



ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ПРИ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА

М.В. Кубасов¹, М.Н. Кравцов^{1–3}, А.В. Голубин², В.Н. Малаховский², Д.В. Свистов²

¹Северо-Западный государственный медицинский университет

им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

²Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи

им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования. Анализ доз облучения пациентов при выполнении декомпрессивно-стабилизирующих операций на позвоночнике под оптической КТ-навигацией и рентгеноскопией.

Материал и методы. Дизайн исследования: ретроспективное когортное. Выборку составили 164 пациента после транспедикулярной фиксации (ТПФ) позвоночника, выполненной по закрытой или открытой методикам. В группе О-arm (n = 109) применяли конусно-лучевую КТ, совмещенную с оптической навигацией, в группе С-arm — рентгеноскопию (n = 55). Оценивали эффективную дозу (ЭД) и максимальную поглощенную дозу в коже (МПДК).

Результаты. ЭД в группе О-arm: Ме 9,1 мЗв, [ИКР: 7,1–11,6]; в группе С-arm: Ме 1,8 мЗв [ИКР: 1,8–5,6]; $p < 0,0001$. МПДК в группе О-arm: Ме 49,3 мГр [ИКР: 27,0–96,9], в группе С-arm: Ме 36,1 мГр [ИКР: 16,6–111,5]; $p = 0,424$.

Заключение. Использование КТ-навигации и рентгеноскопии при ТПФ позвоночника не сопряжено с риском развития детерминированных эффектов. Применение интраоперационной КТ-навигации при ТПФ позвоночника связано с большей ЭД пациента, в сравнении с рентгеноскопией ($p < 0,05$). Различия ЭД пациента при открытых и закрытых способах ТПФ позвоночника статистически незначимы, вне зависимости от вида лучевого наведения и количества уровней фиксации. Количество интраоперационных КТ-сканирований пропорционально величине ЭД пациента ($p = 0,018$).

Ключевые слова: транспедикулярная фиксация позвоночника, эффективная доза облучения, конусно-лучевая компьютерная томография, КТ-навигация.

Для цитирования: Кубасов М.В., Кравцов М.Н., Голубин А.В., Малаховский В.Н., Свистов Д.В. Дозы облучения пациентов при транспедикулярной фиксации позвоночника // Хирургия позвоночника. 2023. Т. 20. № 4. С. 84–91.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2023.4.84-91>.

RADIATION DOSES TO PATIENTS DURING PEDICLE SCREW FIXATION OF THE SPINE

M.V. Kubasov¹, M.N. Kravtsov^{1–3}, A.V. Golubin², V.N. Malakhovsky², D.V. Svistov²

¹North-Western State Medical University n.a. I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia

²S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

³Research Institute of Emergency Medicine n.a. I.I. Dzhanelidze, St. Petersburg, Russia

Objective. To analyze the radiation doses to patients during spinal decompression and stabilization surgery under optical CT navigation and fluoroscopy.

Material and Methods. Study design: retrospective cohort study. The sample consisted of 164 patients who underwent transpedicular fixation of the spine performed by percutaneous or open techniques. In the O-arm group (n = 109), cone-beam CT combined with optical navigation was used; in the C-arm group, fluoroscopy (n = 55) was used. The effective dose equivalent (EDE) and the maximum absorbed dose (MAD) in the skin were evaluated.

Results. EDE in the O-arm group was Me 9.1 mSv, [IQR: 7.1–11.6], and in the C-arm group — Me 1.8 mSv [IQR: 1.8–5.6], $p < 0.0001$. Maximum absorbed dose in the skin in the O-arm group was Me 49.3 mGy [IQR: 27.0–96.9], and in the C-arm group — Me 36.1 mGy [IQR: 16.6–111.5], $p = 0.424$.

Conclusion. The use of CT navigation and fluoroscopy during pedicle screw fixation of the spine is not associated with the risk of developing deterministic effects. The use of intraoperative CT navigation during pedicle screw fixation is associated with a greater patient EDE compared with that of fluoroscopy ($p < 0.05$). Differences in EDE received by patients undergoing open and percutaneous techniques of pedicle screw fixation are statistically insignificant, regardless of the type of beam guidance and the number of fixation levels. The number of intraoperative CT scans is proportional to the patient EDE ($p = 0.018$).

Key Words: pedicle screw fixation, effective dose equivalent, cone-beam computed tomography, CT navigation.

Please cite this paper as: Kubasov MV, Kravtsov MN, Golubin AV, Malakhovsky VN, Svistov DV. Radiation doses to patients during pedicle screw fixation of the spine. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgia Pozvonochnika). 2023;20(4):84–91. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2023.4.84-91>.

Увеличение количества интервенционных вмешательств в последнее время привело к повышенному воздействию ионизирующего излучения на пациентов и медицинский персонал [1].

Как известно, с облучением связано развитие как детерминированных (локальная эритема, эпиляция, изъязвление, некроз), так и стохастических эффектов (радиационно-индуцированный рак, катаракта и пр.). Сокращение времени экспозиции и соблюдение принципа «настолько мало, насколько это возможно» считается обязательной задачей для всех работников здравоохранения [2].

Недостатки, связанные с традиционными методами интраоперационной флюороскопии в хирургии позвоночника, повысили интерес к совершенствованию методов навигации. Использование двухмерной рентгеноскопической навигации снизило частоту мальпозиции транспедикулярных винтов, а введение интраоперационных методов 3D-КТ-навигации минимизировало данный показатель, сделав операции на позвоночнике более безопасными и менее инвазивными. Кроме того, с интраоперационной навигацией связывают такие преимущества, как уменьшение лучевой нагрузки и сокращение времени хирургических вмешательств на позвоночнике [1].

На сегодняшний день не разработано рекомендаций по контролю доз облучения пациентов и медицинского персонала при хирургических пособиях на позвоночнике с применением методов интраоперационной конусно-лучевой КТ [3, 4].

Имеющиеся в литературе сведения о дозах облучения пациентов и спинальных хирургов при использовании интраоперационной конусно-лучевой КТ и традиционной рентгеноскопии сильно разнятся [1, 2, 5–8]. Значительное влияние на результаты измерения оказывают индивидуальный опыт хирурга, техническое оснащение операционной и метод оперативного вмешательства [9–11].

Цель исследования – анализ доз облучения пациентов при выпол-

нении декомпрессивно-стабилизирующих операций на позвоночнике под оптической КТ-навигацией и рентгеноскопией.

Дизайн исследования: ретроспективное когортное.

Материал и методы

В исследование включены пациенты клиники нейрохирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург), которым в 2019–2021 гг. были выполнены стабилизирующие операции с использованием транспедикулярных конструкций.

Критерии включения в исследование: дегенеративно-дистрофические заболевания и травмы нижнегрудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника (Th_{10} – S_1) у пациентов, которым выполнены операции с применением транспедикулярных конструкций; количество фиксируемых позвонков – не более четырех (3 сегмента), не более 8 винтов; оперативные пособия, оказываемые хирургами, имеющими опыт не менее 100 аналогичных оперативных вмешательств.

Критерии исключения из исследования: случаи, ассоциированные со значительным увеличением дозовой нагрузки (выполнение более трех интраоперационных КТ, сочетание различных методик аугментации полиметилметакрилатом, переустановка транспедикулярных винтов вследствие недопустимой мальпозиции, обнаруженной при этапной рентгенографии или КТ).

Транспедикулярную фиксацию (ТПФ) осуществляли открытым (О-ТПФ) или закрытым (З-ТПФ) способами. В части случаев ТПФ сочеталась с декомпрессией и межтеловой стабилизацией по методу TLIF (трансфораминальный поясничный межтеловой спондилодез).

Операции проводили под контролем традиционной рентгеноскопии или интраоперационной конусно-лучевой КТ. Использовали мобильный ангиографический комплекс Zeihm Vision RFD (C-arm), обеспечивающий получение 2D-изображений, и интраоперационный конусно-луче-

вой томограф (КТТ) O-arm-Medtronic, совмещенный с системой навигации StealthStation S7-Medtronic, позволяющей получать 3D-КТ-изображения.

Исследование дозовых нагрузок пациентов при нейрохирургических пособиях на позвоночнике проводили путем ретроспективного анализа эффективных доз (ЭД) и максимальной поглощенной дозы в коже (МПДК) пациентов.

ЭД пациентов определяли расчетным методом по формулам, приведенным в МУ 2.6.1.2944-11 [3]. При рентгеноскопии за основу брали показатель произведения дозы на площадь (ПДП), а при конусно-лучевой КТ – произведение дозы на длину сканирования (ПДД). Для определения ЭД пациента по данным о ПДП при операции в целом, включающем различные наклоны оси С-дуги, использовали $K_d = 0,2 \text{ мЗв}/(\text{Гр} \cdot \text{см}^2)$. Для расчета ЭД при КТ нижнегрудных и поясничных позвонков согласно МУ 2.6.1.2944-11, материала МАГАТЭ и ряда других мировых публикаций, был выбран $K_d = 0,015$ [3, 4, 7, 10].

Статистическую обработку данных проводили посредством процессора электронных таблиц Microsoft Excel и программного обеспечения IBM SPSS Statistics Version 23 (IBM Corp., США). Значимость различий средних значений количественных и порядковых показателей в независимых выборках оценивали по U-критерию Манна – Уитни, проверку гипотез однородности более двух независимых выборок – по критерию Краскела – Уоллиса. Результаты считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Проанализировали дозы облучения пациентов при 164 оперативных вмешательствах. В соответствии с методом интраоперационного лучевого сопровождения пациентов разделили на 2 группы: в первой группе (O-arm) применяли конусно-лучевую КТ, совмещенную с оптической навигацией ($n = 109$); во второй (C-arm) – рентгеноскопию ($n = 55$).

Структура в группе O-arm была следующей: закрытый способ ТПФ



Рис. 1

Основные этапы закрытой транспедикулярной фиксации под контролем O-arm: а – фиксация референтной рамки; б – введение наведируемой иглы в тело позвонка; в – введение канюлированного винта по спице; г – завершение наведируемого этапа

позвоночника – 23 случая (n = 5: 3-ТПФ + TLIF; n = 18: 3-ТПФ); открытый способ – 86 (n = 82: О-ТПФ + TLIF; n = 4: О-ТПФ). В группе с применением традиционной рентгеноскопии выполнено 23 закрытых фиксации (n = 3: 3-ТПФ + TLIF; n = 20: 3-ТПФ) и 32 – открытых (n = 6: О-ТПФ + TLIF; n = 26: О-ТПФ).

При закрытой ТПФ под контролем O-arm с навигацией референтную рамку фиксировали стандартно: к остистому отростку позвонка ниже уровня фиксации или к крылу подвздошной кости. Спицы для канюлированных винтов вводили в тела позвонков по предустановленной наведируемой игле (рис. 1). При открытой ТПФ под контролем рентгенографии в прямой и боковой проекциях применяли метод свободной руки с оценкой точки и направления введения винта посредством спиц.

Для мобильного ангиографического комплекса Zeihm Vision RFD параметры излучения устанавливали в автоматическом режиме, в зависимости от антропометрических данных пациента. Средние значения напряжения и силы тока на аноде рентгеновской трубки были равны 88,1 кВ и 15,3 мА. Среднее время излучения составило 303,4 с. Параметры излучения интраоперационного КЛТ O-arm-Medtronic на аноде рентгеновской трубки были типовыми: напряжение 120,0 кВ, сила тока 125,12 мА.

Примеры протоколов интраоперационных исследований мобильного ангиографического комплекса Zeihm Vision RFD и КЛТ O-arm-Medtronic приведены на рис. 2.

Результаты

Значения ЭД и МПДК в представленной выборке не подчинялись закону нормального распределения (Tests of Normality Shapiro – Wilk = 0,000).

Минимальные и максимальные значения ЭД пациента в группе O-arm составили 4,7 и 29,6 мЗв, в группе C-arm –

0,23 и 28,6 мЗв. Медиана ЭД в группе O-arm в 5 раз превысила аналогичный показатель в группе C-arm.

МПДК пациента находилась в интервалах 6,9–453,4 мГр и 4,5–572,1 мГр в группах O-arm и C-arm соответственно. Средняя арифметическая МПДК в 1,4 и 2,7 раза превысила значения медианы в группах из-за присутствия небольшого числа случаев с высокой дозовой нагрузкой (табл. 1, рис. 3).

ЭД в группах имела статистически значимые различия. Значимых межгрупповых различий МПДК не получено (рис. 3).

P10:05:14.03.15 WPA SPs

PAT 5724 Neurosurgery

Fluoroscopy Mode	Time	Cumulative Dose
Fluoro/Readout	min 1:19	100 %
MLC/Snap/Switch	min 0:00	0 %
Radiography	min 0:00	0 %
Totals	min 1:19	2787,31 cGy^a

Magnification	Time	Cumulative Dose
No Mag	min 1:19	100 %
Mag 1	min 0:00	0 %
Mag 2	min 0:00	0 %

Pulsing	Time	Cumulative Dose
Pulsed	min 1:19	100 %
Continuous	min 0:00	0 %

RTE 4 MAG 0

0 3° U 100 L 50 14.03.2015 13:53:10

0.57 cGy/cm² 2787,31 mAs 1:19

а

Dose Report

Generated On 16.02.2023 11:16:58

Institution Name Military Medical Academy

Station Name O-arm 01602030

Patient Last Name 03.11.2022 9:11

Patient First Name

Patient Middle Name

Patient ID

Birthdate

Sex

Study Date 03.11.2022 9:11:15

Accession Number

Study Description

Performing Physician

Height (cm)

Weight (kg)

Fluoroscopy Dose

Mode of Operation	Irradiation Duration (sec)	Exposure (mGy)	DAP (mGy ^a cm ²)
Low Level Fluoro	0:00	0.00	0.00
Pulsed	0:20	7.66	17.36
High Level Fluoro	0:00	0.00	0.00
Total	0:20	7.66	17.36

3D Dose

ID	kVp	mAs	CTDI (mGy)	DLP (mGy ^a cm)	Phantom (cm)
01 #1	120.00	3.12.00	22.52	699.20	Body 32
02 #2	120.00	3.12.00	22.52	699.20	Body 32
03 #3	120.00	3.12.00	22.52	699.20	Body 32
Total				2097.60	

б

Рис. 2

Протокол интраоперационных исследований мобильного ангиографического комплекса Zeihm Vision RFD (а) и конусно-лучевого томографа O-arm-Medtronic (б)

Таблица 1

Эффективная доза и максимальная поглощенная доза в коже пациентов при транспедикулярной фиксации позвоночника под контролем оптической КЛТ-навигации и рентгеновским наведением

Параметры	Группа O-arm (n = 109)			Группа C-arm (n = 55)			p-value*
	М	Me	Q1–Q3	М	Me	Q1–Q3	
Эффективная доза, мЗв	10,1	9,1	7,1–11,6	4,9	1,8	1,8–5,6	0,000
Максимальная поглощенная доза в коже пациентов, мГр	70,9	49,3	27,0–96,9	98,9	36,1	16,6–111,5	0,424

* Mann – Whitney U Test.

Выявленные межгрупповые различия ЭД пациента потребовали более детальной оценки данного показателя в группах. Проанализировали зависимость суммарной ЭД пациента от вида оперативных пособий (О-ТПФ/З-ТПФ) и количества оперированных сегментов (табл. 2). Дополнительно определили зависимость ЭД пациента от количества КТ, выполненных в течение одной операции.

Вне зависимости от вида лучевого сопровождения внутригрупповые различия в суммарных ЭД при открытых и закрытых способах ТПФ позвоночника не являлись статистически значимыми. Отмечена лишь незначимая тенденция к повышению ЭД пациента в группе C-arm при З-ТПФ (рис. 4).

Медиана ЭД пациента при открытых вмешательствах с применением конусно-лучевой томографии с навигацией в 6,2 раза превысила аналогичные показатели группы традиционной рентгеноскопии. В подгруппе закрытой ТПФ ЭД пациента при конусно-лучевой томографии с навигацией была в 3,2 раза больше (рис. 5).

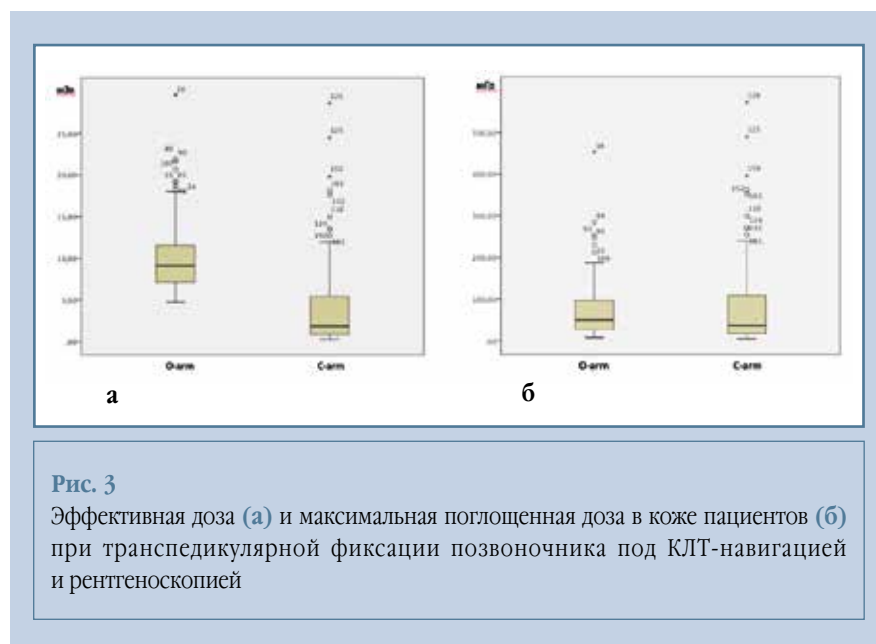


Рис. 3

Эффективная доза (а) и максимальная поглощенная доза в коже пациентов (б) при транспедикулярной фиксации позвоночника под КЛТ-навигацией и рентгеноскопией

Зависимость ЭД пациента от количества оперированных сегментов в обеих группах не являлась статистически значимой (табл. 3).

КТ с использованием O-arm выполняли 2 или 3 раза в течение одной операции, что зависело от последовательности этапов декомпрессивно-стабилизирующего пособия. Двукрат-

ное сканирование было необходимо для совмещения данных КЛТ с навигационной станцией и контроля положения винтов в позвонках. Третье сканирование осуществляли по необходимости – с целью оценки степени декомпрессии невральных структур позвоночного канала. Зависимость ЭД пациента от кратности КТ-сканирования отражена в табл. 4.

Таблица 2

Зависимость эффективной дозы пациентов (мЗв) от способа транспедикулярной фиксации позвоночника (ТПФ)

Группы	Открытая ТПФ				Закрытая ТПФ				p-value*
	n	М	Me	Q1–Q3	n	М	Me	Q1–Q3	
O-arm	86	9,9	9,3	7,0–11,5	23	10,4	9,3	6,4–14,4	0,861
C-arm	32	4,2	1,5	0,7–3,6	23	6,0	2,9	0,7–3,6	0,109
*p-value	0,000				0,003				—

* Mann – Whitney U Test.

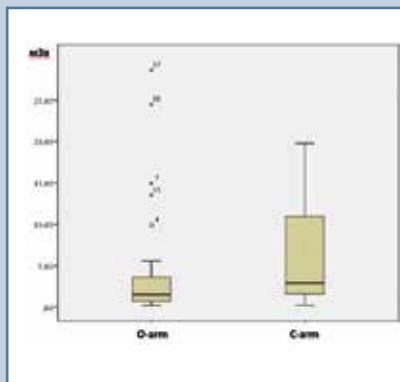


Рис. 4

Суммарная эффективная доза пациента (мЗв) в пределах групп с применением КЛТ и рентгеноскопии

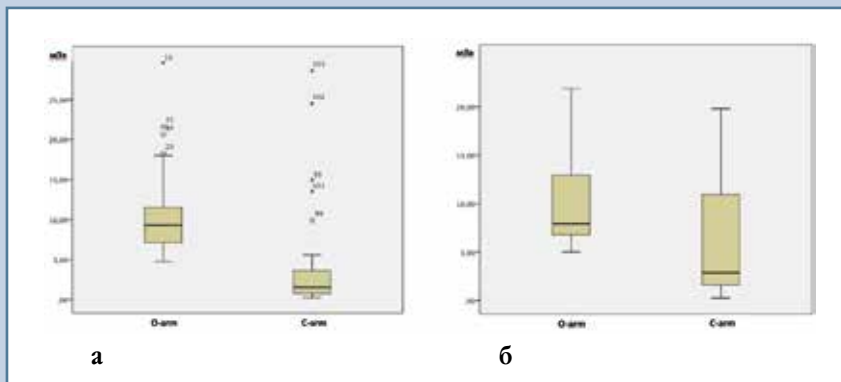


Рис. 5

Эффективная доза пациента (мЗв) в группе открытых вмешательств (а) и чрескожной транспедикулярной фиксации (б)

Различия по количеству интраоперационных КТ в группе O-arm оказались статистически значимыми (рис. 6).

Обсуждение

Снижение лучевого воздействия, связанного с традиционными методами интраоперационной визуализации

в хирургии позвоночника, во многом обеспечивается применением методов навигации, как оптической, так и электромагнитной [2, 12]. Технологии КТ-навигации сегодня значительно эволюционировали. Современный конусно-лучевой компьютерный томограф O-arm, совмещенный с системой 3D-оптической

навигации StealthStation (S₇, S₈) Medtronic Inc., предлагает сразу несколько преимуществ в сравнении с традиционными методами интраоперационной рентгеноскопии, важным из которых является снижение лучевой нагрузки на персонал операционной, о чем широко упоминается в литературе [5, 10, 13, 14].

Таблица 3

Зависимость эффективной дозы пациентов (мЗв) от количества фиксированных сегментов позвоночника

Количество сегментов	Группа O-arm (n = 109)				Группа C-arm (n = 55)			
	n	M	Me	Q1–Q3	n	M	Me	Q1–Q3
1	55	10,3	8,9	7,2–1,6	27	4,8	2,9	1,5–6,9
2	44	9,5	9,12	6,0–1,4	26	5,4	1,4	0,7–5,6
3	10	11,1	10,9	8,0–14,8	2	—	—	—
p-value	0,562*				0,147**			

* Kruskal – Wallis Test; ** Mann – Whitney U Test.

Таблица 4

Зависимость эффективной дозы (мЗв) пациентов от количества КТ в течение одной операции

Кратность сканирования	Группа O-arm (n = 109)			
	n	M	Me	Q1–Q3
2	63	8,9	7,7	5,7–10,9
3	46	11,6	10,6	8,4–12,4
p-value	0,000*			

* Mann – Whitney U Test.

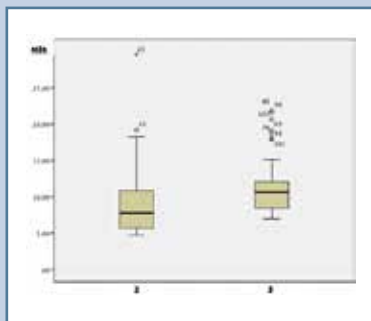


Рис. 6

Эффективная доза (мЗв) пациента при выполнении двух и трех интраоперационных КТ-исследований

Клинические исходы лечения и точность позиции транспедикулярных винтов мы не анализировали. Однако известно, что применение КЛТ O-arm позволяет более точно имплантировать винтовые конструкции и снижает риск повреждения невралжных структур [13]. Silberman et al. [7] сообщали, что навигационное управление с помощью КЛТ является более точным при размещении винтов по сравнению с техникой «свободной руки», достигая 100 %. Точность интраоперационной КТ-навигации сочетается с автоматической регистрацией и универсальным программным обеспечением, что, в свою очередь, позволяет свести к минимуму влияние человеческого фактора и сократить общее время операции. Возможность получать контрольные КТ-изображения значительно уменьшает долю периоперационных осложнений и положительно влияет на исходы лечения [9, 14, 15].

Данные о дозах облучения пациентов и хирургов при операциях на позвоночнике с применением методов интраоперационной конуснолучевой компьютерной томографии и традиционной рентгеноскопии неоднозначны [1, 9, 14–16]. В экспериментальном исследовании доз

облучения при ТПФ под С-дугой [11] хирург получил значительно большую лучевую нагрузку, чем при использовании O-arm, что может быть клинически значимым в течение всей карьеры ($3,87 \times 10$ рад против $0,32 \times 10$; $p < 0,001$). При этом измерение дозы пациента выявило противоположную зависимость ($0,03$ против $2,76$ рад; $p < 0,001$). Аналогичным образом Pitteloud et al. [6] установили, что дополнительное использование интраоперационной навигации на основе 3D-рентгеноскопии по сравнению с традиционной рентгеноскопией показало незначительное снижение лучевой нагрузки на хирурга при увеличении лучевой нагрузки на пациента. По данным Wojdyn et al. [2], при выполнении вертебропластики под контролем нейронавигации отмечена статистически значимая разница между значениями средней дозы облучения, испускаемой системами O-arm и С-дуги. Система O-arm излучала 912 cГр/см^2 по сравнению с 1722 cГр/см^2 , излучаемой С-дугой.

Из-за влияния на результаты исследования большого количества факторов приведенные выше данные очень сложно интерпретировать [6, 11, 13]. Объективной оценке препятствует отсутствие общепринятых рекомендаций по дозиметрическому контролю при операциях на позвоночнике с применением КЛТ, оснащенной системой навигации.

Для определения рисков развития детерминированных эффектов при интервенционных вмешательствах рекомендовано определять МПДК [3]. При вмешательствах в поясничной области рекомендуемое МУ контрольное значение МПДК, гарантирующее отсутствие кожного эффекта, составляет $\sim 2000 \text{ мГр}$ [3, 4]. В результате нашего исследования установлено, что ТПФ нижнегрудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника, вне зависимости от метода интраоперационного контроля (КТ-навигация/флюороскопия), не сопряжена с риском разви-

тия детерминированных эффектов у пациентов.

Несмотря на полученные нами различия величин суммарной ЭД пациентов, для корректного сопоставления и правильной интерпретации результатов исследования следует учитывать некоторые особенности декомпрессивно-стабилизирующих пособий на позвоночнике. Всем пациентам, оперированным с применением рентгеноскопии, для интраоперационного контроля показано выполнение КТ позвоночника в послеоперационном периоде, что сопряжено с дополнительной лучевой нагрузкой (примерно 3–4 мЗв). Стоит также учесть, что интраоперационная конуснолучевая томография с навигацией применяется не только для оценки успешности выполнения хирургического этапа металлоостеосинтеза, но и для оценки полноты выполненной декомпрессии невралжных структур позвоночника. Это, с одной стороны, приводит к повышению лучевой нагрузки на пациента, с другой стороны, повышает качество оказания нейрохирургического пособия и снижает частоту ревизионных операций [14].

Выводы

1. Значения МПДК пациентов свидетельствуют о том, что применение КТ-навигации и рентгеноскопии при ТПФ позвоночника не сопряжено с риском развития детерминированных эффектов.

2. Применение интраоперационной оптической КТ-навигации при ТПФ позвоночника связано с более высокими ЭД пациентов, в сравнении с использованием рентгеноскопии ($p < 0,05$).

3. Различия в значениях ЭД пациента при сравнении открытых и закрытых способов ТПФ позвоночника оказались статистически незначимыми, вне зависимости от вида лучевого наведения и количества уровней фиксации.

4. Декомпрессивно-стабилизирующие вмешательства на позвоночни-

ке, выполняемые под КТ-навигацией, требуют от двух до трех интраоперационных сканирований. Количество КТ-сканирований пропорционально величине ЭД пациента ($p = 0,018$).

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

Проведение исследования одобрено локальными этическими комитетами учреждений.

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

Литература/References

1. Webb JE, Regev GJ, Garfin SR, Kim CW. Navigation-assisted fluoroscopy in minimally invasive direct lateral interbody fusion: a cadaveric study. SAS J. 2010;4:115–121. DOI: 10.1016/j.esas.2010.09.002.
2. Wojdyn M, Pierzak O, Zapalowicz K, Radek M. Use of O-arm with neuronavigation in percutaneous vertebroplasty reduces the surgeon's exposure to intraoperative radiation. Arch Med Sci. 2019;17:113–119. DOI: 10.5114/aoms.2019.84269.
3. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований: методические указания МУ 2.6.1.2944-11: Роспотребнадзор. М., 2011. [Control of effective radiation doses to patients during medical X-ray examinations: Guidelines MU 2.6.1.2944-11. Moscow: Rosпотребнадзор, 2011].
4. Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций: методические указания МУ 2.6.1.3015-12: Роспотребнадзор. М., 2012. [Organization and conduct of individual dosimetry monitoring. Medical staff: Guidelines MU 2.6.1.3015-12. Moscow: Rosпотребнадзор, 2012].
5. Mroz TE, Abdullah KG, Steinmetz MP, Klineberg EO, Lieberman IH. Radiation exposure to the surgeon during percutaneous pedicle screw placement. J Spinal Disord Tech. 2011;24:264–267. DOI: 10.1097/BSD.0b013e3181eed618.
6. Pitteloud N, Gamulin A, Barea C, Damet J, Racioz G, Sans-Merce M. Radiation exposure using the O-arm® surgical imaging system. Eur Spine J. 2017;26:651–657. DOI: 10.1007/s00586-016-4773-0.
7. Silberman J, Riese F, Allam Y, Reichert T, Koeppert H, Gutberlet M. Computer tomography assessment of pedicle screw placement in lumbar and sacral spine: comparison between free-hand and O-arm based navigation techniques. Eur Spine J. 2011;20:875–881. DOI: 10.1007/s00586-010-1683-4.
8. Al-Khouja L, Shweikeh F, Pashman R, Johnson JP, Kim TT, Drazin D. Economics of image guidance and navigation in spine surgery. Surg Neurol Int. 2015;6(Suppl 10):S323–S326. DOI: 10.4103/2152-7806.159381.
9. Kim JS, Eun SS, Prada N, Choi G, Lee SH. Modified transcorporeal anterior cervical microforaminotomy assisted by O-arm-based navigation: a technical case report. Eur Spine J. 2011;20(Suppl 2):S147–S152. DOI: 10.1007/s00586-010-1454-2.
10. Rampersaud YR, Foley KT, Shen AC, Williams S, Solomito M. Radiation exposure to the spine surgeon during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion. Spine. 2000;25:2637–2645. DOI: 10.1097/00007632-200010150-00016.
11. Araiza ET, Medda S, Plate JF, Marques-Lara A, Trammell AP, Aran FS, Lara D, Danelson K, Halvorson JJ, Carroll EA, Pilson HT. Comparing the efficiency, radiation exposure, and accuracy using C-Arm versus O-Arm with 3D navigation in placement of transiliac-transsacral and iliosacral screws: a cadaveric study evaluating an early career surgeon. J Orthop Trauma. 2020;34:302–306. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001724.
12. Lin YP, Rao S, Li Y, Zhao B, Wen T, Zhou L, Su G, Du Y, Chen B. Effect of electromagnetic navigation system assisted percutaneous full-endoscopic foraminoplasty and discectomy on lumbar disc herniation: a randomized controlled trial. J Orthop Surg Res. Preprint. DOI: 10.21203/rs.3.rs-20255/v1.
13. Houten JK, Nasser R, Baxi N. Clinical assessment of percutaneous lumbar pedicle screw placement using the O-arm multidimensional surgical imaging system. Neurosurgery. 2012;70:990–995. DOI: 10.1227/NEU.0b013e318237a829.
14. Van de Kelft E, Costa F, Van der Planken D, Schils F. A prospective multicenter registry on the accuracy of pedicle screw placement in the thoracic, lumbar, and sacral levels with the use of the O-arm imaging system and StealthStation Navigation. Spine. 2012;37:E1580–E1587. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318271b1fa.
15. Oertel MF, Hobart J, Stein M, Schreiber V, Scharbrodt W. Clinical and methodological precision of spinal navigation assisted by 3D intraoperative O-arm radiographic imaging. J Neurosurg Spine. 2011;14:532–536. DOI: 10.3171/2010.10.SPINE091032.
16. Shin BJ, James AR, Njoku IU, Hartl R. Pedicle screw navigation: a systematic review and meta-analysis of perforation risk for computer-navigated versus freehand insertion. J Neurosurg Spine. 2012;17:113–122. DOI: 10.3171/2012.5.SPINE11399.

Адрес для переписки:

Кравцов Максим Николаевич
194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6,
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова,
neuromax@mail.ru

Address correspondence to:

Kravtsov Maksim Nikolayevich
S.M. Kirov Military Medical Academy,
6 Akademika Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia,
neuromax@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.05.2023

Рецензирование пройдено 25.08.2023

Подписано в печать 08.08.2023

Received 24.05.2023

Review completed 25.08.2023

Passed for printing 08.08.2023

Максим Валерьевич Кубасов, клинический ординатор кафедры нейрохирургии им. проф. А.Л. Поленова, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Россия, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41, 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, ORCID: 0000-0003-2486-6995, neuromax@mail.ru;

Антон Валерьевич Голубин, начальник отделения лучевой диагностики клиники нейрохирургии, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6, ORCID: 0000-0001-5842-623X, Golubin_anton@mail.ru;

Владимир Николаевич Малаховский, д-р мед. наук, проф., преподаватель кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6, ORCID: 0000-0002-0663-9345, malakbouskyvova@gmail.com;

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, ORCID: 0000-0002-3858-2371, dvsvistov@mail.ru.

Maksim Valeryevich Kubasov, clinical resident of the Department of Neurosurgery n.a. Prof. A.L. Polenov, North-Western State Medical University n.a. I.I. Mechnikov, 41 Kirochnaya str., St. Petersburg, 191015, Russia, ORCID: 0009-0002-5101-1925, kubasov-maxim.kubasov@yandex.ru;

Maksim Nikolayevich Kravtsov, DMSc, senior lecturer of the Department of Neurosurgery, S.M. Kirov Military Medical Academy, 6 Akademika Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia; Head of the Department of Neurosurgery, Research Institute of Emergency Medicine n.a. I.I. Dzhanelidze, 3 Budapeshtskaya 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. Mechnikov, 41 Kirochnaya str., St. Petersburg, 191015, Russia, ORCID: 0000-0003-2486-6995, neuromax@mail.ru;

Anton Valeryevich Golubin, Head of the Department of Radiation Diagnostics of the Neurosurgery Clinic, S.M. Kirov Military Medical Academy, 6 Akademika Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia, ORCID: 0000-0001-5842-623X, Golubin_anton@mail.ru;

Vladimir Nikolayevich Malakhovsky, DMSc, Prof., Lecturer of the Department of Roentgenology and Radiology with a course of ultrasound diagnosis, S.M. Kirov Military Medical Academy, 6 Akademika Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia, ORCID: 0000-0002-0663-9345, malakbouskyvova@gmail.com;

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, ORCID: 0000-0002-3922-9887, dvsvistov@mail.ru.

Комментарий редакции к статье «Дозы облучения пациентов при транспедикулярной фиксации позвоночника»

Принимая решение о публикации статьи М.В. Кубасова с соавт. «Дозы облучения пациентов при транспедикулярной фиксации позвоночника», редакция хотела обратить внимание читателей на несколько факторов: рассматриваемые в статье вопросы относятся не столько к методологии выполнения хирургической манипуляции транспедикулярной фиксации, сколько к применению разных методов их лучевого интраоперационного контроля. По сути, авторами проведено сравнение их безопасности, что имеет несомненную научную и практическую ценность. При этом понятие «безопасность» подразумевает не только корректность имплантации винтов, но и дозы лучевой нагрузки, о чем спинальные хирурги нередко забывают, выполняя с целью интраоперационного контроля повторные лучевые исследования. Вопрос «достаточного» числа таких исследований остается предметом профессиональных дискуссий, как правило, осуществляемых специалистами на научных конференциях, но редко выносимых на страницы научных журналов. Хотим обратить внимание читателей на методологию формирования критериев включения/исключения и, соответственно, групп и методов сравнения, что обеспечило структурную и информационную четкость и доказательность статьи.

Ставя перед собой цель расширения не только кругозора, но и профессиональной специализации читателей журнала, мы будем приветствовать работы по смежным вопросам вертебральной патологии: ее лучевой и функциональной диагностики, нехирургических методов лечения, реабилитации пациентов в том случае, если они будут также структурированы в соответствии с современными требованиями к научным публикациям.