ОСЛОЖНЕНИЯ ТРАСПЕДИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ У БОЛЬНЫХ С ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМОЙ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ И ИХ ПРОФИЛАКТИКА

Усиков В. Д.¹, Куфтов В. С.², Монашенко Д. Н.³, Улитин А. Ю.⁴, Долгушин А. А.⁵

¹ ФГБУ НМИЦ ТО им. Р. Р. Вредена Минздрава России, Санкт-Петербург

² ГАУЗ Городская больница № 1, Брянск

³ ГБУЗ Городская больница № 26, Санкт-Петербург

⁴ РНХИ им. проф. А. Л. Поленова – филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова, Санкт-Петербург

⁵ ГБУЗ Городская больница № 26, Санкт-Петербург

ERRORS AND COMPLICATIONS OF TRANSPEDICULAR FIXATION IN PATIENTS WITH SPINAL CORD INJURY OF THE THORACIC AND LUMBAR REGIONS AND THEIR PREVENTION

Usykov V.D.¹, Kuflov V.S.², Monashenko D.N.³, Ulitin A.Yu.⁴, Dolgushin A.A.⁵

¹ Federal State Budgetary Institution "R. R. Vreden National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg

² State Autonomous Health department city hospital № 1, Bryansk State

³ State budget department of Health care city hospital № 26, Saint Petersburg

⁴ Russian Scientific Research Institute for Neurosurgery prof. A. L. Polenov branch Federal State Budgetary Institution «V.A. Almazov National Medical Research Center», Saint Petersburg Petersburg

⁵ State budget department of Health care city hospital № 26, Saint Petersburg

РЕЗЮМЕ.

Представлен анализ ошибок и осложнений у 268 больных с позвоночно-спинномозговой травмой (ПСМТ) грудного и поясничного отделов, в лечении которых применялся транспедикулярный остеосинтез. В сроки наблюдения до 10 лет выявлено 37 (13,8 %) неудовлетворительных результатов: переломы металлоконструкции – 24 (8,9 %) случая; проведение винтов мимо анатомических ориентиров – у 3 (1,11 %) больных, прорезание винтов и миграция элементов конструкции – по 3 (1,11 %) случая; воспалительный процесс в глубоких тканях – 3 (1,11 %) случая; ликворный свищ – у 1 (0,37 %) больного. Анализ литературы и комплексная система профилактики возникших ошибок и осложнений позволит улучшить результаты лечения больных с осложненными переломами грудного и поясничного отделов позвоночника.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: перелом позвоночника, транспедикулярная фиксация, ошибки и осложнения.

ABSTRACT. The article presents an analysis of errors and complications in 268 patients with spinal cord injury (PSMT) of the thoracic and lumbar regions, who were treated with transpedicular osteosynthesis. During the follow-up period up to 10 years, 37 (13.8 %) unsatisfactory results were revealed: fractures of the metal structure – 24 (8.9 %) cases; carrying screws past anatomical landmarks – in 3 (1.11 %) patients, cutting screws and migration of structural elements – in 3 (1.11 %) cases; inflammatory process in deep tissues – 3 cases; cerebrospinal fistula-in 1 (0.37 %) patient. An analysis of the literature and a comprehensive system of prevention of errors and complications will improve the results of treatment of patients with complicated fractures of the thoracic and lumbar spine.

KEY WORDS: spinal fracture, transpedicular fixation, errors and complications.

Концепция транспедикулярной фиксации позвоночника была заложена в середине 50-х годов прошлого столетия Boucher [1]. Roy-Camille [2] впервые в 1963 году применил для фиксации поврежденного позвоночника пластины, которые крепились винтами, проходящими через корни дуг позвонков. В настоящее время транспедикулярная фиксация представляет собой так называемый золотой стандарт внутренней фиксации позвоночника. Превосходство данной системы фиксации с точки зрения биомеханических свойств и возможности проведения интраоперационной коррекции деформации позвоночника, создания благоприятных условий для сращения позвонка и возможности проведения ранней реабили-

тации неоднократно отмечалось многими авторами [3, 4]. Однако, несмотря на простоту методики, при проведении транспедикулярных винтов могут встречаться технические сложности, приводящие к ряду осложнений, связанных с организационными и диагностическими ошибками, недостаточным обеспечением оборудованием, а также с ошибками, связанными непосредственно с конструкцией, характером повреждения позвоночника и небольшим опытом хирурга [5,6]. Усовершенствование транспедикулярных конструкций и технологий их установки, понимания их биомеханических характеристик привело к снижению частоты осложнений. В настоящее время совершенствуются как сами конструкции, так и их тех-

нологии [7,8]. Стремление повысить безопасность и инвазивность хирургических вмешательств стало движущей силой хирургических инноваций.

Цель исследования: анализ осложнений транспедикулярного остеосинтеза при лечении больных с ПСМТ на грудном и поясничном отделах и их профилактики.

Материал и методы.

Материалом для исследования послужили 268 пациентов (192 мужчины, 76 женщин) с осложненными переломами грудного и поясничного отделов позвоночника от ThIII до LV. Средний возраст больных 29,5 лет. Обработка результатов проводилась с помощью пакетов программ «Microsoft Excel» и «SPSS Statistics». Все повреждения носили нестабильный характер, основная их часть пришлась на грудно-поясничный переход. Сочетанная травма была диагностирована у 106 (39,6 %) пострадавших. Средний срок от травмы до операции составил: $7,1 \pm 2,1$ суток. До и после операции оценивалась кифотическая и сколиотическая деформация позвоночника по методу Cobb, при котором углы измерялись между нижней замыкательной пластиной вышележащего позвонка и верхней замыкательной пластиной нижележащего позвонка. Изолированные повреждения позвонка (типы А3 и А4 по классификации АО) были у 162 (60,4 %) пациентов), а на повреждения типов В1–С3 по классификации АО у 106 (39,3 %) больных. Оценка неврологического статуса при поступлении и в динамике оценивалась по шкале ASIA. В таблице 1 приведены локализация, характер повреждения позвоночника и степень неврологических нарушений по ASIA.

На операции использовались винты диаметром 6 и 7 мм и штанги диаметром 7 мм. После установки транспедикулярных винтов монтировалась репозиционная система «Синтез» (Санкт-Петербург), с помощью которой кроме лигаментотаксиса дозированно исправлялась многоплоскостная деформация позвоночника, проводилась закрытая декомпрессия содержимого позвоночного канала, выполнялось «расправление» сломанного позвонка. У 46 больных для фиксации применяли 4-х винтовую конструкцию с фиксацией двух позвоночно-двигательных сегментов, у 110 больных использовали 5-и, и у 112 – 6-и винтовую конструкцию, в которую включали сломанный позвонки. При репозиции оценивали расправление передних размеров тела сломанного позвонка, исправление углов деформации позвоночника и степень вертебротеллоулярного конфликта. Для устранения оставшейся компрессии у 112 больных была выполнена ламинэктомия, а у 28 больных вторым этапом – передняя декомпрессия содержимого дурального мешка и корпородез аутокостью.

У 37 (13,8 %) оперированных больных выявлены осложнения, связанные с транспедикулярным остеосинтезом: в 24 (8,9 %) случаях – переломы металлоконструкции; в 3 (1,1 %) – проведение винтов мимо анатомических ориентиров; прорезание винтов и миграция элементов конструкции – по 3 (1,1 %) случая;

в 3 (1,1 %) – воспалительный процесс в глубоких тканях; у 1 (0,4 %) пациента образовался ликворный свищ. В осложнения не включались воспалительные изменения в поверхностных тканях, поскольку не оказывали влияния на фиксацию, проведение реабилитации и результаты лечения.

Таблица 1. Характер повреждения позвоночника и неврологические нарушения.

Локализация повреждения	Неврологические нарушения				
	A	B	C	D	Всего
ThIII					
ThIII-ThIV	1				1
ThIV			1		1
ThIV-ThV	2	1	1		4
ThV		1			1
ThV-ThVI	1		2		3
ThVI	1	1		2	4
ThVI-ThVII	2			2	4
ThVII			1		1
ThVII-ThVIII	4		1	1	6
ThVIII	1		2		3
ThVIII-ThIX	3	1	1	1	6
ThIX	1		1	1	3
ThIX-ThX	2	2		3	7
ThX	1		1	1	3
ThX-ThXI	6		3	1	10
ThXI	2		2	4	8
ThXI-ThXII	5	3 (1)	1	2	11 (1; 9,1 %)
ThXII	3	1	11	8 (1)	23 (1; 4,3 %)
ThXII-LI	5	3	12 (1)	14 (2)	34 (3; 8,8 %)
LI	6	8	20 (2)	33 (7)	67 (9; 13,4 %)
LI-LII		3 (1)	6	5 (1)	14 (2; 14,3 %)
LII		2 (1)	9	12 (1)	23 (2; 8,7 %)
LII-LIII		1	2 (2)		3 (2; 66,6 %)
LIII			6	7	13
LIII-LIV				2 (2)	2 (2; 100 %)
LIV				5	5
LIV-LV				1 (1)	1 (1; 100 %)
LV				7 (1)	7 (1; 14,3 %)
	46	27 (3)	83 (5)	112 (16)	268 (24)

() – в скобках указаны пациенты с переломами металлоконструкции.

Результаты и их обсуждение.

В наших наблюдениях самыми частыми осложнениями являлись переломы и миграция металлоконструкции – 12,3 %. Переломы металлоконструкции, мальпозиция и миграция винтов – одни из самых частых осложнений транспедикулярной фиксации,

составляя от 1,7 до 20 % от общего их числа [9, 10]. Переломы были выявлены, в среднем через 32,5 месяцев после операции, что отличается от данных К. А. Бердюгина [11], согласно которым переломы металлоконструкции происходили, в среднем, через 19 месяцев.

В наших наблюдениях средний возраст 24 пациентов с переломами металлоконструкции составил 30,5 лет (17 женщин и 7 мужчин). Основным механизмом травмы было падение с высоты и ДТП (13 и 8 случаев соответственно). В половине случаев в остром периоде у данных пациентов были диагностированы сочетанные повреждения. Переломы металлоконструкции были выявлены в грудно-поясничном переходе и поясничном отделе позвоночника при контрольных исследованиях и не проявлялись клинически (только у 2 пациентов были жалобы на дискомфорт в месте операции). При переломах тел позвонков (типы А3 и А4 по классификации АО) переломы металлоконструкции происходили – у 8,0 % больных и у 10,5 % при переломах типов В1–С3, что можно объяснить более нестабильным характером повреждений типов В1–С3. При повреждениях А3 и А4 в зависимости от локализации переломы распределились следующим образом (таблица 1): ThXII – 4,3 %; L1 – 13,4 %; LII – 8,7 %; LV – 14,3 %. При повреждениях типов В1–С3: ThXI–ThXII – 9,1 %; ThXII–L1 – 8,8 %; L1–LII – 14,3 %; LII–LIII – 66,7 %; LIII–LIV – 100 %; LIV–LV – 100 %. Выше Th IX позвонка переломов металлоконструкции не отмечалось. Не найдено зависимости между временем с момента травмы до операции и переломом конструкции. Осложнения выявлены у физически более активных пациентов без грубых нарушений в неврологическом статусе. По шкале ASIA переломы металлоконструкции были: при типе В – у 3; типе С – у 6; типе D – у 15 пациентов. Сочетанные повреждения чаще возникали при падении с высоты – у 9 (69,2 %) из 13 и при падении на спину тяжелых предметов – у 2 (100 %). При сочетанных повреждениях в данной группе выявлены более грубые неврологические нарушения: степень В – у 2 (66 %) сочетанные повреждения; степень С – у 4 (66 %); степень D – у 6 (40 %). Характеристика и особенность пациентов с переломами металлоконструкций отражены в таблице 2.

Средний угол кифотической деформации после травмы составил $4,5 \pm 4,8$ градуса. Сколиотическая деформация позвоночника влево отмечена у 11 (45,8 %) больных, вправо – у 6 (25 %), без сколиотической деформации – 7 (29,2 %) пациентов. Средний угол сколиотической деформации до операции – $4,8 \pm 2,1$ градуса.

Четырехвинтовая фиксация была выполнена у 4 пациентов, шестивинтовая – у 13 и при невозможности введения винта в сломанный позвонок у 7 больных произведена пятивинтовая фиксация. В 9 случаях закрытая декомпрессия дополнена ламинэктомией. При переломах типа А3, А4 тело позвонка разрушалось в большей степени. Размеры передней стенки поврежденного позвонка перед операцией при повреждениях

А3 и А4 составили, в среднем, 63,5 %, при повреждениях В1–С3 – 65 %. После операции передние размеры тела позвонка, расправились, в среднем, до 85,7 % при повреждениях типа А3 и А4, и до 88,6 % при повреждениях типа В1–С1. При расчетах передней стенки поврежденного позвонка исходили из того, что её размеры составляют половину от суммы передних размеров смежных позвонков. Переломы металлоконструкции происходили справа и слева независимо от стороны сколиотической деформации. Средний угол кифотической деформации после операции составил $6,2 \pm 3,8$ градуса. Учитывая, что физиологический лордоз в поясничном отделе составляет 40–60 градусов (на один сегмент в среднем приходится 10 градусов), то и углы кифоза в поясничном отделе принимают в норме отрицательные значения. Угол кифотической деформации был исправлен в среднем на $11,2 \pm 2,2$ градуса, а средний угол сколиотической деформации составил после операции $2,9 \pm 1,5$ градуса. Сколиотическая деформация исправлена, в среднем, на $1,9 \pm 1,3$ градуса.

Избыточная репозиция позвоночника, особенно при застарелых переломах с дефектом передней колонны, перегружает конструкцию, создает «пустое пространство» в месте перелома, что еще больше нарушает распределение нагрузки между конструкцией и позвоночником. Поэтому выравнивание позвоночника в сагиттальной и фронтальной проекциях не обязательно должно проводиться с полной коррекцией высоты сломанных позвонков [12]. Остается дискуссионной и протяженность фиксации. Так, использование 4-х пар винтов (длинновинтовая фиксация) значительно удлиняет рычаг конструкции, тем самым повышая стабильность и препятствуя нарастанию кифотической деформации [13]. Результаты метаанализа, проведенные при лечении переломов грудно-поясничного отдела позвоночника показали, что удлинение фиксации позвоночника не являлось необходимым. Было показано, что введение винтов в сломанный позвонок при 6-и винтовой фиксации приближает жесткость транспедикулярной конструкции к 8-и винтовой фиксации (2 позвонка выше и 2 ниже поврежденного) – это может избавить от дополнительного переднего доступа [14]. В другом исследовании показано, что введение винтов в сломанный позвонок при длинносегментарной конструкции незначительно увеличивает ее жесткость [15]. А. S. Elmasty et al. [16] пришли к выводу, что включение винтов на уровне перелома в длинносегментарные конструкции, как это ни парадоксально, даже уменьшало жесткость фиксации. В тоже время, постановка винта в сломанный позвонок при короткосегментарной фиксации усиливает конструкцию, приводит к меньшей потере коррекции деформации и снижает вероятность перелома имплантов [17, 18]. Дополнительную стабильность при ротации обеспечивают поперечные перекладины [19, 20]. Уменьшить переломы конструкции помогают также гибридные методы фиксации на основе крючков и транспедику-

Таблица 2. Характеристика и особенность пациентов с переломами металлоконструкций

Пациент и пол	Возраст	Тип перелома по АО	Локализация	ASIA	Операция	Кифоз и сколиоз до операции	Кифоз и сколиоз после операции	Кифоз и сколиоз после перелома конструкции	Расправление тела до и после операций%	Осложнение	Перелом выявлен через (месяцев)
1М	20	B2	LII–LIII	C	6 винтов; ламинэктомия	3,2; влево 6,5	-12,2; влево 6,1	-9,2; влево 6,2	52,8–76,6	перелом винта в LIV справа	36
2Ж	43	A4	LI	C	3 винта справа, 2 слева	7,2; 0	0; 0	1,5; 0	53,2–89,6	перелом винтов в LI, LII справа, LII слева	12
3Ж	27	A4	LI	D	6 винтов	11,5; вправо 7,1	-6,1; вправо 2,2	-2,1; вправо 2,2	52,9–96,2	сломались штанги – слева над LII, справа под ThXII	24
4Ж	45	A4	LII	D	6 винтов; ламинэктомия; спондилодез	12,1; вправо 7,9	10,3; влево 3,1	10,5; 0	46,3–84,2	перелом винта в LIII слева	42
5Ж	17	B2	ThXII–LI	D	2 винта слева, 3 справа	9,6; вправо 6,7	-7,6; 0	-3,1; вправо 2,1	69,3–90	перелом винта в ThXI справа	36
6М	37	A4	LI	D	6 винтов	5,5; влево 0,7	-7,3; 0	0; 0	57,4–99,3	перелом винтов в LII	36
7Ж	46	A3	ThXII	D	6 винтов	12,6; влево 16,1	7,6; влево 15,5	8,1; влево 15,0	85,6–89,1	перелом штанг под винтом ThXI	30
8М	58	A4	LI	C	2 винта справа и 3 слева; ламинэктомия	10,2; 0	-5,2; влево 5,1	0; влево 3,2	42,9–96,1	перелом винта в LII слева	48
9 Ж	19	B1	ThXII–LI	C	3 винта справа и 2 слева; ламинэктомия	8,6; 0	10; влево 1,8	-2; 0	57,6–96,5	левая штанга сломалась на уровне LII, правая на уровне ThXII	48
10Ж	19	A3	LI	D	6 винтов	3,2; 0	-8,4; 0	-3,1; 0	81,0–93,3	перелом винта в ThXII справа	30
11Ж	18	A4	LV	D	6 винтов	-20,2; 0	-15,9; 0	-16; 0	56,6–62,1	перелом винта в SI слева	24
12М	24	A4	LI	D	6 винтов	10,3; влево 1,1	1,3; влево 1,9	7,5; влево 2,0	67,5–75,7	перелом винта в LII слева	18
13М	28	C1	LII–LIII	C	6 винтов; ламинэктомия; спондилодез	9,2; влево 6,6	-8,6; влево 5,1	-3; влево 4,5	56,4–102	перелом винта в LII справа	30
14Ж	42	B2	LIII–LIV	D	6 винтов, спондилодез	2,1; вправо 3,8	-10,4; 0	-6,3; 0	62,2–78,1	сломалась штанга над LV слева	36
15Ж	35	C3	ThXI–ThXII	B	3 винта слева и 2 справа; ламинэктомия	12,7; влево с ротацией 13,2	-5,8; влево 6,4	1,2; влево 9,2	68,4–100	сломаны винты в ThX	28
16Ж	18	B2	ThXII–LI	D	4 винта	13,2; вправо 1,6	6,9; 0	9,6; 0	58,6–84,0	сломался винт в LII слева	38
17Ж	25	A3	LI	D	4 винта	7,8; 0	-4,9; 0	0; 0	48,1–73,2	перелом винта в LII слева	62
18Ж	23	B2	LIII–LIV	D	4 винта; ламинэктомия	-6,2; влево 11,7	-15,6; влево 5,2	-9,3; влево 6,1	65,4–88,5	сломались штанги над LIV	18
19Ж	35	B1	LI–LII	D	6 винтов	8,8; 0	-5,9; 0	0; 0	86,1–94,5	перелом винтов в LI справа и LII слева	18
20Ж	22	B2	LI–LII	B	2 винта справа и 3 слева; ламинэктомия; спондилодез	9,5; влево 6,1	1,3; влево 2,9	8,4; влево 5	73,7–88,1	перелом штанги у LIII справа	7
21Ж	21	B1	LIV–LV	D	4 винта; ламинэктомия	-39,1; 0	-37,0; 0	-37,6; 0	75,1–76,0	сломались винты в SI	36
22М	30	A3	LI	D	6 винтов	0;0	-6; 0	-1; 0	76,1–95,8	перелом винтов в ThXII	62
23Ж	29	A3	LI	D	2 винта справа и 3 слева	7,1; влево 7,3	-9,6; влево 4,2	2,6; влево 3,1	75,3–85,4	сломались штанги под винтами в ThXII	36
24М	50	A4	LII	B	6 винтов; ламинэктомия	8,3; вправо 14,1	0; вправо 6,7	7,9; вправо 9,2	66,1–72,4	перелом штанг над винтами в LIII	24

лярных винтов [21]. По сравнению с интактным позвоночником задняя фиксация составляет 76 % от интактной жесткости позвоночника, а передняя фиксация с трансплантатом – на 15 % жестче, чем интактный позвоночник [22]. Балльная оценка тяжести повреждения грудно-поясничного отдела позвоночника (TLICS) и балльная оценка распределения нагрузки на грудно-поясничный отдел позвоночника (LSTLIS) позволяют точнее определить объем операции. Чем выше балл, тем более нестабильный характер носит повреждение и тем больше показаний к оперативному лечению [23].

При наличии межтелового дефекта после репозиционного транспедикулярного остеосинтеза актуальным становится вопрос о проведении второго этапа оперативного лечения – переднего спондилодеза. Поэтому необходимо либо улучшать технические характеристики конструкции на период формирования костно-фиброзного блока, либо дополнительно идти на выполнение межтелового блока, как альтернативы. В наших наблюдениях у 4 (16,7 %) из 24 пациентов вторым этапом был выполнен межтеловой спондилодез.

Всегда ли необходим передний спондилодез? Авторы, проведя анализ, ставят под сомнение выполнение переднего спондилодеза, при котором улучшение рентгенологических параметров не приводит к клиническому улучшению. Считается, что после репозиционного транспедикулярного остеосинтеза при нестабильных переломах груднопоясничного отдела позвоночника после устранения кифотической деформации и восстановления высоты сломанного позвонка нет необходимости в выполнении переднего спондилодеза [24]. По мнению Химич Ю. В. с соавт., после репозиционного транспедикулярного остеосинтеза, если объем посттравматического дефекта тела сломанного позвонка составляет менее 25 % от среднего объема тел смежных позвонков, выполнение межтелового спондилодеза не показано [25]. В то же время дополнительный передний доступ может привести к осложнениям как в месте забора трансплантата, так и в месте операционного доступа [26], при котором наиболее частым осложнением является повреждение сосудов [27].

Противоречива информация по поводу сохранности межпозвонкового диска, примыкающего к сломанному позвонку. Считается, что если нет серьезных изменений в диске по данным МРТ и морфологии, то диск не следует удалять при переломах типа А по Magerl [28, 29]. Многие хирурги считают, что жесткая фиксация позвоночника и спондилодез приводят в итоге к увеличению подвижности в смежных сегментах, что ускоряет в них дегенеративные процессы [30, 31, 32].

Сращение позвонков должно быть важной целью хирургического вмешательства, поэтому транспедикулярная фиксация не может быть постоянной формой фиксации. После формирования требуемого опорного костно-фиброзного межтелового блока (на что уходит

до двух лет) конструкция может быть удалена [33, 34]. С. Liang с соавторами ретроспективно изучили транспедикулярную фиксацию при травмах груднопоясничного отдела без спондилодеза и по заживлению травмированного позвонка выделили 4 типа восстановления. По их данным при заживлении 1 и 2 типов, в среднем через год, повреждение считается стабильным, и фиксация может быть удалена [35].

Переломы продольных штанг наблюдались несколько реже, чем винтов, и составили 33,3 % от всех переломов металлоконструкций. Подобно винтам, штанги ломались в местах максимального напряжения, а именно недалеко от узла фиксации с винтом. При повреждении позвонков от ThXI до LIII одинаково часто ломались элементы конструкции как краниально, так и каудально; при повреждении LIV, LV ломались только каудальные элементы конструкции. Потеря кифотической деформации после перелома металлоконструкции составила, в среднем, $4,6 \pm 1,2$ градуса, а сколиотической $-1,3 \pm 0,8$ градуса.

На миграцию и вырывание винтов оказывают влияние размеры винтов, характер резьбы на её погружной части и угол наклона винтов. К винту большего диаметра необходимо приложить большее усилия для вырывания [36]. Стабильность конструкции улучшается, если диаметр винта заполняет 70–80 % диаметра ножки позвонка, а конвергенция составляет 8–15 градусов в аксиальной проекции [37]. Конструкция винтов с двойной резьбой прочнее на вырывание [38]. Оптимальной считается длина винта, если он проходит от 50 до 85 % передне-заднего размера тела позвонка [39]. Бикортикальное проведение винта улучшает жесткость конструкции при остеопорозе, но для снижения риска повреждения магистральных сосудов винт не должен выходить более 3 мм за переднюю кортикальную пластинку [40, 41].

Дестабилизация конструкции за счет резорбции костной ткани вокруг винтов может достигать 9 %. Считается, что в течение 2–4 месяцев после установки транспедикулярной конструкции возникает резорбция кости вокруг винтов, а только образованная в восстановительном периоде костная мазоль начинает выполнять стабилизирующую роль [42, 43].

У 3 (1,1 %) пациентов мы наблюдали прорезывание верхних винтов и миграцию их в сторону верхней кортикальной пластинки позвонка. В первом случае у мужчины 48 лет с переломом LI типа A4 через 6 месяцев выявлена резорбция костной ткани вокруг верхних винтов и смещение их под верхнюю кортикальную пластинку. Клинически это проявлялось нестабильностью в сегменте и увеличением кифотической деформации на 9 градусов. Вторым этапом выполнен межтеловой спондилодез, от которого пациент первоначально отказывался. У двух пациенток 64 и 69 лет при контрольном исследовании через год отмечено смещение верхних винтов в сторону межпозвонкового диска. Связано это было с исходным снижением минеральной плотности костной ткани. Учитывая отсутствие у больных локальных болей

и тип D в неврологическом статусе, от повторных вмешательств воздержались.

Проведение винтов мимо анатомических ориентиров отмечено в 3 (1,1 %) случаях на средне-грудном отделе позвоночника у пациентов с неврологическим статусом типов А и В. Мы связали эти осложнения с первоначальной грубой деформацией позвоночника. Винты в одном случае прошли над корнем дуги и в двух случаях латерально, что привело к нарушению стабильности фиксации. Данное расположение винтов было выявлено на послеоперационном СКТ контроле, и в ближайшие дни пациенты были реоперированы.

Неправильное расположение винтов в ножке позвонка может привести к повреждению дурального мешка или выходящих нервных корешков. В исследовании F.P. Girardi et al. из 143 неправильно расположенных винтов только 11 (7,7 %) вызывали неврологические нарушения [44]. В основном это связано с анатомическими размерами ножек позвонков. В большинстве случаев при боковом входе винта в ножку позвонка в грудном отделе неврологических нарушений не было [45]. Многочисленные морфометрические исследования ножек позвонков показали, что существуют значительные различия в их размерах между этническими группами, расами, полами, возрастными и изучаемыми областями позвоночника [46, 47]. Так, при компьютерном анализе безопасности использования трех точек введения педикулярного винта в поясничном отделе в китайской популяции пациентов было выявлено, что метод Roy-Camille наиболее безопасен при применении в LI и LII позвонках и опасен в LIII–LV; метод Magerl может безопасно использоваться в LIII–LV позвонках, а метод Di обеспечивает более безопасную точку введения винтов в LI–LIV позвонки [48].

Даже при тщательном предоперационном планировании с проведением спондилометрии сложность оперативного вмешательства не уменьшается, так как в ходе операции возникают сложности с нахождением точки введения, а в момент пенетрации шилом дуги позвонка – с выдерживанием рассчитанного угла проведения винтов. Ятрогенных ошибок при проведении транспедикулярных винтов можно избегать тщательным планированием с учетом анатомо-физиологических особенностей позвоночника. Использование для профилактики ятрогенной перфорации ножки позвонка электронного измерителя электропроводности или электромиографии не избавляет от ошибок [49, 50]. Дорогие в обслуживании роботизированные навигационные системы значительно повышают точность введения педикулярных винтов и снижают лучевую нагрузку, но требуют большего времени и сил на установку по сравнению с традиционными методами [51].

Миграция штанг является крайне редким осложнением транспедикулярной фиксации, но может привести к катастрофическим повреждениям [52]. Недостаточно прочное затягивание гайки, прилегание штанги не под прямым углом к винту приводят к не-

полноценной фиксации штанги и её последующей миграции. В нашем исследовании это наблюдалось у 3 (1,1 %) человек при повреждениях на уровне LI, LII в сроки от 6 до 12 месяцев после оперативного вмешательства. В отличие от переломов металлоконструкции у всех пациентов были жалобы на локальные боли в области операции. В двух случаях штанга мигрировала краниально и в одном – каудально. После выявления данного осложнения все три пациента были реоперированы.

Инфекционные осложнения могут сопутствовать проведению любого оперативного вмешательства, и транспедикулярная фиксация не является исключением. По данным разных авторов, инфекционные осложнения развиваются в 2,8–14,7 % случаев [53, 54, 55]. Неадекватная стабилизация позвоночника и технические характеристики используемых металлоконструкций являются ведущими факторами в возникновении поздних воспалительных осложнений [56].

Воспалительный процесс в глубоких тканях развивался через 9 и более месяцев после операции у 3 (1,1 %) больных. Предпосылками послужили низкий социальный статус пациентов и нарушение ортопедического режима, а также нарушения в иммунной системе у пациентов с туберкулезом и ВИЧ-инфекцией. Консервативное лечение оказалось неэффективным, и конструкция у всех пациентов была удалена. В 1 (0,4 %) наблюдении после операции открылся ликворный свищ. Данное осложнение возникло в результате ранения твердой мозговой оболочки костным фрагментом по передне-боковой поверхности дурального мешка. В момент операции, в связи с отеком спинного мозга дефект не выявлен, а ликворея возникла через 3 недели. Ситуация потребовала повторной операции и герметизации ТМО.

Заключение:

1. Осложнения, связанные с транспедикулярной фиксацией оперированного отдела позвоночника из 268 пациентов с ПСМТ на грудном и поясничном отделах, отмечены у 37 (13,8 %) больных. У 10 (3,7 %) больных возникшие осложнения потребовали проведения реоперации с последующим благоприятным исходом.

2. Репозиционный транспедикулярный остеосинтез при ПСМТ на грудном и поясничном отделах позволил у 240 (89,6 %) пациентов отказаться от вентральных вмешательств и получить устойчивую фиксацию оперированного отдела позвоночника. Выполнение переднего спондилодеза вторым этапом потребовалось лишь у 28 (10,4 %) пациентом, однако данная операция проведенная после транспедикулярной фиксации не исключает риска возникновения перелома металлоконструкции.

3. Переломы металлоконструкции у больных в сроки более двух лет после операции клинически не проявлялись, не привели к нарастанию деформации позвоночника, не способствовали нарастанию неврологических расстройств и не повлияли на отдаленные результаты лечения.

4. Профилактикой возможных ошибок и осложнений при выполнении транспедикулярного остеосинтеза у больных с ПСМТ на грудном и поясничном отделах являются: коррекция деформации позвоночника до физиологически нормальных индивидуальных параметров; корректная установка винтов с учетом анатомических особенностей позвонков; оценка минеральной плотности костной ткани, планирование протяженности остеосинтеза; своевременный послеоперационный КТ – контроль оперированного отдела позвоночника.

ORCID авторов:

Монашенко Дмитрий Николаевич,
ORCID 0000-0002-8571-1447
Улитин Алексей Юрьевич,
ORCID 0000-0002-8343-4917
Долгушин Артем Андреевич,
ORCID 0000-0001-8974-1953
Куфтов Владимир Сергеевич,
ORCID 0000-0002-4125-3181
Усиков Владимир Дмитриевич,
ORCID 0000-0002-0548-8944

Литература

- Boucher NH. A method of spinal fusion // J Bone Joint Surg Br. 1959 May;41-B(2):248–59. doi: 10.1302/0301-620X.41B2.248. PMID: 13641310.
- Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C // Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. Clin Orthop Relat Res. 1986 Feb;(203):7–17. PMID: 3955999.
- Усиков В. Д. Руководство по транспедикулярному остеосинтезу позвоночника: Часть I. Повреждения позвоночника и спинного мозга. – СПб.: Гиппократ, 2006. – 176 с.
- Макаревич С. В. Исторические аспекты транспедикулярной фиксации позвоночника: обзор литературы // Хирургия позвоночника. 2018;15(4):95–106.
- Усиков В. В. Ошибки и осложнения транспедикулярного остеосинтеза при нестабильных повреждениях позвоночника, их профилактика и лечение: диссертация ... кандидата медицинских наук: 14.00.22, 2006. С.-Петербург
- Бердюгин К. А., Чертков А. К., Штадлер Д. И., Климов М. Е., Бердюгина О. В., Бетц А. Е., Гусев Д. А., Новицкая Е. В. Мальпозиция винтов при транспедикулярной фиксации позвоночника погружными конструкциями и её профилактика // Фундаментальные исследования. 2012. № 7–1. С. 40–44.
- Hussain I, Cosar M, Kirnaz S, Schmidt FA, Wipplinger C, Wong T, Härtl R. Evolving Navigation, Robotics, and Augmented Reality in Minimally Invasive Spine Surgery // Global Spine J. 2020 Apr;10(2 Suppl):22S–33S. doi: 10.1177/2192568220907896. Epub 2020 May 28. PMID: 32528803; PMCID: PMC 7263339.
- Белецкий А. В., Мазуренко А. Н., Макаревич С. В., Зарецкий С. В., Петренко А. М., Воронович И. Р., Юрченко С. М. Установка транспедикулярных винтов в поясничном отделе позвоночника с применением компьютерной навигации // Ортопедия травматология и протезирование. 2010, № 3, С. 89–95.
- Weise L, Suess O, Picht T, Kombos T. Transpedicular screw fixation in the thoracic and lumbar spine with a novel cannulated polyaxial screw system // Med Devices (Auckl). 2008 Jul;1:33–9. doi: 10.2147/med.s3747. Epub 2008 Oct 13. PMID: 22915906; PMCID: PMC 3417908.
- Афаунов А. А., Кузьменко А. В. Транспедикулярная фиксация при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника, сопровождающихся травматическим стенозом позвоночного канала // Хирургия позвоночника. 2011. № 4. – С. 6–9.
- Бердюгин К. А., Каренин М. С. Осложнения транспедикулярной фиксации позвоночника и их профилактика // Фундаментальные исследования. 2010. № 9, С. 61–71.
- Hempfling A, Zenner J, Ferraris L, Meier O, Koller H. Restoration of sagittal balance in treatment of thoracic and lumbar vertebral // Orthopaed. 2011 Aug;40(8):690–702. doi: 10.1007/s00132-011-1796-4. PMID: 21779882
- Dai LY. Principles of management of thoracolumbar fractures // Orthop Surg. 2012 May;4(2):67–70. doi: 10.1111/j.1757-7861.2012.00174.x. PMID: 22615149; PMCID: PMC 6583392.
- Aly TA. Short Segment versus Long Segment Pedicle Screws Fixation in Management of Thoracolumbar Burst Fractures: Meta-Analysis // Asian Spine J. 2017 Feb;11(1):150–160. doi: 10.4184/asj.2017.11.1.150. Epub 2017 Feb 17. PMID: 28243383; PMCID: PMC 5326724.
- Joaquim AF, Maslak JP, Patel AA. Spinal Reconstruction Techniques for Traumatic Spinal Injuries: A Systematic Review of Biomechanical Studies // Global Spine J. 2019 May;9(3):338–347. doi: 10.1177/2192568218767117. Epub 2018 Apr 19. PMID: 31192103; PMCID: PMC 6542174.
- Elmasry S, Asfour S, Travascio F. Effectiveness of pedicle screw inclusion at the fracture level in short-segment fixation constructs for the treatment of thoracolumbar burst fractures: a computational biomechanics analysis // Comput Methods Biomech Biomed Engin. 2017 Oct;20(13):1412–1420. doi: 10.1080/10255842.2017.1366995. Epub 2017 Aug 17. PMID: 28817960.
- Li K, Zhang W, Liu D, Xu H, Geng W, Luo D, Ma J. Pedicle screw fixation combined with intermediate screw at the fracture level for treatment of thoracolumbar fractures: A meta-analysis // Medicine (Baltimore). 2016 Aug;95(33): e4574. doi: 10.1097/MD.0000000000004574. PMID: 27537586; PMCID: PMC 5370812.
- Tong MJ, Tang Q, Wang CG, Xiang GH, Chen Q, Xu HZ, Tian NF. Efficacy of Using Intermediate Screws in Short-Segment Fixation for Thoracolumbar Fractures: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials // World Neurosurg. 2018 Feb;110: e271-e280. doi: 10.1016/j.wneu.2017.10.157. Epub 2017 Nov 4. PMID: 29113901.
- Cornaz F, Widmer J, Snedeker JG, Spirig JM, Farshad M. Cross-links in posterior pedicle screw-rod instrumentation of the spine: a systematic review on mechanical, biomechanical, numerical and clinical studies // Eur Spine J. 2020 Oct 3. doi: 10.1007/s00586-020-06597-z. Epub ahead of print. PMID: 33009949.
- Wang T, Cai Z, Zhao Y, Wang W, Zheng G, Wang Z, Wang Y. The Influence of Cross-Links on Long-Segment Instrumentation Following Spinal Osteotomy: A Finite Element Analysis // World Neurosurg. 2019 Mar;123: e294-e302. doi: 10.1016/j.wneu.2018.11.154. Epub 2018 Nov 26. PMID: 30496922.

21. Unterweger MT, Kandziora F, Schnake KJ. Hybrid Stabilization of Thoracic Spine Fractures with Sublaminar Bands and Transpedicular Screws: Description of a Surgical Alternative and Review of the Literature // *Case Rep Orthop.* 2015;2015:857607. doi: 10.1155/2015/857607. Epub 2015 Nov 16. PMID: 26649214; PMCID: PMC4663301.
22. Dashti H, Lee HC, Karaikovic EE, Gaines RW Jr. Decision making in thoracolumbar fractures // *Neurol India.* 2005 Dec;53(4):534–41. doi: 10.4103/0028–3886.22626. PMID: 16565548.
23. Su QH, Li YC, Zhang Y, Tan J, Cheng B. Assessment of load-sharing thoracolumbar injury: A modified scoring system // *World J Clin Cases.* 2020 Nov 6;8(21):5128–5138. doi: 10.12998/wjcc.v8.i21.5128. PMID: 33269249; PMCID: PMC7674748.
24. Chen Z, Wu J, Lin B, Wu S, Zeng W. [Posterior short-segment fixation including the fractured vertebra for severe unstable thoracolumbar fractures]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2018 Jan 15;32(1):59–63. Chinese. doi: 10.7507/1002–1892.201708082. PMID: 29806367.
25. Химич Ю.В., Томилов А.Б., Зельский И.А. Способ определения показаний к выполнению переднего межтелового спондилодеза при хирургическом лечении больных с компрессионно-оскольчатыми переломами в нижнем грудном и поясничном отделе позвоночника. Патент на изобретение 2445038 C1, 2012.
26. Linhares D, Neves N, Ribeiro da Silva M, Almeida Fonseca J. Analysis of the Cochrane Review: Pedicle Screw Fixation for Traumatic Fractures of the Thoracic and Lumbar Spine // *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;05: CD009073. *Acta Med Port.* 2016 May;29(5):297–300. Portuguese. Epub 2016 May 31. PMID: 27649012.
27. Richter M, Weidenfeld M, Uckmann FP. Die ventrale lumbale interkorporelle Fusion. Indikation, Technik, Vor- und Nachteile [Anterior lumbar interbody fusion. Indications, technique, advantages and disadvantages] // *Orthopade.* 2015 Feb;44(2):154–61. German. doi: 10.1007/s00132–014–3056-x. PMID: 25501711.
28. Loriaut P, Mercy G, Moreau PE, Sariali E, Boyer P, Dallaudière B, Pascal-Moussellard H. Initial disc structural preservation in type A1 and A3 thoracolumbar fractures // *Orthop Traumatol Surg Res.* 2015 Nov;101(7):833–7. doi: 10.1016/j.otsr.2015.08.008. Epub 2015 Oct 20. PMID: 26494617.
29. Marie-Hardy L, Barut N, Sari Ali H, Khalifé M, Pascal-Moussellard H. Evaluation of disc degeneration adjacent to AO spine A fractures: pre- and post-operative MRI analysis // *SICOT J.* 2020;6:33. doi: 10.1051/sicotj/2020032. Epub 2020 Aug 28. PMID: 32857036; PMCID: PMC7453789.
30. Lin S., Tsai W., Wu S., Chen P. Radiological and Mathematical Studies Regarding the Effects of Spinal Fixation on Kinematics and Mechanics at the Parafixed Segments // *Journal of Mechanics.* 2010, 26(3), 413–422. doi: 10.1017/S172771910000397X.
31. Malakoutian M, Volkheimer D, Street J, Dvorak MF, Wilke HJ, Oxland TR. Do in vivo kinematic studies provide insight into adjacent segment degeneration? A qualitative systematic literature review // *Eur Spine J.* 2015 Sep;24(9):1865–81. doi: 10.1007/s00586-015-3992-0. Epub 2015 Jun 9. PMID: 26055273.
32. Okuda S, Yamashita T, Matsumoto T, Nagamoto Y, Sugiura T, Takahashi Y, Maeno T, Iwasaki M. Adjacent Segment Disease After Posterior Lumbar Interbody Fusion: A Case Series of 1000 Patients // *Global Spine J.* 2018 Oct;8(7):722–727. doi: 10.1177/2192568218766488. Epub 2018 Mar 26. PMID: 30443483; PMCID: PMC6232722.
33. Химич Ю.В., Томилов А.Б., Реутов А.И. Результаты хирургического лечения пациентов с оскольчатыми проникающими переломами тел нижних грудных и поясничных позвонков // *Хирургия позвоночника.* 2010, № 1, стр. 13–17.
34. Oh HS, Seo HY. Percutaneous Pedicle Screw Fixation in Thoracolumbar Fractures: Comparison of Results According to Implant Removal Time // *Clin Orthop Surg.* 2019 Sep;11(3):291–296. doi: 10.4055/cios.2019.11.3.291. Epub 2019 Aug 12. PMID: 31475049; PMCID: PMC6695328.
35. Liang C, Liu G, Liang G, Zheng X, Yin D, Xiao D, Zeng S, Cai H, Chang Y. Healing pattern classification for thoracolumbar burst fractures after posterior short-segment fixation // *BMC Musculoskelet Disord.* 2020 Jun 12;21(1):373. doi: 10.1186/s12891–020–03386-z. PMID: PMC7291420.
36. Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, Thomas JC, Holland WR, Field BT, Spencer CW. A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine // *Clin Orthop Relat Res.* 1986 Feb;(203):99–112. PMID: 3956001.
37. Butt MF, Farooq M, Dhar SA, Mir MR, Mir BA, Kangoo KA. Retrospective analysis of the occurrence of radiologically detectable surgical error in cases of failed pedicle screw implants // *Acta Orthop Belg.* 2007 Aug;73(4):500–6. PMID: 17939481.
38. Seng WRD, Chou SM, Siddiqui SS, Oh JYL. Pedicle Screw Designs in Spinal Surgery: Is There a Difference? A Biomechanical Study on Primary and Revision Pull-Out Strength // *Spine (Phila Pa 1976).* 2019 Feb 1;44(3): E144–E149. doi: 10.1097/BRS.0000000000002789. PMID: 30005047.
39. Chua MJ, Siddiqui S, Yu CS, Nolan CP, Oh JY. The Optimal Screw Length of Lumbar Pedicle Screws during Minimally Invasive Surgery Fixation: A Computed Tomography-Guided Evaluation of 771 Screws // *Asian Spine J.* 2019 Dec;13(6):936–941. doi: 10.31616/asj.2018.0276. Epub 2019 Jul 17. PMID: 31309769; PMCID: PMC6894981.
40. Karami KJ, Buckenmeyer LE, Kiapour AM, Kelkar PS, Goel VK, Demetropoulos CK, Soo TM. Biomechanical evaluation of the pedicle screw insertion depth effect on screw stability under cyclic loading and subsequent pullout // *J Spinal Disord Tech.* 2015 Apr;28(3): E133–9. doi: 10.1097/BSD.000000000000178. PMID: 25310387.
41. Xu C, Hou Q, Chu Y, Huang X, Yang W, Ma J, Wang Z. How to improve the safety of bicortical pedicle screw insertion in the thoracolumbar vertebrae: analysis base on three-dimensional CT reconstruction of patients in the prone position // *BMC Musculoskelet Disord.* 2020 Jul 7;21(1):444. doi: 10.1186/s12891-020-03473-1. PMID: 32635944; PMCID: PMC7341646.
42. Sanderson PL, Fraser RD, Hall DJ, Cain CM, Osti OL, Potter GR. Short segment fixation of thoracolumbar burst fractures without fusion // *Eur Spine J.* 1999;8(6):495–500. doi: 10.1007/s005860050212. PMID: 10664310; PMCID: PMC3611215.
43. Афаунов А.А., Кузьменко А.В., Афаунов А.И., Васильченко П.П., Нестеренко П.Б. Моноsegmentарный транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника // *Хирургия позвоночника.* 2010. № 2. С. 16–21.
44. Girardi FP, Cammisa FP Jr, Sandhu HS, Alvarez L. The placement of lumbar pedicle screws using computerised stereotactic guidance // *J Bone Joint Surg Br.* 1999 Sep;81(5):825–9. doi: 10.1302/0301–620x.81b5.9244. PMID: 10530844.
45. Hart RA, Hansen BL, Shea M, Hsu F, Anderson GJ. Pedicle screw placement in the thoracic spine: a comparison of image-guided and manual techniques in cadavers // *Spine (Phila Pa 1976).* 2005 Jun 15;30(12): E326–31. doi: 10.1097/01.brs.0000166621.98354.1d. PMID: 15959355.

46. Morales-Avalos R, Leyva-Villegas J, Sánchez-Mejorada G, Cárdenas-Serna M, Vilchez-Cavazos F, Martínez-Ponce De León A, Elizondo-Riojas G, Martínez-García J, De La Garza-Castro O, Elizondo-Omaña R, Guzmán-López S. Age- and gender-related variations in morphometric characteristics of thoracic spine pedicle: A study of 4,800 pedicles // *Clin Anat*. 2014 Apr;27(3):441–50. doi: 10.1002/ca.22359. Epub 2013 Dec 21. PMID: 24375776.
47. Mohanty SP, Pai Kanhangad M, Bhat SN, Chawla S. Morphometry of the lower thoracic and lumbar pedicles and its relevance in pedicle fixation // *Musculoskelet Surg*. 2018 Dec;102(3):299–305. doi: 10.1007/s12306-018-0534-z. Epub 2018 Feb 3. PMID: 29397548.
48. Hailong Y, Wei L, Zhensheng M, Hongxun S. Computer analysis of the safety of using three different pedicular screw insertion points in the lumbar spine in the Chinese population // *Eur Spine J*. 2007 May;16(5):619–23. doi: 10.1007/s00586-006-0243-4. Epub 2006 Oct 13. PMID: 17039382; PMCID: PMC2213540.
49. Suess O, Schomacher M. Control of Pedicle Screw Placement with an Electrical Conductivity Measurement Device: Initial Evaluation in the Thoracic and Lumbar Spine // *Adv Med*. 2016;2016:4296294. doi: 10.1155/2016/4296294. Epub 2016 Sep 6. PMID: 27699203; PMCID: PMC5028864.
50. Ravindra VM, Kalra RR, Dailey AT. Electromyography stimulation compared with intraoperative O-arm imaging for evaluating pedicle screw breaches in lumbar spine surgery: a prospective analysis of 1006 screws in 164 patients // *Spine J*. 2019 Feb;19(2):206–211. doi: 10.1016/j.spinee.2018.06.353. Epub 2018 Jun 28. PMID: 29960110.
51. Vaccaro AR, Harris JA, Hussain MM, Wadhwa R, Chang VW, Schroerlucke SR, Samora WP, Passias PG, Patel RD, Panchal RR, D'Agostino S, Whitney NL, Crawford NR, Bucklen BS. Assessment of Surgical Procedural Time, Pedicle Screw Accuracy, and Clinician Radiation Exposure of a Novel Robotic Navigation System Compared With Conventional Open and Percutaneous Freehand Techniques: A Cadaveric Investigation // *Global Spine J*. 2020 Oct;10(7):814–825. doi: 10.1177/2192568219879083. Epub 2019 Sep 24. PMID: 32905729; PMCID: PMC7485081.
52. Sath S, Kalidindi KKV. An Unusual Cause of Buttock Pain after Posterior Thoracolumbar Fixation: Rod Migration into the Pelvis // *J Orthop Case Rep*. 2019;9(5):31–34. doi: 10.13107/jocr.2019.v09.i05.1520. PMID: 32547999; PMCID: PMC7276621.
53. Godlewski P, Twaróg Z, Mazurkiewicz T. Complications of transpedicular spine fixation and their causes // *Ortop Traumatol Rehabil*. 2004 Apr 30;6(2):222–6. PMID: 18033992.
54. Валеев И. Е. Классификация осложнений транспедикулярных операций позвоночника // *Травматология и ортопедия России*. 2006; № 2, С. 58.
55. Прудникова О. Г. Подходы к классификации ошибок и осложнений наружного транспедикулярного остеосинтеза // *Травматология и ортопедия*. 2005; № 4, с. 20–24.
56. Каримов А. А. , Басков А. В., Древаль О. Н. Поздние воспалительные осложнения после инструментальной стабилизации при травматических повреждениях позвоночника // V съезд нейрохирургов России: материалы съезда, 22–25 июня 2009 г. Уфа: Изд-во «Здравоохранение Башкортостана», 2009. С. 120.