Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко
2026, №3, с. 49–57
https://doi.org/10.17116/neiro20269003149

Burdenko's Journal of Neurosurgery
2026, No. 3, pp. 49–57
https://doi.org/10.17116/neiro20269003149

Сравнительная оценка дозы облучения пациента и нейрохирурга прямопоказывающим дозиметром при проведении транспедикулярной фиксации повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника

© Антон Юрьевич Кордонский[1, 2], Павел Борисович Попов[1], Леонид Исаакович Бескин[3], Александр Вадимович Тупикин[1], Василий Амиранович Каранадзе[1], Евгений Михайлович Иванов[1], Ринат Ирфанович Абдрафиев[1], Артем Николаевич Бородин[1], Рашид Саидович Саидов[1], Андрей Анатольевич Гринь[1, 4]

[1]ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия;
[2]ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, Москва, Россия;
[3]ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве», Москва, Россия;
[4]ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

Резюме

Индивидуальный дозиметрический контроль рутинно проводится с помощью термолюминесцентных дозиметров, суммарная доза в которых накапливается и периодически протоколируется аккредитованной лабораторией. Подобный способ дозиметрии не позволяет получать информацию о лучевой нагрузке при проведении хирургических вмешательств в режиме реального времени.

Цель исследования. Сравнить дозы рентгеновского излучения, полученные пациентом с травматическим повреждением грудного и/или поясничного отдела позвоночника при вмешательстве открытым и малоинвазивным способом.

Материал и методы. 92 пациента, оперированных в связи с травмой грудного и/или поясничного отдела позвоночника. Во время оперативного вмешательства регистрировали произведения дозы на площадь (ПДП, сГр×см^2); показания индивидуального термолюминесцентного дозиметра оперирующих хирургов; индивидуальный эквивалент дозы облучения при помощи четырех прямопоказывающих дозиметров, расположенных на операционном столе на расстоянии 0, 40, 80 и 120 см от прямого пучка источника излучения.

Результаты. 54 пациента были оперированы классическим открытым способом, 38 — транскутанно. Среднее значение ПДП составило 2171 сГр×см^2, а среднее значение зарегистрированного эквивалента дозы ионизирующего излучения — 1,6 мЗв. Малоинвазивные вмешательства сопровождались достоверно более высокой лучевой нагрузкой: медиана ПДП составила 3408,8 сГр×см^2, а эквивалент дозы — 2,3 мЗв, тогда как при открытых операциях — 327,8 сГр×см^2 и 0,2 мЗв соответственно. Дозы облучения хирургов не превышали нормативов.

Заключение. Лучевая нагрузка на пациента при малоинвазивных вмешательствах значимо выше, чем при открытых (средний эквивалент дозы 3 против 0,6 мЗв). Понимание закономерностей формирования поля облучения необходимо для осознанного и безопасного применения рентгеновского излучения.

Ключевые слова: *перелом грудного и поясничного отдела позвоночника, транспедикулярная фиксация, лучевая нагрузка, дозы облучения, эквивалент дозы.*

Информация об авторах:
Кордонский А.Ю. — https://orcid.org/0000-0001-5344-3970
Попов П.Б. — https://orcid.org/0009-0007-5599-0557
Бескин Л.И. — https://orcid.org/0009-0006-3945-2268
Тупикин А.В. — https://orcid.org/0009-0005-7643-9938
Каранадзе В.А. — https://orcid.org/0000-0003-0180-9154
Иванов Е.М. — https://orcid.org/0000-0002-7816-1125
Абдрафиев Р.И. — https://orcid.org/0000-0003-3328-8349
Бородин А.Н. — https://orcid.org/0009-0003-5579-8451
Саидов Р.С. — https://orcid.org/0009-0008-7567-8218
Гринь А.А. — https://orcid.org/0000-0003-3515-8329
Автор, ответственный за переписку: Тупикин А.В. — e-mail: neurosurgeon@tupikinav.ru

Как цитировать:
Кордонский А.Ю., Попов П.Б., Бескин Л.И., Тупикин А.В., Каранадзе В.А., Иванов Е.М., Абдрафиев Р.И., Бородин А.Н., Саидов Р.С., Гринь А.А. Сравнительная оценка дозы облучения пациента и нейрохирурга прямопоказывающим дозиметром при проведении транспедикулярной фиксации повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника. *Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко*. 2026;90(3):49–57. https://doi.org/10.17116/neiro20269003149

Assessment of patient and neurosurgeon radiation exposure using a direct-reading dosimeter during transpedicular fixation for thoracic and lumbar spine injuries

© A.Yu. Kordonskiy[1, 2], P.B. Popov[1], L.I. Beskin[3], A.V. Tupikin[1], V.A. Karanadze[1], E.M. Ivanov[1], R.I. Abdrafiev[1], A.N. Borodin[1], R.S. Saidov[1], A.A. Grin[1, 4]

[1]Sklifosovsky Research Institute for Emergency Care, Moscow, Russia;
[2]Russian University of Medicine, Moscow, Russia;
[3]Center for Hygiene and Epidemiology, Moscow, Russia;
[4]Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract

Introduction. Individual dosimetry is routinely performed using thermoluminescent dosimeters (TLDs). Total dose is accumulated in these devices and periodically recorded by an accredited laboratory. This method does not provide real-time information on intraoperative radiation exposure.

Objective. To compare X-ray doses received by patients with traumatic thoracic and/or lumbar spine injury during open and minimally invasive interventions.

Material and methods. Ninety-two patients underwent surgery for thoracic and/or lumbar spine injury. Intraoperative analysis included dose-area products (DAP, cGy×cm^2), individual TLD dosimeter readings of surgeons. Individual radiation dose equivalent was determined using four direct-reading dosimeters positioned on the operating table at distances of 0, 40, 80, and 120 cm from direct beam of radiation source.

Results. Fifty-four patients underwent open surgery, 38 – transcutaneous procedure. Mean DAP was 2171 cGy×cm^2, mean radiation dose equivalent — 1.6 mSv. Minimally invasive procedures were associated with significantly higher radiation exposure: median DAP 3408.8 cGy×cm^2 and dose equivalent 2.3 mSv compared to 327.8 cGy×cm^2 and 0.2 mSv for open surgeries. Neurosurgeon radiation exposure did not exceed standards.

Conclusion. Patient radiation exposure is significantly higher during minimally invasive procedures compared to open surgeries (mean dose equivalent 3 mSv versus 0.6 mSv). Understanding the patterns of radiation field is necessary for informed and safe use of X-rays.

Keywords: *thoracic and lumbar spine fractures, transpedicular fixation, radiation dose, radiation dose equivalent.*

Information about the authors:
Kordonskiy A.Yu. — https://orcid.org/0000-0001-5344-3970
Popov P.B. — https://orcid.org/0009-0007-5599-0557
Beskin L.I. — https://orcid.org/0009-0006-3945-2268
Tupikin A.V. — https://orcid.org/0009-0005-7643-9938
Karanadze V.A. — https://orcid.org/0000-0003-0180-9154
Ivanov E.M. — https://orcid.org/0000-0002-7816-1125
Abdrafiev R.I. — https://orcid.org/0000-0003-3328-8349
Borodin A.N. — https://orcid.org/0009-0003-5579-8451
Saidov R.S. — https://orcid.org/0009-0008-7567-8218
Grin A.A. — https://orcid.org/0000-0003-3515-8329
Corresponding author: Tupikin A.V. — e-mail: neurosurgeon@tupikinav.ru

To cite this article:
Kordonskiy AYu, Popov PB, Beskin LI, Tupikin AV, Karanadze VA, Ivanov EM, Abdrafiev RI, Borodin AN, Saidov RS, Grin AA. Assessment of patient and neurosurgeon radiation exposure using a direct-reading dosimeter during transpedicular fixation for thoracic and lumbar spine injuries. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2026;90(3):49–57. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/neiro20269003149

Введение

Внедрение современных имплантов, а затем и появление малоинвазивных техник позволили улучшить результаты лечения пациентов с позвоночно-спинальной травмой. Отрицательным следствием малоинвазивной стабилизации позвоночника является значительное рентгеновское облучение как пациента, так и персонала в ходе выполнения операции [1—5]. В рутинной практике индивидуальный дозиметрический контроль проводят с помощью термолюминесцентных дозиметров (ТЛД), суммарная доза в которых накапливается и периодически протоколируется аккредитованной лабораторией. К сожалению, подобный способ дозиметрии не позволяет получать информацию о лучевой нагрузке при проведении хирургических вмешательств в режиме реального времени, что важно, поскольку от действий оперирующего хирурга будет зависеть доза рентгеновского излучения, получаемая пациентом. И хотя объем, качество и достаточность защиты в сочетании с расстоянием до источника рентгеновского излучения являются известными факторами, определяющими степень воздействия излучения, дозу облучения в режиме «реального времени» определить трудно [1].

Таблица 1. **Критерии отбора пациентов**

Критерии включения	Критерии исключения
— возраст пациентов старше 18 лет; — нестабильное травматическое повреждение грудного и/или поясничного позвонка; — выполнение (декомпрессивно)стабилизирующего вмешательства; — использование С-дуги одного типа для всех пациентов; — информированное согласие пациента на участие в исследовании	— патологический характер перелома (остеопороз, опухоль и т.д.); — плотность костной ткани позвонков на предполагаемом уровне стабилизации менее 100 HU по данным КТ; — соматические заболевания в стадии обострения и декомпенсации; — злокачественные новообразования любой локализации; — беременность; — острые инфекционные заболевания; — врожденные заболевания позвоночника и конечностей

Цель исследования — сравнить дозы рентгеновского излучения, полученные пациентом с травматическим повреждением грудного и/или поясничного отдела позвоночника при вмешательстве открытым и малоинвазивным способом.

Материал и методы

Исследование проводили на базе нейрохирургического отделения НИИ СП им. Н.В. Склифосовского с 01.01.2021 по 01.12.2024. Согласно поставленной цели исследования пациенты были отобраны по критериям, представленным в **табл. 1.**

Всем пациентам было выполнено нейрохирургическое вмешательство, включающее установку стабилизирующей системы открытым или малоинвазивным способом (транскутанно). Проведение данного исследования не влияло на тактику хирургического лечения, которая полностью соответствовала существующим национальным клиническим рекомендациям[1].

Все интраоперационные исследования выполняли на рентгеновском аппарате Siemens Arcadis Orbic 3D (Германия) типа С-дуга с расстоянием от рентгеновской трубки до приемника 164,1 см и диаметром рабочего поля зрения 17 см. Согласно руководству по эксплуатации для данного аппарата импульсное напряжение на трубке менялось от 50 до 125 кВ. Все исследования выполняли в режиме рентгеноскопии с автоматическим контролем экспозиции, при котором напряжение и сила тока на рентгеновской трубке менялись в режиме реального времени в зависимости от толщины и плотности анатомической области исследования, фиксировали соответствующие значения произведения дозы на площадь (ПДП, сГр×см^2), измеренной штатным дозиметром С-дуги.

В ходе хирургического вмешательства регистрировали индивидуальный эквивалент дозы облучения H_p (10) (далее — эквивалент дозы) при помощи четырех прямопоказывающих дозиметров фотонного (гамма и рентгеновского) излучения Arrow-Tech W138-S (мЗв), имеющих тканеэквивалентный корпус и позволяющих корректно производить измерения в поле импульсного рентгеновского излучения. Диапазон измерения индивидуального эквивалента дозы дозиметров составляет 0–2 мЗв при цене деления шкалы 0,1 мЗв. Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений индивидуального эквивалента дозы — ±15%. Один дозиметр (дозиметр №1) находился на операционном столе в прямом пучке источника излучения и был виден на снимках в прямой и боковой проекциях. Остальные дозиметры при измерениях располагали на расстоянии 40, 80 и 120 см от прямого пучка источника излучения (дозиметры №2—4 соответственно). Показания прямопоказывающих дозиметров снимали визуально, как это предусмотрено инструкцией по эксплуатации. Также для каждого хирургического вмешательства регистрировали длительность операции, фамилию хирурга, вариант операции (открытая или транскутанная), тип перелома, число сломанных позвонков, число установленных винтов и ПДП, измеренное штатным дозиметром С-дуги. Кроме того, каждый оперирующий хирург использовал индивидуальный ТЛД-дозиметр DTU-1 размером 42×28×18 мм, который размещали на груди (у мужчин) или на уровне пояса (у женщин) под защитным односторонним фартуком (свинцовый эквивалент защиты Pb 0,35/100)[2]. Показания данного дозиметра фиксировали в аккредитованной лаборатории в установленном порядке[2].

Данные, полученные в ходе исследования, фиксировали в электронной таблице. Полученные данные были проанализированы при помощи программы Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Нормальность распределения данных определяли при помощи теста

[1]Перелом (вывих) грудного и пояснично-крестцового отдела позвоночника (одобрены Минздравом России). Клинические рекомендации. Москва; 2021. Ссылка активна на 31.03.2025.
Perelom (vyvih) grudnogo i pojasnichno-krestcovogo otdela pozvonochnika (odobreny Minzdravom Rossii). Klinicheskie rekomendacii. Moscow; 2021. (In Russ.).
https://legalacts.ru/doc/klinicheskie-rekomendatsii-perelom-vyvikh-grudnogo-i-pojasnichno-kresttsovogo-otdela-pozvonochnika/

[2]Комплекс дозиметрический термолюминесцентный «ДОЗА-ТЛД». Руководство по эксплуатации ФВКМ.412118.010РЭ; 2018. Ссылка активна на 22.07.2025.
Kompleks dozimetricheskij termolyuminescentnyj «DOZA-TLD». Rukovodstvo po ekspluatacii FVKM.412118.010RE; 2018. (In Russ).
https://www.doza.ru/docs/radiation_control/doza-tld.pdf

Таблица 2. **Демографические показатели пациентов**

Показатель	Результат
Пол, м/ж, *n*	47/45
Возраст, лет, Me; min–max	53; 19–81
Уровень травмы, *n*, грудной/поясничный	16/76
Число нестабильных позвонков, *n*, 1/2/3	84/3/1
Тип перелома по AOSpine, *n*, A/B/C	83/6/3
Время операции, мин, Me; min–max	167; 35–490
Среднее ПДП, сГр×см², среднее значение; стандартное отклонение	2171±2168
Средний эквивалент дозы на дозиметре №1, мЗв, среднее значение; стандартное отклонение	1,6±1,6

Примечание. Здесь и в **табл. 3, 5**: ПДП — произведение дозы на площадь.

Шапиро—Уилка. Сравнение непрерывных данных с ненормальным распределением проводили с использованием непараметрического критерия Манна—Уитни (U-тест) или теста Краскела—Уоллиса. Сравнение категориальных и дихотомических признаков между группами было проведено с помощью теста χ^2 Пирсона или двустороннего точного критерия Фишера (F-тест). Проверка статистических гипотез была проведена при критическом уровне значимости p=0,05.

Таблица 3. **Статистический анализ соотношения показателей рентгеновского излучения**

Исследуемый параметр	*n*	Среднее ПДП, сГр×см²	*p*, тест	Среднее значение эквивалента дозы дозиметра №1, мЗв	*p*, тест
Уровень травмы					
Грудной	16	2340,8±2257,3	0,4, χ^2	1,7±1,5	0,4, χ^2
Поясничный	76	2135,5±2135,5		1,6±1,6	
Число поврежденных позвонков					
1	84	3407,4±3123,7	0,5, K–W	2,4±2,0	0,51, K–W
2	3	3456,3±2424,7		2,8±2,0	
3	1	7791,4		5,7	
Число винтов					
4	50	1972,9±1972,9 (493,2 на 1 винт)	0,0006, K–W (в пересчете на 1 винт — 0,08)	1,6±1,6	0,02, K–W (в пересчете на 1 винт — 0,08)
6	3	942,3±942,3 (157,4 на 1 винт)		0,7±0,7	
8	39	5408,8±3617,2 (676,1 на 1 винт)		3,5±2,3	
Техника выполнения					
Открытая	54	632,5±632,5	0,00001, χ^2	0,6±0,6	0,0001, χ^2
Малоинвазивная (MIS)	38	4351,7±3059,4		3±1,9	
Хирург					
1	21	2770,1±2770,1	0,19, K–W	2,1±1,9	0,19, K–W
2	14	1511,6±3092,2		1,3±1,2	
3	30	2227,0±2227,0		1,4±1,4	
4	11	1794,4±1676,9		1,4±1,2	
5	16	2116,8±2116,8		1,7±1,7	
Тип перелома					
Тип A	83	3600±3349,5	0,5, K–W	2,5±2,1	0,5, K–W
Тип B	6	2943,6±899,4		2,3±0,5	
Тип C	3	3461,2±2992,0		2,4±2,3	
Объем операции					
Только фиксация	62	3327,4±2610,2	0,07, χ^2	2,5±1,8	0,87, χ^2
Декомпрессия + фиксация	30	2422,7±2422,7		1,7±1,7	

Примечание. K–W — тест Краскела-Уоллиса.

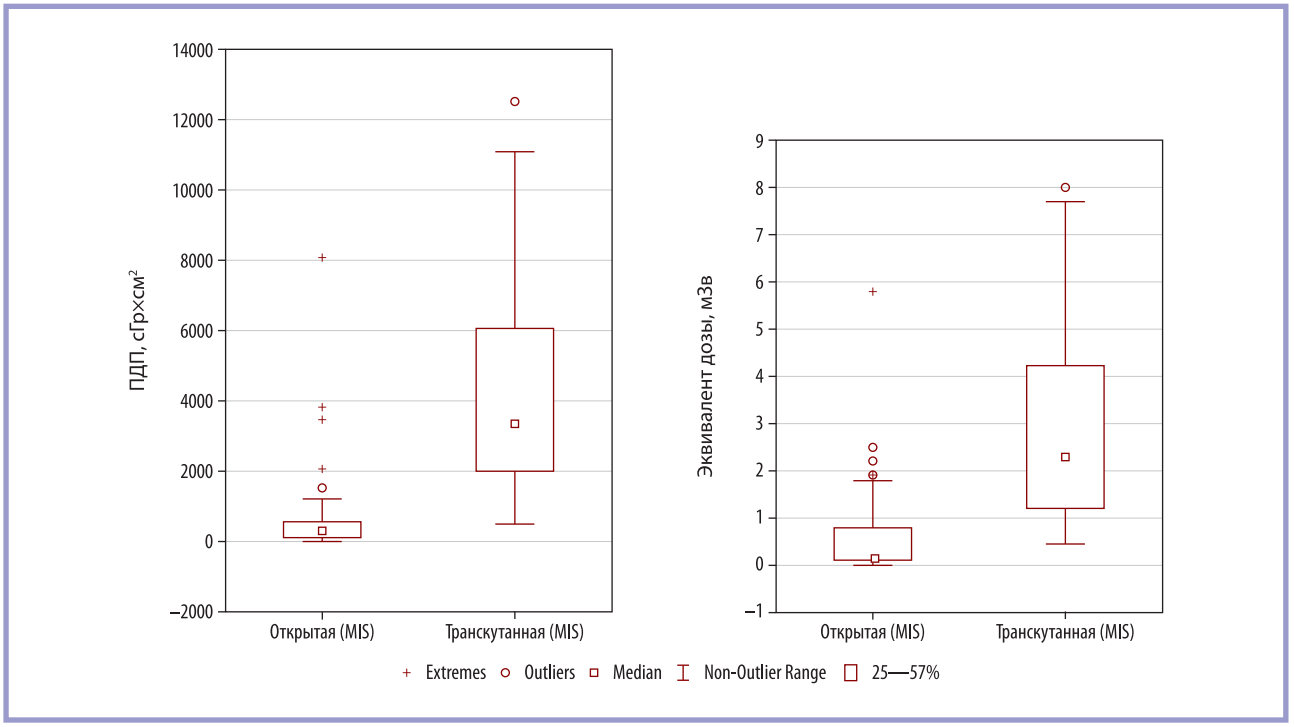


Рис. 1. **Произведение дозы на площадь (ПДП, сГр×см²) и эквивалент дозы (мЗв) при выполнении открытых и транскутанных (MIS, минимально инвазивный вариант установки винтов) стабилизирующих вмешательств.**

Исследование было проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации. Все пациенты, включенные в исследование, были проинформированы о выполняемых измерениях и имели доступ к результатам этих измерений.

Результаты

Всего в НИИ СП им. Н.В. Склифосовского за период с 01.01.2021 по 01.12.2024 было выполнено 361 хирургическое вмешательство по поводу травмы грудного и поясничного отделов позвоночника. Согласно установленным критериям были отобраны 92 пациента (25% от числа всех оперированных пациентов). Демографические данные пациентов, вошедших в исследование, представлены в **табл. 2.**

В группе исследования число мужчин и женщин практически не различалось (47 мужчин и 45 женщин), медиана возраста составила 53 года (19—81 лет), превалировали пациенты с компрессионным или компрессионно-оскольчатым повреждением одного поясничного позвонка (тип А — 83 пациента). Один поврежденный позвонок был у 50 пациентов, два — у 41, три — у 1 пациента. Средняя продолжительность вмешательства составила 167 мин (от 35 до 490 мин), при этом среднее значение ПДП составило 2171±2168 сГр×см² (минимальное значение — 3, максимальное — 125460 сГр×см²), а среднее значение зарегистрированного эквивалента дозы ионизирующего излучения — 1,6±1,6 мЗв (минимальное значение — 0, максимальное — 8 мЗв). Была выполнена статистическая оценка всех анализируемых параметров **(табл. 3)**.

Как следует из **табл. 3**, уровень травмы, число поврежденных позвонков, оперирующий хирург и тип перелома статистически значимо не влияют на интенсивность ионизирующего излучения.

При анализе соотношения лучевой нагрузки и числа установленных винтов была получена ожидаемая достоверная статистическая связь (p=0,0006, тест Краскела—Уоллиса), однако при вычислении показателя ПДП к каждому установленному винту (493,2 сГр×см² на каждый винт при четырехвинтовой фиксации, 157,4 — при шестивинтовой и 676,1 — при восьмивинтовой), статистически значимой зависимости выявлено не было. Относительно более низкие значения лучевой нагрузки при установке шестивинтовых конструкций объяснялось небольшим числом пациентов с данным видом вмешательства (3 пациента), два из которых были оперированы с применением классического открытого доступа.

В проведенном исследовании эквиваленты дозы, показанные дозиметром №1, различались в зависимости от метода установки и числа установленных винтов **(табл. 4)**.

Выбор малоинвазивного варианта установки фиксирующей системы достоверно увеличивал лучевую нагрузку на пациента и персонал: так, традиционные открытые вмешательства сопровождались медианой ПДП 327,8 сГр×см² (min 3 — max 8110), в то время как транскутанные — 3408,8 сГр×см² (min 480,

Таблица 4. **Значения эквивалентных доз при различных вариантах фиксации**

	4 винта	6 винтов	8 винтов
Эквивалент дозы при MIS, мЗв, Me [верхний – нижний квартили]	2,2 [1,6–3,1]	1,8	4,1 [2,2–5,8]
Эквивалент дозы при MIS на один уровень, мЗв, Me [верхний – нижний квартили]	1,1 [0,8–1,6]	0,6	1 [0,6–1,5]
Эквивалент дозы при открытом вмешательстве, мЗв, Me [верхний – нижний квартили]	0,3 [0,1–0,9]	0,2	1,8 [0,85–2,2]
Эквивалент дозы при открытом вмешательстве на один уровень, мЗв, Me [верхний – нижний квартили]	0,15 [0,1–0,5]	0,07	0,45 [0,2–0,6]

Примечание. Здесь и в табл. 5, 6: MIS — minimally invasive surgery, минимально инвазивный вариант установки винтов.

Таблица 5. **Сравнение лучевой нагрузки в зависимости от оперирующего хирурга и метода вмешательства**

Хирург	Всего вмешательств, *n*	Открытые вмешательства, *n*	Среднее значение ПДП при открытых вмешательствах, сГр×см^2	Среднее время при открытых вмешательств, мин	Операции MIS, *n*	Среднее значение ПДП при MIS, сГр×см^2	Среднее время при MIS, мин
1	21	13	670,5	155	8	5252	165
2	14	10	228,2	209	4	4719,7	156,3
3	30	17	476	188,8	13	4518,9	225,2
4	11	5	279,1	297,5	6	2931	269,6
5	16	10	676,9	166	6	4521,7	148,3
Итого	92	54	632,5	191,3	38	4351,7	199,5

Таблица 6. **Данные прямопоказывающих дозиметров Arrow-Tech**

№ дозиметра	Расстояние от пучка излучения, см	Среднее значение эквивалента дозы при MIS (38 операций), мЗв	Среднее значение эквивалента дозы при открытой операции (54 операции), мЗв
1	0	3	0,6
2	40	0,4	0,07
3	80	0,1	<0,1
4	120	<0,1	<0,1

3 — max 12546) и эквивалентом доз 0,2 (0—5,8) и 2,3 (0,5—8) мЗв соответственно **(рис. 1)**.

Сравнение лучевой нагрузки для каждого оперирующего хирурга в зависимости от метода операции не выявило статистически значимой разницы, т. е. у всех хирургов, участвовавших в исследовании, показатели лучевой нагрузки были одинаковыми в подгруппах классической и малоинвазивных методик **(табл. 5)**.

Согласно данным, полученным с прямопоказывающих дозиметров, наибольшее значение эквивалента дозы было зарегистрировано в зоне прохождения пучка рентгеновского излучения, уменьшаясь при удалении от него **(табл. 6, рис. 2)**.

Для выборки из 54 процедур открытых вмешательств итоговый средний эквивалент дозы облучения первого дозиметра (расположенного в пучке излучения) за одну процедуру средней продолжительностью 191,3 мин составил: среднее значение — 0,6, медианное значение — 0,2 с разбросом от 0 до 5,8 мЗв; второго дозиметра (40 см от края пучка): среднее значение — 0,07, медианное значение — 0,005 с разбросом от 0 до 0,7 мЗв; третьего дозиметра (80 см от пучка): среднее значение — 0,01, медианное значение — 0 с разбросом от 0 до 0,2 мЗв, четвертый дозиметр, находившийся на расстоянии 120 см, ионизирующего излучения не зарегистрировал.

Для 38 малоинвазивных вмешательств средней продолжительностью по 199,5 мин итоговый средний эквивалент дозы облучения первого дозиметра составил: среднее значение — 3, медианное значение — 2,3 с разбросом от 0,5 до 8 мЗв; для второго дозиметра: среднее значение — 0,41, медианное значение — 0,36 с разбросом от 0,01 до 1 мЗв; для третьего дозиметра: среднее значение — 0,1, медианное значение — 0,1 с разбросом от 0 до 0,3 мЗв; для четвертого дозиметра: среднее значение — 0,01, медианное значение — 0 с разбросом от 0 до 0,1 мЗв.

На **рис. 2** схематично изображено распределение изодоз в горизонтальной плоскости по результатам проведенных измерений при малоинвазивных и открытых вмешательствах на грудном и поясничном уровнях.

У всех участвующих в исследовании хирургов были зафиксированы значения, снятые с ТЛД за 4 года эксперимента: ни у одного из хирургов доза облучения не превышала нормативов, установленных для

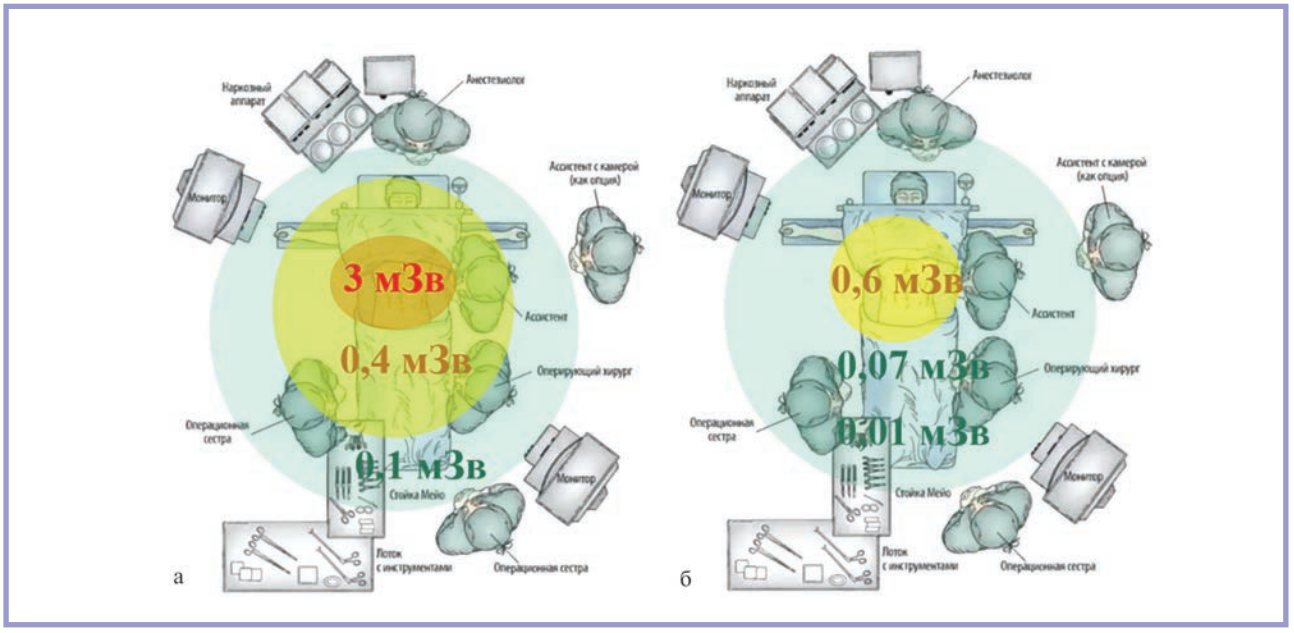


Рис. 2. **Зоны ионизирующего излучения при выполнении малоинвазивного (а) и открытого (б) вмешательства на позвоночнике.**

персонала, работающего в контакте с ионизирующим излучением (максимальное значение — 1,5, минимальное значение — 1,0 мЗв).

Обсуждение

Во время выполнения операции самая высокая доза облучения среди членов операционной бригады при рентгеноскопии приходится на хирургов из-за их близости к зоне рассеяния излучения (к пациенту).

Использование ионизирующего излучения в медицине небезопасно: по некоторым оценкам, медицинская визуализация повышает кумулятивный риск развития злокачественных образований на 7,1% [2]. Дополнительный относительный индивидуальный риск опухолей составляет 5% на 1 Зв [6].

Лучевая нагрузка на хирурга при выполнении стабилизирующих вмешательств на позвоночнике в 4—12 раз выше, чем при операциях на других отделах опорно-двигательного аппарата, особенно учитывая более широкое использование визуализации при проведении малоинвазивных и чрескожных хирургических вмешательств [1, 3, 7].

Принимая во внимание, что в данной работе измерения эквивалента дозы H_p (10) рентгеновского (фотонного) излучения выполнялись с использованием дозиметра Arrow-Tech, имеющего тканеэквивалентный корпус, можно полагать, что его значение соответствует величине эффективной дозы.

В нашем исследовании средняя эффективная доза облучения пациента при классической открытой операции составляет 0,2—0,6 мЗв, а при малоинвазивной — 2,3—3 мЗв. Средняя эффективная доза для открытых операций по поводу повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника у взрослых, о которой сообщается в доступной литературе, составила 0,393 мЗв на уровень, а для малоинвазивных — от 0,611 до 1 мЗв на уровень [8–10]. В проведенном исследовании, эквивалент дозы на 1 уровень при открытой операции составил 0,07—0,45 мЗв, а при малоинвазивной операции — 0,6—1,1 мЗв **(табл. 4)**, что полностью соответствует литературным данным.

Использование барьерных средств рентгеновской защиты (фартук, шейный воротник, очки) является обязательным. При этом эффективная доза на персональных дозиметрах оперирующих хирургов (размещаемых под защитным фартуком на уровне груди) не превышала среднего значения 2 мЗв в год, что не учитывает лучевую нагрузку на руки хирурга, которые находятся в зоне прямого воздействия излучения и, соответственно, получают эффективную дозу, сопоставимую с облучением пациента. Однако, согласно «Нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009», эквивалентная доза планируемого повышенного облучения кистей может достигать 2000 мЗв[3], что может соответствовать 5336 транскутанных вмешательств за карьеру.

[3]Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Ссылка активна на 31.03.2025.
Normy radiacionnoj bezopasnosti NRB-99/2009. Sanitarnye pravila i normativy SanPiN 2.6.1.2523-09. (In Russ.). Accessed 31.03.2025. https://base.garant.ru/4188851/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/?ysclid=m8r5lge1we697490972

Несмотря на то, что по данным проведенного исследования уровень годового профессионального облучения у оперирующих хирургов все еще остается ниже установленных допустимых доз (не более 1,5 мЗв), любое снижение уровня радиационного облучения персонала по-прежнему желательно, поскольку долгосрочные последствия хронического слабого облучения на данный момент не ясны [3, 11, 12]

Ограничение исследования

Методологическим ограничением исследования является то, что прямопоказывающий дозиметр невозможно было расположить в центре поля облучения, поскольку это затрудняло работу хирурга в ходе выполнения манипуляций, поэтому дозиметр №1 располагали сбоку от пациента, при этом он всегда находился в прямом пучке излучения и был виден на снимках в прямой и боковой проекциях.

Заключение

1. Значения лучевой нагрузки в ходе операции по поводу травматического повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника статистически значимо не связаны с уровнем травмы, числом поврежденных позвонков и типом перелома позвоночника.
2. Достоверно большему облучению подвергались пациенты при выполнении малоинвазивных вмешательств, чем при открытых: значения средних эквивалентов дозы в области хирургического интереса при выполнении малоинвазивных вмешательств составили 3 (0,5–8) мЗв в сравнении с 0,6 мЗв при открытых вмешательствах (0 до 5,8 мЗв).
3. Выполнение установки винтов транскутанным способом в режиме рентгеноскопии не сопровождалось превышением допустимых пределов доз для персонала группы Б: ни у одного из хирургов годовая эффективная доза не превышала 1,3 мЗв/год.
4. Информированность персонала и наглядность закономерностей формирования поля (дозы) облучения является важным фактором осознанного использования рентгеновского излучения в медицинской практике.

Участие авторов:
Концепция и дизайн исследования — Гринь А.А., Кордонский А.Ю., Каранадзе В.А., Попов П.Б., Бескин Л.И.
Сбор и обработка материала — Кордонский А.Ю., Попов П.Б., Иванов Е.М., Абдрафиев Р.И., Бородин А.Н., Саидов Р.С.
Статистическая обработка данных — Кордонский А.Ю., Тупикин А.В.
Написание текста — Кордонский А.Ю.
Редактирование — Гринь А.А., Попов П.Б., Бескин Л.И., Тупикин А.В.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Barrios A, Vega N, Martínez J, Padua C, Mendivelso F, Orejuela D. Cumulative Exposure to Ionizing Radiation Among Surgeons During Intraoperative Cholangiography. *World Journal of Surgery*. 2020;44(1):63-68. https://doi.org/10.1007/s00268-019-05170-0
2. Hu Y, Ma M, Yin H, Ren P, Tian X, Zheng Z, Zhong Z, Wang Z, Yang Z, Chen H. Assessment of cumulative cancer risk attributable to diagnostic X-ray radiation: a large cohort study. *European Radiology*. 2023;33(3):1769-1778. https://doi.org/10.1007/s00330-022-09178-4
3. Raza M, Houston J, Geleit R, Williams R, Trompeter A. The use of ionising radiation in orthopaedic surgery: principles, regulations and managing risk to surgeons and patients. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*. 2021;31(5):947-955. https://doi.org/10.1007/s00590-021-02955-9
4. Гринь А.А., Богданова О.Ю., Кайков А.К., Кордонский А.Ю. Хирургическое лечение пациентов с множественной позвоночно- спинномозговой травмой на грудном и поясничном уровнях (обзор литературы). *Нейрохирургия*. 2018;20(1):64-75.
Grin' AA, Bogdanova OYu, Kaykov AK, Kordonskiy AYu. Surgical treatment of patients with multiple vertebral-spinal trauma at thoracic and lumbar levels (literature review). *Russian Journal of Neurosurgery*. 2018;20(1):64-75. (In Russ.). https://doi.org/10.17650/1683-3295-2018-20-1-64-75
5. Казакова Э.Ю., Гринь А.А. Особенности диагностики и хирургического лечения повреждений позвоночника и спинного мозга у пострадавших в результате кататравмы (обзор литературы). *Нейрохирургия*. 2018;20(1):76-85.
Kazakova EYu, Grin' AA. Features of diagnostics and surgical treatment of spine and spinal cord injuries of patients affected by catatrauma (literature review). *Russian Journal of Neurosurgery*. 2018;20(1):76-85. (In Russ.). https://doi.org/10.17650/1683-3295-2018-20-1-76-85
6. Bos D, Guberina N, Zensen S, Opitz M, Forsting M, Wetter A. Radiation Exposure in Computed Tomography. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2023;120(9):135-141. https://doi.org/10.3238/arztebl.m2022.0395
7. Hurley RJ, McCabe FJ, Turley L, Maguire D, Lucey J, Hurson CJ. Whole-body radiation exposure in Trauma and Orthopaedic surgery. *Bone & Joint Open*. 2022;3(11):907-912. https://doi.org/10.1302/2633-1462.311.BJO-2022-0062.R1
8. Kim HJ, Park ES, Lee SH, Park CH, Chung SW. Reduction of Radiation Exposure by Modifying Imaging Manner and Fluoroscopic Settings during Percutaneous Pedicle Screw Insertion. *Journal of Korean Neurosurgical Society*. 2021;64(6):933-943. https://doi.org/10.3340/jkns.2020.0338
9. Klingler JH, Scholz C, Krüger MT, Naseri Y, Volz F, Hohenhaus M, Brönner J, Hoedlmoser H, Sircar R, Hubbe U. Radiation Exposure in Minimally Invasive Lumbar Fusion Surgery: A Randomized Controlled Trial Comparing Conventional Fluoroscopy and 3D Fluoroscopy-based Navigation. *Spine*. 2021;46(1):1-8. https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003685
10. Arif S, Brady Z, Enchev Y, Peev N, Encheva E. Minimising radiation exposure to the surgeon in minimally invasive spine surgeries: A systemat-

ic review of 15 studies. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2021;107(7):102795.
https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102795

11. Raffetto ML, Blum LE, Abbenhaus EJ, Hautala GS, Lemieux B, Pease T, Wright RD, Moghadamian ES, Aneja A, Blair JA, Matuszewski PE. Radiation Exposure Among Orthopaedic Trauma Surgeons: Deconstructing Commonly Held Myths and Misperceptions. *Journal of Orthopaedic Trauma*. 2022;36(8):375.
https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000002340

12. Xu X, Xie Y, Li H, Wang X, Shi S, Yang Z, Lan Y, Han J, Liu Y. Awareness and preparedness level of medical workers for radiation and nuclear emergency response. *Frontiers in Public Health*. 2024;12:1410722.
https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1410722

Поступила/Received 14.04.2025
Исправлена/Revised 27.01.2026
Принята к печати/Accepted 12.03.2026

Комментарий

Статья посвящена сравнительному анализу доз рентгеновского излучения, получаемых пациентом и персоналом при проведении спинальных нейрохирургических вмешательств открытым и малоинвазивным способами. Группы исследования равноценны по основным статистическим параметрам. Важным положительным моментом является использование актуального способа дозиметрического контроля при помощи прямопоказывающих дозиметров, корректность измерений которых в оценке полученной индивидуальной эквивалентной дозы облучения доказанно выше, чем при использовании стандартной дозиметрии, осуществляемой термолюминесцентными устройствами.

Авторами показано, что достоверно большему облучению подвергались пациенты при выполнении малоинвазивных вмешательств. Законодательно принцип нормирования сегодня не распространяется на ситуации, связанные с медицинским излучением, но, в соответствии с принципами радиационной безопасности, а именно обоснованности и оптимизации, полученная человеком польза от воздействия не должна превышать риск возможного вреда, причиненного облучением, а уровень облучения должен поддерживаться на достижимо низком уровне, любое снижение дозы полученного облучения является желательным. Тем не менее и при традиционных, и при малоинвазивных вмешательствах дозы облучения пациента и персонала были незначительными. Это позволяет рекомендовать выбор методики операции исходя из клинической ситуации и не считать несколько меньшую лучевую нагрузку при традиционных вмешательствах преимуществом.

В качестве небольшого замечания хотелось бы отметить, что вместо термина «барьерные средства рентгеновской защиты» правильнее было бы использовать официальный термин «средства индивидуальной защиты», используемый в СанПиН 2.6.1.1192-03.

В целом статья полезна широкому кругу специалистов, выполняющих вмешательства под рентгенотелевизионным контролем (С-дуги, U-дуги, рентгеноскопии).

Ю.А. Козлова (Москва)