



<https://doi.org/10.34883/PI.2025.14.3.014>
УДК 617.3:617-089.844



Спицын М.И.¹, Демченко К.Н.¹, Яйлаханов Л.С.¹, Митюнина В.С.¹, Исмаилов И.Х.¹,
Марчук В.Г.¹, Петров Ю.Н.¹, Трухан А.П.², Позняк Д.А.², Ярмошук Р.В.²✉

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

² 432 ордена Красной Звезды главный военный клинический медицинский центр
Вооруженных Сил Республики Беларусь, Минск, Беларусь

Установка транспедикулярных винтов под навигационным контролем при тяжелой сочетанной травме позвоночника

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Спицын М.И. – концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, хирургическое лечение, диагностические исследования; Демченко К.Н. – концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, хирургическое лечение, диагностические исследования; Яйлаханов Л.С. – сбор и обработка материалов, обзор литературы, написание текста; Митюнина В.С. – сбор и обработка материалов, обзор литературы, написание текста; Исмаилов И.Х. – сбор и обработка материалов, обзор литературы, написание текста; Марчук В.Г. – анализ полученных данных, написание текста; Петров Ю.Н. – анализ полученных данных, написание текста; Трухан А.П. – анализ полученных данных, написание текста; Позняк Д.А. – анализ полученных данных, написание текста; Ярмошук Р.В. – сбор и обработка материалов, обзор литературы, написание текста.

Подана: 11.03.2025

Принята: 25.07.2025

Контакты: ryarmoshuk@inbox.ru

Резюме

Введение. Ввиду отсутствия единых алгоритмов в лечении тяжелой сочетанной травмы позвоночника сохраняется большое количество ошибок в диагностике осложнений, которые связаны как с особенностями сочетанной травмы, так и с особенностями диагностических методик. В настоящее время тяжелая сочетанная травма позвоночника является актуальной современной проблемой хирургии повреждений. Внедрение новых технологий в лечение пострадавших с тяжелой сочетанной травмой позволит улучшить результаты лечения и снизить количество ошибок. Одной из современных методик является хирургическая навигация, успешно зарекомендовавшая себя как высокоточная технология, применение которой демонстрирует убедительные результаты в лечении изолированных травм.

Цель. Изучить возможности и оценить эффективность применения хирургической навигации при установке транспедикулярной конструкции в ходе хирургического лечения пострадавших с тяжелой сочетанной травмой позвоночника.

Материалы и методы. В основу исследования были положены данные о лечении 66 пострадавших с сочетанными травмами позвоночника, разделенных на две группы. В основную группу были включены пострадавшие (n=21), которым выполнялись операции на позвоночнике с применением хирургической навигации. Пострадавшим контрольной группы операции выполнялись с применением стандартных методов рентген-сопровождения (n=45). После загрузки данных КТ в навигацию производили выбор серий сканирования и построение трехмерной модели поврежденного отдела позвоночника, в которую предусматривали виртуальную металлоконструкцию. Оценив анатомические структуры позвонков, производили измерение ножек

позвонков, подбирая диаметр и длину планируемых к имплантации винтов транспедикулярной конструкции. Операции по поводу травм позвоночника в контрольном массиве выполнялись под рентген-контролем (С-дуга).

Результаты. Применение хирургической навигации при имплантации винтов транспедикулярной конструкции привело к снижению частоты осложнений, сокращению длительности операций и снижению интраоперационной кровопотери ($p=0,0025$).

Заключение. Показаниями к применению хирургической навигации при лечении пострадавших с тяжелой сочетанной травмой позвоночника являются установка транспедикулярных конструкций в ходе декомпрессивно-стабилизирующих операций на позвоночнике (100%), определение объема резекции костных структур позвонков для достижения эффективной декомпрессии спинного мозга (47,6%), поиск и удаление вентрально расположенных в позвоночном канале костных фрагментов тел позвонков (23,8%), точное определение длины и диаметра винтов устанавливаемой конструкции (100%).

Ключевые слова: навигация, травма позвоночника, транспедикулярная конструкция, тяжелая сочетанная травма, политравма, установка винта, декомпрессивная ламинэктомия

Spitsyn M.¹, Demchenko K.¹, Yaylakhanov L.¹, Mityunina V.¹, Ismailov I.¹, Marchuk V.¹, Petrov Yu.¹, Trukhan A.², Poznyk D.², Yarmoshuk R.²✉

¹ Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russia

² 432 Order of the Red Star Main Military Clinical Medical Center of the Armed Forces of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Installation of Transpedicular Screws under Navigation Control in Severe Combined Spinal Injury

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Spitsyn M. – study concept and design, obtained data analysis, surgical treatment, diagnostic tests; Demchenko K. – study concept and design, obtained data analysis, surgical treatment, diagnostic tests; Yaylakhanov L. – materials collecting and processing, literature review, text writing; Mityunina V. – collection and processing of materials, literature review, writing of text; Ismailov I. – materials collecting and processing, literature review, text writing; Marchuk V. – obtained data analysis, text writing; Petrov Yu. – obtained data analysis, text writing; Trukhan A. – obtained data analysis, text writing; Poznyk D. – analysis of the obtained data, text writing; Yarmoshuk R. – materials collecting and processing, literature review, text writing.

Submitted: 11.03.2025

Accepted: 25.07.2025

Contacts: ryarmoshuk@inbox.ru

Abstract

Introduction. Due to the lack of uniform algorithms for treating severe combined spinal injuries, a large number of errors remain in the diagnosis of complications, associated with both combined injury features and diagnostic techniques particularities. Currently, severe combined spinal injuries are an urgent challenge in trauma surgery. Implementing new technologies in the treatment of victims with severe combined trauma will improve treatment outcomes and reduce the incidence of errors. One of the modern techniques is surgical navigation, which has successfully proven to be a high-precision technology, with convincing results demonstrated in treating isolated injuries.



Purpose. To determine opportunities and evaluate the effectiveness of surgical navigation when installing a transpedicular structure in surgical treatment of patients with severe combined spinal injury.

Materials and methods. The study was based on the data of the treatment of 66 patients with combined spinal injuries, divided into two groups. The main group included victims (n=21) who underwent spinal surgery using surgical navigation. For the victims of the control group, operations were performed using standard X-ray tracking methods (n=45). After loading the CT data into navigation, series of scans were selected and a three-dimensional model of the damaged spine was built, into which a virtual metal structure was pre-installed. After evaluating the anatomical structures of the vertebrae, the vertebral legs were measured, and the diameter and length of the screws of the transpedicular structure planned for implantation were selected. The surgeries for spinal injuries in the control array were performed under X-ray control (C-arc).

Results. The use of surgical navigation during implantation of transpedicular screws led to a decrease in the frequency of complications, a reduction in the duration of operations, and a decrease in intraoperative blood loss ($p=0.0025$).

Conclusion. The indications for the use of surgical navigation in the treatment of victims with severe combined spinal injury are the installation of transpedicular structures during decompression-stabilizing operations on the spine (100%), determination of the volume of resection of bone structures of the vertebrae to achieve effective decompression of the spinal cord (47.6%), search and removal of bone fragments of vertebral bodies located ventrally in the spinal canal (23.8%), and accurate determination of the length and diameter of the screws of the installed structure (100%).

Keywords: decompressive laminectomy, navigation, polytrauma, spinal trauma, transpedicular construction, severe combined injury, screw installation

■ ВВЕДЕНИЕ

В структуре смертности населения экономически развитых и развивающихся стран травматизм занимает третье место после сердечно-сосудистых заболеваний и злокачественных новообразований. В России смертность от травм среди лиц трудоспособного возраста по наносимому обществу суммарному экономическому и медико-социальному ущербу занимает первое место в общей структуре смертности (52%) [1, 2]. Особая социальная значимость проблемы травматизма связана с высокой инвалидизацией пострадавших – до 25–45% [3, 4].

Повреждения позвоночника и спинного мозга занимают одну из лидирующих позиций в структуре тяжелой сочетанной травмы (ТСТ) мирного и военного времени и составляют от 2 до 18% всех повреждений опорно-двигательной системы [5, 6]. При тяжелых сочетанных травмах частота повреждений позвоночника и спинного мозга колеблется от 13 до 63% [7]. Данный вид травм имеет достаточно высокую инвалидизацию, в России около 40% пострадавших с сочетанными травмами позвоночника не возвращаются к трудовой деятельности [8, 9].

В алгоритм диагностики сочетанной травмы позвоночника включены дополнительные инструментальные методы исследований и процедур, такие как рентгенография, компьютерная томография (КТ), люмбальная пункция и др. [10].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) редко используется при первичном обследовании, так как занимает длительное время и невыполнима у пациентов с сочетанными скелетными повреждениями, с различными металлоконструкциями [11]. Основной концепцией применения навигации при операциях на позвоночнике является локализация позиции в пространстве исследуемой области и ее окружения, чтобы трансформировать хирургическое вмешательство в более безопасную и менее инвазивную процедуру [12].

При повреждениях спинного мозга происходят нарушения болевой чувствительности, в связи с чем отсутствуют такие объективные данные повреждения внутренних органов, как симптомы раздражения брюшины, снижение перистальтики и т. д. [13]. Также важно отметить, что нарушение сознания вносит свою отрицательную лепту в диагностический алгоритм, скрывая жалобы и исключая возможность контакта с пациентом. Наличие продолжающегося внутреннего кровотечения, осложненный характер повреждения позвоночника – все эти последствия не позволяют точно сформулировать диагноз, определить очередность и последовательность действий при оказании неотложной помощи таким пострадавшим [14].

Вместе с тем нейронавигационные технологии позволяют в значительной степени снизить лучевую нагрузку на пострадавших, свести практически к нулю ионизирующее воздействие на хирургов и вспомогательный персонал операционной. В целом по своей эффективности, интраоперационной лучевой безопасности и удобству применения навигационные технологии как средство интраоперационной визуализации наиболее предпочтительны в сравнении со стандартными методами рентгеноскопии [15].

Таким образом, внедрение хирургической навигации в тактику лечения пострадавших с ТСТ позвоночника позволяет улучшить результаты и исходы лечения. С использованием навигации нет необходимости в реоперациях для перепроведения винтов, которые повлекли бы за собой высокий риск осложнений [16]. В настоящее время данных по применению обсуждаемой технологии в лечении пострадавших с ТСТ в литературе практически нет, что обусловило актуальность данного исследования.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить возможности и оценить эффективность применения хирургической навигации при установке транспедикулярной конструкции в ходе хирургического лечения пострадавших с тяжелой сочетанной травмой позвоночника.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу клинического исследования были положены данные о лечении 66 пострадавших с сочетанными травмами позвоночника.

Материалы исследования были разделены на две группы. В основную группу были включены пострадавшие (n=21), которым выполнялись операции с применением хирургической навигации. Контрольную группу составили пострадавшие, операции которым выполнялись с применением стандартных методов рентген-сопровождения (n=45).

Всем пострадавшим основной группы с сочетанной травмой позвоночника была выполнена КТ в режиме «все тело» в положении пострадавшего на спине.



При сканировании позвоночника для построения модели в навигационной стойке выполнялось максимальное число серий аксиальной проекции, угол Гентри составлял 0° , в исследование входили как минимум по 2 позвонка выше и ниже зоны интереса.

После загрузки данных КТ в навигацию производили выбор серий сканирования и построение трехмерной модели поврежденного отдела позвоночника, в которую предусматривали виртуальную металлоконструкцию в зависимости от перелома и избранной тактики лечения. Затем, оценив анатомические структуры позвонков, производили измерение ножек позвонков, подбирая диаметр и длину планируемых к имплантации винтов транспедикулярной конструкции (рис. 1).

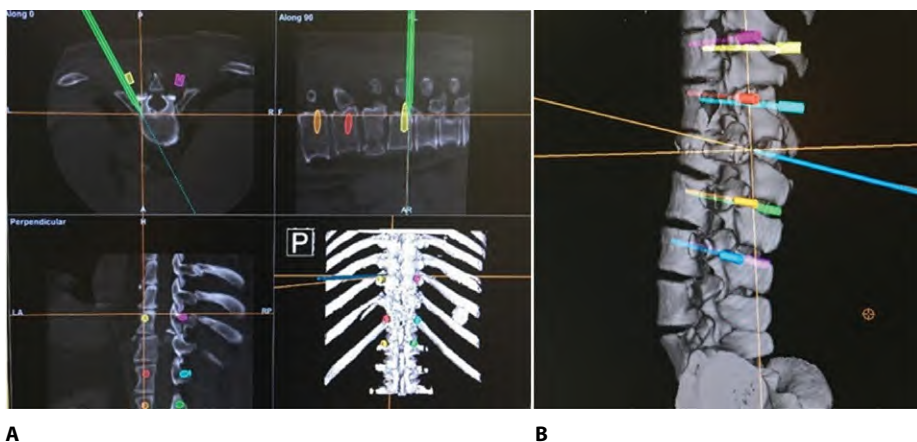


Рис. 1. Трехмерная модель поврежденного отдела позвоночника: А – зона позвоночника с повреждениями на основе КТ-сканирования; В – виртуальная металлоконструкция
Fig. 1. Three-dimensional model of the damaged section of the spine: A – spine area with damage based on CT scanning; B – virtual metal structure



Рис. 2. Реконструкция поврежденного отдела позвоночника в системе навигации с установленными дополнительными точками-ориентирами
Fig. 2. Reconstruction of the damaged section of the spine in a navigation system with additional reference points installed

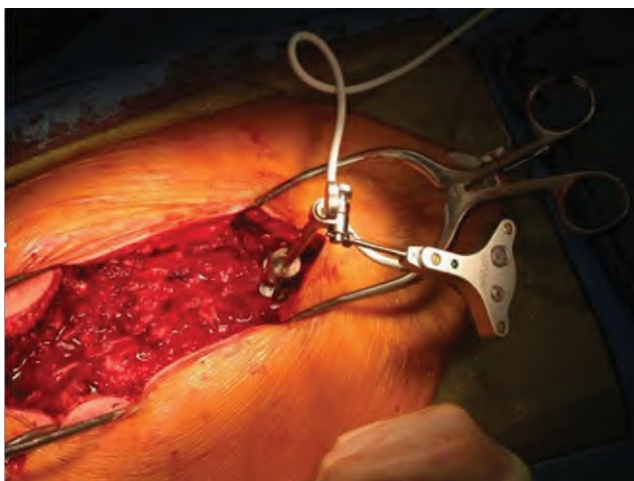


Рис. 3. Спинальный трекер, фиксированный к остистому отростку выше поврежденного позвонка
Fig. 3. Spinal tracker fixed to the spinous process above the injured vertebra

Определив траекторию и глубину введения транспедикулярных винтов, выбирали наименее травматичный путь, учитывая соседствующие анатомические структуры. В случае несоответствия диаметра ножки позвонка диаметру винта использовали винт меньшего диаметра либо меняли технику их установки, отдавая предпочтение технике частичного латерального смещения и выхода за пределы кортикального слоя ножки позвонка.

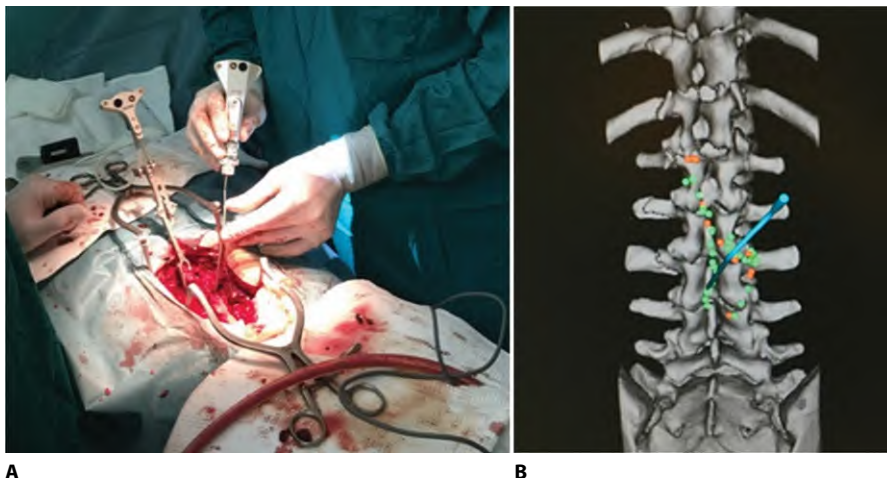


Рис. 4. Совмещение информации спинального трекера со следящей камерой: А – повышение точности регистрации путем нанесения дополнительных точек-меток на поверхность позвонков; В – отображаемые в системе навигации дополнительные точки
Fig. 4. Combining spinal tracker information with a tracking camera: A – increasing the accuracy of registration by applying additional marker points to the surface of the vertebrae; B – additional points displayed in the navigation system

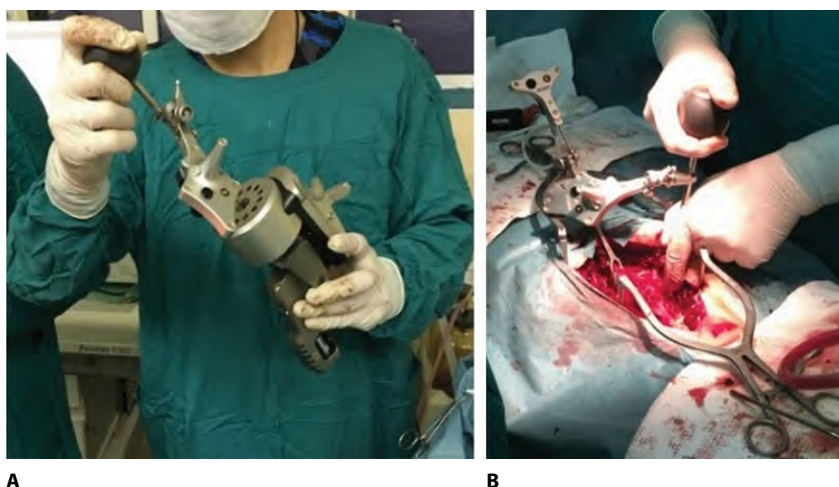


Рис. 5. Навигационное ассистирование: А – выполнение регистрации и валидации инструмента; В – навигационное ассистирование при установке винтов металлоконструкции
Fig. 5. Navigation assistance: A – registration and validation of the instrument; B – navigation assistance during installation of screws of the metal structure

При измененной анатомии позвонков вследствие травмы в режиме планирования и регистрации на виртуальной модели отмечали дополнительные точки-ориентиры, которые легко можно найти интраоперационно на реальных позвонках (поперечные отростки, корень дужки и т. д.) (рис. 2).

Регистрацию дорзальных структур позвонков чаще применяли как метод корректровки и повышения точности регистрации. На «сложные анатомические ориентиры» в различных плоскостях наносили от 30 до 70 «дополнительных точек», формировали точную анатомическую поверхность.

Выполнив доступ и скелетирование позвонков в зоне перелома и смежных с ним уровней, устанавливали спинальный трекер, производили его регистрацию (рис. 3).

С помощью пойнтера выполняли контроль по заранее нанесенным точкам-ориентирам на поврежденных и смежных позвонках и устанавливали новые точки-мишени уже непосредственно в ране на дорзальных структурах позвонков (рис. 4).

После совмещения анатомии позвонков с полученной виртуальной моделью система регистрировала погрешность, полученную при совмещении и планировании. Если показатели погрешности были приемлемыми, приступали к регистрации инструментов и к навигационному ассистированию (рис. 5).

Критерии соответствия

Одним из критериев выполнения хирургического вмешательства с применением навигации явилось стабильное состояние пациента и отсутствие угрожающих последствий травм. Ведущей областью повреждений в обеих исследуемых группах был позвоночник (85,6% и 80,0% соответственно) (табл. 1).

В 76,2% случаев пострадавшие с ТСТ позвоночника находились в состоянии травматического шока, один пострадавший – в терминальном состоянии (4,8%) (табл. 2).

Таблица 1
Распределение пострадавших с тяжелой сочетанной травмой позвоночника по областям ведущего повреждения
Table 1
Distribution of victims with severe combined spinal trauma by areas of leading damage

Область ведущего повреждения	Количество пострадавших в группе (n=66)				Всего	
	основная (n=21)		контрольная (n=45)			
	n	%	n	%	n	%
Голова	1	4,8	0	0	1	1,5
Грудь	0	0	0	0	0	0
Живот	1	4,8	2	4,4	3	4,5
Позвоночник	18	85,6	36	80,0	54	81,9
Таз	0	0	1	2,2	1	1,5
Конечности	0	0	0	0	0	0
Сочетание областей	1	4,8	6	11,1	7	10,6
ИТОГО	21	100	45	100	66	100
Статистические показатели	$\chi^2=3,66$; $p=0,45$; $Kc=0,23$					

Таблица 2
Частота и степень травматического шока у пострадавших групп
Table 2
Frequency and degree of traumatic shock in affected groups

Степень травматического шока	Количество пострадавших в группе (n=66)			
	основная (n=21)		контрольная (n=45)	
	n	%	n	%
I	9	42,9	20	44,4
II	7	33,3	14	31,1
III	4	19	8	17,8
Терминальное состояние	1	4,8	3	6,7
ИТОГО	21	100	45	100
Статистические показатели	$\chi^2=3,33$; $p=0,34$; $Kc=0,219$			

Травмы позвоночника в изученных группах чаще всего локализовались в грудном и поясничном отделах (81% в основной группе и 82,3% в контрольной). В основной группе доля повреждений шейного отдела позвоночника (ШОП) составила 19%, в контрольной – 17,7%. На долю повреждений грудного отдела позвоночника (ГОП) в основной группе пришлось 52,4%, в контрольной – 53,3%. Повреждения поясничного отдела в основной группе составили 28,6%, в контрольной – 28,8%. Множественная травма позвоночника наблюдалась в 19% и 22,2% соответственно.

В сравниваемых группах преобладали пострадавшие с повреждениями по компрессионному механизму (повреждения типа А по классификации АО Spine) [17]. Частота данного типа переломов в основной группе пострадавших составила 81%, в контрольной – 73,3%. Дистракционный механизм повреждения (тип В) наблюдался у 14,3% пострадавших основного массива и у 17,8% – контрольного. Реже встречались повреждения ротационного типа (тип С), составившие 4,8% в основной и 8,9% в контрольной группе.



При оценке неврологического дефицита у пострадавших с ТСТ позвоночника преобладали пострадавшие с повреждениями без нарушения проводимости спинного мозга – 52,4% случаев в основной группе и 53,3% в контрольной группе. Частичное нарушение проводимости спинного мозга наблюдалось в 33,1% случаев в основной группе и в 31,1% – в контрольной. Травма позвоночника с полным нарушением проводимости спинного мозга наблюдалась в 9,5% и 8,8% случаев. Повреждения корешков конского хвоста составили 4,8% в основной группе и 11,1% – в контрольной (рис. 6).

Выраженность неврологических расстройств у пострадавших с ТСТ позвоночника оценивали по шкале ASIA/ISCOS [18]. Чаще других преобладали повреждения степени C, что составило 62% в основной группе пострадавших с сочетанной травмой позвоночника и 60% – в контрольной. В меньшей степени встречались повреждения степени D: 19% в основной и 15,6% в контрольной группе. В обеих группах по степени A и B значения были схожи и составили 9,5% в основной и 11,1% в контрольной группе.

Пострадавшим с травмами шейного отдела позвоночника (n=4) были выполнены следующие операции: один пострадавший с переломом зубовидного отростка C₂-позвонка – установка канюлированного винта в зубовидный отросток. Троим пострадавшим с субаксиальными повреждениями (C₃–C₇) – двум пострадавшим с двусторонним переломовывихом C₄-позвонка и пострадавшему с взрывным переломом тела C₅-позвонка – были выполнены декомпрессия невральных структур из заднего и переднего доступов, восстановление позвоночного канала, передний корпородез сетчатым имплантом, трансартикулярная фиксация.

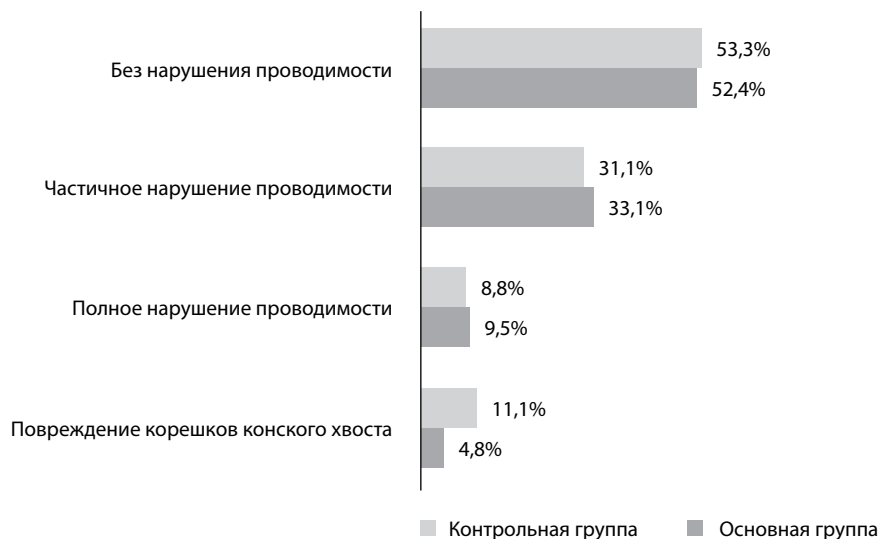


Рис. 6. Характеристика неврологического дефицита у пострадавших с ТСТ позвоночника ($\chi^2=5,04$; $p=0,08$; $Kc=0,276$)

Fig. 6. Characteristics of neurological deficit in patients with spinal cord injury ($\chi^2=5.04$; $p=0.08$; $Kc=0.276$)

Пострадавшие с травмами грудного отдела позвоночника (n=11) получили следующие повреждения по шкале AO Spine: компрессионный тип A2 (n=5), A3 (n=3), B3 (n=2), тип C (n=1). В большинстве случаев пострадавшие получили травму по компрессионно-дистракционному механизму (свыше 80%). Данным пострадавшим были выполнены декомпрессивные ламинэктомии с длинносегментарной транспедикулярной фиксацией.

Пострадавшие с травмами пояснично-крестцового отдела позвоночника (n=6) получили повреждения: по компрессионно-оскольчатому механизму, переломы типа A2 (n=5), по дистракционному типу (тип B3) – двусуставной переломовывих (n=1). Данным пострадавшим были выполнены декомпрессивные расширенные ламинэктомии, фасетэктомии с установкой транспедикулярных систем.

Показанием к хирургическому лечению пострадавших с ТСТ позвоночника в исследовании стали: появление/нарастание неврологического дефицита, посттравматические изменения структур позвоночного канала. У 2 (9,5%) пострадавших в ходе диагностики выявлены гематомииелия и блок ликвородинамики. Показания у 7 (33,3%) пострадавших были сформулированы в связи нестабильным характером повреждения позвоночника с паралитическими формами сдавления корешков спинномозговых нервов.

Предоперационное планирование и выполнение операций с применением хирургической навигации пострадавших с ТСТ позвоночника

Учитывая допущенные ошибки (выполняя декомпрессию на уровне поврежденного позвонка, производили резекцию и удаление костных фрагментов, на которые ранее устанавливали дополнительные метки, теряя ориентиры на виртуальной модели) при планировании первой серии операций на позвоночнике с использованием навигации, было принято решение о маркировке анатомических структур на виртуальной модели. Так, при оскольчатом характере и сдавлении спинного мозга и невралгических структур мы производили дополнительную разметку на неповрежденных структурах выше- и нижележащих позвонков (рис. 7).

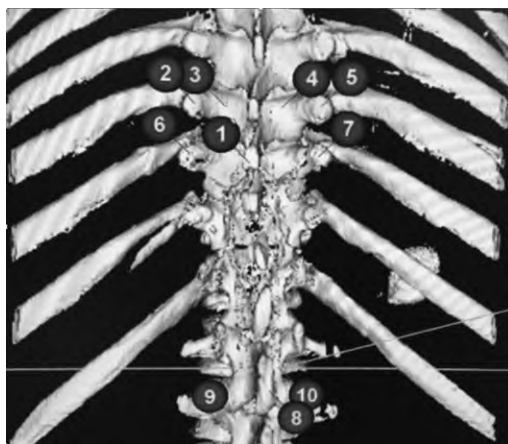


Рис. 7. 3D-модель грудного отдела позвоночника на основе компьютерной томографии с установленными дополнительными точками

Fig. 7. 3D-model of the thoracic spine based on computed tomography with additional points installed



Таблица 3

Структура распределения имплантированных винтов по различным отделам позвоночника

Table 3

Distribution structure of implanted screws in different parts of the spine

Отдел позвоночника	Кол-во установленных винтов	
	n	%
Шейный (n=4)	19	15,4
Грудной (n=11)	68	55,3
Пояснично-крестцовый (n=6)	36	29,3
ИТОГО	123	100,0

Установив интраоперационно маркеры на точках, выбранных при предоперационном планировании и их регистрации в системе, далее производили установку транспедикулярной конструкции с навигационным ассистированием. В ходе хирургического лечения пострадавших при операциях на позвоночнике количество имплантированных винтов составило 123 шт. (табл. 3).

Методы регистрации исходов

Всем пострадавшим были выполнены контрольные послеоперационные КТ. Для оценки точности позиционирования винтов применялась шкала и классификация Герцбейна – Роббинса (Gertzbein – Robbins) [19] (с изменениями B. Schatlo) [20] (рис. 8). Данная классификация отражает отклонение винта от «идеальной» внутрипедикулярной траектории в любом направлении от срединного меридиана в ножке позвонка:

- «Степень 0» – винт расположен интрапедикулярно, без нарушения кортикального слоя;

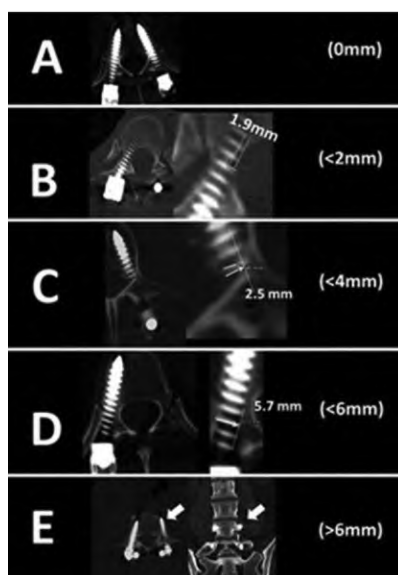


Рис. 8. Шкала и классификация Герцбейна – Роббинса

Fig. 8. Gertzbein – Robbins scale and classification

Таблица 4
Результаты имплантации винтов в структурах позвонков у пострадавших основной группы согласно шкале и классификации Герцбейна – Роббинса
Table 4
Results of screw implantation in vertebral structures in the main group of victims according to the Gertzbein – Robbins scale and classification

«Степень»	Отклонение винта, мм	Отдел позвоночника					
		шейный (n=19)		грудной (n=68)		поясничный (n=36)	
		абс.	%	абс.	%	абс.	%
0	0	18	94,7	61	89,7	34	94,4
1	0–2	1	5,3	5	7,3	2	5,5
2	–4			1	1,4		
3	4–6			1	1,4		
4	>6						
Итого		19	100	68	100	36	100

- «Степень 1» – винт размещен с нарушением кортикального слоя ножки позвонка (во всех направлениях), но не выходит за ее пределы более чем на 2 мм;
- «Степень 2» – винт находится за пределами кортикального слоя ножки позвонка более чем на 2 мм (во всех направлениях), но не более чем на 4 мм;
- «Степень 3» – винт лежит за пределами кортикального слоя ножки позвонка более чем на 4 мм (во всех направлениях), но не более 6 мм;
- «Степень 4» – винт расположен за пределами кортикального слоя ножки позвонка более чем на 6 мм (во всех направлениях).

Полученные результаты имплантации винтов в структурах позвонков представлены в табл. 4. Винт, установленный с применением хирургической навигации в грудном отделе, отнесен к степени отклонения «Степень 3» в связи с несоответствием диаметра ножки позвонка диаметру винта, он был имплантирован по допускаемой технике «in out in».

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведен сравнительный анализ оперативного лечения пострадавших с тяжелой сочетанной травмой позвоночника с применением навигационных технологий и классических рутинных методов рентген-ассистирования.

Степень точности введения транспедикулярных винтов определяли по классификации Герцбейна – Роббинса (Gertzbein – Robbins). Полученные результаты представлены в табл. 5.

В целом основное количество винтов, введенных пострадавшим основной и контрольной групп, во всех отделах позвоночника имело интрапедикулярное положение («Степень 0», без повреждения кортикального слоя ножки позвонка) – в среднем 91,9% (113 винтов) с применением хирургической навигации и 81,9% (231 винт) с применением рентгеноскопии.

Установка винтов транспедикулярной металлоконструкции с отклонением винта «Степень 1» в основной группе пострадавших выявлена в 8 случаях: один (5,3%) в ходе операций на шейном отделе позвоночника (с латеральным выходом за пределы



Таблица 5

Результаты имплантации винтов в структурах позвонков у пострадавших основной и контрольной группы по шкале и классификации Герцбейна – Роббинса

Table 5

Results of screw implantation in vertebral structures in patients of the main and control groups according to the Gertzbein – Robbins scale and classification

Степень точности, отклонение винта (мм)	Ед.	Отдел позвоночника, группы, кол-во винтов (шт.)					
		шейный		грудной		пояснично-крестцовый	
		осн. (19)	контр. (42)	осн. (68)	контр. (174)	осн. (36)	контр. (72)
«Степень 0»	абс.	18*	37	61*	137	34*	57
	%	94,7	88,1	89,7	78,7	94,4	79,1
«Степень 1» (от 0 до 2)	абс.	1*	4	5*	23	2*	8
	%	5,3	9,5	7,3	13,2	5,6	11,1
«Степень 2» (от 2 до 4)	абс.	0	1	1	8 (3 [#])	0	3 (1 [#])
	%	0	2,4	1,5	4,6	0	4,2
«Степень 3» (от 4 до 6)	абс.	0	0	1 [#]	4 [#]	0	3 [#]
	%	0	0	1,5	2,3	0	4,2
«Степень 4» (более 6)	абс.	0	0	0	2 [#]	0	1 [#]
	%	0	0	0	1,1	0	1,4
Количество переустановок	абс.	0	0	1*	9	0*	5
	%	0	0	1,5	5,1	0	6,9

Примечания: * различия между группами достоверны, $p < 0,05$; [#] обозначены случаи переустановки транспедикулярных винтов после неудовлетворительного их первичного проведения.

кортикального слоя ножки позвонка на 1 мм), 5 (7,3%) – при операциях на грудном отделе и 2 (5,6%) – на пояснично-крестцовом. У пострадавших контрольной группы с отклонением «Степень 1» было установлено 35 винтов: 4 случая (9,6%) в шейном отделе, 23 случая (13,2%) – в грудном и 8 (11,1%) – в пояснично-крестцовом отделе позвоночника ($p=0,03$).

Отклонение винта от интрапедикулярной траектории «Степень 2» в основной группе – 1 случай (1,4%) в грудном отделе позвоночника, в контрольной – 12 случаев: 1 случай (2,4%) в шейном, 8 случаев (4,6%) в грудном (из которых 3 винта были перепроведены в послеоперационном периоде) и 3 случая (4,2%) в пояснично-крестцовом отделе позвоночника (из которых один винт был перепроведен в послеоперационном периоде по результатам выполненной контрольной компьютерной томографии, выявившей медиальное расположение винта (просвет позвоночного канала) с выходом за пределы кортикального слоя на 4 мм) ($p=0,04$).

Установка винта с неудовлетворительным положением «Степень 3» в основной группе пострадавших имела место в 1 случае, причем данное отклонение было намеренным из-за малого диаметра ножки позвонка, составлявшей менее 4 мм в диаметре. В данном случае применили допустимый способ проведения винта с выходом за пределы из ножки позвонка. В контрольной группе в категории «Степень 3»

отмечена установка 7 винтов: 4 случая (2,3%) в грудном и 3 случая (4,2%) в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, 2 из которых имели латеральное проведение. Все они были перепроведены после выполненного контрольного КТ-исследования.

В контрольной группе также отмечено 3 случая проведения винтов в категории «Степень 4»: 2 (1,1%) – в грудном (латеральное проведение) и 1 (1,4%) – в пояснично-крестцовом (трансартрикулярное). Данные винты были перепроведены в связи с неврологическим дефицитом (гипестезия в зоне иннервации зависимого корешка) и наличием болевого синдрома. В одном наблюдении выявлен случай миелопатии из-за медиальной перфорации кортикального слоя, которая частично разрешилась после ревизии и перепроведения винта.

У пострадавших контрольной группы, прооперированных с помощью общепринятых подходов с использованием рентгеноскопии, было выявлено три случая сдавления спинномозговых корешков, проявившихся парезом нижних конечностей.

На рис. 9 представлены компьютерные томограммы пострадавших с вариантами неудовлетворительной установки винтов транспедикулярной конструкции позвоночника (контроль в первые 24 часа после установки).

На рис. 9А представлена КТ пострадавшего с ТСТ грудного отдела позвоночника со сдавлением спинного мозга введенным транспедикулярным винтом, проходящим через просвет позвоночного канала.

На рис. 9В представлена КТ пострадавшего с ТСТ грудного отдела позвоночника с установленными винтами. Правый винт имеет медиальное положение, частично повреждая кортикальный слой позвоночного канала (2 мм), левый винт имеет внепедикулярное расположение с латеральным отклонением на 5 мм.

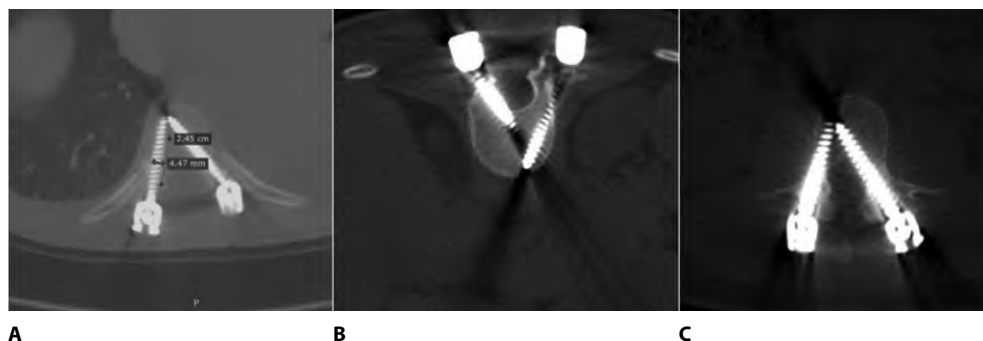


Рис. 9. Компьютерные томограммы позвоночника с установленной транспедикулярной металлоконструкцией: А – левый винт, установленный с медиальным отклонением, частично проходящий в позвоночном канале; В – левый винт имеет медиальное отклонение с частичной перфорацией кортикального слоя позвоночного канала, правый винт с латеральным отклонением (6 мм); С – левый винт установлен с повреждением кортикального слоя позвоночного канала

Fig. 9. Computed tomograms of the spine with a transpedicular metal structure installed: A – the left screw, installed with a medial deviation, partially extending into the spinal canal; B – the left screw, has a medial deviation with partial perforation of the cortical layer of the spinal canal, the right screw with a lateral deviation (6 mm); C – the left screw is installed with damage to the cortical layer of the vertebral the channel



На рис. 9С показан пострадавший с ТСТ пояснично-крестцового отдела позвоночника с установленными траспедикулярными винтами. Винт, установленный в левую ножку позвонка, имеет медиальное расположение с частичным пролабированием в просвет позвоночного канала на 2 мм.

Анализ длительности выполнения хирургических вмешательств пострадавшим с ТСТ позвоночника

Анализ длительности оперативных вмешательств на шейном отделе позвоночника в сравнении двух методик показал, что статистически значимых результатов получено не было ($p=0,056$), при этом отмечен тренд снижения времени оперативного вмешательства с использованием хирургической навигации. Среднее время выполнения оперативных вмешательств у пострадавших основной группы составило 115 ± 10 мин., у пострадавших контрольной группы 127 ± 16 мин. Средняя разница во времени оперативных вмешательств в двух группах составила $12,0\pm 11,5$ мин.

Оценка времени выполнения хирургических вмешательств на грудном отделе позвоночника показала, что при сравнении двух методик имеются статистически значимые различия ($p=0,034$). Сокращение длительности выполнения оперативных вмешательств с использованием хирургической навигации составило $16,3\pm 13,3$ мин. У пострадавших основной группы с ТСТ позвоночника на грудном отделе было выполнено 11 хирургических вмешательств с применением хирургической навигации. Среднее время выполнения хирургических вмешательств на данном отделе позвоночника составило $191,8\pm 15,9$ мин. в основной группе и $208,6\pm 17,4$ мин. в контрольной группе соответственно.

Длительность хирургических вмешательств у пострадавших с травмой пояснично-крестцового отдела позвоночника свидетельствовала о получении статистически значимых различий ($p=0,038$), разница снижения времени оперативных вмешательств с использованием хирургической навигации составила $24,2\pm 8,0$ мин. На данном отделе позвоночника в группах сравнения была проанализирована длительность 6 хирургических вмешательств. Средняя длительность операций на данном отделе позвоночника в основной группе составила $165,8\pm 18,6$ мин., у пострадавших контрольной группы – $190,0\pm 22,6$ мин.

При оценке длительности оперативных вмешательств у пострадавших в группах сравнения было отмечено достоверное статистически значимое ($p=0,0082$) снижение времени оперативного вмешательства у пострадавших основной группы, у которых применялась хирургическая навигация, в сравнении с контрольной группой, где применялись стандартные методы рентгеноскопии.

Сравнительный анализ интраоперационной кровопотери при операциях на позвоночнике у пострадавших с ТСТ позвоночника

Оценка объема интраоперационной кровопотери при хирургических вмешательствах на позвоночнике с применением хирургической навигации у пострадавших основной группы проводилась на протяжении всего исследования. Оценку наружной кровопотери осуществляли гравиметрическим способом с применением расчетных формул. Анализ объема кровопотери у пострадавших контрольной группы производился при ретроспективном изучении анестезиологических карт. Оценка данного показателя была необходима для определения эффективности

Таблица 6

Объем интраоперационной кровопотери (мл) при оперативных вмешательствах на различных отделах позвоночника в исследуемых группах

Table 6

Volume of intraoperative blood loss (ml) during surgical interventions on various parts of the spine in the study groups

Отдел позвоночника	Группа, объем кровопотери, мл		Статистическая значимость
	основная (n=21)	контрольная (n=45)	
Шейный	225±11,4	317±14,3	p=0,043
Грудной	636±29,6	956±45,7	p=0,0025
Пояснично-крестцовый	525±24,8	716±33,8	p=0,0089

применения хирургической навигации, влияния на исходы лечения пострадавших с ТСТ позвоночника. В табл. 6 приведены данные сравнительного анализа объемов интраоперационной кровопотери при операциях на различных отделах позвоночника в группах сравнения.

При операциях на шейном отделе позвоночника у пострадавших основной группы, где применялась хирургическая навигация, средний объем кровопотери составил 225±11,4 мл, что меньше, чем у пострадавших контрольной группы (p=0,043).

При операциях на грудном отделе позвоночника у пострадавших основной группы средняя величина кровопотери составила 636±29,6 мл, при этом у пострадавших контрольной группы этот показатель был равен 956±43,3 мл (p=0,0025). В пояснично-крестцовом отделе позвоночника разница между объемами кровопотери в группах сравнения составила около 192 мл (p=0,0089).

Применение хирургической навигации при операциях на позвоночнике у пострадавших с ТСТ позвоночника показало достоверное снижение объема интраоперационной кровопотери. Снижение объема интраоперационной кровопотери у пострадавших основной группы было связано со снижением времени хирургического вмешательства, а также отсутствием случаев перепроведения винтов.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тяжелые сочетанные нейротравмы характеризуются высокой тяжестью повреждений (21,4±1,5 и 8,7±1,5 балла соответственно по шкале ВПХ-МТ) и состояния пострадавших (48,7±4,2 и 21,8±1,2 балла соответственно по шкале ВПХ-СП), что соответствует тяжелым травмам.

При лечении пострадавших с тяжелыми сочетанными травмами позвоночника показаниями к применению хирургической навигации являются имплантация винтов транспедикулярных конструкций в ходе декомпрессивно-стабилизирующих операций на позвоночнике (100%), определение объема резекции костных структур позвонков для достижения эффективной декомпрессии спинного мозга (47,6%), поиск и удаление вентрально расположенных в позвоночном канале костных фрагментов тел позвонков (23,8%), точное определение длины и диаметра винтов устанавливаемой конструкции (100%).

Основными причинами ошибок и осложнений хирургического лечения пострадавших являются неточности в позиционировании винтов транспедикулярной конструкции в ходе выполнения декомпрессивно-стабилизирующих операций (18,1%).



Наиболее частыми осложнениями стабилизирующих операций на позвоночнике при проведении винтов стали повреждения спинномозговых корешков (11,7%), твердой мозговой оболочки (4,4%), развитие миелопатии (2,2%), развитие выраженного болевого синдрома (15,6%) и кровотечения (8,9%).

Клиническая эффективность применения хирургической навигации в лечении пострадавших с тяжелой сочетанной нейротравмой заключается при повреждениях позвоночника в снижении частоты осложнений при имплантации винтов транспедикулярной конструкции. В шейном отделе их удается снизить на 12%, в грудном отделе – на 22%, в поясничном отделе позвоночника – на 18%, при этом сокращается длительность операций (на шейном отделе позвоночника на 9,7%, на грудном отделе позвоночника – на 7,8% и на поясничном отделе позвоночника – на 12,6%), и интраоперационная кровопотеря – на 25% ($p=0,0025$).

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Chizhova L. Substantiation of the strategy and directions of action to activate labor potential in the context of globalization. *Collection of scientific papers of the Institute for Macroeconomic Research. Series "Problems of Employment and the Labor Market"*. 2015;1:7–76. (in Russian)
2. Blam O.G., Vaccaro A.R., Vanichkachorn J.S., et al. Risk factors for surgical site infection in the patient with spinal injury. *Spine*. 2003;28(13):1475–1480.
3. Afaunov A., Kuzmenko A., Basankin I. Differentiated treatment in patients with traumatic vertebral canal stenosis at lower thoracic and lumbar levels. *Innovative Medicine of Kuban*. 2016;2(2):5–16. (in Russian)
4. Krylov V., Grin' A., Lutsik A., et al. A protocol recommended for treating acute complicated and uncomplicated spinal injuries in adult patients (Association of Neurosurgery of Russia). Part 1. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2014;78(6):60–67 p. (in Russian)
5. Badalov V. *Diagnosis and treatment of combined spinal injury at the stages of medical evacuation in wartime and peacetime*. St. Petersburg. 2013;402 p. (in Russian)
6. Belskikh A., Samokhvalov I. *Instructions on military field surgery*. Moscow, 2013;474 p. (in Russian)
7. Orlov V., Dulaev A. *Closed spinal cord and spinal cord injury. Lectures on neurosurgery*. St. Petersburg: FOLIANT; 2004:301–322. (in Russian)
8. Porkhanov V., Bogdanov S., Polyakov I. et al. *Thoracic surgery: A guide for doctors*. Moscow: PRINTING CLUB; 2022:362 p. (in Russian)
9. Magerl F., Aebi M., Gertzbein S.D., et al. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur. Spine J*. 1994;3(4):184–201.
10. Shchedrenok V., Yakovenko I., Orlov S., et al. The results of examination of medical care quality for associated vertebro-spinal-cord injury. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2010;16(1):102–105. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-1-102-105 (in Russian)
11. Kumar R., Lim J., Mekary R.A., et al. Traumatic Spinal Injury: Global Epidemiology and Worldwide Volume. *World Neurosurg*. 2018;113:345–363.
12. Grin A. Surgical treatment of patients with spinal cord and spinal cord injury with combined trauma. Moscow, 2008;320 p. (in Russian)
13. Badalov V., Korostelev K., Senko I. A modern approach to the treatment of combined spinal injuries. *IV Congress of Neurosurgeons of Russia: Materials of the Congress*. 2006;6–7. (in Russian)
14. Parfenova V., Tulupova A., et al. *Surgery of severe combined injuries: atlas*. St. Petersburg: ELBI – SPb. 2018:455 p. (in Russian)
15. Badalov V., Spitsyn M., Korostelev K., et al. Neuronavigation Assistance. Decreased radiation exposure during spinal surgery in patients with severe combined trauma. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2020;22(2):59–65. doi: 10.17816/brmma50047 (in Russian)
16. Badalov V., Spitsyn M., Korostelev K., et al. Navigation technologies in injury surgery. *Military Medical Journal*. 2021;342(9):30–40. doi: 10.52424/00269050_2021_342_9_30 (in Russian)
17. Jo A.S., Wilseck Z., Manganaro M.S., et al. Essentials of Spine Trauma Imaging: Radiographs, CT, and MRI. *Semin. Ultrasound. CT MR*. 2018;39(6):532–550.
18. Marino R.J., Barros T., Biering-Sorensen F., et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury. *J. Spinal Cord Med*. 2003;26(1):50–56.
19. Gertzbein S.D., Robbins S.E. Accuracy of pedicular screw placement in vivo. *Spine*. 1990;15(1):11–14.
20. Schatlo B., Molliqaj G., Cuvinciu V., et al. Safety and accuracy of robot-assisted versus fluoroscopy-guided pedicle screw insertion for degenerative diseases of the lumbar spine: a matched cohort comparison. *J. Neurosurg. Spine*. 2014;20(6):636–643.