 1. Стандартный набор аппаратуры для рентгеноурологических исследований

Варианты	Комплекс аппаратуры
I. Основной	Рентгенодиагностический аппарат на два рабочих места: стол снимков; томографическая приставка к столу снимков; вертикальная стойка снимков; устройство переговорное. Мощность рентгеновского питающего устройства не ниже 30 кВт. Наличие орган-автоматики.
II. Дополнительный	Рентгенодиагностический аппарат с дистанционным управлением штатива, включающий: штатив управляемый; электронный тракт визуализации рентгеновского изображения; устройство переговорное. Мощность рентгеновского питающего устройства не менее 30–50 кВт. Наличие орган-автоматики.

Таблица 2. Режимы рентгеноурологических исследований детей (фокусное расстояние 100 см, растр 8 : 1)

Возраст (годы) и проекция	Толщина пациента, см	Режим исследования				
		ЭУВ-2		ЭУВ-3		
		U, кВ	q, мАс	U, кВ	q, мАс	
Переднезадняя	До 0,5	12 × 18	52	15	52	8
	0,6–2	18 × 24	63	30	63	15
	3–7	18 × 24	63	40	63	20
	8–14	24 × 24	69	60	69	30
Заднепередняя	До 0,5	12 × 18	52	15	52	8
	0,6–2	18 × 24	63	30	63	15
	3–7	18 × 24	63	40	63	20
	8–14	24 × 30	69	60	69	30
Боковая	До 0,5	12 × 18	57	20	57	10
	0,6–2	18 × 24	63	40	63	20
	3–7	18 × 24	69	40	69	20
	8–14	24 × 30	76	90	76	45

Таблица 3. Режимы рентгеноурологических исследований взрослых (фокусное расстояние 100 см, растр 1, размер поля 18 × 24 см)

Проекция	Толщина объекта, см	Режим исследования			
		ЭУВ-2		ЭУВ-3	
		U, кВ	q, мАс	U, кВ	q, мАс
Переднезадняя	19	63	40	63	20
	21	76	80	76	40
Боковая	27	69	80	69	40
	28	69	80	69	50

- определение дозовых нагрузок;
- разработка технических средств их снижения;
- использование медицинских способов сокращения дозовых нагрузок.

При проведении любого рентгенологического исследования тело пациента подвергается неравномерному облучению.

Неравномерность определяется в первую очередь тем, что в зону облучения первичным пучком излучения попадает ряд органов и тканей, находящихся в непосредственной близости от исследуемого участка тела. Остальная часть организма подвергается воздействию рассеянного рентгеновского излучения, интенсивность которого убывает по мере удаления от первичного пучка излучения.

В практике контроля радиационной безопасности, применительно к неравномерному облучению, количественным критерием степени облучения является эффективная эквивалентная доза (эффективная доза) E – вели-

чина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Понятие эффективной дозы формируется на базе оценки степени облучения (H_t) 13 органов и тканей ($t = 13$) и вероятности появления отдаленных онкологических последствий облучения, определяемых взвешивающим коэффициентом для тканей и органов. В результате эффективная доза определяется как $E = 1t (\text{cot} \times H_t)$. В качестве примеров и приблизительных ориентиров в табл. 4–6 представлены сведения о дозах облучения при уро-рентгенографии (один снимок) в зависимости от возраста и толщины пациента. В табл. 4–6 приведены также сведения о средних режимах и дозовых нагрузках за один снимок на пациентов, подвергающихся рентгенологическим исследованиям мочевыделительной системы (обзорная рентгенография почек и мочевых путей, экскреторная урография и т.п.). В про-

Таблица 4. Средние дозовые нагрузки (мЗв) на пациента, подвергающегося рентгенологическому исследованию – обзорной рентгенографии почек и мочевых путей ($D\Phi = 2$ мм Al)

Возраст пациентов, годы	Средние дозовые нагрузки, E, мЗв		
	прямая переднезадняя	прямая заднепередняя	боковая
0	0,05	0,04	0,03
1	0,25	0,20	0,15
5	0,35	0,30	0,25
10	0,70	0,65	0,55
15	0,90	0,85	0,70
Взрослые	0,95	0,9	0,75

Таблица 5. Средние дозовые нагрузки (мЗв) при экскреторной урографии

Возраст, годы	0	5	10	15	Взрослые
E, мЗв	0,2–1,0	1,3	2,5	3,2	3,6

Таблица 6. Эффективные дозы при рентгенографии мочевого пузыря (один снимок, прямая переднезадняя проекция, $D\Phi = 2$ мм Al)

Толщина пациента, см	10	12	15	18	20	25	28	30	33	38
U, кВ	65	70	75	75	75	75	78	78	80	80
q, мAc	33	35	38	40	45	48	50	55	60	65
E, мЗв	0,8	1,1	1,3	1,35	1,5	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4

Таблица 7. Опорные значения эффективных доз ($E'_{ск}$) при рентгеноуроскопии (ДФ – 2 мм А1)

Толщина пациента, см	10	12	15	18	20	25	28	30	33	38
U, кВ	63	63	65	65	70	80	85	85	85	85
$E'_{ск}$, мЗв	0,02	0,02	0,015	0,015	0,012	0,015	0,013	0,013	0,013	0,013

цессе выполнения большинства урорентгенологических исследований производится многократная рентгенография. Соответственно увеличивается дозовая нагрузка на пациента. При введении контрастного вещества в мочеточник производится контрольное рентгенологическое наблюдение за его поступлением в мочеточник, частота и длительность которого зависит от возраста пациента, необходимой глубины введения катетера и, главное, от профессиональных навыков рентгеноуролога. В табл. 7 представлены значения эффективных доз облучения пациента при рентгеноуроскопии в опорном режиме – анодный ток 1 мА, время включения анодного напряжения – 1 мин (суммарная экспозиция $q = 60$ мАс). Исходя из опорных значений эффективной дозы ($E'_{ск}$) при реальных величинах экспозиции можно оценить результирующую величину дозы $E_{ск}$: $E_{ск} = q \times E'_{ск}$. В результате проведения рентгеноскопического прицеливания (контроля) и рентгенографической фиксации исследования суммируется дозовая нагрузка за все исследование: $E = E_{гр} + E_{ск} = p \times E_{гр} + 1/60 q_{ск} \times E'_{ск}$, где p – число выполненных рентгенографий, $E_{гр}$ – эффективная доза за один снимок, $q_{ск}$ – экспозиция при рентгеноуроскопии (мАс), $E_{ск}$ – эффективная доза при рентгеноуроскопии ($I = 1$ мА, $t = 1$ мин = 60 с, $q = 60$ мАс). Пример: Проведено рентгеноурографическое исследование ребенку 12 лет (переднезадний размер тела – 18 см). Выполнена контрастная рентгеноуроскопия при введении катетера в мочеточник (при $U = 65$ кВ, $i_{ск} = 178$ мАс, $I = 0,8$ мА, $t = 222,5$ с). Затем были произведены четыре урограммы. Исходя из приведенных выше данных получим суммарное выражение для определения эффективной дозы (E):

$$E = p \times E_{гр} + 1/60 q_{ск} \times E'_{ск} = 4 \times 1,35 + 1/60 \times 178 \times 0,015 = 5,4 + 0,44 = 5,84 \text{ мЗв.}$$

Таким образом, пациент (ребенок) подвергается облучению в достаточно большой дозе. Кроме того, можно отметить, что проведенный расчет затруднителен для персонала рентгеноурологического кабинета, так как требует особого внимания и времени, отвлекающих от вы-

полнения основной процедуры и наблюдения за пациентом. Это подчеркивает удобство использования автоматизированных систем регистрации дозовых нагрузок на пациентов при рентгенологических исследованиях, например, приборов типа “ИНДОР-С”. Пример табличных усредненных данных, характеризующих примерное (среднее) значение эффективной дозы для пациентов разного возраста, приведен в табл. 8. Представленные в таблицах сведения не учитывают индивидуальных особенностей отдельных пациентов (толщины тела, роста и др.), применяемых приемников рентгеновского излучения и режимов работы рентгеновского аппарата. В связи с этим табличные данные имеют приблизительный характер. К техническим примерам снижения дозовых нагрузок в первую очередь относится использование низкодозовой электронной сети с одного автоматизированного рабочего места рентгенолога (АРМ) к другому. Ближайшая перспектива раз-

Таблица 8. Примеры средних данных эффективных доз облучения при рентгеноурологических исследованиях пациентов разного возраста (рентгенография)

Вид исследования	Возраст, годы	E, мЗв
Рентгенография мочевого пузыря	5	0,8
	10	1,2
	15	1,4
	Взрослые	1,5–2,4
Обзорная урография	0	0,03
	5	0,25
	10	0,55
	15	0,70
	Взрослые	0,75–1,2
Экскреторная урография-1	0	0,15
	5	1,10
	10	2,10
	15	2,70
	Взрослые	3,0–5,0
Экскреторная урография-2	0	1,2
	5	9,0
	10	16,0
	15	22,0
	Взрослые	23,0–28,0

вития – оснащение рентгеноурологических кабинетов аппаратурой с цифровой обработкой рентгеновского изображения.

Наиболее существенным способом ограничения дозовых нагрузок на пациентов является использование стандартных методик рентгенологических исследований. Имеется в виду оптимизация всех этапов выполнения исследования, включающих геометрические параметры ориентации первичного пучка рентгеновского излучения относительно исследуемого органа, минимизация сроков проведения исследования, использование подходящих режимов работы рентгеновской трубки и высокочувствительных приемников рентгеновского изображения. Практически речь идет об использовании наиболее экономичной технологической карты исследования. Ниже освещены анализ и разработка приемлемой технологической карты рентгенологического исследования мочевыделительной системы.

Следует подчеркнуть, что разработка наименее дозообразующей технологической карты при диагностике онкологических заболеваний вполне оправдана. В значительном числе случаев возможен диагноз, не подтверждающий наличие онкологического заболевания. Здесь особенно важно всемерное уменьшение дозы облучения вне зависимости от возраста пациента. Решение любых клинических задач возможно только при соблюдении определенной последовательности этапов исследования.

Рассмотрим соответствующие технологические карты последовательности выполнения этапов реализации.

1. Обзорная рентгенография почек и мочевых путей

Первым этапом любого вида рентгеноурологических исследований является обзорная рентгенография почек и мочевых путей. Обзорная рентгенография может быть проведена в качестве самостоятельного вида рентгеноурологического исследования. В дальнейшем, если приходится проводить другие, более сложные процедуры, для получения основных сведений о топографических условиях расположения органов мочевыделительной системы, положении конкрементов, патологического очага и др. используют данные обзорной рентгенографии.

Стандартная обзорная рентгенография включает выполнение одной рентгенограммы, охватывающей область от верхних полюсов

почек до начала мочеиспускательного канала. Режим проведения рентгенографии указан условно для взрослого пациента среднего телосложения.

При наличии клинических показаний могут быть выполнены рентгенограммы в боковой и прямой заднепередней проекциях.

2. Экскреторная урография

При необходимости исходя из сведений, полученных при анализе обзорной рентгенограммы, выполняют экскреторную урографию, служащую для контроля анатомического и функционального состояния мочевыделительной системы. При нормальном функционировании почек производят разделенные по времени рентгенограммы (экскреторная урография-1). При сниженной функции почек выполняют до пяти дополнительно отсроченных (от 3 до 24 ч) рентгенограмм (ЭУ-2, ЭУ-3). Экскреторная урография завершается нисходящей цистограммой для оценки степени наполнения мочевого пузыря.

В настоящее время методика рентгеноскопии в урологии используется в основном для контроля положения, количества, формы и размеров конкрементов в процессе литотрипсии, а также при стентировании верхних мочевых путей или пункционной нефростомии. При этом обязательно проведение рентгеноскопии с УРИ. Рентгеноскопия должна проводиться прерывисто, с минимизацией времени включения напряжения – не более 15–25 с. Рентгеноскопия желательна с применением цифровых приемников рентгеновского изображения, при использовании которых изображение на экране монитора фиксируется вплоть до следующего включения напряжения. Возможно совмещение нескольких изображений, позволяющее наблюдать за динамикой процесса (при литотрипсии). Наиболее широко используемыми рентгенодиагностическими аппаратами с цифровыми детекторами рентгеновского изображения, применяемыми в урологической практике, являются следующие модели: аппарат с цифровой рентгеноскопией с подсистемой обработки сигнала и усилителем яркости рентгеновского изображения Thomson 25 см с видеоканалом на базе ПЗС, “Ренекс” – универсальный РДК 50/6 “Телпик”, аппарат ТЕЛЕМЕДИКС-Р, аппарат МЕДИКС-Р с УРИ “АМЕТИС-М” (ЗАО АМИКО).