

DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-1-47-58

УДК 614.876:616-073.756.8

Использование корреляционного и факторного анализов для изучения показателей, формирующих дозы облучения пациентов при компьютерной томографии

Маткевич Е.И.¹, Синицын В.Е.², Зеликман М.И.³, Иванов И.В.^{1,4}

¹ ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва;

² ФГБОУ ВО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова;

³ ООО «Конструкторское бюро РентгенТест», Москва;

⁴ ФГБНУ Научно-исследовательский институт медицины труда им. акад. Н.Ф. Измерова, Москва

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки в России референтных диагностических уровней (РДУ) облучения пациентов при проведении компьютерной томографии (КТ). Цель исследования состояла в оценке возможности использования методов корреляционного и факторного анализов для установления взаимосвязи показателей, характеризующих КТ, с эффективной дозой облучения пациентов. Методами корреляционного и факторного анализов изучена взаимосвязь эффективной дозы облучения пациентов с 12 показателями для 199 однофазных КТ-исследований головы, органов грудной клетки, органов брюшной полости и малого таза, а также сочетаний этих областей у пациентов. Установлены уровни корреляционной связи эффективной дозы облучения пациентов: сильные уровни (0,77-1,0) – с показателями поглощённой дозы (DLP и CTDI); средние и умеренные уровни (0,48-0,64) – с массой тела, индексом массы тела пациентов и особенностями КТ-аппаратов (толщина среза и коллимация). При анализе КТ-исследований нескольких областей тела, кроме того, выявлена корреляционная связь среднего уровня (0,59) эффективной дозы облучения пациентов с областью исследования (дозовым коэффициентом E_{DLP}). Установленные взаимосвязи эффективной дозы облучения пациентов с показателями КТ, характеризующими протоколы КТ и технические особенности КТ-сканеров, обосновывают необходимость формирования отдельных баз данных по каждому типу КТ-аппаратов и областям исследований при расчёте РДУ для лечебного учреждения, города или региона.

Ключевые слова: дозы облучения пациентов, поглощённые дозы, референтные диагностические уровни, компьютерная томография, корреляционный анализ, факторный анализ.

Введение

В настоящее время дозы облучения населения при медицинских диагностических процедурах вносят существенный вклад в общепопуляционную дозовую нагрузку [1-4]. Так, по данным Государственного доклада Роспотребнадзора по состоянию санитарно-эпидемиологического благополучия населения в России [5] в структуре коллективных доз облучения населения в 2011-2015 гг. дозы от медицинских источников составляли 12,91-15,53%, при этом вклад компьютерной томографии (КТ) в дозу медицинского облучения пациентов в среднем по России увеличился с 22% в 2011 г. до 40% в 2015 г. (в отдельных регионах до 62,8%) при значительном потенциале роста, как и в других развитых странах.

Анализ доз облучения пациентов при КТ в отдельных лечебно-диагностических учреждениях и сравнение полученных данных с национальными и международными референтными диагностическими уровнями (РДУ) важны для контроля доз от медицинского облучения [6]. В настоящее время в России разработаны мероприятия по контролю эффективной дозы (ЭД) облу-

Маткевич Е.И. – врач-рентгенолог, преподаватель, к.м.н. Первый МГМУ им. И.М. Сеченова. Синицын В.Е. – проф. факультета фундаментальной медицины, д.м.н. МГУ им. М.В. Ломоносова. Зеликман М.И. – научн. рук., д.т.н., проф. ООО «Конструкторское бюро РентгенТест». Иванов И.В.* – д.м.н., проф., в.н.с. Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, НИИ медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова.
*Контакты: 105275, Москва, пр. Будённого, 31. Тел. +7 (926) 126 77 25; e-mail: ivanov-iv@yandex.ru.

чения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований, а также методика по сбору информации в целях определения РДУ как при рентгенографических [7, 8], так и при радиографических [9] исследованиях. В ряде стран уже существуют РДУ для КТ, на которые можно ориентироваться [10-16]. Однако, эти уровни требуют уточнения для России. При этом в процессе разработки РДУ для КТ важно учитывать закономерности влияния показателей КТ-исследования на формируемую дозу облучения пациентов [17-19]. Указанные аспекты приобретают особую актуальность в рамках международного проекта EUROSAFE projects по разработке оптимальных алгоритмов снижения дозовой нагрузки на пациентов [20].

Цель исследования – оценить возможности методов корреляционного и факторного анализа для установления взаимосвязи показателей, характеризующих КТ, с эффективной дозой облучения пациентов.

Материалы и методы

Исследования сделаны при проведении стандартных протоколов однофазных КТ-сканирований в 2013-2015 гг. в многопрофильных лечебно-профилактических учреждениях: Центре лучевой диагностики Лечебно-реабилитационного центра (ЛРЦ) Минздрава России (450 коек) – на томографе GE Discovery CT750 HD, и в Городской клинической больнице им. И.В. Давыдовского Департамента здравоохранения Москвы (650 коек) – на томографе Toshiba Aquilion Prime. Сформированная ретроспективная рандомизированная выборка состояла из 199 однофазных КТ-исследований у пациентов обоего пола в возрасте от 20 до 93 лет с массой тела от 42 до 129 кг (табл. 1).

В выборку были включены КТ-исследования головы, органов грудной клетки (ОГК), органов брюшной полости (ОБП), а также органов брюшной полости и малого таза (ОБП+ОМТ). Кроме того, в отдельной группе ОГК+ОБП+ОМТ анализировались показатели при сочетаниях КТ-исследований органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза у пациентов из перечисленных выше групп. Для последующего анализа отбирались КТ-исследования с зарегистрированными показателями CTDI, мГр (доза на один срез) и DLP, мГр·см (произведение дозы на длину области исследования). Эффективные дозы (мЗв) вычислялись согласно нормализованным коэффициентам для каждой из областей, приведённым в [21].

Таблица 1

Общая характеристика пациентов и их распределение по областям КТ-исследований

КТ-аппараты и области КТ-сканирования	Кол-во исследований	Дозы излучения, мЗв	Соотношение мужчин/женщин	Возраст, М±m, лет
GE Discovery CT750 HD (64-рядный)	122	1,33-18,45	52/70	57,5±5,3
Toshiba Aquilion Prime (80-рядный)	77	1,56-11,06	29/48	71,7±3,0
Всего пациентов	199	1,33-18,45	81/118	64,6±4,2
из них с КТ-исследованиями:				
голова	50	1,33-2,57	17/33	66,3±2,5
ОГК	63	1,56-11,5	26/37	51,9±3,0
ОБП	7	2,91-10,27	3/4	66,3±5,7
ОБП+ОМТ	79	3,78-16,89	35/44	58,75±2,8
ОГК+ОБП+ОМТ*	149	5,34-18,45	64/85	60,5±2,9

Примечание: * – анализировались показатели при сочетании КТ у пациентов из групп ОГК, ОБП и ОБП+ОМТ.

В общую корреляционную матрицу по каждому из этих КТ-исследований были занесены 13 показателей с их числовыми (показатели 1-8, 10, 11) или градуированными (показатели 9, 12, 13) значениями (табл. 2).

Таблица 2

Показатели КТ, оцениваемые при корреляционном и факторном анализе

№ п/п	Показатели	Значения
1	Толщина среза, мм	0,5; 1,25
2	Коллимация, мм	1 – 64×0,6; 2 – 80×0,5
3	CTDI, мГр	2,6-54,3
4	DLP, мГр·см	91,6-1119,0
5	ЭД, мЗв	1,33-18,45
6	Масса тела, кг	42-129
7	ИМТ, кг/м ²	14,9-42,7
8	Коэффициент E_{DLP} , мЗв·мГр ⁻¹ ·см ⁻¹	1 – 0,0023; 2 – 0,017; 3 – 0,015; 4 – 0,017
9	Область исследования	1 – голова; 2 – ОГК; 3 – ОБП; 4 – ОБП+ОМТ
10	Протяжённость области исследования, мм	157-675
11	Рост, см	150-196
12	Пол	1 – женский; 2 – мужской
13	Повторность (за последние 3 года)	1 – однократное исследование; 2 – второе исследование; 3 – третье и более исследование

Показатель 4 (DLP) был производным от показателей 3 (CTDI) и 10 («протяжённость области»), а показатель 5 (ЭД) – производным от 4 (DLP) и 8 (коэффициент E_{DLP}). В качестве показателя 3 использован «объёмный» CTDI – «взвешенный» CTDI, приведённый к величине пистолета. Параметры напряжения на трубке и силы тока не включались в сформированную выборку, так как при всех исследованиях в данной выборке использовали одно значение напряжения (120 кВ) и автоматическую модуляцию тока трубки.

В ходе факторного анализа применялся метод главных компонент с вращением осей методом Varimax и вычислялись факторные нагрузки для каждого показателя. При определении количества выделяемых факторов принимали во внимание критерии Кайзера и «Каменистой осыпи».

При анализе уровней корреляции исходили из следующей градации: сильная – $K_{корр.} \geq 0,70$; средняя – $K_{корр.} = 0,50-0,69$; умеренная – $K_{корр.} = 0,30-0,49$; слабая – $K_{корр.} = 0,20-0,29$; очень слабая – $K_{корр.} < 0,19$.

В ходе расчётов использовали разделы корреляционного и факторного анализа пакета компьютерных программ STATISTICA v. 10.0.

Результаты и обсуждение

Средние ЭД и другие дозиметрические параметры при КТ головы, грудной клетки и органов брюшной полости приведены в табл. 3.

Видны характерные отличия в эффективных дозах облучения пациентов для изучаемых областей. Минимальные средние значения ЭД были установлены для области «голова» (от 1,83-2,0 мЗв), максимальные средние значения отмечены при сочетании областей ОБП+ОМТ и ОГК+ОБП+ОМТ (10,4-12,12 мЗв).

Собственные результаты оценки средних ЭД при ОФ КТ были сопоставлены с обобщёнными нами данными о РДУ по BEIR VII, Европейскими (European DRLs), а также в Австралии, Великобритании, Нидерландах и Германии (табл. 4).

Таблица 3

**Средние ЭД и другие дозиметрические параметры при КТ головы,
грудной клетки и ОБП**

Показатель	Анализируемые области	GE Discovery CT750 HD, 64-рядный	Toshiba Aquilion Prime, 80-рядный
Средние ЭД при одном КТ, $M \pm m$, мЗв	голова	1,83±0,05	2,0±0,01
	ОГК	6,04±0,28	2,4±0,2
	ОБП+ОМТ	11,47±1,19	10,4±0,3
	ОГК+ОБП+ОМТ	12,12±2,03	-
DLP (произведение полученной дозы на длину области), $M \pm m$, мГр·см	голова	795,3±31,3	899,2±10,8
	ОГК	361,6±16,6	141,9±10,6
	ОБП+ОМТ	682,39±70,55	633,6±8,8
	ОГК+ОБП+ОМТ	718,23±120,41	-
CTDI (мера поглощённой дозы облучения в одном томографическом срезе), $M \pm m$, мГр	голова	43,0±1,2	51,5±1,0
	ОГК	9,7±0,4	3,8±0,3
	ОБП+ОМТ	12,55±1,02	13,7±1,1
	ОГК+ОБП+ОМТ	8,94±1,01	-

Таблица 4

Референтные диагностические уровни для КТ головы, ОГК, ОБП и ОМТ

Области исследования	Референтные диагностические уровни (ЭД, мЗв)*					
	BEIR VII, 2005 [BEIR VII, 2005]	Европейские (European DRLs, 2005) [Bongartz G., 2004]	Австралия (Australian National DRL, 2011) [Hayton A., 2013]	Великобритания (UK DRLs, 2003); [Tsalaifoutas I.A., 2010]**	Нидерланды (NSRD, 2010) [Molen A.J., 2013]	Германия, (DRW, 2016) [RS-Handbuch, 2016]
Голова	2	2,42	2,3	1,7/2,1	1,82	1,96
ОГК	-	11,05	7,65	7,3/9,9	5,39	5,95
ОБП	10	11,7	-	6,9/7,1	7,84	5,4
ОБП+ОМТ	10-20	11,7+10,83**	11,77	8,7/9,5	7,84+6,33**	11,9
ОГК+ОБП+ОМТ	20-40	11,05+11,7+10,83	20,3	12,9/16	-	17,0

Примечания: * DRL – diagnostic reference levels, NSRD – Nuclear Substances and Radiation Devices, DRW – Diagnostische ReferenzWerte; коэффициент пересчёта по МУ [Методические указания, 2011]: голова – 0,0023, ОГК – 0,017, ОБП – 0,015, ОМТ – 0,019 ($\text{мЗв} \cdot \text{мГр}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$); ** – даны значения по отдельным областям (ОБП и ОМТ); *** – односрезовые/многосрезовые КТ-аппараты.

Как видно, дозы, полученные для ОФ КТ в нашем исследовании (табл. 3), для областей «голова» и ОБП+ОМТ сопоставимы; для области ОГК наши данные в основном ниже в 1,8-2,2 раза, чем для остальных стран; для области ОГК+ОБП+ОМТ сопоставимы с данными для Великобритании и ниже, чем для остальных стран в 1,7-3,2 раза.

Результаты ранжирования показателей КТ по уровню корреляционной связи с ЭД облучения пациентов представлены в табл. 5-7. Для выборки исследований области «голова» ведущая роль (сильная связь) в формировании ЭД обнаружена у показателей DLP и CTDI, умеренная связь – у показателей особенностей геометрии облучения, слабая и очень слабая связь – у показателей конституциональных особенностей пациента (табл. 5).

Таблица 5

Ранжирование показателей, характеризующих КТ, по уровню взаимосвязи с ЭД для области «голова»

Показатель	$K_{\text{корр.}}$	Ранг	Уровень корреляции
DLP, мГр·см	1	1	Сильная
CTDI, мГр	0,77	2	Сильная
Толщина среза, мм	0,48	3	Умеренная
Коллимация, мм	0,48	4	Умеренная
Протяжённость области, мм	0,33	5	Умеренная
Пол	0,23	6	Слабая
Масса тела, кг	0,08	7	Очень слабая
ИМТ, $\text{кг}/\text{м}^2$	0,06	8	Очень слабая

Для выборки исследований области ОГК ведущая роль (сильная связь) в формировании ЭД также наблюдается у показателей DLP и CTDI, при этом до 3-го ранга возрастает значение показателя масса тела (табл. 6). Средняя связь с ЭД (4-6 ранги) установлена также для показателей «толщина среза, коллимация и ИМТ».

Таблица 6

Ранжирование показателей, характеризующих КТ, по уровню взаимосвязи с ЭД для области ОГК

Показатель	$K_{\text{корр.}}$	Ранг	Уровень корреляции
DLP, мГр·см	1	1	Сильная
CTDI, мГр	0,99	2	Сильная
Масса тела, кг	0,64	3	Средняя
Толщина среза, мм	0,60	4	Средняя
Коллимация, мм	0,60	5	Средняя
ИМТ, кг/м ²	0,56	6	Средняя
Рост, см	0,33	7	Умеренная
Повторность	0,33	8	Умеренная
Протяжённость области, мм	-0,15	9	Слабая
Пол	0,07	10	Слабая

При ранжировании показателей КТ по уровню корреляционной взаимосвязи с ЭД облучения пациентов при сочетании областей тела (ОГК+ОБП+ОМТ) (табл. 7) можно видеть их сходство с КТ головы и ОГК по ведущему значению физических особенностей КТ-аппарата, однако выявляется определённое значение при $K_{\text{корр.}}=0,59$ (4-й и 5-й ранги) показателей «область исследования» и коэффициент EDLP. Следует отметить, что последние два показателя взаимосвязаны, так как каждая область исследования характеризуется определённым коэффициентом EDLP.

Таблица 7

Ранжирование показателей, характеризующих КТ, по уровню взаимосвязи с ЭД для сочетания областей ОГК+ОБП+ОМТ

Показатель	$K_{\text{корр.}}$	Ранг	Уровень корреляции
DLP, мГр·см	1	1	Сильная
CTDI, мГр	0,89	2	Сильная
Коллимация, мм	0,61	3	Средняя
Область исследования	0,59	4	Средняя
Коэффициент E_{DLP} , мЗв·мГр ⁻¹ ·см ⁻¹	0,59	5	Средняя
Толщина среза, мм	0,52	6	Средняя
Протяжённость области, мм	0,48	7	Умеренная
Масса тела, кг	0,39	8	Умеренная
ИМТ, кг/м ²	0,31	9	Умеренная
Повторность	0,26	10	Слабая
Рост, см	0,17	11	Очень слабая
Пол	0,14	12	Очень слабая

В ходе факторного анализа, проведённого для отдельных областей (голова, ОГК), а также для сочетания областей (ОГК+ОБП+ОМТ) было выделено 6 факторов (F1-F6) (табл. 8). Как видно из табл. 8, накопленные дисперсии выделенных 6 факторов при анализе показателей КТ по данным областям составляли ~93-99%.

После применения вращения корреляционной матрицы и уточнения выделенных факторов методом Varimax были получены факторные нагрузки для каждого показателя. Выделенные факторы позволили сгруппировать показатели в 6 факторов (F1-F6), которые для каждой анализируемой области распределились следующим образом (табл. 9).

Таблица 8

**Собственные значения факторов и их накопленные дисперсии
по областям исследований**

Факто- ры	Величина параметров по анализируемым областям исследований					
	Голова (n=50)		ОГК (n=63)		ОГК+ОБП+ОМТ (n=149)	
	Eigenvalue – собственные значения	Cumulative – накопленная дисперсия, %	Eigenvalue – собственные значения	Cumulative – накопленная дисперсия, %	Eigenvalue – собственные значения	Cumulative – накопленная дисперсия, %
F1	3,911711	43,46345	4,819815	43,81650	5,543559	42,64276
F2	2,040110	66,13135	2,239839	64,17867	2,363388	60,82267
F3	1,416356	81,86863	1,414480	77,03758	1,492502	72,30346
F4	1,086088	93,93628	0,883030	85,06512	1,114122	80,87362
F5	0,351372	97,84041	0,721573	91,62487	0,823977	87,21191
F6	0,191184	99,96468	0,479188	95,98113	0,696098	92,56651

Таблица 9

**Показатели КТ, сгруппированные в главные факторы по анализируемым
областям исследования**

Фак- торы	Области исследования		
	Голова	ОГК	ОГК+ОБП+ОМТ
	Показатели		
F1	1. Толщина среза, мм 2. Коллимация, мм	7. ИМТ, кг/м ² 6. Масса, кг 3. CTDI, мГр 4. DLP, мГр·см 5. ЭД, мЗв	10. Протяженность области, мм 9. Область исследования 8. Коэффициент E _{DLP} , мЗв·мГр ⁻¹ ·см ⁻¹
F2	4. DLP, мГр·см 5. ЭД, мЗв 3. CTDI, мГр	1. Толщина среза, мм 2. Коллимация, мм	7. ИМТ, кг/м ² 6. Масса, кг
F3	7. ИМТ, кг/м ²	10. Протяженность области, мм	12. Пол 11. Рост, см
F4	12. Пол	11. Рост, см	3. CTDI, мГр 4. DLP, мГр·см 5. ЭД, мЗв
F5	6. Масса, кг	13. Повторность	13. Повторность
F6	10. Протяженность области, мм	12. Пол	1. Толщина среза, мм 2. Коллимация, мм

В качестве ведущих факторов исследований (в сумме характеризовали ~81-94% дисперсии) в каждой из выборок были определены первые 4 фактора. На графиках (рис. 1) представлены значения факторных нагрузок на изучаемые показатели для формирования дисперсий каждой из трёх выборок по областям головы, ОГК, ОГК+ОБП+ОМТ.

Как видно из рис. 1, для каждой области состав главных факторов меняется. Так, при КТ головы в первые два главных фактора группируются показатели особенностей КТ-аппаратов (физических характеристик) и доз, в 3-й и 4-й факторы – конституциональные особенности пациента (ИМТ и пол).

При КТ ОГК в первый главный фактор объединяются конституциональные особенности пациента (масса тела и ИМТ пациента) и показатели доз, второй главный фактор характеризует особенности КТ-аппаратов, 3-й и 4-й факторы составляют показатели, влияющие на геометрию облучения, – протяженность области и рост пациента. При сочетании областей обращает на себя внимание, что первый главный фактор описывает особенности области исследования – область исследований (коэффициент E_{DLP}) и протяженность области, второй и третий факторы объединяют конституциональные особенности пациента – масса тела, ИМТ, рост и пол, в четвёртый фактор группируются дозовые показатели.

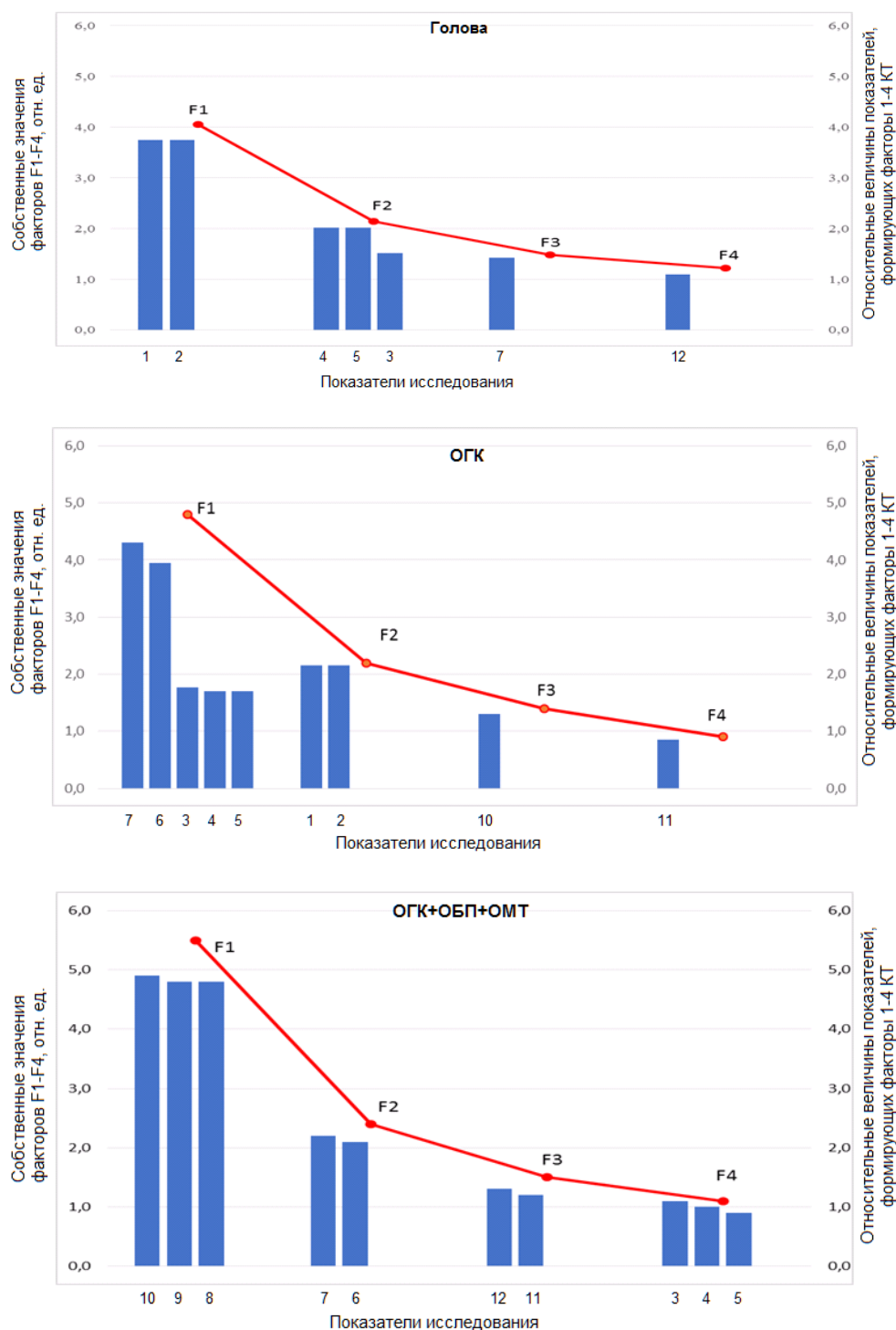


Рис. 1. Собственные значения факторов (F1-F4) и соотношение нагрузок показателей, формирующих их.

По результатам выполненного корреляционного анализа представляется корректным оценивать особенности зависимости ЭД от показателей, характеризующих КТ, по отдельным областям тела (табл. 5-7). При таком подходе выявляется основная закономерность – высокие уровни значимости для ЭД поглощённой дозы (DLP и CTDI), массы и ИМТ пациента и особенностей КТ-аппарата. При добавлении в выборку исследований других областей уровень корре-

ляции ЭД с показателями DLP и CTDI снижается, но при этом проявляется зависимость ЭД от показателей «область исследования» (коэффициент E_{DLP}), «протяжённость области» и особенностей КТ-аппарата. Это подтверждает, что оценку ЭД пациентов следует проводить для каждого из типов аппарата и для каждого ЛПУ, с учётом особенностей протоколов КТ в этом ЛПУ.

Заключение

Основой совершенствования отечественных нормативных документов в направлении внедрения современной международной методологии радиационной защиты от медицинского облучения являются принципы обоснования назначения диагностических и лечебных процедур с применением ионизирующего излучения, оптимизация их проведения и защиты пациента. Актуальность и практическая значимость такого подхода объясняется экономической эффективностью защиты от медицинского облучения. Так, за 12 лет в России было достигнуто среднее снижение годовой коллективной дозы облучения пациентов со 130 тыс. чел./Зв в 2002-2003 гг. до 70 тыс. чел./Зв в 2014 г. (при регулярном росте годового числа рентгенорадиологических исследований со 177 млн в 2002-2003 гг. до 268 млн в 2014 г.). В среднем за 12 лет коллективная доза снижалась на 5 тыс. чел./Зв в год, что эквивалентно предотвращению экономического ущерба не менее 1,5 млрд руб. в год [5].

Учитывая вышеизложенное, представляется важным дальнейшая разработка методологии сбора информации о СЭД по основным типам используемых в отечественном здравоохранении КТ-аппаратов и формирование базы данных для расчёта РДУ при КТ различных областей тела в лечебно-диагностических учреждениях Российской Федерации.

На основе полученных результатов данного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Установлены уровни корреляционной связи эффективной дозы облучения пациентов с рядом показателей КТ по отдельным областям тела: сильные (0,77-1,0) уровни – с показателями поглощённой дозы (DLP и CTDI); средние и умеренные (0,48-0,64) уровни – с массой тела, индексом массы тела пациентов и особенностями КТ-аппаратов (толщина среза и коллимация). При совместном анализе выборок КТ-исследований нескольких областей тела, кроме того, выявлена корреляционная связь среднего (0,59) уровня эффективной дозы облучения пациентов с областью исследования (дозовым коэффициентом E_{DLP}).

2. Использование методов корреляционного и факторного анализов позволяет установить особенности ранжирования и группирования показателей КТ при оценке их влияния на ЭД облучения пациентов.

3. Установленная взаимосвязь дозы облучения пациентов с показателями КТ, характеризующими протоколы КТ и технические особенности КТ-сканеров, обосновывает необходимость формировать отдельные базы показателей по каждому типу КТ-аппарата и областям исследований для расчёта РДУ для каждого лечебного учреждения, города или региона.

Литература

1. **Кашеев В.В., Пряхин Е.А.** Медицинское диагностическое облучение: проблема радиационной безопасности. Обзор //Радиация и риск. 2018. Т. 27, № 4. С. 49-64. DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-4-49-64.
2. **Балонов М.И., Голиков В.Ю., Звонова И.А., Кальницкий С.А., Репин В.С., Сарычева С.С., Чипига Л.А.** Современные уровни медицинского облучения в России //Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 3. С. 67-79.
3. **Balonov M., Golikov V., Kalnitsky S., Zvonova I., Chipiga L., Shatskiy I., Vodovатов A.** Russian practical guidance on radiological support for justification of x-ray and nuclear medicine examinations //Radiat. Prot. Dosimetry. 2015. V. 165, N 1-4. P. 39-42. DOI: 10.1093/rpd/ncv127.
4. **Chipiga L., Bernhardsson C.** Patient doses in computed tomography examinations in two regions of the Russian Federation //Radiat. Prot. Dosimetry. 2016. V. 169, N 1-4. P. 240-244. doi: 10.1093/rpd/ncv516.
5. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015. С. 56-65.
6. European Guidelines on Quality Criteria for CT: EUR 16262. Available at: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d229c9e1-a967-49de-b169-59ee68605f1a> (Accessed 25.01.2019).
7. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения: Методические рекомендации. МР 2.6.1.0066-12. 2.6.1. М.: Роспотребнадзор, 2012.
8. **Водоватов А.В., Кальницкий С.А., Балонов М.И., Камышанская И.Г.** К разработке референтных диагностических уровней облучения пациентов в отечественной рентгеновской диагностике //Радиационная гигиена. 2013. Т. 6, № 3. С. 29-36.
9. **Vodovатов A.V., Balonov M.I., Golikov V.Yu. Shatsky I.G., Chipiga L.A., Bernhardsson C.** Proposals for the establishment of national diagnostic reference levels for radiography for adult patients based on regional dose surveys in Russian Federation //Radiat. Prot. Dosimetry. 2017. V. 173, N 1-3. P. 223-232. DOI: 10.1093/rpd/ncw341.
10. BEIR VII. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. Biological Effects of Ionizing Radiation: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Washington DC: National Academies Press, 2005.
11. **Маткевич Е.И., Синицын В.Е., Зеликман М.И., Кручинин С.А., Иванов И.В.** Основные направления снижения дозы облучения пациентов при компьютерной томографии //Российский электронный журнал лучевой диагностики (REJR). 2018. Т. 8, № 3. С. 60-73. DOI: 10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73.
12. **Hayton A., Wallace A., Marks P., Edmonds K., Tingey D., Johnston P.** Australian diagnostic reference levels for multi detector computed tomography //Australas. Phys. Eng. Sci. Med. 2013. V. 36, N 1. P. 19-26. DOI: 10.1007/s13246-013-0180-6.
13. **Tsalafoutas I.A., Koukourakis G.V.** Patient dose considerations in computed tomography examinations //World J. Radiol. 2010. V. 2, N 7. P. 262-268. DOI: 10.4329/wjr.v2.i7.262.
14. **Van der Molen A.J., Schilham A., Stoop P., Prokop M., Geleijns J.** National survey on radiation dose in CT in The Netherlands //Insights Imaging. 2013. V. 4, N 3. P. 383-390. DOI: 10.1007/s13244-013-0253-9.
15. Röntgenanwendungen Referenzwerte. A.25. Diagnostische Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen (RS-Handbuch) [Electronic resource]. 22 Juni 2016 (BANZ AT 15.07.2016 B8). Available at: http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/referenzwerte/referenzwerte_node.html (Accessed 25.01.2019).
16. **Tsapaki V., Aldrich J.E., Sharma R., Staniszewska M.A., Krisanachinda A., Rehani M., Hufton A., Triantopoulou C., Maniatis P.N., Papailiou J., Prokop M.** Dose reduction in CT while maintaining diagnos-

- tic confidence: diagnostic reference levels at routine head, chest, and abdominal CT-IAEA-coordinated research project //Radiology. 2006. V. 240, N 3. P. 828-834. DOI: 10.1148/radiol.2403050993.
17. **Zelikman M.I., Kruchinin S.A.** Comparative analysis of different methods of evaluation of effective dose of x-ray computer tomographs //Biomedical Engineering. 2009. V. 43, N 5. P. 200-204. DOI: 10.1007/s10527-010-9124-6.
 18. **Бурашов В.В., Зеликман М.И., Кручинин С.А.** Особенности методики оценки эффективных доз при использовании многосрезовых спиральных компьютерных томографов //Российский электронный журнал лучевой диагностики (REJR). 2012. Т. 2, № 4. С. 30-36.
 19. **Маткевич Е.И., Синицын В.Е., Иванов И.В.** Направления оптимизации лучевой нагрузки при компьютерной томографии. Научно-практическое руководство. М.-Воронеж: Элист, 2018. 200 с.
 20. **Goldschmidt F., De Gelder P., Beraha D.** An approach to knowledge management for EUROSAFE projects. EUROSAFE 2005 «Safety Improvements – Reasons, Strategies, Implementation». Brussels, 2005, Sem. 2.
 21. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований: Методические указания. МУ 2.6.1.2944-11. 2.6.1. М.: Роспотребнадзор, 2011.

Using correlation and factor analysis to estimate the relationship between effective dose to a patient and specific CT settings

Matkevich E.I.¹, Sinitsyn V.E.², Zelikman M.I.³, Ivanov I.V.^{1,4}

¹ Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow;

² Lomonosov Moscow State University, Moscow;

³ Design office RoentgenTest Co Ltd, Moscow;

⁴ Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow

To optimize patient protection in computed tomography and to ensure that patient doses are as low as reasonably achievable for the specific CT examination the protocols tailored to patient age or size, anatomical area of imaging should be applied. Because dose estimates from different imaging modalities vary substantially, standardization of dose and reduction in variation in dose without affecting the clinical purpose, development of examination-specific CT protocols for different patient groups is required. The presented study is dictated by the need to develop national examination and patient specific diagnostic reference levels (DRL) for computed tomography (CT). The purpose of the study is to examine the feasibility of using correlation and factor analysis to estimate relationship between effective dose to a patient and CT settings. To solve the task 12 CT protocols in 199 single-phase scans included head, thoracic, abdominal and pelvic organs, as well as scans included several body parts were examined. The following was found: strong correlation (0.77-1.0) between effective radiation dose and absorbed radiation dose (Dose Length Product – DLP, and CT Dose Index – CTDI); moderate correlation (0.48-0.64) between effective dose and body mass, and CT characteristics (slice thickness and collimation); in case of simultaneous scanning of several body parts moderate correlation – 0.59 – was found between effective radiation dose and scanned areas (dose coefficient E_{DLP}). Obtained results allow authors to conclude that for calculating diagnostic reference levels for specific healthcare facility development of a CT-specific and anatomical area-specific databases is required.

Key words: *patients radiation doses, absorbed radiation dose, diagnostic reference levels, computed tomography, correlation analysis, factor analysis.*

Matkevich E.I. – Radiologist, Teacher, C. Sc., Med. Sechenov First Moscow State Medical University. **Sinitsyn V.E.** – Prof., MD. Lomonosov Moscow State University. **Zelikman M.I.** – Scientific Director, D. Sc., Tech., Prof. Design office RoentgenTest Co Ltd. **Ivanov I.V.*** – MD, Prof., Lead. Researcher. Sechenov First Moscow State Medical University, Izmerov Research Institute of Occupational Health.

*Contacts: 31 Pr. Budennogo, Moscow, Russia, 105275. Tel.: +7 (926) 126 77 25; e-mail: ivanov-iv@yandex.ru.

References

1. **Kashcheev V.V., Pryakhin E.A.** Medical diagnostic imaging: radiation safety issues. Review. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 49-64. DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-4-49-64. (In Russian).
2. **Balonov M., Golikov V., Zvonova I., Kalnitsky S., Repin V., Sarycheva S., Chipiga L.** Current levels of medical exposure in Russia. *Radiatsionnaya gigiena – Radiation Hygiene*, 2015, vol. 8, no 3, pp. 67-79. (In Russian).
3. **Balonov M., Golikov V., Kalnitsky S., Zvonova I., Chipiga L., Shatskiy I., Vodovатов A.** Russian practical guidance on radiological support for justification of x-ray and nuclear medicine examinations. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2015, vol. 165, no. 1-4, pp. 39-42. DOI: 10.1093/rpd/ncv127.
4. **Chipiga L., Bernhardsson C.** Patient doses in computed tomography examinations in two regions of the Russian Federation. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2016, vol. 169, no. 1-4, pp. 240-244. doi: 10.1093/rpd/ncv516.
5. O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossiyskoy Federatsii v 2014 godu: Gosudarstvennyy doklad [On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2014: State report]. Moscow, Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2015, pp. 56-65.
6. European Guidelines on Quality Criteria for CT: EUR 16262. Available at: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d229c9e1-a967-49de-b169-59ee68605f1a> (Accessed 25.01.2019).
7. Ioniziruyushcheye izlucheniye, radiatsionnaya bezopasnost'. Primeneniye referentnykh diagnosticheskikh urovney dlya optimizatsii radiatsionnoy zashchity patsiyenta v rentgenologicheskikh issledovaniyakh obshchego naznacheniya. Metodicheskiye rekomendatsii [Ionizing radiation, radiation safety. The use of reference diagnostic levels to optimize the radiation protection of the patient in general radiology. Methodical recommendations. MR 2.6.1.0066-12. 2.6.1]. Moscow, Rospotrebnadzor, 2012.
8. **Vodovатов A.V., Kalnitsky S.A., Balonov M.I., Kamyshanskaja I.G.** Development of diagnostic reference levels (DRL) of patients X-ray exposure in diagnostic radiology. *Radiatsionnaya gigiena – Radiation Hygiene*, 2013, vol. 6, no. 3, pp. 29-36. (In Russian).
9. **Vodovатов A.V., Balonov M.I., Golikov V.Yu., Shatsky I.G., Chipiga L.A., Bernhardsson C.** Proposals for the establishment of national diagnostic reference levels for radiography for adult patients based on regional dose surveys in Russian Federation. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2017, vol. 173, no. 1-3, pp. 223-232. DOI: 10.1093/rpd/ncw341.
10. BEIR VII. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. Biological Effects of Ionizing Radiation: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Washington DC, National Academies Press, 2005.
11. **Matkevich E.I., Sinitsyn V.E., Zelikman M.I., Kruchinin S.A., Ivanov I.V.** Main directions of reducing patient irradiation doses in computed tomography. *Rossiyskiy elektronnyy zhurnal luchevoj diagnostiki – Russian Electronic Journal of Radiology (REJR)*, 2018, vol. 8, no. 3, pp. 60-73. DOI: 10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73. (In Russian).
12. **Hayton A., Wallace A., Marks P., Edmonds K., Tingey D., Johnston P.** Australian diagnostic reference levels for multi detector computed tomography. *Australas. Phys. Eng. Sci. Med.*, 2013, vol. 36, no. 1, pp. 19-26. DOI: 10.1007/s13246-013-0180-6.
13. **Tsalafoutas I.A., Koukourakis G.V.** Patient dose considerations in computed tomography examinations. *World J. Radiol.*, 2010, vol. 2, no. 7, pp. 262-268. DOI: 10.4329/wjr.v2.i7.262.
14. **Van der Molen A.J., Schilham A., Stoop P., Prokop M., Geleijns J.** National survey on radiation dose in CT in the Netherlands. *Insights Imaging*, 2013, vol. 4, no. 3, pp. 383-390. DOI: 10.1007/s13244-013-0253-9.

15. Röntgenanwendungen Referenzwerte. A.25. Diagnostische Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen (RS-Handbuch) [Electronic resource]. 22 Juni 2016 (BAnz AT 15.07.2016 B8). Available at: http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/referenzwerte/referenzwerte_node.html (Accessed 25.01.2019).
16. **Tsapaki V., Aldrich J.E., Sharma R., Staniszewska M.A., Krisanachinda A., Rehani M., Hufton A., Triantopoulou C., Maniatis P.N., Papailiou J., Prokop M.** Dose reduction in CT while maintaining diagnostic confidence: diagnostic reference levels at routine head, chest, and abdominal CT-IAEA-coordinated research project. *Radiology*, 2006, vol. 240, no. 3, pp. 828-834. DOI: 10.1148/radiol.2403050993.
17. **Zelikman M.I., Kruchinin S.A.** Comparative analysis of different methods of evaluation of effective dose of x-ray computer tomographs. *Biomedical Engineering*, 2009, vol. 43, no. 5, pp. 200-204. DOI: 10.1007/s10527-010-9124-6.
18. **Burashov V.V., Zelikman M.I., Kruchinin S.A.** Features of effective dose evaluation when using multislice spiral computed tomography. *Rossiyskiy elektronnyy zhurnal luchevoy diagnostiki – Russian Electronic Journal of Radiology (REJR)*, 2012, vol. 2, no. 4, pp. 30-36. (In Russian).
19. **Matkevich E.I., Sinitsyn V.E., Ivanov I.V.** Napravleniya optimizatsii luchevoy nagruzki pri komp'yuternoy tomografii [Optimization of radiation exposure in computed tomography]. Moscow, Voronezh, Elist Publ., 2018. 200 p. (In Russian).
20. **Goldschmidt F., De Gelder P., Beraha D.** An approach to knowledge management for EUROSAFE projects. EUROSAFE 2005 «Safety Improvements – Reasons, Strategies, Implementation». Brussels, 2005, Sem. 2.
21. Ioniziruyushcheye izlucheniye, radiatsionnaya bezopasnost'. Kontrol' effektivnykh doz oblucheniya patsiyentov pri provedenii meditsinskikh rentgenologicheskikh issledovaniy: Metodicheskiye ukazaniya [Methodical instructions Ionizing radiation, radiation safety. Monitoring of effective radiation doses of patients during medical X-ray studies (MI 2.6.1.2944-11. 2.6.1)]. Moscow, Rospotrebnadzor, 2011. (In Russian).