

Новый подход к определению стандартного пациента для оптимизации защиты пациентов от медицинского облучения

А.В. Водоватов¹, И.Г. Камышанская², А.А. Дроздов²

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург

² Городская Мариинская больница, Санкт-Петербург

Исследованы зависимости параметров проведения скрининговых исследований органов грудной клетки и различных дозовых характеристик (произведение дозы на площадь, входная и эффективная дозы) для различных половозрастных групп пациентов от их антропометрических показателей. Выбраны антропометрические показатели, максимально влияющие на дозы. Предложен новый подход к определению стандартного пациента для оптимизации защиты от медицинского облучения с использованием референтных диагностических уровней.

Ключевые слова: рентгенологическое исследование, стандартный пациент, референтный диагностический уровень, входная доза, произведение дозы на площадь, эффективная доза.

Введение

В настоящее время вопрос защиты населения от медицинского облучения (МО) является чрезвычайно актуальным. Необходимость приоритетно получить необходимую диагностическую информацию не позволяет напрямую ограничивать дозу, получаемую пациентом. Основным принципом радиационной защиты пациента от медицинского облучения является принцип оптимизации посредством внедрения и применения референтных диагностических уровней (РДУ) [1, 2].

Основой для установления РДУ служат диагностические стандартные дозы (ДСД) – средние дозы, определенные для каждого рентгеновского кабинета для стандартных диагностических процедур/исследований для стандартных пациентов. Стандартный пациент по своим антропометрическим данным и выбранным для его обследования параметрам должен соответствовать выборке пациентов, специфичных для данного рентгеновского кабинета или отделения лучевой диагностики [3, 4]. Таким образом, на численное значение РДУ оказывают влияние как технические характеристики используемой аппаратуры, так и локальные особенности контингента пациентов – с точки зрения необходимых типов исследований и их антропометрических характеристик.

В отечественной литературе отсутствует четкое определение термина «стандартный пациент». Так, например, в [5] под стандартным пациентом подразумевается человек, соответствующий по своим параметрам стандартному фантому МКРЗ (масса тела 71,4 кг, рост 171 кг). В [6] отбор пациентов осуществляется исключительно по массе тела, без учета пола, возраста или иных антропометрических характеристик. Такое упрощение приемлемо при использовании эффективной дозы (ЭД), определенной по радиационному выходу, в качестве основной дозовой величины в связи с тем, что ее расчет осуществляется исключительно для стандартного фантома.

В настоящее время в РФ повсеместно внедряется цифровое рентгеновское оборудование, как правило,

постоянно работающее с автоматическим контролем экспозиции (АКЭ). Это приводит к тому, что параметры проведения исследований и дозовые характеристики индивидуальных пациентов (произведение дозы на площадь (ПДП), входная доза (ВД) и рассчитанная на их основе ЭД), в первую очередь, будут определяться их антропометрическими особенностями. Чем более пациенты в отдельно взятом рентгеновском кабинете/больнице будут отличаться от стандартных, тем более оценка текущих уровней облучения пациентов путем определения ДСД будет приводить к недо- или переоценке облучения. В конечном итоге, это приведет к проблемам адекватной интерпретации результатов установления РДУ.

Наиболее актуальным вопрос об определении стандартных пациентов стоит при оценке доз от проведения скрининговых исследований грудной клетки (цифровая флюорография). Флюорография вносит значимый вклад (12%) в годовую коллективную дозу населения РФ [7] и составляет 32,5% от числа всех исследований по количеству. По данным 2012 г., 73,9% флюорографических исследований проводится на цифровых аппаратах [7].

Скрининговым исследованиям подвергаются практически все здоровые люди всех возрастных категорий, при этом в некоторых ситуациях флюорография может выполняться более 1 раза в год. Особенностью облучения данного контингента населения является нормирование их облучения (1 мЗв в год), в отличие от отсутствия такового при проведении рентгенодиагностических исследований. Кроме того, такой вид исследований проводится по типовой методике, которая подразумевает использование сходных параметров проведения исследования. Эти факторы и являются определяющими для выбора цифровой флюорографии ОГК в качестве основного объекта нашего исследования.

Цель исследования – сформировать требования к стандартным пациентам для целей радиационной защиты в медицине с учетом зависимости дозиметрических показателей от антропометрических параметров.

Задачи исследования

1. Исследование антропометрических параметров пациентов и выбор наиболее оптимального показателя для описания конституции пациента.
2. Определение уровней облучения пациентов.
3. Исследование зависимости дозовых характеристик от антропометрических параметров пациентов.
4. Формирование требований к стандартным пациентам.

Материалы и методы

В ходе данной работы была собрана выборка пациентов, проходивших скрининговое исследование органов грудной клетки в задне-передней проекции в терапевтическом отделении Мариинской больницы за 1 месяц. Из выборки были исключены все пациенты с патологиями. В итоговую выборку вошло 129 пациентов (58 женщин и 71 мужчина). Разделенные по полу группы в дальнейшем были разделены и по возрасту: моложе 45 лет и 45 лет и старше [8]. Из всей выборки пациентов были отобраны пациенты для определения ДСД согласно [6] (масса тела 70 ± 5 кг, далее по тексту – стандартные пациенты). Для каждого пациента определяли: пол, возраст и антропометрические параметры: рост (см), масса тела (кг), обхват и толщину грудной клетки (см).

В дальнейшем для оценки телосложения пациента использовали индекс массы тела (ИМТ), рассчитанный по формуле (1) [13]:

$$\text{ИМТ} = \text{масса тела (кг)} / (\text{рост (м)})^2, \text{ кг/м}^2 \quad (1)$$

Результаты определения антропометрических параметров пациентов приведены в таблице 1.

В качестве средства исследования использовался цифровой флюорограф ФЦ-Электрон (ЗАО НИПК

«Электрон», РФ). Съемка пациентов осуществлялась в штатном режиме, при включенном режиме автоматического контроля экспозиции (АКЭ) с активными правым и левым датчиками, с малым фокусом (0,6 мм) и полной фильтрацией 5 мм алюминия. Предельное значение экспозиции было установлено в 32 мАс с током в 200 мА. Значение анодного напряжения для всех пациентов составляло 100 кВ, расстояние источник-приемник – 150 см. Поле облучения устанавливалось рентгенолаборантом индивидуально для каждого пациента. Максимально возможный размер поля – 30×30 см.

Для каждого пациента были определены режимы исследования (напряжение на трубке (кВ); экспозиция (мАс) и размер поля после коллимации (см^2)). Результаты определения режимов исследования приведены в таблице 2.

Для всех пациентов были определены следующие дозиметрические характеристики: ПДП ($\text{сГр} \times \text{см}^2$), ВД (мГр), поглощенная доза (ПД) на легкие и молочную железу (мГр), а также эффективная доза (ЭД, мЗв). ПДП определяли с помощью клинического дозиметра ДРК-1, установленного на коллиматоре рентгеновского аппарата. Входную дозу определяли по ПДП с учетом поля облучения по формуле (2):

$$D_{\text{вх}} = 10 \times \text{ПДП (сГр} \times \text{см}^2) / \text{Площадь поля облучения (см}^2\text{), мГр} \quad (2)$$

При этом обратное рассеяние не учитывали.

Эффективную дозу и поглощенные дозы на легкие и молочную железу рассчитывали с помощью компьютерной программы РСХМС (STUK, Финляндия) [10]. Для этого использовали реальные значения роста и массы тела пациентов. Возрастная категория – стандартный взрослый пациент (30 лет) для всех пациентов [10]. Расчет ЭД осуществляли по ПДП [10].

Антропометрические параметры пациентов¹

Таблица 1

Параметр	Все пациенты ²	Стандартные пациенты	Мужчины			Женщины		
			Все	До 45	Старше 45 лет ³	Все	До 45 лет	Старше 45 лет ³
Количество пациентов, чел.	129 (100%)	25 (19,4%)	71 (55%)	48 (37%)	23 (18%)	58 (45%)	31 (24%)	27 (21%)
Возраст, лет	40±151 (19–82)	45±19 (21–82)	37±13 (20–73)	30±6 (20–44)	54±8 (45–73)	43±17 (19–82)	29±7 (19–44)	58±10 (45–82)
Рост, см	172±9,8 (152–194)	172±9,2 (157–191)	178±7,6 (160–194)	179±7,4 (164–194)	176±7,9 (160–188)	164,4±6,2 (152–176)	166±6,3 (152–176)	162,7±5,7 (152–175)
Масса тела, кг	76±18 (44–149)	70±5 (65–75)	84±16,3 (57–149)	83,2±17,2 (57–149)	85,5±14,8 (62–119)	66,4±15 (44–110)	58,5±11,3 (44–89)	75,4±13,7 (48–110)
ИМТ, кг/м ²	25,6±5,4 (16,1–44,6)	23,8±2,5 (19,5–29,6)	26,4±4,7 (17–43)	25,9±4,8 (17–43)	27,5±4,4 (19,6–35)	24,6±6,2 (16,1–44,6)	21,2±3,9 (16,1–34,8)	28,7±6 (17,6–44,6)
Толщина грудной клетки, см	21,4±3,7 (15–30)	20,5±2,6 (17–26)	22,9±3,16 (16–30)	22,4±3,24 (16–30)	24±2,8 (19–30)	19,7±3,7 (15–30)	17,4±1,9 (15–22)	22,3±3,5 (15–30)
Обхват грудной клетки, см	99,3±13,3 (79–202)	96,5±4,73 (89–108)	101,4±8,3 (82–125)	100±8 (82–125)	103,3±8,7 (90–120)	96,8±12,4 (79–202)	90±7,8 (79–110)	104,7±21,7 (83–202)

¹ – здесь и далее данные приводятся в формате: среднее + стандартное квадратичное отклонение, диапазон выборки;

² – далее по тексту – «средние» пациенты;

³ – включая 45-летних пациентов;

± – ошибка среднего.

Таблица 2

Параметры проведения исследования для различных групп пациентов

Параметр	Все пациенты	Стандартные пациенты	Мужчины			Женщины		
			Все	До 45 лет	Старше 45 лет	Все	До 45 лет	Старше 45 лет
Напряжение, кВ	100	100	100	100	100	100	100	100
Экспозиция, мАс	6,35±2,25 (3,03–15,9)	5,78±1,42 (4,19–10,1)	6,92±2,2 (3,72–15,9)	6,62±2 (4,19–11,9)	7,53±2,6 (3,72–15,9)	5,65±2,12 (3,03–11,9)	4,7±1,5 (3,03–10)	6,8±2,2 (3,3–11,9)
Площадь поля, см ²	722,5±107,3 (440–900)	728±93,7 (483–900)	763±94,4 (500–900)	764±93 (500–900)	761±99,3 (575–900)	673±102 (440–900)	655±87 (540–900)	693±115 (440–900)

± – ошибка среднего.

Для анализа использовался метод корреляционного анализа. Коэффициенты корреляции Спирмена считались значимыми при уровне $p < 0,001$. Для анализа использовалась непараметрическая статистика Краскелла – Уоллиса. Межгрупповые отличия считались значимыми при уровне $p < 0,001$.

Результаты и обсуждение

В результате проведенной работы были исследованы антропометрические параметры и режимы проведения рентгенологических исследований (РЛИ); измерены и рассчитаны различные дозиметрические показатели облучения для различных групп пациентов при скрининговом исследовании ОГК.

Все показатели, включая рост и массу тела, у всех групп мужчин намного выше аналогичных значений для среднего и тем более для стандартного пациента (см. табл. 1). В то же время для всех групп женщин наблюдается обратная зависимость (антропометрические показатели ниже для среднего и стандартного пациента). С возрастом эти показатели увеличиваются, причем масса тела у женщин старше 45 лет возрастает значительно (на 23%). Прослеживается тенденция увеличения ИМТ с возрастом.

В категорию стандартных попадают всего 19,4% всех пациентов. ИМТ для стандартной массы тела

(70±5 кг) колеблется от 19,5 (нормальное телосложение) до 29,6 (предожирение/ожирение 1 степени). При этом отклонения антропометрических параметров средних пациентов мужского и женского пола от стандартного составляют: по росту – 3,5% для мужчин и 4,6% для женщин; по массе тела – 17% для мужчин и 5% для женщин; по индексу массы тела – 10% для мужчин и 3,3% для женщин. Для групп пациентов старше 45 лет отклонения еще более значительны: по росту 2,3% для мужчин и 5,7% для женщин; по массе тела – 19% для мужчин и 7% для женщин; по индексу массы тела – 13% для мужчин и 17% для женщин.

Для индивидуальных пациентов изменялись два основных параметра: экспозиция и размер поля облучения (см. табл. 2). Значения экспозиции находились в диапазоне от 3 до 16 мАс, пропорционально размерам грудной клетки (в свою очередь, определяемых массой тела, ростом, ИМТ и толщиной грудной клетки) пациентов. Размер поля составлял от 440 (приблизительно 22×22 см) до 900 (30×30) см и также изменялся пропорционально размерам грудной клетки пациентов.

Результаты определения различных дозиметрических характеристик для различных групп пациентов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Уровни облучения пациентов при флюорографии ОГК

Параметр	Все пациенты	Стандартные пациенты	Мужчины			Женщины		
			Все	До 45 лет	Старше 45 лет	Все	До 45 лет	Старше 45 лет
ПДП, сГр·см ²	32,2±13,7 (12,9–79,8)	29,4±8,24 (20–53)	36,8±12,7 (18,4–79,8)	35,4±12 (19,1–66,5)	39,9±14,1 (18,4–79,8)	26,6±12,9 (12,9–58,6)	21,2±9,2 (12,9–58,6)	32,8±14 (13,9–58,6)
Входная доза, мГр	0,44±0,17 (0,19–1,1)	0,41±0,14 (0,22–0,92)	0,48±0,17 (0,23–1,1)	0,46±0,15 (0,23–0,88)	0,53±0,2 (0,24–1,1)	0,39±0,16 (0,19–0,84)	0,32±0,1 (0,19–0,65)	0,47±0,17 (0,22–0,84)
Эффективная доза, мЗв	0,06±0,02 (0,03–0,14)	0,07±0,02 (0,04–0,12)	0,08±0,02 (0,05–0,14)	0,08±0,02 (0,05–0,12)	0,08±0,02 (0,05–0,14)	0,06±0,02 (0,03–0,1)	0,05±0,02 (0,04–0,1)	0,06±0,02 (0,03–0,1)
Поглощенная доза на легкое, мГр	0,28±0,08 (0,1–0,52)	0,29±0,07 (0,17–0,45)	0,33±0,07 (0,2–0,52)	0,32±0,07 (0,2–0,5)	0,34±0,08 (0,22–0,52)	0,22±0,07 (0,1–0,39)	0,21±0,07 (0,13–0,39)	0,24±0,07 (0,1–0,37)
Поглощенная доза на молочную железу, мГр	0,07±0,02 (0,03–0,13)	0,08±0,02 (0,04–0,13)	0,08±0,02 (0,04–0,13)	0,08±0,02 (0,04–0,11)	0,08±0,02 (0,04–0,13)	0,06±0,02 (0,03–0,11)	0,06±0,02 (0,04–0,1)	0,06±0,02 (0,03–0,09)

± – ошибка среднего.

Для разных половозрастных групп ПДП изменялась в пределах от 12,9 до 79,8 сГр-см², составляя для средних пациентов – 32,2 сГр-см², для стандартных пациентов – 29,4 сГр-см² (рис. 2). Аналогичные значения для ВД составили 0,44 мГр в среднем и 0,41 мГр для стандартных пациентов. Для ЭД – 0,06 мЗв для средних пациентов и 0,07 для стандартных пациентов.

Распределение как всей выборки пациентов, так и отдельных половозрастных групп по дозовым характеристикам отлично от нормального и лучше всего описывается с помощью логнормальной аппроксимации. На рисунках 1, 2 приведены гистограммы распределения мужчин и женщин по ПДП соответственно.

На каждом рисунке построены отдельно распределения по возрастам моложе 45 лет и 45 лет и старше. Гистограммы логнормально аппроксимированы. Красной линией отмечена величина ПДП для стандартных пациентов (29,4 сГр-см²). Из приведенных рисунков следует неравномерное распределение доз для различных возрастных групп внутри выборок мужчин и женщин, причем пациентам моложе 45 лет, как правило, соответствуют низкие дозы; 45 лет и старше – высокие. При использовании дозы для стандартного пациента дозы для каждой из выборок пере- или недооцениваются.

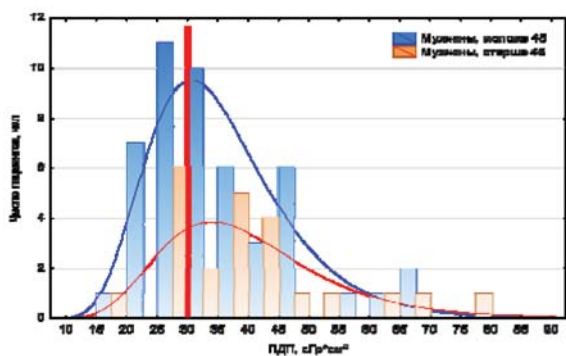


Рис. 1. Гистограммы распределения мужчин по ПДП, сГр-см²

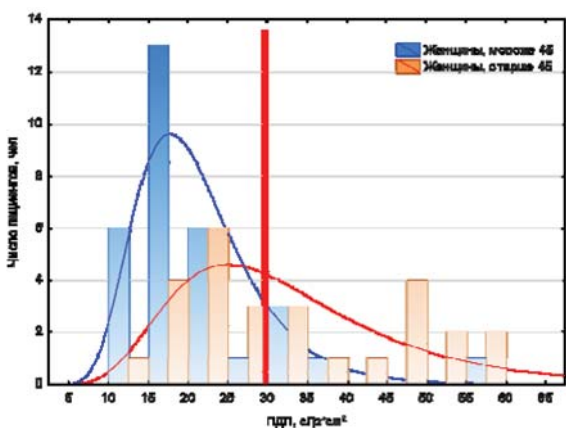


Рис. 2. Гистограммы распределения женщин по ПДП, сГр-см²

Поглощенная доза на легкие при флюорографии ОГК составила в среднем 0,28 мГр и варьировала от 0,10 до 0,52 мГр. Минимальная поглощенная доза на легкие в 0,21 мГр была у женщин моложе 45 лет, максимальная – 0,34 мГр у мужчин старше 45 лет. Поглощенная доза в молочной железе составила 0,07 мГр для средних пациентов и варьировала от 0,03 до 0,13 мГр. Поглощенная доза в молочной железе у женщин была 0,06 мГр, у мужчин – 0,08 мГр для обеих возрастных категорий. Следует отметить, что определение поглощенной дозы в радиочувствительных органах производилось расчетным способом по методу Монте-Карло (программное обеспечение РСХМС). В данную программу заложен фантом-гермафродит [10]. Соответственно, поглощенная доза в молочной железе будет зависеть исключительно от величины, использованной при расчете исходной дозовой характеристики – ПДП. Именно потому поглощенная доза в молочной железе для группы мужчин оказалась больше, чем для женщин.

В цифровой рентгенографии, проводимой с использованием АКЭ, дозы пациентов, проходящих обследования на одном и том же аппарате, будут в первую очередь определяться их антропометрическими параметрами. Толщина и плотность пациента в области исследования, а также размер самой области исследования будут непосредственно определять размер поля облучения и экспозицию – основные параметры, влияющие на дозу.

При интерпретации полученных данных возникает несколько вопросов. Первый – что принимать за наиболее точную антропометрическую характеристику пациента: массу тела, рост, ИМТ, обхват грудной клетки или ее толщину как по отдельности, так и в комплексе, а также – как все эти показатели связаны с дозами пациентов. Второй – и не менее важный – какую группу пациентов использовать для определения диагностической стандартной дозы (в качестве референтного пациента): среднего пациента по всей выборке без привязки к полу и возрасту, среднего пациента по половозрастным выборкам или же продолжать использовать стандартного пациента, более детально сформулировав критерии его отбора [4].

Для решения поставленных вопросов мы исследовали корреляционную зависимость всех изученных показателей. Соответствующие сведения приведены в таблице 4.

Размеры пациента (толщина и обхват грудной клетки) достоверно прямо пропорциональны практически всем другим антропометрическим показателям (возрасту, росту и массе тела). По результатам корреляционного анализа наиболее объективным антропометрическим показателем является ИМТ. Следует отметить, что для всех групп пациентов, за исключением женщин до 45 лет, характерно среднее значение ИМТ, соответствующее избыточной массе тела (25+).

В то же время ИМТ не учитывает такие важные антропометрические параметры пациента, как толщина и обхват грудной клетки, а данные параметры хорошо коррелируют с ПДП и ВД пациента (коэффициент корреляции r равен 0,66 и 0,5 соответственно; коэффициент Спирмена τ равен 0,68 и 0,65 соответственно). Их также необходимо учитывать при описании телосложения пациента.

Таблица 4

Корреляционная зависимость исследуемых показателей*

Исследуемые показатели	Возраст, лет	Рост, см	Масса тела, кг	ИМТ	Толщина грудной клетки, см	Обхват грудной клетки, см
Экспозиция, мАс	0,34	NS	0,68	0,79	0,70	0,54
Площадь поля, см ²	NS	0,36	0,50	0,37	0,42	0,33
ПДП, сГр·см ²	NS	NS	0,75	0,81	0,72	0,56
Входная доза, мГр	0,31	NS	0,65	0,75	0,66	0,50
E _{эф} , мЗв	NS	NS	0,53	0,46	0,55	0,30
D _{легкие} , мГр	NS	0,39	0,53	0,40	0,52	0,27
D _{мж} , мГр	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* Зависимость была рассчитана с $p < 0,001$. Коэффициенты корреляции меньше 0,3 отмечены как NS (Non-significant).

Рассмотрим связь режимов проведения РЛИ с антропометрическими показателями. Параметры проведения РЛИ коррелируют с ИМТ и массой тела пациентов. Экспозиция более имеет прямую зависимость от ИМТ ($r=0,79$), а площадь снимка – от массы тела ($r=0,50$). Как экспозиция, так и площадь снимка прямо пропорциональны размерам пациента (толщине и обхвату). Взаимосвязь между экспозицией, ИМТ и толщиной грудной клетки приведена на рисунке 3.

Вышесказанное свидетельствует о тесной взаимосвязи режимов проведения РЛИ с антропометрическими показателями.

Далее определим соотношение различных дозиметрических характеристик. Полученная взаимосвязь между ПДП, ВД и ЭД приведена на рисунке 4.

Все три дозовые характеристики хорошо соотносятся между собой [11]. Однако диапазон изменения эффективной дозы для различных категорий пациентов невелик и практически укладывается в погрешность ее определения. Измеряемые дозовые характеристики (ПДП и ВД) наилучшим образом подходят для характеристики отдельных групп пациентов, при этом предпочтение следу-

ет отдавать ВД как уже учитывающей вариации в размере поля облучения.

Следует отметить, что наибольшие различия между отдельными группами пациентов наблюдаются при использовании ПДП в качестве дозиметрического параметра. При переходе от ПДП к ВД различия становятся менее выраженными, но, тем не менее, общий тренд остается тем же. Например, при сравнении ПДП для «стандартных» пациентов и группы мужчин старше 45 лет разница составляет 26%; для ВД – 23%. Разница в эффективной дозе между теми же группами составляет всего 15%. Эффективная доза в данном случае является независимой величиной, что связано с особенностями ее определения [14].

И, наконец, установим взаимосвязь между режимами проведения исследования и дозой пациентов. Коэффициент парной корреляции между ЭД, ПДП и ВД примерно одинаков и высок (находится в пределах $r=0,88-0,83$). Поэтому рассмотрим выше названное соотношение между экспозицией, размером поля и дозиметрической характеристикой на примере ЭД (рис. 5).

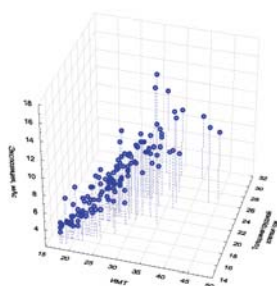


Рис. 3. Зависимость экспозиции от антропометрических показателей

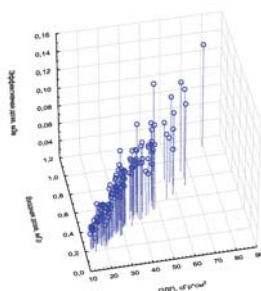


Рис. 4. Взаимосвязь между ПДП, ВД и ЭД

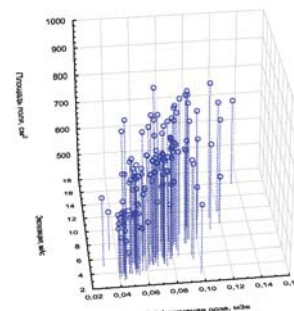


Рис. 5. Взаимосвязь между ЭД, экспозицией и размером поля

Заключение

В результате проведенной работы была исследована взаимосвязь антропометрических, физических (технических) и дозиметрических показателей облучения пациентов при проведении скрининговых исследований ОГК.

Результаты исследования позволяют сделать вывод о наличии существенных различий между исследованными дозиметрическими показателями для разных поло-возрастных групп населения.

Измеренные значения доз пациентов также существенно отличаются между собой как для стандартных и средних пациентов, так и для мужчин и женщин разного возраста. Например, у женщин старше 45 лет измеренные значения ПДП и ВД ($32,8 \text{ сГр}\cdot\text{см}^2$ и $0,47 \text{ мГр}$ соответственно) были значительно выше аналогичных значений для всех женщин ($26,6 \text{ сГр}\cdot\text{см}^2$ и $0,39 \text{ мГр}$ соответственно). Это объясняется более высокой средней массой тела и, соответственно, более высоким ИМТ для данной категории пациентов. В то же время для мужчин столь явных различий не наблюдается: ПДП было равно для мужчин старше 45 лет $39,9 \text{ сГр}\cdot\text{см}^2$, ВД – $0,53 \text{ мГр}$, а для всех мужчин ПДП и ВД были $36,8 \text{ сГр}\cdot\text{см}^2$ и $0,48 \text{ мГр}$ соответственно. Напротив, средние значения для всей выборки весьма близки к значениям для группы мужчин.

Измеряемые дозовые характеристики (произведение дозы на площадь и входная доза) лучше подходят для описания дозы отдельного пациента, а эффективная доза – для описания всей категории пациентов. В последнем случае индивидуальные особенности облучения во многом не учитываются. Например, эффективная доза для стандартных пациентов практически совпадает с эффективной дозой для средних пациентов ($0,07$ и $0,07 \text{ мЗв}$ соответственно); для измеренных доз расхождение уже более существенно (ВД – $0,41 \text{ мГр}$ и $0,44 \text{ мГр}$ соответственно).

Эффективная доза и поглощенные дозы по отдельным органам (легкие и молочные железы) отличаются незначительно для всех пациентов ($0,05$ – $0,08 \text{ мЗв}$). Прослеживаются те же закономерности, что и для измеренных внешних дозовых характеристик: минимальные дозы наблюдаются у женщин моложе 45 лет, максимальные – у мужчин старше 45 лет. При расчете эффективной дозы следует учитывать дополнительную погрешность,

которая обусловлена использованием стандартного фантома МКРЗ (гермафродит ростом 174 см и массой тела $71,4 \text{ кг}$) [10, 14]. Возможность программного обеспечения использовать реальную массу тела и рост пациентов в полной мере не реализована.

В заключение попытаемся сформулировать требования к стандартному пациенту. Для пациентов с массой тела в $70 \pm 5 \text{ кг}$ распределение различных дозовых характеристик является логнормальным, с разбросом в 3–5 раз в зависимости от выбранной характеристики. Поэтому текущий подход с использованием исключительно массы тела в качестве критерия отбора будет неизбежно приводить к систематической ошибке в оценке доз, что неизбежно скажется при определении ДСД и установлении РДУ. На текущий момент учитывать индивидуальные антропометрические особенности пациентов и их групп не представляется возможным вследствие высокой трудоемкости данного метода.

Необходимо совершенствовать текущую концепцию стандартного пациента путем замены массы тела другими антропометрическими показателями, в частности, ИМТ и толщиной области исследования (в данном случае – грудной клетки). При определении «стандартного» пациента по ИМТ (диапазон от 23 до $24 \text{ кг}/\text{м}^2$) дозы будут варьироваться всего в полтора-два раза. При дополнении ИМТ толщиной грудной клетки вариация составит всего 30–40%. Это позволит нам избежать ошибки завышения дозы при сборе информации по ограниченному числу стандартных пациентов. Сравнение диапазонов разброса дозиметрических характеристик и соответствующих им коэффициентов вариации для «стандартных» пациентов, определенных различными методами, приведено в таблице 5.

Более детальный подход к анализу дозовой нагрузки для отдельных групп пациентов необходим при проведении оптимизационных мероприятий и при поиске причин аномально высоких доз в отдельном рентгеновском кабинете, особенно при работе на цифровых рентгеновских аппаратах. Использование параметров проведения процедур, обуславливающих высокую дозу, может являться следствием работы с преимущественно нестандартными пациентами (например, с избыточной массой тела для рентгеновского кабинета на отделении эндокринологии).

Таблица 5

Дозиметрические характеристики для различных категорий стандартных пациентов

Параметр	Стандартные пациенты по массе ($70 \pm 5 \text{ кг}$)	Стандартные пациенты по ИМТ (23 – $24 \text{ кг}/\text{м}^2$)	Стандартные пациенты по ИМТ (23 – $24 \text{ кг}/\text{м}^2$) и толщине грудной клетки (20 – 22 см)
ПДП, $\text{сГр}\cdot\text{см}^2$	$29,4 \pm 8,24$ (20 – 53)	$27,8 \pm 4,65$ ($22,8$ – $38,8$)	$27 \pm 3,47$ ($22,8$ – $32,1$)
Коэффициент вариации	$0,28$	$0,17$	$0,13$
Входная доза, мГр	$0,41 \pm 0,14$ ($0,22$ – $0,92$)	$0,39 \pm 0,07$ ($0,31$ – $0,52$)	$0,36 \pm 0,04$ ($0,32$ – $0,43$)
Коэффициент вариации	$0,34$	$0,18$	$0,11$
Эффективная доза, мЗв	$0,07 \pm 0,02$ ($0,04$ – $0,12$)	$0,07 \pm 0,01$ ($0,05$ – $0,09$)	$0,07 \pm 0,01$ ($0,05$ – $0,08$)
Коэффициент вариации	$0,29$	$0,14$	$0,14$

Выводы

1. Собранные антропометрические параметры пациентов и параметры проведения исследования позволяют точно описать выборку пациентов. При этом доза пациентов будет зависеть от их возраста, телосложения (роста, массы тела, толщины и обхвата грудной клетки), экспозиции и площади поля. В рамках данной работы анодное напряжение и фильтрация не изменялись.

2. Присутствуют значимые различия между дозами для групп пациентов различного половозрастного состава (дозы у женщин ниже, чем у мужчин; у пациентов старше 45 лет дозы выше, чем у пациентов моложе 45 лет). При этом использование стандартных пациентов не позволяет точно охарактеризовать дозовую нагрузку для различных групп пациентов.

3. Для описания отдельных групп пациентов лучше подходят измеряемые дозовые характеристики (ПДП и ВД), для описания всей выборки в целом – эффективная доза.

4. Для определения стандартного пациента предложено использовать комбинацию индекса массы тела и толщину области исследования (грудной клетки). При этом возраст пациента не должен превышать 45 лет.

Литература

1. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер с англ. / под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009.
2. Радиационная защита в медицине. Публикация 105 МКРЗ. Пер с англ. / под ред. Д. Валентина. – СПб, 2011.
3. Guidance on Diagnostic Reference Levels (DRLs) for Medical Exposures. Radiation Protection 109. Directorate-General, Environment, Nuclear Safety and Civil Protection. European Commission, 1999.
4. Leitz, W. Unsolved or unsolvable problems with diagnostic reference levels / W. Leitz, A. Alme'n // Radiation Protection Dosimetry. – 2005 – V. 114, № 1–3. – P. 180–182
5. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях МУ 2.6.1.2944-11. – М.: Роспотребнадзор, 2011.
6. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения : 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность : методические рекомендации МР 2.6.1.0066-12. – М.: Роспотребнадзор, 2012.
7. Барковский, А. Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2012 году / А.Н. Барковский, Н.И. Барышков, Т.А. Кормановская. – СПб., 2013.
8. ICRP Publication 89. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. Annals ICRP. – V. 32 (3–4), 2002.
9. Chest phantom user manual http://www.kyotokagaku.com/products/detail03/pdf/ph-1_manual.pdf
10. Tapiovaara, M. PCXMC 2.0 User guide. STUK-TR7 / M. Tapiovaara, T. Siiskonen. – Helsinki, STUK, 2008.
11. Водоватов, А.В. К разработке референтных диагностических уровней облучения пациентов в отечественной рентгеновской диагностике / А.В. Водоватов, С.А. Кальницкий, М.И. Балонов // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, № 3. – С. 29–36.
12. Aichinger, H. Radiation Exposure and Image Quality in X-Ray Diagnostic Radiology. Physical Principles and Clinical Applications. Second Edition. Springer / H. Aichinger, J. Dierker, S. Joite-Barfuß. – 2012.
13. WHO MBI Database http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html
14. Brenner, D.J. Effective Dose – A Flawed Concept that could and should be replaced. WC 2009, IFMBE Proceedings 25/III / D.J. Brenner. – 2009. – P. 488–490.
15. Sources and Effects of Ionising Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report, Volume I. – NY: United Nations, 2010.

А.В. Водоватов

E-mail: vodovattoff@gmail.com

Поступила: 05.11.2014