



ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ХИРУРГОВ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ НА ПОЗВОНОЧНИКЕ

М.В. Кубасов¹, М.Н. Кравцов^{1,2,3}, С.С. Сарычева⁴, Е.Н. Шлеенкова⁴, Д.В. Свистов¹

¹Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;

²Научно-исследовательский институт склеротической помощи им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия;

³Северо-Западный государственный университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия;

⁴Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены

им. проф. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования. Определение доз облучения хирургов при выполнении стабилизирующих операций на позвоночнике с использованием рентгеноскопии и рентгенографии.

Материал и методы. Дизайн: проспективное исследование, описание серии случаев. Выборку составили методики стабилизации позвоночника, наиболее ассоциированные с дозовой нагрузкой: чрескожная транспедикулярная фиксация (ЧТПФ; $n = 11$) и перкутанская кифопластика (ПК; $n = 10$). Оценивали эффективные дозы облучения и эквивалентные дозы облучения хрусталиков глаз и кожи рук.

Результаты. В группах ЧТПФ и ПК соответственно получены следующие значения: эффективные дозы облучения хирурга – 0,07 мЗв и 0,09 мЗв; эквивалентные дозы облучения хрусталика глаза – 1,2 мЗв и 2,45 мЗв, кожи кистей – 11,96 мЗв и 5,59 мЗв.

Заключение. Полученные значения эффективных доз облучения хирурга соответствуют рекомендованным нормам облучения персонала операционной. Безопасный уровень облучения будет превышен после выполнения примерно 150 ЧТПФ или 82 ПК, без учета других оперативных вмешательств, проводимых под рентгенологическим наведением.

Ключевые слова: транспедикулярная фиксация; кифопластика; рентгенография; рентгеноскопия; радиационная безопасность; эффективные дозы облучения; эквивалентные дозы облучения.

Для цитирования: Кубасов М.В., Кравцов М.Н., Сарычева С.С., Шлеенкова Е.Н., Свистов Д.В. Дозы облучения хирургов при операциях на позвоночнике // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 3. С. 89–96. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.3.89-96>

RADIATION EXPOSURE DOSES OF SURGEONS PERFORMING SPINE SURGERIES

М.В. Кубасов¹, М.Н. Кравцов^{1,2,3}, С.С. Сарычева⁴, Е.Н. Шлеенкова⁴, Д.В. Свистов¹

¹S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia;

²Research Institute of Emergency Medicine n.a. I.I. Dzhanelidze, St. Petersburg, Russia;

³North-West State Medical University n.a. I.I. Mечников, St. Petersburg, Russia;

⁴St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene n.a. Prof. P.V. Ramzaev, St. Petersburg, Russia

Objective. To determine the radiation doses of surgeons performing spinal stabilization operations using fluoroscopy and X-ray.

Material and Methods. Design: prospective study and description of a case series. The sample included the most dose-related spine stabilization techniques: percutaneous transpedicular fixation (PTF, $n = 11$) and puncture kyphoplasty (PKP, $n = 10$). Effective radiation doses and equivalent radiation doses to the lenses of the eyes and the skin of the hands were evaluated.

Results. In the PTF and PKP groups, the following values were obtained, respectively: effective radiation doses to the surgeon – 0.07 mSv and 0.09 mSv; equivalent radiation doses to the lens of the eye – 1.2 mSv and 2.45 mSv, and to the skin of the hands – 11.96 mSv and 5.59 mSv.

Conclusion. The obtained values of effective radiation doses to the surgeon correspond to the recommended standards for radiation exposure to operating room personnel. The safe level of radiation will be exceeded after approximately 150 transpedicular fixation procedures or 82 PKPs, without taking into account other surgical interventions performed under radiographic guidance.

Key Words: transpedicular fixation; kyphoplasty; radiography; fluoroscopy; radiation safety; effective radiation doses; equivalent radiation doses.

Please cite this paper as: Kubasov MV, Kravtsov MN, Sarycheva SS, Shleenkova EN, Svistov DV. Radiation exposure doses of surgeons performing spine surgeries. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(3):89–96. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.3.89-96>

В связи с увеличением количества выполняемых малоинвазивных операций на позвоночнике хирурги-вертебрологи (нейрохирурги, травма-

тологи) подвергаются воздействию рентгеновского излучения, что сопряжено с вероятным повышением рисков возникновения у них стохасти-

ческих эффектов [1]. Сокращение времени экспозиции, применение средств индивидуальной радиационной защиты, использование КТ-навигации

при интервенционных пособиях на позвоночнике, безусловно, способствуют снижению воздействия ионизирующего излучения на всех членов операционной бригады [2, 3]. Однако проблему дозиметрического контроля у этой категории медицинских специалистов в Российской Федерации на настоящий момент нельзя считать решенной.

В России медицинский персонал, работа которого связана с воздействием ионизирующего излучения, разделяется на категории. Дозы персонала группы А, непосредственно работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения, контролируют методом индивидуального дозиметрического контроля (ИДК), заключающимся в определении индивидуальных доз облучения работника на основании результатов измерений облучения тела или отдельных органов каждого работника с помощью индивидуальных дозиметров, носимых на поверхности тела в течение периода контроля (ежеквартально). Для персонала группы Б (не работающего с источниками ионизирующего излучения, но находящегося в сфере их воздействия) дозы рассчитывают путем группового дозиметрического контроля. Персонал операционной бригады, участвующий в специальных рентгенологических исследованиях, условия работы которого сопряжены с резко неоднородным полем излучения, внутренним приказом медицинского учреждения относится к персоналу группы А, соответственно с проведением ИДК [4–6]. К этой категории относят и вертебрологов, у которых регистрируется факт высокого перепада доз по телу [7–9]. Chauhan et al. [7] и Yoshihara et al. [8] показали, что у спинальных хирургов подвергаются значительно большему воздействию внешнего облучения (или ионизирующего излучения) хрусталики глаз и верхние конечности, нежели защищенные свинцовым фартуком части тела. Результаты некоторых исследований свидетельствуют, что эффективные дозы облучения хирургов-вертебрологов могут превы-

шать предельные ежегодные показатели, установленные Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ), а частота развития злокачественных новообразований у травматологов-ортопедов оказалась выше, чем у других врачей [10].

Исследований, касающихся изучения особенностей распределения и величины доз хирургов при оперативных пособиях на позвоночнике с использованием современных средств интраоперационного рентгеновского контроля, в Российской Федерации крайне недостаточно [11]. На практике в большинстве хирургических стационаров спинальные хирурги обеспечены далеко не всеми средствами индивидуальной защиты, а ИДК порой и вовсе не проводится.

Все вышеперечисленное обуславливает актуальность данной работы с целью разработки рекомендаций по радиационной защите и ИДК спинальных хирургов.

Цель исследования – определение доз облучения хирургов при выполнении стабилизирующих операций на позвоночнике под рентгеноскопией.

Дизайн: проспективное исследование, описание серии случаев.

Материал и методы

Исследование дозовых нагрузок спинальных хирургов проводили на кафедре нейрохирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург) совместно с Санкт-Петербургским НИИ радиационной гигиены им. проф. П.В. Рамзаева с января по июнь 2024 г. Для исследования были выбраны наиболее ассоциированные с дозовой нагрузкой методики стабилизации позвоночника, такие как чрескожная транспедикулярная фиксация (ЧТПФ) и пункционная кифопластика (ПК).

Критерии включения в исследование: оперативные пособия при дегенеративно-дистрофических заболеваниях и травмах позвоночника (уровень с Th₁₀ по S₁) по методике ЧТПФ или ПК; количество фиксируемых позвонков – не более 4 (3 сегмента/

не более 8 винтов); количество аутментированных позвонков – не более двух.

Критерии исключения: случаи, ассоциированные со значительным увеличением дозовой нагрузки (сочетание ЧТПФ и аугментации, перестановка транспедикулярных винтов вследствие недопустимой мальпозиции, обнаруженной при этапной рентгенографии).

В соответствии с методом оперативного пособия выделили две группы исследования. Первую группу (*n* = 11) составили случаи стабилизирующих операций, выполненных методом ЧТПФ. Во вторую группу вошли две серии из пяти оперативных вмешательств (*n* = 10), проведенных по методике ПК.

В группе ЧТПФ для интраоперационной рентген-навигации использовали мобильный ангиографический комплекс Zeihm Vision RFD, параметры излучения для которого устанавливали в автоматическом режиме, в зависимости от антропометрических данных пациента. Средние значения напряжения и силы тока на аноде рентгеновской трубки составили 87,6 кВ и 13,1 мА.

В группе ПК костную репозицию проводили из одностороннего транспедикулярного доступа с использованием раздуваемого управляемого баллона-катетера, позиционируемого в середине тела поврежденного позвонка. Параметры излучения были стандартными и обеспечивались заводским протоколом исследования Vertebro DR. Значения напряжения и силы тока на аноде рентгеновской трубки были равны 71,3 кВ и 108,0 мА соответственно.

Оценивали эффективные дозы облучения, эквивалентные дозы облучения хрусталиков глаз и кожи рук спинальных хирургов. Кроме того, проанализировали время, потраченное на этап транспедикулярного металлоостеосинтеза. Исходы лечения, положение винтов и наличие миграции костного цемента за пределы тел позвонков в данном исследовании не оценивали.

Значения доз облучения персонала, согласно методическим указаниям по контролю доз облучения персонала (далее МУ 2.6.1.3015-12) [4], определяли по операционным величинам с помощью индивидуальных дозиметров. Операционной величиной для ИДК внешнего излучения является индивидуальный эквивалент дозы – $Hp(d)$. Значение параметра d (мм), определяющего требования к индивидуальному дозиметру внешнего излучения, а также положение дозиметра на теле работника определяются эквивалентом ее нормируемой величины. В данной работе в качестве средств измерения использовали термolumинесцентные дозиметры трех типов (рис.).

1. DTU-01 – термolumинесцентные дозиметры для измерения индивидуального эквивалента дозы на глубине 10 мм – $Hp(10)$, их показания использовали для расчета величины эффективной дозы облучения персонала. Поскольку спинальные хирурги относятся к персоналу, работающему в полях неравномерного облучения (в частности, за счет ношения рентгенозащитной одежды), использовали показания двух индивидуальных дозиметров $Hp(10)$, которые располагали над защитным фартуком на воротнике халата и под защитным фартуком на уровне груди.

2. Eye-D – термolumинесцентные дозиметры для измерения индивидуального эквивалента дозы в хрусталике глаза на глубине 3 мм – $Hp(3)$. Данная измеряемая величина является консервативной оценкой эквивалентной дозы облучения хрусталика глаза. При измерениях дозиметр располагался максимально близко к глазам, но так, чтобы не мешать работе.

3. Finger Ring Type G – термolumинесцентные дозиметры, измеряющие индивидуальный эквивалент дозы пальцев рук в базальных слоях кожи на глубине 0,07 мм – $Hp(0,07)$ и позволяющие оценить эквивалентную дозу внешнего облучения кожи.

Дозиметры на теле хирурга и ассистента располагали в соответствии рекомендуемым МУ 2.6.1.3015-12 (рис.) [4].

Радиационная безопасность во время вмешательств обеспечивалась индивидуальными средствами рентген-защиты (фартуком, воротником) с коэффициентом ослабления 0,25. Рентгенозащитные перчатки и очки в ходе исследования не использовали. При проведении пункционной киофлебэктомии оценивали дозы облучения одного хирурга.

Учитывали погрешность фонового излучения, набираемого дозиметрами в ходе многомесячного исследования. Фоновый дозиметр DTU-01, $Hp(10)$, размещался вне зоны рентгеновского излучения на время оперативных вмешательств.

Для расчета эффективных доз облучения использовали формулу, рекомендованную МУ 2.6.1.3015-12, вне зависимости от анодного напряжения, характеристик фартука и наличия защитного воротника [4]:

$E = 0,6H(10)_{\Gamma, \text{под}} + 0,025H(10)_{\text{В, над}}$,
где: $H(10)_{\Gamma, \text{под}}$ – доза (мЗв), зарегистрированная дозиметром, расположенным на груди под защитным фартуком; $H(10)_{\text{В, над}}$ – доза (мЗв), зарегистрированная дозиметром, расположенным над защитным фартуком на воротнике халата.

рованная дозиметром, расположенным над фартуком на воротнике халата или на шапочке.

Аппаратное сопровождение для двух групп оперативных вмешательств различалось. Для проведения ЧПФ использовали мобильный ангиографический комплекс Zeihm Vision RFD, для ПК – ангиографический комплекс Siemens Artis Q.

Результаты исследований заносили в электронную базу данных с помощью программы Microsoft Excel 2007. Статистическую обработку данных проводили с помощью программного обеспечения Statistica for Windows 10.0 (StatSoft Inc, США) в соответствии с рекомендациями по статистическому анализу результатов медико-биологических исследований.

Результаты

Исследование доз при ЧПФ

Основные характеристики выполненных оперативных вмешательств отображены в табл. 1. Медиана времени излучения составила 69 с [интерквартиль-



Рис.

Места расположения дозиметров на теле хирурга и ассистента: 1 – дозиметр DTU-01, $Hp(10)$, расположенный над рентгенозащитным фартуком; 2 – дозиметр DTU-01, $Hp(10)$, расположенный под рентгенозащитным фартуком; 3 – индивидуальный дозиметр Eye-D, $Hp(3)$; 4 – индивидуальный дозиметр Finger Ring Type G, $Hp(0,07)$ на кисти

Таблица 1

Основные характеристики оперативных вмешательств, выполненных по методике чрескожной транспедикулярной фиксации

Уровень	Количество винтов, шт.	Время излучения, с	Время металлоостеосинтеза, мин
Th ₁₁ –Th ₁₂ , L ₂	6	72	65
Th ₁₁ –L ₁	5	71	74
L ₅ –S ₁	4	65	63
Th ₆ –Th ₈	4	67	69
L ₁ –L ₃	5	83	71
Th ₁₂ –L ₂	6	69	68
L ₄ –L ₅	4	74	64
L ₃ –L ₅	6	60	84
L ₃ –L ₅	6	67	77
L ₄ –S ₁	6	65	65
Th ₁₁ –L ₁	6	76	70
Всего	58	769	770

Таблица 2

Дозиметрические показатели операционной бригады при проведении чрескожной транспедикулярной фиксации (значения, накопленные за 11 операций)

Дозиметрический показатель	Хирург, мЗв	Ассистент, мЗв
Нр(10) под фартуком	<0,05	<0,05
Нр(10) над фартуком	1,7	0,95
Эффективная доза	0,07	0,05
Нр(3) хрусталик глаза	1,2	1,1
Нр(0,07) кожа кистей	11,96	1,73

Нр — индивидуальный эквивалент дозы.

Таблица 3

Дозиметрические показатели, измеренные для хирурга при проведении функциональной кифопластики (суммарные значения за 10 операций в двух сериях)

Дозиметрический показатель	I серия, мЗв	II серия, мЗв
Нр(10) под фартуком	0,01	0,02
Нр(10) над фартуком	1,12	1,78
Эффективная доза	0,03	0,05
Нр(3) хрусталик глаза	0,56	1,89
Нр(0,07) кожа кистей	3,77	1,79

Нр — индивидуальный эквивалент дозы.

ный размах: 66; 73]. Медиана времени, затраченного на установку металлоконструкции, – 69 мин [интерквартильный размах: 65,0; 72,5], процедура установки одного винта заняла

в среднем 13,3 мин [95 % доверительный интервал: 12,58; 13,62].

Дозиметрические показатели, полученные операционной бригадой, приведены в табл. 2.

В ходе расчета эффективных доз облучения за значения доз на груди под фартуком были приняты значения, равные порогу чувствительности дозиметра DTU-1 (0,05 мЗв).

Несущественные различия в полученных значениях эквивалентной дозы в хрусталиках глаз хирурга и ассистента объясняются их равноудаленностью от облучаемого участка тела пациента как источника рассеянного излучения. Разница эквивалентной дозы на коже рук (более чем в 6,5 раза) объясняется тем, что транспедикулярное введение функциональных игл в позвонки выполнял только хирург под контролем (в прямой и боковой проекциях) рентгеноскопии. Относительно высокие показатели облучения рук связаны с тем, что при прямой проекции рентгеноскопии руки хирурга эпизодически находились в прямом пучке рентгеновского излучения. Этим же объясняется большая эффективная доза облучения и доза над фартуком хирурга в сравнении с ассистентом. Для уменьшения облучения при выполнении боковых рентгеновских проекций хирург располагался строго напротив излучателя, так как известно, что дозовая нагрузка на персонал формируется в большей степени за счет излучения, рассеянного от тела пациента, со стороны входа рентгеновского пучка его уровень гораздо выше за счет обратного рассеяния [12].

Исследование доз при ПК

Результаты дозиметрического контроля хирургов в группе ПК представлены в табл. 3. Медиана времени излучения составила 508 с [интерквартильный размах: 492,0; 590,5]. В обеих сериях оперативных вмешательств в зависимости от рентгеновской проекции источник излучения размещался под операционным столом или на противоположной стороне от хирурга.

В зависимости от особенностей систем доставки костного цемента менялись возможности дистанцирования хирурга от источника излучения,

что, вероятно, объясняет различия значений доз над фартуком и в области глаз в двух сериях исследования. Суммарная эффективная доза облучения хирурга за 10 оперативных вмешательств, полученная расчетным методом, составила 0,09 мЗв.

Обсуждение

Согласно регламентирующим документам Российской Федерации, при контроле доз персонала с невысоким перепадом доз по телу индивидуальный дозиметр размещается на уровне груди. Для этих целей используется дозиметр, откалиброванный для измерения индивидуального эквивалента дозы Нр(10). Принимается, что в этом случае его показание отражает и эффективные дозы облучения человека [4–6]. Однако в настоящем исследовании подтвержден факт высокого перепада доз по телу спинального хирурга. К медицинскому персоналу, по условиям труда находящемуся в резко неоднородном поле излучения и работающему с напряжением на рентгеновской трубке от 40 до 120 кВ в защитном фартуке, в качестве метода определения индивидуальной дозы необходимо применять ИДК, для чего он должен быть обеспечен как минимум двумя индивидуальными дозиметрами, расположенным над защитным фартуком на воротнике халата или на шапочке и на груди под защитным фартуком. Для оценки эффективных доз облучения применяется формула, приведенная выше [4].

По результатам исследования установлено, что значения эффективных доз облучения спинального хирурга при проведении стабилизирующего пособия на позвоночнике под рентгенологическим наведением (ЧТПФ и ПК) не превысили 0,01 мЗв. Для достижения рекомендованного годового дозового предела, составляющего 20 мЗв, специалисту необходимо произвести около 2000 подобных вмешательств, что, конечно, не осуществимо на практике. Однако следует учесть, что работа на пределе допу-

стимых пороговых значений является крайне рискованной из-за индивидуальной радиочувствительности организма и вероятности развития детерминированных и стохастических эффектов ионизирующего излучения. Именно поэтому следует стремиться к показателям дозового предела, не превышающим 5 мЗв в год. Так, в МУ 2.6.1.3015-12 указано, что значения пределов доз, как и значения допустимых уровней воздействия для персонала группы Б, должны быть равны 1/4 соответствующих значений для персонала группы А [4]. В таком случае годовой дозовый предел для спинального хирурга достигается выполнением 500 подобных операций. Безусловно, практическая реализация и такого числа операций одним специалистом за указанный период маловероятна. С позиции величины эффективной дозы облучения следует признать данные операции на позвоночнике безопасными для хирурга при условии сопоставимого уровня облучения. Защита хирурга фартуком, по данным литературы, оценивается снижением дозы в 20–50 раз [7].

При проведении ИДК у персонала, работающего в резко неоднородном поле излучения (интервенционисты, спинальные хирурги и др.), помимо эффективных доз облучения, следует также оценивать эквивалентную дозу отдельных частей тела. В рекомендациях МКРЗ акцентируется внимание на непредсказуемости негативных эффектов, вызванных длительным (годы) крайне неравномерным облучением органов или тканей [10, 13].

Согласно данным ранее проведенных исследований, при оценке потенциального радиационного вреда для здоровья персонала операционной приоритетное значение имеют дозы облучения хрусталиков глаз [14]. В документе МАГАТЭ и публикации 139 МКРЗ приводятся результаты исследования, показавшего, что частота помутнения хрусталиков (лучевой катаракты) у интервенционистов в 4–5 раз выше, чем у необлученных лиц контрольной группы [10, 15, 16].

Эквивалентная доза в хрусталике глаза, согласно действующим на территории Российской Федерации МУ 2.6.1.3015-12, не должна превышать 150 мЗв в год [6]. Однако в стандарте безопасности МАГАТЭ GSR Part 3 предел эквивалентной дозы для хрусталика глаза установлен до 20 мЗв/год [10]. По результатам наших измерений эквивалентная доза облучения хрусталиков глаз спинального хирурга при выполнении 10 кифопластик может достигать 2,45 мЗв. Если следовать рекомендациям МАГАТЭ GSR Part 3, то без применения защитных очков хирургу не рекомовано выполнять более 82 подобных операций в год.

Для хирургов-вертебрологов, в отличие от рентгенохирургов, важное значение имеют дозы кожи рук, подвергающихся воздействию прямого пучка рентгеновского излучения [7, 8]. Fujibayashi et al. [17] с целью исследования последствий длительного воздействия низких доз ионизирующего излучения сравнили состояние ногтя и кожи первого пальца доминирующей руки у хирургов-вертебрологов с контрольной группой. В результате исследования была установлена тенденция к развитию контактного дерматита, меланонихии и эрозий ногтевого ложа среди вертебрологов. МКРЗ и МУ 2.6.1.3015-12 устанавливают предельную величину эквивалентной дозы облучения кожи рук – 500 мЗв за год [4, 10]. Суммарная доза облучения кистей хирурга, выполнившего 21 стабилизирующую операцию (ЧТПФ и ПК), по нашим данным, составила 17,52 мЗв. Если стремиться к безопасному уровню облучения, составляющему 1/4 от рекомендованной дозы, то предельное число подобных операций в год без применения защитных перчаток составит 150. При этом Yamashita et al. [13] сообщают об эквивалентной дозе 368 мЗв, зафиксированной на индивидуальном кистевом дозиметре в ходе выполнения 52 оперативных вмешательств одним хирургом за 3-месячный период.

Вышеприведенные значения эквивалентной дозы, полученные в ходе исследования, не в полной мере учи-

тывают способы защиты медицинского персонала от рентгеновского излучения, способные их снизить. К таким относится защита расстоянием, экранированием и временем.

Рассеяние со стороны выхода луча из пациента менее интенсивно, чем обратное рассеяние со стороны входа луча, поскольку тело пациента поглощает от 80 до 99 % от первичного исходящего излучения [12]. Расположение хирурга со стороны детектора, в сравнении с его расположением со стороны излучателя, позволяет уменьшить дозу примерно в 6 раз [18].

В ранее опубликованном исследовании показана эффективность применения защитных очков [19]. Рентгенозащитные очки могут пятикратно уменьшить дозу воздействия на хрусталик, что зависит от площади защитного стекла и его удаления от глаз. Вероятность «затекания» рассеянного излучения под стекло с боков и снизу уменьшается специальной конструкцией очков, плотно прилегающих к лицу со всех сторон [9].

Облучение кожи рук снижается использованием защитных перчаток на 37 %, а использование зажима или любого другого инструмента, фиксирующего иглу Ямшиди, снижает дозу воздействия на кисти рук на 65 % [20].

Защитный экран (ширма) обеспечивает радиационную защиту всего тела персонала операционной (эффективная доза <5 мкЗв на расстоянии 2,5 м от источника излучения за месяц проведения стабилизирующих операций на позвоночнике) [19]. К сожалению, несмотря на очевидные преимущества экранирования, следует учитывать, что ряд манипуляций требует

расположения хирурга непосредственно у источника рентгеновского излучения. Кроме того, размещение защитного экрана в операционной существенно осложняется большим количеством требований к операционному залу, ряд из которых необходимо соблюдать на первоначальных этапах проектирования и строительства [18].

Один из значимых факторов снижения дозы – время излучения, зависящее от опыта специалиста, выполняющего операции под рентгеновским наведением [20]. Среднее время, потраченное на установку одного транспедикулярного винта, в нашем исследовании соответствует данным, приведенным в мировой литературе [21–24].

Заключение

В ходе исследования установлено, что у спинальных хирургов (нейрохирургов, травматологов) при выполнении ЧТПФ и КП под рентгеноскопией при допустимых значениях эффективных доз облучения имеется высокий перепад доз по телу, что связано с необходимостью мануальных действий вблизи от источника ионизирующего излучения и ношением рентгенозащитной одежды. В долгосрочной перспективе этот факт может увеличивать риск развития стохастических эффектов.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1) эффективная доза облучения хирурга при выполнении под рентгеноскопией стабилизирующей операции на позвоночнике при условии работы в рентгенозащитном фартуке не превышает 0,01 мЗв, что соответствует рекомендованным нормам облучения персонала операционной

с учетом количества выполняемых операций в год;

2) эквивалентная доза облучения хрусталиков глаз и кожи рук спинального хирурга может достигать соответственно 0,25 мЗв и 1,1 мЗв в пересчете за одну операцию; безопасный уровень облучения будет превышен после выполнения примерно 150 чрескожных транспедикулярных фиксаций или 82 кифопластик без учета других оперативных вмешательств, проводимых под рентгенологическим наведением; увеличение предельного количества операций может быть достигнуто использованием средств индивидуальной защиты глаз и рук хирурга, применением интраоперационной КТ-навигации;

3) специфика работы спинальных хирургов в полях рентгеновского излучения с резкими перепадами доз по телу требует разработки рекомендаций и требований по радиационной защите и контролю доз облучения для данной группы медицинского персонала.

Ограничения исследования. Ограничения исследования связаны с малым числом наблюдений. В исследовании не оценивали эффективность дополнительных средств индивидуальной защиты, таких как рентгенозащитные очки, шапочка, перчатки, ширма.

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Литература/References

1. Mastrangelo G, Fedeli U, Fadda E, Giovanazzi A, Scoizzato L, Saia B. Increased cancer risk among surgeons in an orthopaedic hospital. <i>Occup Med (Lond)</i> . 2005;55:498–500. DOI: 10.1093/occmed/kqi048	3. Arif S, Brady Z, Enchev Y, Peev N, Encheva E. Minimising radiation exposure to the surgeon in minimally invasive spine surgeries: A systematic review of 15 studies. <i>Orthop Traumatol Surg Res</i> . 2021;107:102795. DOI: 10.1016/j.otsr.2020.102795
2. Lester JD, Hsu S, Ahmad CS. Occupational hazards facing orthopedic surgeons. <i>Am J Orthop (Belle Mead NJ)</i> . 2012;41:132–139.	4. Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций: метод указания МУ 2.6.1.3015-12. Москва: Роспотребнадзор, 2012. [Organization and implementation of individual dosimetric monitoring. Personnel of medical organizations: Guidelines MU 2.6.1.3015-12. Moscow: Rosпотребnadzor, 2012].

5. Приказ Минздрава РФ от 31.07.2000 № 298 «Об утверждении Положения о единой государственной системе контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 03.01.2019). [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of July 31, 2000 No. 298 “On approval of the Regulation on the unified state system for monitoring and recording individual radiation doses of citizens” [Electronic resource]. URL: <http://www.consultant.ru> (date accessed: January 3, 2019)].
6. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 07.07.2009 № 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09» (вместе с «НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы») [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru> [Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 07.07.2009 No. 47 “On approval of SanPIN 2.6.1.2523-09” (together with “NRB-99/2009. SanPIN 2.6.1.2523-09. Radiation safety standards. Sanitary rules and regulations”) [Electronic resource]. URL: <http://www.consultant.ru>].
7. Chauhan D, Ahmad HS, Singh S, Albayar A, Patel A, Welch WC, Yoon JW. A prospective cohort study of radiation exposure to a spine surgeon's exposed body parts during utilization of intraoperative radiation-based imaging. *Clin Spine Surg*. 2023;36:90–95. DOI: 10.1097/BSD.0000000000001450
8. Yoshihara H, Paulino CB. Radiation exposure to the surgeons and patients in fluoroscopic-guided segmental pedicle screw placement for pediatric scoliosis. *Spine*. 2018;43:1398–1402. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002718
9. Loose R. Occupational overexposures in medical field. In: *EU Scientific Seminar 2003 – Medical Overexposures*. 2008:9–24.
10. International Atomic Energy Agency. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2015.
11. Бадалов В.И., Спицын М.И., Коростелев К.Е., Ярмощук Р.В., Родионова А.А. Нейронавигационное ассистирование. Снижение лучевой нагрузки при операциях на позвоночнике у пострадавших с тяжелой сочетанной травмой. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2020;22(2):59–65. [Badalov VI, Spitsyn MI, Korostelev KE, Yarmoshuk RV, Rodionova AA. Neuronavigation assistance. Decreased radiation exposure during spinal surgery in patient with severe combined trauma. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2020;22(2):59–65]. DOI: 10.17816/brmma50047 EDN: IVXIAJ
12. Сарычева С.С. Особенности применения средств радиационной защиты для персонала рентгенохирургических операционных. *Радиационная гигиена*. 2021;14(4):76–84. [Sarycheva SS. Features of radiation protection equipment for the staff of X-ray operating rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(4):76–84]. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-76-84 EDN: RWHHOC
13. Yamashita K, Ikuma H, Tokashiki T, Machara T, Nagamachi A, Takata Y, Sakai T, Higashino K, Sairyo K. Radiation exposure to the hand of a spinal interventionalist during fluoroscopically guided procedures. *Asian Spine J*. 2017;11:75–81. DOI: 10.4184/asj.2017.11.1.75
14. Шлеенкова Е.Н., Голиков В.Ю., Кайдановский Г.Н., Бажин С.Ю., Ильин В.А. Результаты контроля доз облучения хрусталиков глаз у медицинского персонала г. Санкт-Петербурга. *Радиационная гигиена*. 2020;12(4):29–36. [Shleenkova EN, Golikov VYu, Kaidanovsky GN, et al. Results of eye lens doses control of medical personnel in St. Petersburg. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(4):29–36]. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36 EDN: AUGJJC
15. ICRP, 2018. Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication 139. In: *Ann ICRP*. 2018;47(2).
16. Кайдановский Г.И., Шлеенкова Е.Н., Бажин С.Ю., Ильин В.А., Тарната В.А., Фирсанов В.Б. Инструментальное исследование доз облучения и условий работы персонала рентгенохирургических бригад. *Радиационная гигиена*. 2023;16(4):148–157. [Kaidanovsky GN, Shleenkova EN, Bazhin SYu, Ilyin VA, Tarntata VA, Firsanov VB. Instrumental study of radiation doses and working conditions for personnel of X-ray surgical teams. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(4):148–157]. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-4-148-157 EDN: WCMZZL
17. Fujibayashi S, Murata K, Shimizu T, Otsuki B, Masamoto K, Shimizu Y, Matsuda S. An observational survey of nail and skin of spine surgeons—possible damage by occupational ionizing radiation exposure. *Spine Surg Relat Res*. 2021;5:359–364. DOI: 10.22603/ssrr.2020-0204
18. Delgado-Lopez PD, Sanchez-Jimenez J, Herrero-Gutierrez AI, Inclan-Cuesta MT, Corrales-Garcia EM, Martin-Alonso J, Galacho-Harriero AM, Rodriguez-Salazar A. Radiation protection measures: Implications on the design of neurosurgery operating rooms. *Neurocirugia (Engl Ed)*. 2018;29:187–200. DOI: 10.1016/j.neucir.2018.02.007
19. Giraj-Bjelac O, Carinou E, Ferrari P, Gingaume M, Merce MS, O'Connor U. Occupational exposure of the eye lens in interventional procedures: how to assess and manage radiation dose. *J Am Coll Radiol*. 2016;13:1347–1353. DOI: 10.1016/j.jacr.2016.06.015
20. Chen R, Joo EH, Baas C, Hartman J, Amasyali AS, Shete K, Belle JD, Ritchie C, Baldwin EA, Okhunov Z, Farkouh A, Baldwin DD. Reducing hand radiation during renal access for percutaneous nephrolithotomy: a comparison of radiation reduction techniques. *Urolithiasis*. 2024;52:27. DOI: 10.1007/s00240-023-01510-x
21. Ippenburg M, Wagner R, Godschalk A, Telfeian AE. Patient radiation exposure during transforaminal lumbar endoscopic spine surgery: a prospective study. *Neurosurg Focus*. 2016;40:E7. DOI: 10.3171/2015.11.FOCUS15485
22. Assaker R, Reynolds N, Vinchon M, Demondion X, Louis E. Transpedicular screw placement: image-guided versus lateral-view fluoroscopy: in vitro simulation. *Spine*. 2001;26:2160–2164. DOI: 10.1097/00007632-200110010-00024
23. Gang C, Haibo L, Fanci L, Weishan C, Qixin C. Learning curve of thoracic pedicle screw placement using the free-hand technique in scoliosis: how many screws needed for an apprentice? *Eur Spine J*. 2012;21:1151–1156. DOI: 10.1007/s00586-011-2065-2
24. Gonzalo A, Fitt G, Liew S, de la Harpe D, Turner P, Ton L, Rogers MA, Wilde PH. The learning curve of pedicle screw placement: how many screws are enough? *Spine*. 2009;34:E761–E765. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181b2f928

Адрес для переписки:

Кравцов Максим Николаевич
192242, Россия, Санкт-Петербург, ул. Будапештская, 3,
Научно-исследовательский институт скорой помощи
им. И.И. Джанелидзе,
neuromax@mail.ru

Address correspondence to:

Kravtsov Maksim Nikolayevich
Research Institute of Emergency Medicine n.a. I.I. Dzhanelidze,
3 Budapestskaya str., St. Petersburg, 192242, Russia,
neuromax@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 16.02.2025**Рецензирование прошло 03.06.2025**Подписано в печать 16.07.2025**Received 16.02.2025**Review completed 03.06.2025**Passed for printing 16.07.2025*

Максим Валерьевич Кубасов, врач-нейрохирург отделения скорой медицинской помощи лечебно-диагностического центра, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6, eLibrary SPIN: 8497-0248, ORCID: 0009-0002-5101-1925, kubasov-maxim.kubasov@yandex.ru;

Максим Николаевич Кравцов, д-р мед. наук, старший преподаватель кафедры нейрохирургии, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6; руководитель отдела нейрохирургии, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, Россия, 192242, Санкт-Петербург, ул. Будапештская, 3; доцент кафедры нейрохирургии им. проф. А.Л. Поленова, Северо-Западный государственный университет им. И.И. Мечникова, Россия, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41, eLibrary SPIN: 2742-6397, ORCID: 0000-0003-2486-6995, neuromax@mail.ru;

Светлана Сергеевна Сарычева, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В. Рамзаева, Россия, 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, 8, eLibrary SPIN: 5132-1416, ORCID: 0000-0002-4493-0280, svetlana2003@mail.ru;

Екатерина Николаевна Шлеенкова, младший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В. Рамзаева, Россия, 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, 8, eLibrary SPIN: 3712-6325, ORCID: 0009-0006-6391-1639, eshleenkova@mail.ru;

Дмитрий Владимирович Свистов, канд. мед. наук, доцент, начальник кафедры нейрохирургии, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6, eLibrary SPIN: 3184-5590, ORCID: 0000-0003-0966-1852, dvsistov@mail.ru.

Maxim Valeriyevich Kubasov, Neurosurgeon of the Emergency Department of the Medical Diagnostic Center, S.M. Kirov Military Medical Academy, 6 Academika Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia, eLibrary SPIN: 8497-0248, ORCID: 0009-0002-5101-1925, kubasov-maxim.kubasov@yandex.ru;

Maksim Nikolayevich Krautsov, DMSc, senior lecturer of the Department of Neurosurgery, S.M. Kirov Military Medical Academy, 6 Academika Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia; Head of the Department of Neurosurgery, Research Institute of Emergency Medicine n.a. I.I. Dzhanelidze, 3 Budapestskaya str., St. Petersburg, 192242, Russia; Associate Professor of the Department of Neurosurgery n.a. Prof. A.L. Polenov, North-Western State Medical University n. a. I.I. Mekhnikov, 41 Kirochnaya str., St. Petersburg, 191015, Russia, eLibrary SPIN: 2742-6397, ORCID: 0000-0003-2486-6995, neuromax@mail.ru;

Svetlana Sergeyevna Sarycheva, PhD in Biology, senior researcher, Laboratory of Radiation Hygiene of Medical Organizations, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene n.a. Prof. P.V. Ramzaev, 8 Mira str., St. Petersburg, 197101, Russia, eLibrary SPIN: 5132-1416, ORCID: 0000-0002-4493-0280, svetlana2003@mail.ru;

Ekaterina Nikolayevna Shleenkova, junior researcher, Radiation Control Laboratory, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene n.a. Prof. P.V. Ramzaev, 8 Mira str., St. Petersburg, 197101, Russia, eLibrary SPIN: 3712-6325, ORCID: 0009-0006-6391-1639, eshleenkova@mail.ru;

Dmitry Vladimirovich Svistov, MD, PhD, associate professor, Head of the Department of Neurosurgery, S.M. Kirov Military Medical Academy, 6 Akademika Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia, eLibrary SPIN: 3184-5590, ORCID: 0000-0002-3922-9887, dvsistov@mail.ru.