

ПРИМЕНЕНИЕ МИНИМАЛЬНО-ИНВАЗИВНЫХ МЕТОДОВ ЛЕЧЕНИЯ ПЕРЕЛОМОВ ГРУДНЫХ И ПОЯСНИЧНЫХ ПОЗВОНКОВ

Рерих В.В.^{1,2}, Байдарбеков М.У.^{1,3}, Гуди С.М.¹

¹ ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск, e-mail: clinic@niito.ru;

² ФГБОУ ВО НГМУ Минздрава России, Новосибирск;

³ РГП НИИТО, Астана, e-mail: b.m.u.80@mail.ru

Статья посвящена исследованию применения минимально-инвазивных методов хирургического лечения переломов грудного и поясничного отделов позвоночника из дорзального доступа с использованием авторского способа и устройства. В исследование включено 53 пациента с переломами типа А2 и А3 (по Magerl et al., 1994) без признаков остеопороза, оперированных на базе отделения патологии позвоночника Новосибирского научно-исследовательского института травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна. Перелома тип А 2 наблюдали у 30 пациентов (56,6 %), А 3 – у 23 (43,4 %). В ходе проведенного исследования было выявлено, что применение минимально-инвазивной транскутанной транспедикулярной фиксации с сочетанием пластики тела позвонка достоверно позволяет восстановить стабильность в травмированных сегментах позвоночника с минимальными кровопотерей и повреждением дорсального мышечно-связочного комплекса. Использование короткосегментарной транскутанной транспедикулярной фиксации в сочетании с остеопластикой при лечении пациентов с переломами позвонков А2 и А3 груднопоясничного отдела позвоночника, в большинстве случаев позволяет восстановить высоту сломанного позвонка, устранить кифоз. При планировании операции следует учитывать то обстоятельство, что на результат влияет характер перелома и в меньшей степени снижение минеральной плотности кости позвонков, наблюдающееся в позднем послеоперационном периоде.

Ключевые слова: пластика позвонка, транспедикулярная фиксация, транскутанный, минимально-инвазивные методы.

APPLICATION OF MINIMALLY INVASIVE TREATMENT OF FRACTURES OF THORACIC AND LUMBAR VERTEBRAE

Rerikh V.V.^{1,2}, Baydarbekov M.U.^{1,3}, Gudi S.M.¹

¹ Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, e-mail: clinic@niito.ru;

² Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk;

³ Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Astana, e-mail: b.m.u.80@mail.ru

This article is devoted to research application of thoracic and lumbar spine's fractures minimally invasive surgical treatments of fractures from distal access by author's method and apparatus. The study included 53 patients with fractures of type A2 and A3 (on Magerl et al., 1994) without any signs of osteoporosis, operated on the basis of Pathology of the Spine Department of the Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan. Fracture type A2 was observed in 30 patients (56.6 %) and A3 – in 23 (43.4 %). In the course of study it was found that use of minimally invasive transcutaneous transpedicular fixation with a combination of vertebral body plastics reliably restores stability in the injured spinal segments with minimal blood loss and damage to the dorsal musculo-ligamentous complex. Use of transcutaneous short segmental pedicular fixation combined with osteoplasty in treatment of the patients with fractures of the vertebrae A2 and A3 thoraco-lumbar spine, in most cases, allows you to restore the height of the fractured vertebra, eliminate kyphosis. When planning operations should take into account the fact that the result affects the nature of fracture and to a lesser extent a decrease vertebral bone mineral density observed in the late postoperative period.

Keywords: transpedicular plastic vertebral body, transcutaneous, transpedicular fixation, minimally invasive techniques.

Тяжелые компрессионные оскольчатые и взрывные переломы тел позвонков требуют хирургического лечения с восстановлением опороспособности вентральной колонны. Выполнение переднего спондилодеза, а при показаниях, в сочетании с задней

фиксацией поврежденного позвоночного двигательного сегмента (ПДС), за одну операцию приводит к хорошим результатам, но является травматичной, продолжительной, технически сложной, влечет за собой возможность сохранения болей в области хирургических доступов [16]. Минимально-инвазивные (МИ) методы позволяют значительно снизить травматичность хирургического вмешательства, что дает возможность выполнить стабилизацию передних и задних структур за одну операцию, но продолжительность операции значительна [2,8,23]. Используемый для хирургического лечения таких стабильных и нестабильных повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника метод длинносегментарной транспедикулярной фиксации из срединного доступа травматичен, а нарушение кровоснабжения и иннервации паравертебральных мышц при скелетировании задних отделов позвонков является причиной развития в послеоперационном периоде стойкого болевого синдрома, что способствует удлинению сроков реабилитации больных. Многих пациентов беспокоит косметический дефект, связанный с наличием кожного рубца [15,22]. На сегодняшний день транспедикулярная пластика тела сломанного позвонка с транспедикулярной фиксацией (ТП ТПФ) обеспечивает надежную стабилизацию поврежденного ПДС, позволяет уменьшить сроки реабилитации больных [3,9,18].

Цель исследования

Оценить результаты лечения переломов тел грудных и поясничных позвонков с использованием минимально-инвазивной транскутанной пластики тела сломанного позвонка и транскутанной транспедикулярной фиксации (ТП ТПФ).

Материалы и методы

В исследование включено 53 пациента с переломами одного позвонка на грудном или поясничном уровнях типа А2 и А3 (по Magerl et al., 1994) [20] без признаков остеопороза. Всем больным осуществлено хирургическое лечение методом ТП ТПФ.

Из оперированных больных 39,7 % составили мужчины (n=21) и 60,3 % – женщины (n=32). Среди мужчин в зависимости от возраста наблюдали следующее распределение: пациенты 21–40 лет – 9,5 % (n=2), пациенты 41–60 лет – 47,6 % (n=10), старше 60 лет – 42,9 % (n=9). Среди женщин относились к следующим возрастным группам: от 21 до 40 лет – 9,4 % (n=3), от 41 до 60 лет – 71,8 % (n=23), старше 60 лет – 18,8 % (n=6).

По виду травматизма распределение было следующим: бытовые травмы преобладали у 37 пациентов (69,8 %), случаи падения с большой высоты зарегистрированы у 7 пациентов (13,2 %), дорожно-транспортное происшествие – у 8 (15,1 %) и травма в результате падения тяжести отмечена у 1 (1,9 %). У большинства пациентов повреждения локализованы в поясничном отделе позвоночника – 81,1 % (n=43), соответственно в

грудном – 18,9 % (n=10). Перелома тип А II наблюдали у 30 пациентов (56,6 %), А III – у 23 (43,4 %).

Для определения минеральной плотности костной ткани (МПКТ) проводилась денситометрия позвонков на двухэнергетическом рентгеновском денситометре Duo Diagnost «Sonost-2000», оценка проводилась по Т-критерию.

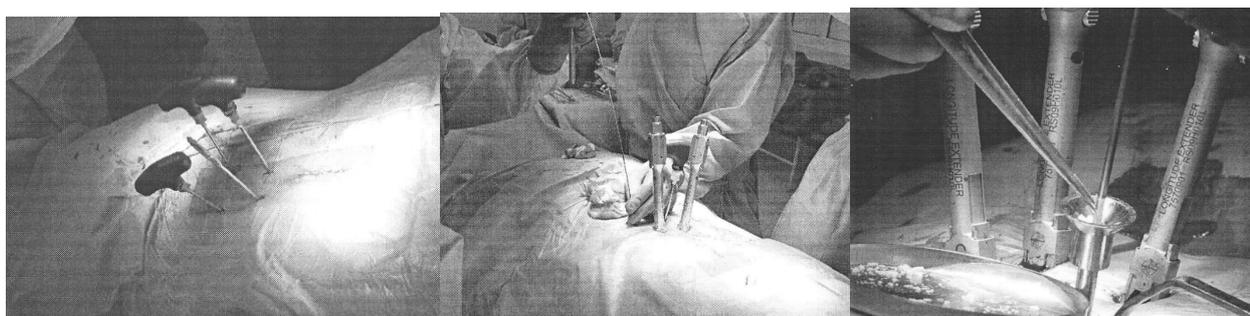
Стандартная спондилография поврежденных сегментов позвоночника в прямой и боковой проекциях во всех случаях являлась первоочередным объективным диагностическим исследованием. Исследование проводилось с применением аналоговых и цифровых рентгенографических установок. О степени нестабильности перелома позвонка судили по восстановлению и соотношению передней и задней высоты позвонка до- и после репозиции, осуществлявшейся перед хирургическим лечением в положении пациента лежа на спине с максимальным разгибанием на уровне повреждения [21].

Компьютерную томографию (КТ) поврежденных сегментов выполняли при поступлении и на этапах лечения. Выраженность деформаций поврежденного сегмента позвоночника определялась кифозом и индексом клиновидности тела позвонка на рутинных рентгенограммах. Кифоз измерялся от краниальной замыкательной пластинки вышележащего и каудальной – нижележащего интактных позвонков [22]. Индекс клиновидности рассчитывали по формуле соотношения передней высоты поврежденного позвонка и высоты передних отделов смежных тел позвонков [14]. Оценка нарушений функциональной дееспособности пациентов в отдаленных сроках после пластики тела позвоночника проведена по индексу Освестри, а выраженность болевого синдрома по визуальной аналоговой шкале (ВАШ) [7, 18]. При значениях индекса от 0 до 20 % нарушения расценивали как минимальные, от 20 до 40 % – как умеренные, от 40 до 60 % – как значительные, от 60 до 80 % – как инвалидизирующие, а от 80 до 100 % – как приковывающие к постели или как преувеличение симптомов.

С целью перераспределения нагрузки на конструкцию и на костную структуру позвонков винты вводили не только в смежные, но и в сломанный позвонок. Хирургическое вмешательство проводили следующим образом. Пациента укладывали на операционном столе на живот с эластичными валиками под грудной клеткой, тазом и голеньями. Грудную и тазовую секции операционного стола адаптировали к анатомическим зонам для проведения интраоперационных репозирующих приемов. На электронно-оптическом преобразователе (ЭОП) осуществляли маркировку поврежденного позвонка и смежных с ним позвонков.

Транскутанно вводили троакары до средней трети тел смежных позвонков через корни дужек в соответствии с анатомическими ориентирами (Рис. 1а).

По троакарам вводили спицы-проводники, затем троакары удаляли, выполняли кожные разрезы 1,5–2 см в проекции дальнейшего введения транспедикулярных винтов. «Острым» и преимущественно «тупым» путем осуществляли доступ к задним структурам позвонков. Далее по спицам-проводникам устанавливали транспедикулярные винты (Рис.1б). Затем для создания единой конструкции закрепляли стержень между транспедикулярными винтами на одной стороне, далее придавали экстензию и дистракцию позвоночника при помощи данной конструкции.



а

б

в

Рис. 1. Ход операции: а) транскутанное введение троакаров в смежные и в поврежденный позвонки; б) установка транскутанных транспедикулярных винтов по спицам; в) транскутанная пластика тела позвонка с применением авторского устройства для введения костно-пластического материала

По спице-проводнику устанавливали разработанное нами устройство для введения костно-пластического материала (Пат. № 155738 РФ) в тело сломанного позвонка, таким образом, что концевой отдел устройства для введения костно-пластического материала погружался в дефект кости между фрагментами тела сломанного позвонка (Рис. 1в). Затем через данное устройство, осуществляя введение костно-пластического материала, последовательно заполняли полости сломанного позвонка, порционно утрамбовывая мануальными усилиями. В тело сломанного позвонка пациентов вводили до $5,76 \pm 1,09$ г депротенизированной кости (ДПК). Объем вводимого пластического материала, необходимый для полной коррекции деформации тела позвонка, рассчитывался по следующей формуле:

$$V_{pl} = \pi R^2(h_1 - h_2),$$

где V_{pl} – объем пластического материала, мм³; R – радиус тела позвонка, найденный во фронтальной плоскости, мм; h_1 – высота тела позвонка до компрессии (средняя высота смежных тел позвонков), мм; h_2 – высота тела позвонка после компрессии, мм) [1].

Далее устройство для введения костно-пластического материала удаляли и по имеющемуся каналу вводили транспедикулярный винт в тело сломанного позвонка. Осуществляли монтаж конструкции соединением смежных позвонков со сломанным позвонком, придав экстензию и дистракцию. Операционную рану ушивали послойно с заключительным рентгеноскопическим контролем положения фиксатора, оси позвоночника в 2 проекциях (прямой и боковой) (Рис. 2).

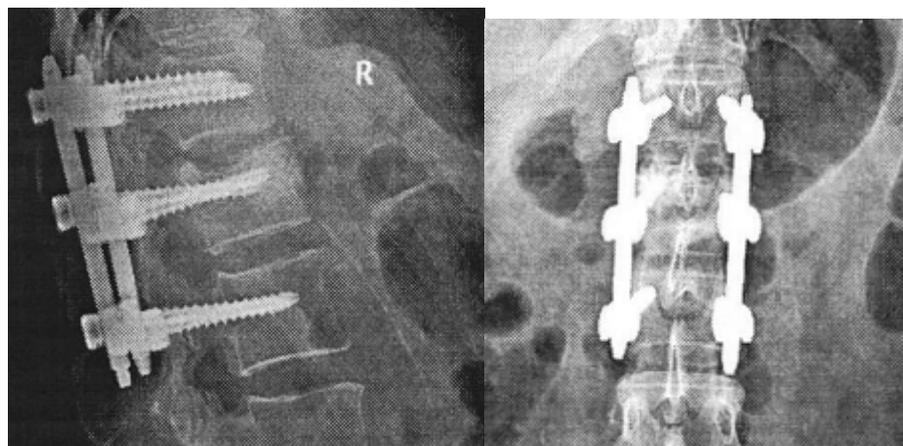


Рис. 2. Фоторентгенограммы позвоночника в прямой и боковых проекциях: коррекция деформации поврежденного сегмента и восстановление высоты поврежденного тела сохраняются

Кровопотерю во время ТП ТПФТ оценивали взвешиванием интраоперационного материала (салфетки, шарики) с применением электронных весов и количеством крови в вакуум-аспирации.

Контрольное обследование проведено у всех наблюдавшихся пациентов при поступлении, после операции, через 4–6 и 9–12 месяцев.

Оценка нормальности распределения величин проводилась с помощью критерия Шапиро – Уилка. В связи с тем, что для большей части исследуемых величин гипотеза о нормальности распределения не была подтверждена с уровнем статистической значимости $p=0,05$, то при описании данных использовался следующий формат: среднее/медиана (нижний; верхний квантили). При выполнении попарного сравнения показателей, полученных в различные периоды наблюдений, применялся критерий Уилкоксона. При необходимости применялась поправка Холма на множественные сравнения, в этом случае приводится значение скорректированного уровня статистической значимости $p_{\text{корр}}$. Расчеты проводились с использованием программного обеспечения R версия 3.3.1 [24].

Результаты

При изучении сроков стационарного лечения пациентов, оперированных методом ТП ТППФ, установлено, что продолжительность послеоперационного периода составила 9,9/9 (9;11) суток, а предоперационного периода – 3,5/0 (0;4) суток. Кровопотеря составила 145,8/130 (100;200) миллилитров, что наряду с аналогичными исследованиями МИ методик доказывает малую травматичность данных вмешательств [2]. Проведенное сравнение значений по Т-критерию уровня минеральной плотности костной ткани позвоночника в общей группе пациентов показало уменьшение этого показателя к концу наблюдения: до операции – -1,9/-2,2 (-1,4;-2,3), и через год -2,2/-2,3 (-2,1;-2,5) ($p=0,0001$).

До операции кифотическая деформация в общей группе составляла 10,3°/10° (8;11°), а индекс клиновидности 133/133,3 (120;138,9). В результате проведенного оперативного лечения все компоненты деформации поврежденного сегмента позвоночника в большинстве случаев устранены. Кифотическая деформация корригирована до 0,5°/0 (0;0) ($p<10^{-9}$), а индекс клиновидности уменьшился до 105,5/106,1 (100;110) ($p<10^{-9}$). В отдаленном периоде наблюдения выявлено прогрессирование величин кифоза и индекса клиновидности в сравнении с ранним послеоперационным периодом, что сопоставимо с литературными данными [18,25].

В общей группе пациентов кифотическая деформация после пластики тела позвонка через год составила до 2,1°/2° (0°;3°) ($p<10^{-6}$), индекс клиновидности тела позвонка – до 110,9/108,3 (100;112) ($p=0,004$).

При этом величина потери достигнутой коррекции деформаций позвоночника на уровне перелома в отдаленном периоде составила $1,5\pm 0,4^\circ$ у 40 пациентов, у 11 пациентов достигла до $3\pm 0,9^\circ$ и у 2 пациентов имела потерю $9,1\pm 0,12^\circ$. В группе пациентов с переломами типа А2 у 25 больных МПКТ до операции $T -1,8\pm 0,2$, снизилась в отдаленном периоде до $T -2,0\pm 0,3$, при этом потери коррекции в динамике составили от 0° до 2° . Показатели ВАШ и индекс Освестри к этому времени составили $1,8\pm 0,5$ и $20,1\pm 6,1$ соответственно. У 5 больных с таким же типом переломов позвонков к этому сроку потеря коррекции составила от 3° до 5° . При этом по показателям МПКТ, ВАШ и Индекса Освестри от вышеуказанной группы пациентов достоверно не было различий ($p=0,004$). При анализе группы с повреждениями типа А3 у 15 больных при потере коррекции от 0° до 2° при значениях МПКТ, ВАШ и Индекса Освестри также не было выявлено различий. У 6 больных при потере коррекции от 3° до 5° в отдаленном периоде отмечено снижение МПКТ до $T -2,5$. Также в группе с повреждениями типа А3 у 2 больных наблюдались потери коррекции больше 9° , при исходных показателях Т-критерия -2,3 и тенденцией снижения к -2,6.

Выявлена достоверно значимая взаимосвязь и различия нарушений функциональной дееспособности и ВАШ в разные сроки после операции при всех типах переломов (Рис.3).

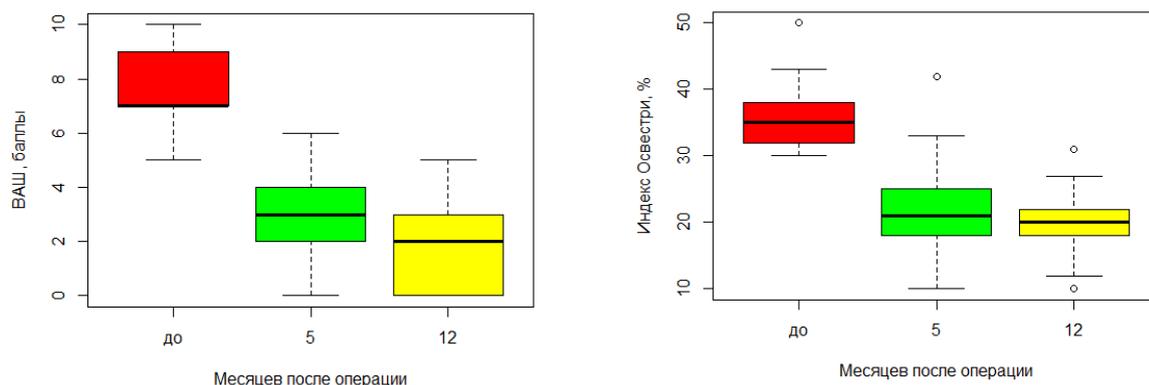


Рис. 3. Динамика показателей индекса Освестри и ВАШ в разные сроки после операции в общей группе пациентов (n=53)

Обсуждение

Применение транскутанной транспедикулярной фиксации (ТПФ) позволяет снизить травматизацию паравертебральных тканей при дорзальной стабилизации поврежденного ПДС, уменьшают длину и ширину хирургического доступа в сравнении с традиционным вариантом транспедикулярной фиксации (ТПФ). Несмотря на успешное применение ТПФ не лишена недостатков, основным из которых является травматичность доступа для установки конструкции [12]. Kavaguchi et al. установил, что повышение уровня креатинфосфокиназы, индикатора повреждения мышц напрямую связано с величиной давления ретрактора и продолжительности тракции мышц во время операции [11]. Кроме того, Wang J. (2008) в своей экспериментальной работе сделал вывод о том, что изолированная ТПФ не может обеспечить достаточную стабильность в ПДС и восстановить механические свойства тела позвонка [27]. Транспедикулярная пластика тела позвонка была предложена Daniaux в 1986 году. В своих исследованиях Crawford R.J. и соавт. (1994) пришли к выводу, что короткоsegmentарная ТПФ с пластикой тела позвонка аутокостью устраняет кифотическую деформацию, восстанавливает высоту вентрального отдела позвоночника [6]. Однако, по мнению других авторов, наиболее вероятно фрагменты аутологичной кости после пластики позвонка подвергаются с раннего периода стадийной резорбции и несмотря на ТПФ в отдаленном периоде отмечается значительная потеря достигнутой коррекции [4].

По данным Jia Q. с соавторами (2015) и Korovessis P., оценивавших эффективность короткоsegmentарной ТПФ в сочетании с баллонной кифопластикой цементом сульфата кальция при лечении грудного и поясничного отдела позвоночника, в ближайшем и отдаленном периодах в значениях индекса клиновидности и угла кифотической деформации

не было выявлено существенных различий. В наших наблюдениях после проведенного оперативного лечения кифотическая деформация откорректирована до $0,5^{\circ}/0^{\circ}$ ($0;0^{\circ}$) ($p < 10^{-9}$), а индекс клиновидности до $105,5/106,1$ ($100;110$) ($p < 10^{-9}$). Потери коррекции в среднем составили до 5° , что не повлияло на качество жизни пациентов [10,13].

В общей группе нашего исследования в отдаленном периоде отмечено прогрессирование величин кифоза и индекса клиновидности в сравнении с ранним послеоперационным периодом ($p=0,004$). По данным Li D. и соавт. (2013), оценивавших эффективность короткосегментарного ТТПФ с пластикой тела позвонка аллокость при лечении переломов типа А3 на фоне остеопороза, в послеоперационном периоде метод восстанавливает и сохраняет высоту тела позвонка и повышает качество жизни пациентов [16]. В то же время по результатам лечения тем же методом аналогичных переломов без остеопороза Li D.P. (2014) и D. Cho (2003) в отдаленном периоде отмечалась потеря коррекции до $2-5^{\circ}$ [17,5]. В ходе исследований Takami M. (2014) по результатам операций ТТПФ с пластикой тела позвонка гидроксиапатитом при свежих неосложненных переломах типа А3 по (Magel et all., 1994) было выявлено, что этот малоинвазивный подход является методом выбора и хорошим вариантом для лечения переломов позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника, при котором сохраняется мобильность соседних позвоночных сегментов. Были небольшие потери коррекции высоты тел позвонков. Сращение перелома было получено у всех пациентов [26].

По данным нашего исследования, показатели потери коррекции в динамике в общей группе у 51 больных отмечались до 5° при значениях МПКТ в отдаленном периоде в среднем до $T -2,3$, полученные результаты на качество жизни пациентов не повлияли. Более 9 градусов потери коррекции наблюдались у 2 больных в отдаленном периоде. Мета-регрессионный анализ опубликованных статей по методике ТП ТПФ и переднего межтелового спондилодеза задним доступом у больных с переломами грудного и поясничного позвонков, проведенный МаУ с коллегами (2012), показал, что обе методики сводят к минимуму вероятности тяжелой потери послеоперационной коррекции [18,25]. Разработанная нами ТП ТПФТ позволила снизить травматичность хирургического вмешательства, обеспечить стабилизацию передних и задних структур за одну операцию, восстановить в большей степени высоту тела, корригировать кифотическую деформацию.

Заключение

Использование короткосегментарной транскутанной транспедикулярной фиксации в сочетании с остеопластикой при лечении пациентов с переломами позвонков А2 и А3 груднопоясничного отдела позвоночника в большинстве случаев позволяет восстановить высоту сломанного позвонка, устранить кифоз. При планировании операции следует

учитывать то обстоятельство, что на результат влияет характер перелома и в меньшей степени снижение минеральной плотности кости позвонков, наблюдающееся в позднем послеоперационном периоде.

Список литературы

1. Аветисян А.Р. Пластика тел грудных и поясничных позвонков пористыми биокерамическими гранулами (экспериментальное исследование): дис. ... канд. мед. наук. – Новосибирск, 2015. – 163 с.
2. Жупанов А.С. Малоинвазивные методики хирургического лечения оскольчатых переломов нижних грудных и поясничных позвонков: дис. ... канд. мед. наук. – Курган, 2010. – 104 с.
3. Рерих В.В., Садовой М.А., Рахматиллаев Ш.Н. Остеопластика в системе лечения переломов тел грудных и поясничных позвонков // Хирургия позвоночника. – 2009. – № 2. – С. 25-34.
4. Alanay A., Acaroglu E., Yazici M. Short-segment pedicle instrumentation of thoracolumbar burst fractures: does transpedicular intracorporeal grafting prevent early failure? // Spine. 2001: Jan. 15. Vol. 26(2): 213-217.
5. Cho D.Y., Treatment of thoracolumbar burst fractures with polymethyl methacrylate vertebroplasty and short-segment pedicle screw fixation // Neurosurgery. Dec. 2003: Vol. 53(6): 1354-1360.
6. Crawford R.J., Askin G.N. Fixation of thoracolumbar fractures with the Dick fixator: the influence of transpedicular bone grafting // Euro Spine Journal. 1994, 3:45-51 DOI: 10.1007/BF02428316.
7. Fairbank J.C., Pynsent P.B. The Oswestry Disability Index // Spine. 2000. Vol. 25. P. 2940-2952.
8. Fischer S., Vogl T.J., Kresing M., et al. Minimally invasive screw fixation of fractures in the thoracic spine: CT-controlled pre-surgical guidewire implantation in routine clinical practice // Clin Radiol. 2016 Jul 14. pii: S0009-9260(16)30238-0. doi: 10.1016/j.
9. Grossbach A.J., Dahdaleh N., et al. Flexion-distraction injuries of the thoracolumbar spine: open fusion versus percutaneous pedicle screw fixation // Neurosurg Focus. 2013 Aug.; 35(2):E2. doi: 10.3171/2013.6.
10. Jia Q., Hu L., et al. Balloon vertebroplasty combined with short-segment pedicle screw instrumentation for treatment of thoracolumbar burst fractures // Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi. 2015 Jun.; 29(6):741-5.

11. Kavaguchi Y., Matsui H., Tsuji H. Backmuscle injury after posterior lumbar Spine surgery // *Spine*. 1996. Vol. 21, pp. 941-944.
12. Kim D.Y., Lee S.H., Chung S.K., et al., Minimally invasive multi-level posterior lumbar interbody fusion using a percutaneously inserted spinal fixation system: technical tips, surgical outcomes // *J. Korean Neurosurg Soc*. 2011: Nov.; 50 (5): 441-5.
13. Korovessis P., Repantis T., George P. Treatment of acute thoracolumbar burst fractures with kyphoplasty and short pedicle screw fixation: Transpedicular intracorporeal grafting with calcium phosphate: A prospective study // *Indian J Orthop*. 2007. Oct-Dec.; 41(4): 354-361. doi: 10.4103/0019-5413.37000.
14. Korovessis P.G., Baikousis A., Stamatakis M. Use of the Texas Scottish Rite Hospital Instrumentation in the treatment of thoracolumbar injuries // *Spine*. 1997. Vol. 22. P. 882-888.
15. Lehmann W., Ushmaev A., Rueckeretal A. Comparison of open versus percutaneous pedicle screw insertion in a sheep model // *Eur. Spine J*. 2008. Vol.17. № 6, pp.857-863.
16. Li D., Huang Y., Yang H. et al. Short-segment pedicle instrumentation with transpedicular bone grafting for nonunion of osteoporotic vertebral fractures involving the posterior edge // *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol*. 2013. Jan.; 23 (1) : 21-6.
17. Li D.P., Yang H.L., Huang Y.H., Xu X.F., Sun T.C., Hu L. Transpedicular intracorporeal grafting for patients with thoracolumbar burst fractures // *Saudi Med J*. 2014. Jan.; 35(1):50-55.
18. Ma Y., Li X., Dong J. Is it useful to apply transpedicular intracorporeal bone grafting to unstable thoracolumbar fractures? A systematic review // *Acta Neurochir (Wien)*. 2012 Dec.; 154 (12):2205-13. doi: 10.1007/s00701-012-1518-7.
19. Mac Nab I. Negative disc exploration: an analysis of the cause of nerve root involvement in sixty-eight patients // *J. Bone Joint Surg*. 1971. Vol. 53. P. 891-903.
20. Magerl F., Aebi M., Gertzbein S.D., et al. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries // *Eur. Spine J*. 1994. Vol. 3. P. 184-201.
21. Mc Cormack T., Karakovic E., Gaines R.W. The load sharing classification of spine fractures // *Spine*. 1994. Vol. 19. P. 1741-1744.
22. McLain R.F., Sparling E., Benson D.R. Early failure of short-segment pedicle instrumentation for thoracolumbar fractures. A preliminary report // *J. Bone Joint Surg. Am*. 1993. Vol. 75. P. 162-167.
23. Phan K., Rao P.J., Mobbs R.J. Percutaneous versus open pedicle screw fixation for treatment of thoracolumbar fractures: Systematic review and meta-analysis of comparative studies // *Clin Neurol Neurosurg*. 2015. Aug.; 135:85-92. doi: 10.1016/j.
24. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>.

25. Steven J., Mc Anany., Open Versus Minimally Invasive Fixation Techniques for Thoracolumbar Trauma: A Meta-Analysis // *Global Spine J.* 2016. Mar.; 6(2): 186-194. doi: 10.1055/s-0035-1554777.
26. Takami M., Yamada H., Nohda K., Yoshida M. A minimally invasive surgery combining temporary percutaneous pedicle screw fixation without fusion and vertebroplasty with transpedicular intracorporeal hydroxyapatite blocks grafting for fresh thoracolumbar burst fractures: prospective study // *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014 Jul.; 24 Suppl. 1: S159-65. doi: 10.1007/s00590-013-1266-2.
27. Wang J., Wu H., Ding X., Liu Y. Treatment of thoracolumbar vertebrate fracture by transpedicular morselized bone grafting in vertebrae for spinal fusion and pedicle screw fixation // *J. Huazhong Univ. Sci. Technolog Med. Sci.* 2008 Jun.; 28(3):322-6. doi: 10.1007/s11596-008-0321-4.