

В.И. Бадалов, М.И. Спицын, К.Е. Коростелев,
Р.В. Ярмошук, А.А. Родионова

Нейронавигационное ассистирование. Снижение лучевой нагрузки при операциях на позвоночнике у пострадавших с тяжелой сочетанной травмой

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

Резюме. Представлены результаты исследования интраоперационного рентгеновского облучения пострадавших двух массивов: основного массива с использованием нейронавигации и контрольной группы, где применялась стандартная 2D-флюороскопия. Также была оценена лучевая нагрузка на оперирующего хирурга и вспомогательный персонал операционной. Интраоперационная визуализация осуществлялась с помощью навигационной стойки «iNtellect ENT Navigation» компании «Stryker» (Соединенные Штаты Америки) второго поколения для пострадавших основного массива и электронно-оптического преобразователя компании «Ziehm Vision RFD» (Германия) для пострадавших контрольной группы. Вариант визуализации с использованием электронно-оптического преобразователя особенно важен при минимально-инвазивных процедурах, где инструментализация проводится чрескожно без прямого анатомического контроля в отличие от открытых процедур или работы с искаженными анатомическими структурами при травмах. Бипланарная рентгеноскопия была одной из первых интраоперационных методик визуализации в режиме реального времени и остается одной из ведущих технологий в ортопедической и спинальной хирургии. Однако радиационное облучение от интраоперационной флюороскопии остается серьезной проблемой для пациентов, хирургов и вспомогательного персонала операционной. Отрицательное воздействие ионизирующего излучения приводит к повреждению клеток через индукцию дезоксирибонуклеиновой кислоты и высвобождению активных форм кислорода. В связи с этим наступает гибель клеток или нестабильность генома, что приводит к различным радиационно-связанным патологиям. Установлено, что использование нейронавигации позволяет уменьшить количество ошибок, снизить интраоперационную травму, а также значительно снизить интраоперационную лучевую нагрузку на пострадавшего, оперирующего хирурга и вспомогательный персонал операционной. Масштабное внедрение навигационных технологий позволит уменьшить или вовсе исключить пагубное воздействие ионизирующего излучения на пострадавшего и медицинский персонал.

Ключевые слова: интраоперационное облучение, нейронавигация, бипланарный рентгеновский электронно-оптический преобразователь, индивидуальный дозиметр, детектор, транспедикулярная фиксация, флюороскопия, ионизирующее излучение.

Введение. В настоящее время большое внимание уделяется вопросу воздействия ионизирующего излучения на пациентов и медицинский персонал. Обусловлено это тем, что практически во всех сферах медицины диагностический поиск и методики операционной визуализации тесно связаны с рентгеновским излучением.

Появлению одной из самых важных диагностических методик человечество обязано профессору физики Вюрцбургского университета Вильгельму Конраду Рентгену (1845–1923), который 8 ноября 1895 г. открыл «Х-лучи», за что в последующем был удостоен Нобелевской премии. Именно с этих пор началась эра медицинской визуализации, позволяющая объективно оценивать количественные и качественные патологические процессы, протекающие в организме человека.

Одной из актуальных проблем малоинвазивной хирургии является воздействие ионизирующего излучения на организм человека, в частности влия-

ние на структуру дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), приводящее к необратимым изменениям. Отрицательное воздействие ионизирующего излучения вызывает повреждение клеток через индукцию ДНК и высвобождение активных форм кислорода. В связи с этим наступает гибель клеток или нестабильность генома, что приводит к различным радиационно-связанным патологиям. В зоне повышенного риска находятся в первую очередь дети и люди репродуктивного возраста [1, 2]. Это связано с высокой интенсивностью процессов репликации, которые под воздействием ионизирующего излучения протекают с повреждением структуры ДНК, вызывая тем самым мутации в дочерней цепи. Вероятность передачи поврежденной цепи ДНК потомству в настоящее время не доказана [3].

Самым частым и активно используемым видом визуализации при фиксации позвоночника транспедикулярными металлоконструкциями является бипланарная рентгеноскопия.

В попытках снизить риски, связанные с ионизирующим облучением организма, радиационная безопасность стала важной темой в медицинской отрасли. Все практикующие специалисты независимо от области медицины могут применять методы радиационной безопасности, включая экранирование и дистанцирование для уменьшения радиационного воздействия. Кроме того, детальная настройка параметров доведения доз флюороскопических стоек и новые методики визуализации могут быть использованы в качестве эффективного способа снижения дозы облучения [9].

Новой методикой визуализации в настоящее время являются нейронавигационные системы. Главным их предназначением стало надежное ассистирование оперативных вмешательств, снижение интраоперационной лучевой нагрузки, снижение хирургической агрессии [4]. Пока количество новых передовых технологий радиационной безопасности в хирургии позвоночника невелико, необходимо многое сделать для преодоления трудностей и ограничений, связанных с финансированием, материальным снабжением и достаточно трудоемким процессом обучения.

Использование конструкций фиксации и других имплантатов особенно актуально в области хирургии позвоночника, где инструментирование часто применяется для лечения дегенеративных, травматических и неопластических заболеваний. Винты, используемые при заднем спондилодезе, являются наиболее широко применяемыми способами стабилизации в хирургии позвоночника, однако неточная имплантация таких конструкций может привести к значительным интраоперационным и послеоперационным осложнениям [6, 11, 13]. В частности, может произойти повреждение близлежащих сосудисто-нервных структур, что часто вызывает тяжелые осложнения или инвалидизацию пациентов.

Для обеспечения высокой точности размещения металлоконструкций в спинальной хирургии используют интраоперационную рентгенографию, выполняющую роль навигатора при размещении имплантатов [12, 16]. Этот вариант визуализации особенно важен при минимально-инвазивных вмешательствах, где инструментирование проводится чрескожно без прямой анатомической визуализации в отличие от открытых процедур или хирургии искаженной анатомии при травмах.

2D-флюороскопия является первой и одной из самых надежных методик интраоперационной навигации в режиме реального времени и продолжает оставаться одной из ведущих техник контроля имплантации винта [5, 8, 10].

Вместе с тем радиационное облучение от интраоперационной флюороскопии является серьезной проблемой для пациентов, хирургов и вспомогательного персонала операционной [14–15, 17–18]. В целях снижения риска, связанного с интраоперационным облучением, были разработаны средства индивидуальной защиты и новейшие методики визуализации, такие как нейронавигация. Также в России и за рубежом были созданы организации,

которые разработали документы и правовые акты, регламентирующие работу с ионизирующим излучением, призванные защитить персонал и пациента от вредного воздействия радиации. В нашей стране документами, регламентирующими работу с рентгеновским излучением, являются санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских аппаратов и проведению рентгенологических исследований» СанПиН 2.6.1.1192-03, Федеральный закон от 09.01.1996 г. № 3 «О радиационной безопасности населения», Приказ Министра обороны (МО) Российской Федерации (РФ) от 07.04.2003 г. № 111 «Об утверждении наставления по организации в воинских частях и учреждениях, использующих источники ионизирующего излучения».

Критерии этих руководящих документов созданы для того, чтобы защитить от чрезмерного радиационного облучения тех, кто подвергается ему в профессиональной практике, а также снизить лучевую нагрузку на пациента. Основной международной организацией, разрабатывающей данные руководящие принципы, является Международная комиссия по радиационной защите (the International Commission on Radiological Protection – МКРЗ).

Как в отечественных, так и в зарубежных регламентирующих документах пределы дозировки выражены в джоулях на килограмм (Дж/кг), или зивертах (Зв). Зиверт является мерой стохастического воздействия ионизирующего излучения, а экспозиция в 1 Зв ассоциируется с 5,5% риском развития рака. В соответствии с руководящими принципами МКРЗ профессиональное воздействие должно быть ограничено максимальным средним значением 20 мЗв в год не более пятилетнего периода, при котором экспозиция не превышает 50 мЗв за один год. Для пациентов экспозиции следует строго ограничить максимальным средним значением в 1 мЗв в год в течение 5-летнего периода [7]. Данные значения могут быть использованы в качестве ориентиров для оценки безопасности и эффективности новых технологий визуализации и методов противолучевой защиты. При этом, когда стоит вопрос о спасении жизни пострадавшего, нормы и дозы ионизирующего излучения, воздействующего на него, стираются или расширяются.

Цель исследования. Экспериментальным путем доказать, что нейронавигационные технологии в сравнении со стандартными методиками флюороскопии позволяют значительно снизить интраоперационную лучевую нагрузку на пострадавших, хирургов и вспомогательный медицинский персонал операционной.

Материалы и методы. Проспективно проанализированы результаты 21 пострадавшего с сочетанной позвоночно-спинномозговой травмой (ПСМТ), которые составили группу основного массива, а также ретроспективно – результаты лечения 45 пострадавших с тяжелой сочетанной травмой (ТСТ) позвоночника и спинного мозга, которые составили контрольную группу.

Средний возраст пострадавших основного массива составил 39 лет, из них 18 мужчин и 3 женщины. Среднее значение тяжести сочетанной травмы по шкале «Военно-полевая хирургия – повреждения» (ВПХ-П) = 5,8 баллов.

Пострадавшим данной группы операции по поводу травмы позвоночника были проведены в клинике военно-полевой хирургии (ВПХ) Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (ВМА) в период с 2017 по 2019 г. Включение пострадавших в основной массив осуществлялось по следующим критериям: все они имели сочетанные повреждения позвоночника и спинного мозга, показания к выполнению заднего спондилодеза на основе данных, полученных при компьютерной томографии (КТ) и/или магнитно-резонансной томографии (МРТ), выполненных при поступлении в приемно-диагностическое отделение (ПДО) клиники. Использование интраоперационной нейронавигации на основе КТ для спинальной хирургии было изучено с целью уменьшения использования рентгеноскопии и повышения точности имплантации винтовой конструкции.

Средний возраст пострадавших контрольной группы составил 33 года, из них 35 мужчин и 10 женщин. Среднее значение тяжести сочетанной травмы по шкале ВПХ-П составило 8,8 баллов. Данные пострадавшие были прооперированы в клинике ВПХ ВМА в период с 2011 по 2016 г.

Пострадавшие обеих групп имели схожие повреждения позвоночника (компрессионно-оскольчатые переломы, переломовывихи, спондилолистезы), сопровождавшиеся нестабильностью и неврологическим дефицитом. Операции на позвоночнике выполнялись им с помощью стандартной флюороскопии.

Пострадавшим контрольной группы имплантация винтов производилась с помощью классической флюороскопии на аппарате «Vision RFD» фирмы Ziehm (Германия). Для оценки радиационного облучения от интраоперационной флюороскопии использовали индивидуальные дозиметры (ИД). В процессе исследования оценивалась доза облучения, получаемая пострадавшим, оперирующими хирургами, другим медицинским персоналом операционной (анестезиологи, анестезиологические и операционные сестры, санитары).

Заметим, что радиационное облучение во время операций на позвоночнике является серьезным фактором риска для оперирующих хирургов, персонала и пациентов, пагубно воздействуя на организм. Однако реальный биологический эффект определяется совокупным воздействием в течение длительных периодов времени. Серьезным риском для здоровья хирургов и медицинского персонала может стать кумулятивный эффект рентгеновского излучения. На дозу радиации, воздействующую на организм, будут влиять такие факторы, как расстояние от источника до объекта, экранирование и время рентгеноскопии. Основными задачами, стоящими перед медициной по снижению воздействия ионизирующего излучения на хирургов и

медицинского персонала, являются поиски вариантов снижения лучевой нагрузки.

Для оценки получаемых доз ионизирующего излучения хирургов во время оперативного вмешательства ИД были размещены на хирурге: 1) в области орбит и под хирургической лупой, в максимальной близости с глазом (фиксирован на кронштейн), рисунок 1; 2) в области шеи, не закрытой шейным воротником (фиксирован на ворот хирургического белья), – для оценки воздействия на щитовидную железу и верхние отделы груди (рис. 2); 3) на правой



Рис. 1. Индивидуальный дозиметр, фиксированный в области орбит

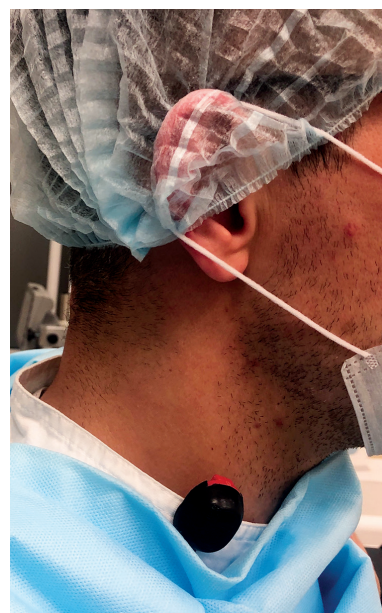


Рис. 2. Индивидуальный дозиметр, фиксированный в области шеи

тыльной поверхности правой кисти оперирующего хирурга, в области лучезапястного сустава под хирургической перчаткой (рис. 3); 4) на поверхности груди и в области паха под стандартным защитным фартуком хирурга (рис. 4).

Все средства индивидуальной защиты регламентированы межгосударственным стандартом от 01.01.2015 г. «Средства защиты от рентгеновского излучения в медицинской диагностике. Часть 3. Защитная одежда». Индивидуальные дозиметры на пострадавших располагались в зоне сканирования (шейный, грудной, поясничные отделы позвоночника). Отслеживание доз ионизирующего излучения на пострадавшем по каждой зоне производили с помощью двух ИД для уточнения среднего значения. В помещении операционной было размещено два датчика, которые располагались от источника рентгеновского излучения на расстоянии 1 и 2 м. Кроме того, нами использовались индивидуальные термолюминесцентные дозиметры (детектор термолюминесцентный твердотельный ДТГ-4 ТУ 50.477-85) фирмы «DTU-1». После окончания хирургического вмешательства до-



Рис. 3. Индивидуальный дозиметр, фиксированный в области лучезапястного сустава



Рис. 4. Стандартный защитный фартук от рентгеновского излучения

зиметры были удалены из рабочей зоны и защищены от дальнейшего облучения.

Все используемые в нашем исследовании ИД были идентичны, фиксация результатов со всех датчиков производилась на одном устройстве одним и тем же специалистом, ответственным за результаты измерений. Дозиметры были обработаны, измерения сведены в таблицу.

Источник рентгеновского излучения электронно-оптического преобразователя (ЭОП) был расположен в 2 проекциях (прямая и боковая) по отношению к операционному полю и на стороне, противоположной хирургу (рис. 5). Экранирование пострадавшего в операционной не выполнялось.

У пострадавших основного массива для установки транспедикулярной конструкции использовали навигационную систему «iNtellect ENT Navigation» компании «Stryker» (Соединенные Штаты Америки) 2-го поколения (рис. 6).

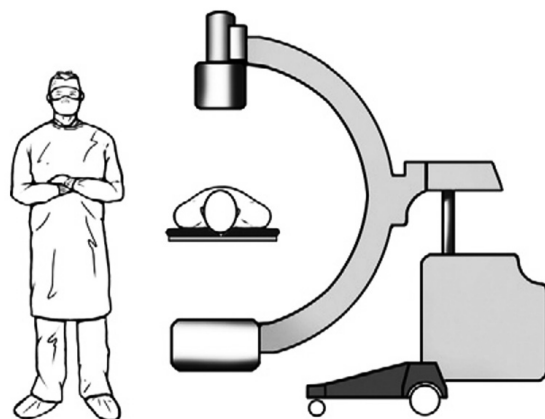


Рис. 5. Положение источника рентгеновского излучения ЭОП по отношению к спине пациента



Рис. 6. Навигационная система «iNtellect ENT Navigation» компании «Stryker» (Соединенные Штаты Америки) 2-го поколения

Все пострадавшие прооперированы с помощью 3D-моделирования данных, полученных при проведении предоперационного КТ-сканирования.

Разовые, «вынужденные дозы облучения» в диагностических и лечебных целях, так называемые средние эффективные дозы за одно обследование, с использованием медицинских источников ионизирующего излучения были следующие:

- рентгенография обзорная (грудной клетки) – 0,150 – 0,400 мЗв;
- рентгенография конечности – 0,02 мЗв;
- компьютерная томография на стандартных аппаратах – 20 мЗв, если исследование выполнено в режиме «Whole body» («все тело») и является нативным сканированием; 40 мЗв – если во время исследования вводится контраст и 50 мЗв, если исследование выполнено в режиме «все тело» с введением контраста (цифры могут меняться в зависимости от массы тела, травм и т. д.).

При этом максимально допустимая годовая норма для персонала, работающего с рентгеновским излучением, равна 20 мЗв (периодизация получения данной дозы не должна превышать 5 лет); максимальная годовая норма для здорового человека – 1 мЗв; естественная годовая радиация для человека равна 3 мЗв в год; первые признаки проявления лучевой болезни составляют 250–300 мЗв.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что доза рентгеновского облучения при установке транспедикулярной фиксации с использованием рентгеноскопии на шейном, грудном и поясничном отделах позвоночника с общим числом на всю конструкцию для пострадавшего составила на область поясничного отдела позвоночника и области таза: 1,22 мЗв – 1-й детектор, 1,05 мЗв – 2-й детектор, среднее значение – 1,14 мЗв (0,11 Р); на область грудного отдела позвоночника и органы грудной полости: 1-й детектор – 2,17 мЗв, 2-й детектор – 2,0 мЗв, среднее значение – 2,09 мЗв (0,2 Р); шейный отдел позвоночника: 1-й детектор – 0,264 мЗв, 2-й детектор – 0,212 мЗв, среднее значение – 0,238 мЗв (0,023 Р).

Для оперирующего хирурга доза рентгеновского облучения при фиксации ИД на правой руке составила: 1-й детектор – 1,87 мЗв, 2-й детектор – 0,75 мЗв, среднее значение – 1,31 мЗв (0,26 Р); на защищенной щитовидной железе: 1-й детектор – 0,12 мЗв, 2-й детектор – 0,095 мЗв, среднее значение – 0,11 мЗв; на область головы и глазницы: 1-й детектор – 0,09 мЗв, 2-й детектор – 0,07 мЗв, среднее значение – 0,08 мЗв (0,009 Р). В свою очередь средства индивидуальной защиты от рентгеновского излучения (фартуки индивидуальные) продемонстрировали надежную защиту, так как доза облучения на дозиметрах при работе с ними составила 0 мЗв.

Дозы рентгеновского облучения при установке транспедикулярных фиксаций на разных уровнях позвоночника на один винт были следующие: в шейном отделе позвоночника – 0,034 мЗв, в грудном – 0,075 мЗв и пояснично-крестцовом – 0,063 мЗв.

Показатели ИД, расположенных в операционной на удалении 1 и 2 м от источника рентгеновского излучения, составили 0,3 и 0 мЗв (рис. 7). При этом радиационное воздействие изменяется не только с расстоянием (самая низкая доза облучения за пределами 2 м), но и с углом положения источника рентгеновского излучения в ЭОП. Так, распространение лучей при положении в вертикальной плоскости практически отсутствует, но при смене источника в горизонтальное положение лучи распространяются на расстояние 1 м.

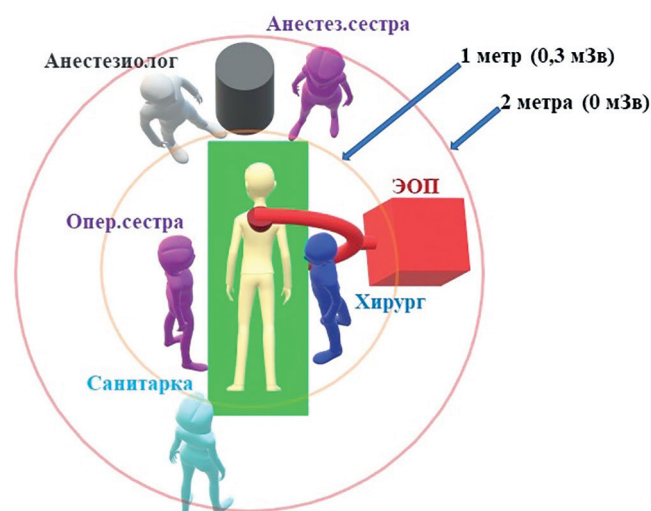


Рис. 7. Схема распространения рентгеновского излучения в операционной

Все данные доз облучения, полученные в нашем исследовании, приведены в таблице.

Таким образом, средняя доза ионизирующего излучения, полученная пострадавшими обеих групп в процессе лечения и выполнения вынужденной рентгенодиагностики, составила от 40,3 до 74,6 мЗв (превысила годовое облучение для здорового человека в 40 раз). Благодаря использованию нейронавигационных технологий при операциях на позвоночнике удалось в 14 раз снизить интраоперационную лучевую нагрузку на пострадавших основного массива, так как им для уточнения позиционирования винтов в телах позвонков было выполнено всего 2 контрольных снимка, что составило 0,15 мЗв. Медицинский персонал операционной вообще не подвергался воздействию ионизирующего излучения. Пострадавшие контрольной группы в зависимости от поврежденного отдела позвоночника интраоперационно подверглись дополнительному рентгеновскому облучению в дозе от 1,15 до 2,1 мЗв, что связано с применением ЭОП с целью навигации.

Подвергая излишнему облучению пациентов, врач каждой специальности должен понимать, что, возможно, в отдаленном периоде это может сказаться на развитии у пациентов и медицинского персонала неопластических процессов.

Специалисты, выполняющие хирургические вмешательства с помощью рентген-навигации, должны

Таблица

Таблица учета доз облучения, полученных во время исследования, мЗв

Показатель	Отдел облучения позвоночника пострадавшего				
	шейный		грудной		поясничный
Рентгенография (на один винт)	0,034		0,075		0,063
Общая доза облучения (по отделам за всю операцию)	0,238		2,09		1,14
Показатель	Область облучения хирурга				
	глазница	шея	правая рука	грудь	таз
Рентгенография	0,08	0,11	1,31	0	0
Навигация	0	0	0	0	0
Показатель	Операционная				
Расстояние от источника рентгеновского излучения (во время всей операции), м	1		2		
Доза облучения	0,3		0		

использовать индивидуальные средства защиты (фартуки и воротники), утвержденные регламентирующими документами. Но, несмотря на предпринимаемые меры по экранированию, на теле хирурга остаются незащищенные места, которые подвергаются воздействию рентгеновского облучения. Например, суммарная доза, которую получает хирург на дистальную область верхней конечности, в среднем за одну операцию на позвоночнике или операции на конечностях составляет 1,31 мЗв, а на область глаза (сторона в зависимости от позиции хирурга от ЭОП) – 0,08 мЗв. Выполнив около 15 похожих операций, хирург уже значительно превышает профессиональную среднегодовую дозу облучения, установленную регламентирующими документами. Вместе с тем, выполняя оперативные вмешательства с помощью нейронавигации, хирург получает минимальное рентгеновское облучение, которое в некоторых случаях сведено к нулю.

В целом по своей эффективности, интраоперационной лучевой безопасности и удобству применения навигационные технологии как средство интраоперационной визуализации, на наш взгляд, являются наиболее предпочтительными в сравнении со стандартными методами рентгеноскопии. При этом весь медицинский персонал операционной может непрерывно оказывать помощь в процессе оперативного вмешательства, не подвергаясь облучению. В операционной увеличивается рабочее пространство, связанное с громоздкой техникой и проводами. Одним из важных аспектов применения навигационных технологий интраоперационной визуализации является отсутствие пагубного ионизирующего воздействия на оперирующего хирурга.

Выводы

1. Нейронавигационные технологии позволяют в значительной степени снизить лучевую нагрузку на пострадавших, свести практически к нулю ионизиру-

ющее воздействие на хирургов и вспомогательный персонал операционной.

2. При использовании нейронавигации хирург имеет больше возможностей для перемещений у операционного стола, так как отсутствуют громоздкие устройства в виде источника ионизирующего излучения и приемной панели ЭОП, ограничивающих эти действия.

3. Ввиду отсутствия постоянного ионизирующего излучения в операционной весь её медицинский персонал (анестезиологи, медицинские сестры, санитары) могут выполнять свои профессиональные обязанности в процессе хирургического вмешательства не опасаясь облучения.

Литература

1. Бурлакова, Е.Б. Особенности действия малых доз ионизирующего излучения на гомеостаз внутриклеточного цитоплазматического кальция в тимocyтах экспериментальных животных / Е.Б. Бурлакова [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – Т. 36, вып. 4. – С. 610–631.
2. Бурлакова, Е.Б. Повреждающие и стимулирующие эффекты ионизирующего излучения / Е.Б. Бурлакова [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. – Т. 39, № 1. – С. 26–33.
3. Пелевина, И.И. Чувствительность потомков мышей к действию канцерогенов после хронической урановой интоксикации родителей / И.И. Пелевина [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – Т. 36, вып. 4. – С. 546–560.
4. Самохвалов, И.М. Навигация как прогрессивная методика: перспективы использования при политравме / И.М. Самохвалов [и др.]. – Воен.-мед. журн. – 2019. – № 12. – С. 21–28.
5. Abdullah, K.G. Radiation exposure to the spine surgeon in lumbar and thoracolumbar fusions with the use of an intraoperative computed tomographic 3-dimensional imaging system / K.G. Abdullah [et al.] // Spine. – 2012. – Vol. 37, № 17. – P. E1074–1078.
6. Amiot, L.P. Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, lumbar, and sacral spine / L.P. Amiot [et al.] // Spine. – 2000. – Vol. 25, № 5. – P. 606–614.
7. Ann. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103 // Ann. ICRP. – 2007. – Vol. 37, № 2–4. – P. 1–332.

8. Bandela, J.R. Use of CT-based intraoperative spinal navigation: management of radiation exposure to operator, staff, and patients / J.R. Bandela [et al.] // World Neurosurg. – 2013. – Vol. 79, № 2. – P. 390–394.
9. Battaglia, T.C. A cadaveric study comparing standard fluoroscopy with fluoroscopy-based computer navigation for screw fixation of the odontoid / T.C. Battaglia [et al.] // J. Surg. Orthop. Adv. – 2005. – Vol. 14, № 4. – P. 175–180.
10. Cho, J.Y. The accuracy of 3D image navigation with a cutaneously fixed dynamic reference frame in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion / J.Y. Cho [et al.] // Comput. Aided Surg. Off. J. Int. Soc. Comput. Aided Surg. – 2012. – Vol. 17, № 6. – P. 300–309.
11. Gautschi, O.P. Clinically relevant complications related to pedicle screw placement in thoracolumbar surgery and their management: a literature review of 35,630 pedicle screws / O.P. Gautschi [et al.] // Neurosurg. Focus. – 2011. – Vol. 31, № 4. – P. E8.
12. Perisinakis, K. Estimation of patient dose and associated radiogenic risks from fluoroscopically guided pedicle screw insertion / K. Perisinakis [et al.] // Spine. – 2004. – Vol. 29, № 14. – P. 1555–1560.
13. Silvestre, M.D. Complications of thoracic pedicle screws in scoliosis treatment / M. Di Silvestre [et al.] // Spine. – 2007. – Vol. 32, № 15. – P. 1655–1661.
14. Singer, G. Occupational radiation exposure to the surgeon / G. Singer // J. Am. Acad. Orthop. Surg. – 2005. – Vol. 13, № 1. – P. 69–76.
15. Rampersaud, Y.R. Radiation exposure to the spine surgeon during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion / Y.R. Rampersaud [et al.] // Spine. – 2000. – Vol. 25, № 20. – P. 2637–2645.
16. Theocharopoulos, N. Fluoroscopically assisted surgical treatments of spinal disorders: conceptus radiation doses and risks / N. Theocharopoulos [et al.] // Spine. – 2006. – Vol. 31, № 2. – P. 239–244.
17. Theocharopoulos, N. Occupational exposure from common fluoroscopic projections used in orthopaedic surgery / N. Theocharopoulos [et al.] // J. Bone Joint Surg. Am. – 2003. – Vol. 85, № 9. – P. 1698–1703.
18. UI Haque, M. Radiation exposure during pedicle screw placement in adolescent idiopathic scoliosis: is fluoroscopy safe? / M. UI Haque [et al.] // Spine. – 2006. – Vol. 31, № 21. – P. 2516–2520.

V.I. Badalov, M.I. Spitsyn, K.E. Korostelev, R.V. Yarmoshuk, A.A. Rodionova

Neuronavigation Assistance. Decreased radiation exposure during spinal surgery in patients with severe combined trauma.

Absnraft. The results of the study of intraoperative x-ray irradiation of the affected two arrays are presented: the main array using neuronavigation and the control group, where standard 2D fluoroscopy was used. The radiation load on the operating surgeon and auxiliary operating personnel was also evaluated. Intraoperative visualization was carried out using the second-generation «iNtellect ENT Navigation» rack of the «Stryker» company (United States of America) for the victims of the main array and the «Ziehm Vision RFD» optical-optical converter (Germany) of the company for the victims of the control group. The imaging option using an electron-optical transducer is especially important for minimally invasive procedures, where instrumentation is performed percutaneously without direct anatomical control, as opposed to open procedures or working with distorted anatomical structures during injuries. Biplanar fluoroscopy was one of the first intraoperative methods of imaging in real time, and remains one of the leading technologies in orthopedic and spinal surgery. However, radiation exposure from intraoperative fluoroscopy remains a serious problem for patients, surgeons, and operating support staff. The negative effect of ionizing radiation leads to cell damage through the induction of deoxyribonucleic acid and the release of reactive oxygen species. In this regard, cell death or genome instability occurs, which leads to various radiation-related pathologies. It was found that the use of neuronavigation reduces the number of errors, reduces intraoperative trauma, and significantly reduces intraoperative radiation exposure to the injured, operating surgeon and auxiliary operating personnel. The large-scale introduction of navigation technologies will reduce or completely eliminate the harmful effects of ionizing radiation on the injured and medical personnel.

Key words: intraoperative irradiation, neuronavigation, biplanar X-ray electron-optical transducer, individual dosimeter, detector, transpedicular fixation, fluoroscopy, ionizing radiation.

Контактный телефон: 8 (812) 292-47-47; e-mail: vmeda-nio@mil.ru