

ПЛАСТИКА ТЕЛ ПОЗВОНКОВ И ТРАНСПЕДИКУЛЯРНАЯ ФИКСАЦИЯ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПЕРЕЛОМОВ ГРУДНЫХ И ПОЯСНИЧНЫХ ПОЗВОНКОВ

Рерих В.В.^{1,2}, Аветисян А.Р.¹, Аникин К.А.¹

¹ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск, e-mail: VRerih@niito.ru;

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Новосибирск

Использование короткоsegmentарной транспедикулярной фиксации (ТПФ) при лечении переломов грудных и поясничных позвонков без признаков остеопороза, наряду с преимуществами, имеет также и недостатки, к которым относят массивное повреждение паравертебральных мышц при осуществлении скелетирования костных задних структур позвоночника, приводящее к нарушению их иннервации, питания, частичному или полному рецидиву посттравматического segmentарного кифоза, развитию нестабильности и, как результат, способствующее появлению послеоперационной хронической боли и, соответственно, удлинению восстановительного лечения. Снижение травматичности достигается использованием транскutánной транспедикулярной фиксации. Однако результаты коррекции посттравматической деформации поврежденных позвоночных сегментов при использовании этого минимально инвазивного способа не превосходят ТПФ, выполненную открытым способом. Применение этих видов фиксации, дополненных транспедикулярной пластикой костезаменителями или костным цементом сломанных тел позвонков (повреждения типа А2 и А3), без признаков остеопороза, обеспечивает хорошие функциональные исходы лечения. Причем применение в качестве пластического материала с большими прочностными характеристиками увеличивает устойчивость сломанного позвонка к компрессионным нагрузкам. Введение дополнительного винта в сломанный позвонок увеличивает стабильность фиксации на весь период лечения и обеспечивает незначительную потерю достигнутой коррекции локального кифоза, восстановленной высоты и формы тела позвонка.

Ключевые слова: переломы позвоночника, фиксация, пластика позвонков, костный цемент, керамика, остеопороз.

PLASTIC OF BODIES OF CALLS AND TRANSPEDICULAR FIXATION IN THE TREATMENT OF FRACTURES OF BODY AND LUMBAR CALLS

Rerikh V.V.^{1,2}, Avetisyan A.R.¹, Anikin K.A.¹

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

² Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk

The use of short segmental transpedicular fixation (TPF), in the treatment of fractures of the thoracic and lumbar vertebrae without signs of osteoporosis, along with the advantages, also has disadvantages, which include massive damage to the paravertebral muscles in the implementation of skeletonization of the bony posterior spinal structures, leading to a violation of their innervation, nutrition, partial or complete recurrence of post-traumatic segmental kyphosis, the development of instability and, as a result, contributing to the appearance of postoperative oh and chronic pain, respectively, elongation recovery treatment. Reduction of trauma is achieved using transcutaneous transpedicular fixation. However, the results of the correction of posttraumatic deformity of the damaged vertebral segments using this minimally invasive method do not exceed the TPF performed by the open method. The use of these types of fixation, supplemented with transpedicular plasty with bone replacement or bone cement of the broken vertebral bodies (injuries of type A2 and A3), without signs of osteoporosis, provides good functional outcomes of treatment. Moreover, the use as a plastic material with high strength characteristics increases the resistance of the broken vertebra to compression loads. The introduction of an additional screw into the broken vertebra increases the stability of fixation for the entire period of treatment, and provides a slight loss of the achieved correction of local kyphosis, the restored height and shape of the vertebral body.

Keywords: spinal fractures, fixation, vertebral plasty, bone cement, ceramics, osteoporosis.

Начиная с 1949 г. по настоящее время понятие нестабильности переломов позвонка менялось в зависимости от изучения морфологических изменений поврежденного сегмента, исследователями различных периодов вертебрологии были предложены и усовершенствованы

классификационные схемы для уточнения степени нестабильности поврежденного сегмента. Используемая в последних двух десятилетиях Универсальная классификация повреждений грудных и поясничных позвонков, разработанная исследователями АО, в полной мере отражает патоморфологию переломов грудного и поясничного отделов позвоночника [1].

Количественная оценка нестабильности нашла свое развитие в классификации Mac Cormack (1994) (LSC), которая отражает возможность позвоночного сегмента нести нагрузку [2]. Каждый из существующих подходов к оценке повреждений позвоночной колонны внес вклад в понимание выбора метода лечения, напрямую связанного с понятием нестабильности. Проведенный метаанализ исследований Guo J.B. (2015) выявил, что по сравнению с консервативным лечением переломов позвоночника хирургическое способствовало снижению либо полному купированию болей в области поврежденного отдела в различные периоды после лечения, исключая ранний послеоперационный [3]. Возможность возникновения послеоперационных осложнений оправдывается снижением риска появления неврологических осложнений и является профилактикой их [4].

Поиск путей улучшения исходов хирургического лечения заключается в разработке, и в том числе и минимально инвазивных (МИ), хирургических методов и определении их места в лечении травм позвоночника.

Цель исследования: на основе литературных данных провести анализ эффективности транспедикулярной фиксации (ТПФ) в сочетании ее с пластикой тела позвонка, в том числе методов, выполненных МИ способами, при лечении переломов грудных и поясничных.

В основу исследования положено 44 отобранных из 418 изученных статей, которые посвящены лечению переломов грудного и поясничного отделов позвоночника методами задней внутренней фиксации. В качестве выбора источников информации были приняты результаты исследований, изложенные в них. К критериям отбора, во-первых, относились оценка повреждений с единых классификационных позиций, и в статьях оценивались результаты восстановления различных типов разрушения тел позвонков [1; 2]. Во-вторых, методом хирургического лечения была выбрана задняя внутренняя фиксация, а именно транспедикулярная, которая выполнялась как традиционным способом, так и МИ. В качестве альтернативы и для получения понимания различий вклада восстановления формы поврежденного вентрального отдела позвоночника в исходы лечения были отобраны статьи, в которых пластика сломанного тела позвонка и ТПФ осуществлялись малоинвазивным способом либо из срединного дорсального доступа с отсечением фасций мышц от задних костных структур позвоночника.

Задняя внутренняя фиксация в лечении переломов грудных и поясничных позвонков

Развитие спинальной хирургии повреждений позвоночника сопряжено с тенденциями

развития медицины вообще, направленной на раннее функциональное восстановление пациентов. В то же время разработанные методы задней внутренней фиксации, и признанные в своей эффективности, к которым отнесена и транспедикулярная фиксация, имеют как существенные преимущества, так и ряд недостатков. Этот вид фиксации стабилизирует все опорные колонны, что является биомеханически оптимальной. Еще ее одно достоинство – это стабильность, т.е. надежное обездвиживание короткого сегмента позвоночника, и создание условий для сохранения восстановленной формы позвоночного канала на этом уровне. Конструкция позволяет жестко фиксировать все три опорные колонны в случае включения в фиксацию проксимально и дистально двух позвоночно-двигательных сегментов от поврежденного отдела. Биомеханически оправданным является использование транспедикулярных конструкций при повреждениях, сопровождающихся разрушением тех структур, которые обеспечивают стабильность позвоночника, а чаще всего относящихся к задней и средней опорным колоннам. Целесообразная направленность хирургических действий при этом может быть осуществлена из дорсального доступа, что позволяет восстановить биомеханическое равновесие путем перемещения оси моментального вращения поврежденного позвоночного сегмента в необходимое пространственное положение и позволяет зафиксировать ее [5].

Следует отметить, что выключение из статической нагрузки и движений пораженного позвоночного сегмента, путем включения в зону фиксации смежных ему позвонков (короткосегментарно), несколько уступает таковой, если она осуществлена с вовлечением большего количества позвонков (длинносегментарно). Но при определенных условиях конечный клинический результат, такой как достижение коррекции компонентов деформации, может быть мало отличим при обеих методиках. Поэтому короткосегментарная ТПФ используется при оперативном лечении как нестабильных и стабильных переломов грудного и поясничного отделов позвоночника, а условия эффективности применения являются предметом исследований. Следует всегда помнить о том, что фиксация меньшим количеством винтов обуславливает большую нагрузку не только на собственно конструкцию, но и на кость в местах, где в нее они внедрены. Увеличение точек опоры значительно распределяет эту нагрузку и уменьшает разрушение кости в результате длительного разнонаправленного воздействия. Подтверждением этому служат результаты исследования, посвященные жесткости фиксации транспедикулярными конструкциями при нестабильных переломах грудопоясничных позвонков, когда винты вводились последовательно через педикулы трех позвонков, а между крайними находился сломанный. В сравниваемой серии винты вводили в смежные позвонки, а сломанный не вовлекался в фиксацию. Жесткость и стабильность в этих двух моделях отличалась в пользу 6-винтовой конструкции [6].

Тем не менее в соответствии с классификацией LSC при нестабильных взрывных переломах с балльной оценкой ≥ 6 рекомендуется дополнительная вентральная стабилизация [2]. К этому же мнению пришли Jeong W.J. с соавторами (2013), которые в своих работах изучили клинические и рентгенологические результаты лечения с использованием ТПФ у пациентов с взрывными переломами позвонков с $LSC \geq 7$. В отдаленном периоде наблюдения потеря кифоза достигала $11,6^\circ \pm 6,3^\circ$, а угол клиновидности позвонка уменьшился чуть более чем на половину [7].

В своей публикации Altay M. (2007) верифицировал повреждения грудных и поясничных позвонков по LSC и показал, что в отдаленном периоде результаты коррекции острых посттравматических деформаций у пациентов, которым был применена длинносегментарная ТПФ, по рентгенологическим признакам имели лучшие результаты, нежели у тех, которым применили короткосегментарную. Причем он, как и другие исследователи, достоверно определили, что взрывные переломы типа A3.1 и A3.2, оцененные по $LSC < 6$, по рентгенологическим данным, не нуждались в дополнительном хирургическом вмешательстве. А такие же переломы с балльной оценкой более 7 для достижения таких же показателей исправления деформации позвоночного сегмента обязательно нуждаются в длинносегментарной ТПФ, и даже в сочетании с вентральной стабилизацией [8; 9].

Значительное увеличение периода восстановительного лечения после ТПФ связано с хронической болью в области вмешательства, обусловленной снижением трофики, нарушением иннервации длинных и коротких паравертебральных мышц, обусловленных травмой их во время выполнения доступа и в ходе операции [10; 11]. Ишемия мышц возникает не только в результате отсечения их от места прикрепления к костным структурам позвонков, но и от того, что в ходе операции проводится длительная ретракция их, усугубляющая вышеуказанные негативные явления [12]. Поэтому техника оперативного вмешательства при выполнении этой операции должна предполагать рациональное периодическое уменьшение растяжения краем раны.

Немаловажным фактором, влияющим на отрицательные результаты ТПФ, является недостаточная прочность костной ткани позвонков, обусловленной снижением минеральной плотности ее, что приводит к разрушению кости, миграции винтов, нестабильности всей конструкции, к потере устойчивости сломанного сегмента к преодолению нагрузок и в конечном итоге прогрессированию деформации [13; 14].

Авторы, оценивая повреждения вентральной опорной колонны с позиций LSC, выявили неэффективность короткосегментарной фиксации при переломах A2 и A3 в балльной оценке более 6, что привело к необходимости более чем в 70% случаев к

повторным операциям. Причем в группе пациентов одним из факторов, повлиявшим на результат, оказалась сниженная минеральная плотность кости позвонков, где показатель денситометрии варьировал по Т-критерию от -1,5 до -2,4 [15].

Truc T.V. (2015) с соавторами утверждают, что отдаленные результаты лечения при оскольчатых и взрывных переломах тел позвонков зависят от восстановления формы позвоночного сегмента. По их данным, в условиях короткосегментарной ТПФ восстановить размеры средней и передней колонны и сохранить восстановленное до полной консолидации перелома не представляется возможным, что неизбежно приводит в позднем периоде к нестабильности, утрате первично полученных результатов исправления и прогрессированию деформации на уровне локального повреждения [16; 17].

Поломка элементов короткосегментарной конструкции, и в некоторых случаях повлекшие за собой отсутствие признаков сращения костных структур, неврологические осложнения, приведшие к устойчивому болевому синдрому в области несостоятельного спондилосинтеза, стали причиной увеличения посттравматической деформации, потребовавшей дополнительного одно- или многоэтапного хирургического лечения с выполнением вентрального спондилодеза [18; 19].

В результате многочисленных исследований выявлено, что минимально инвазивные технологии (МИ), применявшиеся при нестабильных взрывных переломах позвоночника с повреждениями заднего связочного комплекса, могут обеспечить стабильность позвоночника, уменьшают болевой синдром и являются безопасными и эффективными. Так, применение транскутанной транспедикулярной фиксации (ТППФ) позволяет снизить травматизацию паравертебральных тканей при дорзальной стабилизации поврежденного позвоночно-двигательного сегмента (ПДС), прежде всего, из-за уменьшения длины и ширины хирургического доступа в 1,6–2,3 раза в сравнении с традиционными вариантами операций.

Сообществом специалистов, занимающихся изучением повреждений позвоночника, проведено исследование результатов лечения пациентов с переломами позвонков, которым использовали традиционный открытый и транскутанный методы ТПФ. Ранний период лечения ознаменовался тем, что достоверно в обеих группах пациентов достигнуто исправление исходной деформации сломанных позвонков и самого локального кифоза [20; 21].

Barbagallo G.M. (2012) и Phan K. с соавторами (2015) в своих работах сравнили ТППФ и ТПФ при переломах грудного и поясничного отделов позвоночника и отметили значительное снижение сроков необходимости пребывания в стационаре пациентов, перенесших лечение методом ТППФ переломов позвонков, помимо этого, снижение травматичности операции привело к уменьшению боли и ее продолжительности в послеоперационном периоде, незначительному количеству инфекционных осложнений [22;

23]. Dong S. и соавторы (2013) не нашли разницы между малоинвазивным и открытым методами ТПФ в результатах достижения исправления и потери коррекции кифоза и клиновидности при повреждениях позвоночника типа А и В ($p=0,235$), при этом же кровопотеря во время операции, а также боль в области раны после операции были достоверно более выражены у пациентов, которым проведена операция через один длинный доступ [24].

По данным Jiang X.Z. (2012), в наблюдениях между двумя подобными группами различий в потере коррекции также не отмечено, а оценки по ВАШ были значительно ниже в течение первых 7 дней после операции в группе МИ ($p<0,001$) [25].

Тем не менее в абсолютном выражении Lee J. и соавторы описывают потерю коррекцию до 50 градусов в группе больных, оперированных ТПФ вообще [26].

Мальпозиция винтов, установленных обоими способами, встречается в одинаковой частоте, в том числе и повреждение кортикального слоя ножки дужки. Если данное состояние не вызывает клинических проявлений, то как осложнение в настоящее время оно не рассматривается. Насколько техническое исполнение ТТПФ могло повлиять на адекватность установки винтов и обеспечивает безопасность по отношению возможного повреждения спинномозговых корешков и спинного мозга, освещено в нескольких работах. Наиболее информативным явилось исследование Schizas G. с соавторами, которые изучали расположение винтов, проведенных транспедикулярно, и пытались связать это с результатами лечения. Каких-либо отличий в осложнениях, вызванных мальпозицией винтов (по данным компьютерной томографии) у пациентов после ТТПФ и ТПФ на нижнем грудном и поясничном, не было. Тем не менее при той и другой методике имеется определенный риск осложнений, равный в процентном отношении и не превышающий критических величин [27].

Несмотря на положительные оценки многих исследователей, изолированная ТПФ, в том числе и МИ, не могут обеспечить достаточную стабильность в ПДС. Недостатком их является то, что они могут быть эффективно использованы для лечения только определенных типов взрывных переломов позвонков, при условии отсутствии остеопороза.

Хирургическое лечение переломов позвонков методами задней внутренней фиксации и пластики тела сломанного позвонка

На переднюю и среднюю колонны в грудном и поясничном отделах позвоночника приходится до 80% вертикальной нагрузки. Этот факт определяет необходимость восстановления опороспособности этой части ПДС в случаях его разрушения [28]. При нестабильных взрывных переломах, как было отмечено выше, не всегда удается провести репозицию фрагментов тел позвонка, используя лигаментотаксис в условиях ТПФ. В 1986

году Daniaux разработал методику введения костных аутологичных трансплантатов в тело позвонка через педикулу, тем самым восполнял потерянный объем кости, возникший в результате перелома, дополнительно осуществлялась ТПФ, что в комплексе обеспечивало восстановление размеров ПДС [29].

Последователи изобретателя Crawford R.J. с соавторами (1994) применили эту методику в нативном виде для лечения компрессионных переломов позвонков, находя ее эффективной для восстановления высоты ventрального отдела тела с устранением локального кифоза [30].

В последнее десятилетие пластика тела сломанного позвонка и транспедикулярная фиксация, выполненные транскутанно (ТП, ТТПФ), являют собой МИ-методику, которая используется у пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника. МИ-хирургия, целью которой становится значительное снижение травматичности хирургического вмешательства, в вертебрологической практике дает возможность выполнить стабилизацию передних и задних структур за одну операцию и укорачивает сроки реабилитации больного и скорейшую адаптацию пострадавшего. Использование различных материалов для пластики позвонка по этой методике обозначило пути решения недостатком его и выявление расширения ее возможностей. Так, Li D. и соавторы (2013) применили для пластики тела аллокость, а фиксацию осуществили короткосегментарной ТТПФ. В группе пациентов с переломами типа A3 удалость достигнуть и сохранить в последующем высоту сломанного тела, причем качество жизни не снизилось по отношению к периоду жизни пациентов до операции [31]. Wang J. (2008) и коллеги выявили сращение сломанных позвонков после пластики их костным мозгом, в условиях ТПФ, и заявили о целесообразности, безопасности метода, оптимизирующего консолидацию и тем самым восстановление опороспособности ventральной колонны позвоночника [32].

Удовлетворенность пациентов после хирургического лечения переломов грудных и поясничных позвонков была достигнута при использовании транскутанных методик ввиду меньшей выраженности болевого синдрома в различных периодах после операции [33; 34]. Этими же авторами подчеркнута эффективность пластики тела позвонка в сочетании с короткосегментарной ТПФ в восстановлении параметров костных структур, в среднем оцененных в сравнении с прилегающими неповрежденными ПДС.

Li D.P. с соавторами (2014), наблюдая за репрезентативными группами больных, перенесших оперативное лечение по поводу переломов грудных или поясничных позвонков, нашли, что те из них, которым была выполнена ТПФ и остеопластика, имели лучшие результаты в сохранении достигнутой коррекции кифоза, чем в группе пациентов с изолированной ТПФ, характеризовавшихся худшим качеством жизни на фоне убедительной потери достигнутой коррекции кифоза [35].

Метарегрессионный анализ опубликованных статей по методике транскутанной пластики тела и переднего межтелового спондилодеза задним доступом у больных с переломами грудного и поясничного позвонков, проведенный Ма У. (2012) с коллегами, показал, что обе методики сводят к минимуму вероятности тяжелой потери коррекции локальной деформации в послеоперационном периоде [36]. Liao J.C. (2017), дополнив четырехвинтовую ТПФ введением дополнительно двух винтов в тело сломанного позвонка, после его пластики, получили низкий процент потери коррекции [37].

Следует отметить, что немаловажным фактором, влияющим на конечный результат устранения локальной деформации, являются сроки, прошедшие с момента перелома позвонков. С увеличением которых возможности восстановления формы тела сломанного позвонка, после пластики его деминерализованным костным матриксом, как и кифотической деформации, уменьшаются [38].

По истечении 3 месяцев со дня проведенной транспедикулярной пластики сломанного тела позвонка деминерализованным костным матриксом с ТППФ, получен достоверный результат уменьшения болевого синдрома в сравнении с предоперационным, сохранена высота позвоночного сегмента, что доказывает увеличение устойчивости позвонка к вертикальным нагрузкам [39]. Другим пластическим материалом, использованным для этих же целей при хирургическом лечении взрывных переломов позвонков, явился гидроксиапатит. У всех пациентов применение этой методики привело к сращению переломов с небольшой степенью потери коррекции посттравматической деформации. Причем кровопотеря во время операции в среднем составила менее 40 мл [40].

Еще один вопрос, который стоит перед хирургом при выборе метода фиксации поврежденного ПДС, – это характер материала, используемого для пластики сломанного тела позвонка, важными свойствами которого являются остеокондукция и остеоинтеграция. Причем следует отметить, что костнопластические материалы и костный цемент в этих случаях могут выгодно отличаться от золотого стандарта «аутокости», получение которой, как правило, требует дополнительного хирургического доступа. Так Korovessis P., Jia Q. с соавторами, оценившие эффективность ТППФ в сочетании с баллонной кифопластикой цементом сульфата кальция при лечении взрывных переломов типа А III в ближайшем и отдаленном периодах в значениях индекса клиновидности и угла кифотической деформации, не обнаружили существенных различий в ближайшем и отдаленных периодах ($p < 0,01$); потери коррекции указанных показателей отмечены в среднем на 2–5 градусов [41]. Пациенты с взрывными переломами грудных и поясничных позвонков испытывали регресс болевого синдрома и были активизированы на первый день после операции вертебропластики в сочетании с ТПФ. При этом исследователи доказали, что пластика тела цементом в сочетании

с короткосегментарной фиксацией является еще и надежным хирургическим методом для коррекции и поддержания сагиттального баланса в противоположность использованию для пластики аутологичной кости [42]. В экспериментальном исследовании с высокой степенью достоверности было определено, что устойчивость к компрессионным нагрузкам выражена больше при переломах передней колонны в сочетании с пластикой тел позвонков более прочными дериватами кости или пористой керамикой [43]. Исходя из этого становится понятным, что фрагменты аутологичной кости после пластики позвонка подвергаются с раннего периода стадийной резорбции, и, несмотря на ТПФ в отдаленном периоде, отмечается значительная потеря достигнутой коррекции [44].

Заключение. Таким образом, при анализе современной отечественной и зарубежной литературы отмечено, что применение пластики позвонков остеозамещающими материалами или костным цементом, в сочетании с короткосегментарной фиксацией, в том числе выполненной транскутанно при переломах грудных и поясничных позвонков и отсутствии остеопороза, обеспечивает условия для сращения сломанных структур с минимальной потерей достигнутой коррекции локальной деформации.

Список литературы

1. Magerl F., Aebi M., Gertzbein S.D., Harms J., Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur. Spine J.* 1994. V. 3. P. 184-201.
2. Mc Cormack T., Karaikovic E., Gaines R.W. The load sharing classification of spine fractures. *Spine.* 1994. V. 19. P. 1741-1744.
3. Guo J.B., Zhu Y., Chen B.L., Xie B., Zhang W.Y., Yang Y.J., Yue Y.S., Wang X.Q. Surgical Versus Non-Surgical Treatment for Vertebral Compression Fracture with Osteopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One.* 2015. V. 10 (5). e0127145.
4. Avilés C., Flores S., Molina M. Conservative versus operative treatment for thoracolumbar burst fractures without neurologic deficit. *Medwave.* 2016. V. 15. 16 Suppl 1:e6383. DOI: 10.5867/medwave.2016.6383.
5. Ayberk G., Ozveren M.F., Altundal N., Tosun H., Seckin Z., Kilicarslan K., Kaplan M. Three column stabilization through posterior approach one: transpedicular placement of distractable cage with transpedicular screw fixation. *Neurol.Med.Chir. (Tokyo).* 2008. V. 1. P. 8-14.
6. Ozdemir B., Kanat A., Erturk C., Batcik O.E., Balik M.S., Yazar U., Celiker F.B., Metin Y., Inecikli M.F., Guvercin A.R. Restoration of anterior vertebral height by short segment pedicle screw fixation with screwing fractured vertebra for the treatment of unstable thoracolumbar fractures. *World Neurosurg.* 2016. V. 5. pii: S1878-8750(16)31281-5. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.11.133.

7. Jeong W.J., Kim J.W., Seo D.K., Lee H.J., Kim J.Y., Yoon J.P., Min W.K. Efficiency of ligamentotaxis using PLL for thoracic and lumbar burst fractures in the load-sharing classification. *Orthopedics*. 2013. V. 36 (5). e567-74. DOI: 10.3928/01477447-20130426-17.
8. Altay M., Ozkurt B., Aktekin C.N., Ozturk A.M., Dogan O., Tabak A.Y. Treatment of unstable thoracolumbar junction burst fractures with short- or long-segment posterior fixation in Magerl type A fractures. *Eur Spine J*. 2007. V. 16 (8). P. 1145-1155.
9. Machino M., Yukawa Y., Ito K., Kanbara S., Kato F. The complement of the load-sharing classification for the thoracolumbar injury classification system in managing thoracolumbar burst fractures. *J Orthop Sci*. 2013. V. 18 (1). P. 81-86. DOI: 10.1007/s00776-012-0319-4.
10. Тиходеев С.А. Мини-инвазивная хирургия в лечении травмы позвоночника // *Травматология и ортопедия России*. 2008. № 3 (49). С. 115-116.
11. Lehmann W., Ushmaev A., Ruecker A., Nuechtern J., Grossterlinden L., Begemann P.G., Baeumer T., Rueger J.M., Briem D. Comparison of open versus percutaneous pedicle screw insertion in a sheep model. *Eur. Spine J*. 2008. V.17. no 6. P. 857-863.
12. Gejo R., Matsui H., Kawaguchi Y., Ishihara H., Tsuji H. Serial changes in trunk muscle performance after posterior lumbar surgery. *Spine*. 1999. 1-Vol. 24. P.1023-1028.
13. Дулаев А.К., Хан И.Ш., Дулаева Н.М. Причины неудовлетворительных анатомо-функциональных результатов лечения больных с переломами грудного и поясничного отделов позвоночника // *Хирургия позвоночника*. 2009. № 2. С. 17-24.
14. Sapkas G., Kateros K., Papadakis S.A., Brilakis E., Macheras G., Katonis P. Treatment of unstable thoracolumbar burst fractures by indirect reduction and posterior stabilization: short-segment versus long-segment stabilization. *Open Orthop J*. 2010. V. 4. P. 7-13. DOI: 10.2174/1874325001004010007.
15. Рерих В.В., Байдарбеков М.У., Садовой М.А., Батпенов Н.Д., Кирилова И.А. Хирургическое лечение переломов грудных и поясничных позвонков с использованием транспедикулярной пластики и фиксации // *Хирургия позвоночника*. 2017. № 3. С. 54-61.
16. Truc Tam Vu, Yuichiro Morishita, Itaru Yugue, Tetsuo Hayashi, Takeshi Maeda, Keiichiro Shiba. Radiological outcome of short segment posterior instrumentation and fusion for thoracolumbar burst fractures. *Asian Spine J*. 2015. V. 9 (3). P. 427-432. DOI: 10.4184/asj.2015.9.3.427.
17. Yung A.W., Thng P.L. Radiological outcome of short segment posterior stabilisation and fusion in thoracolumbar spine acute fracture. *Ann Acad Med Singapore*. 2011. V. 40 (3). P. 140-4.
18. Martiniani M., Vanacore F., Meco L., Specchia N. Is posterior fixation alone effective to prevent the late kyphosis after T-L fracture? *Eur. Spine J*. 2013. V. 22 (6). P. 951-956. DOI: 10.1007/s00586-013-3008-x.
19. Xing J.M., Peng W.M., Shi C.Y., Xu L., Pan Q.H. Analysis of reason and strategy for the

failure of posterior pedicle screw short-segment internal fixation on thoracolumbar fractures. *Zhongguo Gu Shang*. 2013. V. 26 (3). P. 186-189.

20. Cappuccio M., Amendola L., Paderni S., Bosco G., Scimeca G., Mirabile L., Gasbarrini A., De Iure F. Complications in Minimally Invasive Percutaneous Fixation of Thoracic and Lumbar Spine Fractures. *Orthopedics*. 2013. V. 36. Issue 6. e729-e734.

21. Grossbach A.J., Dahdaleh N.S., Abel T.J., Woods G.D., Dlouhy B.J., Hitchon P.W. Flexion-distraction injuries of the thoracolumbar spine: open fusion versus percutaneous pedicle screw fixation. *Neurosurg Focus*. 2013. V. 35 (2): E2. DOI: 10.3171/2013.6.

22. Barbagallo G.M., Yoder E., Dettori J.R., Albanese V. Percutaneous minimally invasive versus open spine surgery in the treatment of fractures of the thoracolumbar junction: a comparative effectiveness review. *Evid. Based Spine Care J*. 2012. V. 3 (3). P. 43-9. DOI: 10.1055/s-0032-1327809.

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. V. 135. P. 85-92. DOI: 10.1016/j.

24. Dong S.H., Chen H.N., Tian J.W., Xia T., Wang L., Zhao Q.H., Liu C.Y. Effects of minimally invasive percutaneous and trans-spatium intermuscular short-segment pedicle instrumentation on thoracolumbar mono-segmental vertebral fractures without neurological compromise. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013. V. 99 (4). P. 405-11. DOI: 10.1016/j.

25. Jiang X.Z., Tian W., Liu B., Li Q., Zhang G.L., Hu L., Li Z., He D. Comparison of a paraspinal approach with a percutaneous approach in the treatment of thoracolumbar burst fractures with posterior ligamentous complex injury: a prospective randomized controlled trial. *J. Int. Med. Res*. 2012. V. 40 (4). P. 1343–1356.

26. Lee J.K., Jang J.W., Kim T.W., Kim T.S., Kim S.H., Moon S.J. Percutaneous short-segment pedicle screw placement without fusion in the treatment of thoracolumbar burst fractures: is it effective? : comparative study with open short-segment pedicle screw fixation with posterolateral fusion. *Acta Neurochir (Wien)*. 2013. V. 155 (12). P. 2305-12; discussion 2312. DOI: 10.1007/s00701-013-1859-x.

27. Schizas C., Michel J., Kosmopoulos V., Theumann N. Computer tomography assessment of pedicle screw insertion in percutaneous posterior transpedicular stabilization. *Eur. Spine J*. 2007. V. 16. no 5. P. 613-617.

28. Dhall S.S., Wadhwa R., Wang M.Y., Tien-Smith A., Mummaneni P.V. Traumatic thoracolumbar spinal injury: an algorithm for minimally invasive surgical management. *Neurosurg Focus*. 2014. V. 37 (1): E9. DOI: 10.3171/2014.5.

29. Daniaux H. Transpedicular repositioning and spongiosaplasty in fractures of the vertebral

bodies of the lower thoracic and lumbar spine. Unfallchirurg. 1986. V. 89. P. 197-213.

30. Crawford R.J., Askin G.N. Fixation of thoracolumbar fractures with the Dick fixator: the influence of transpedicular bone grafting. Euro Spine Journal. 1994. V. 3. P. 45-51. DOI: 10.1007/BF02428316.

31. Li D., Huang Y., Yang H., Sun T., Wu Y., Li X., Chen L. Short-segment pedicle instrumentation with transpedicular bone grafting for nonunion of osteoporotic vertebral fractures involving the posterior edge. Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol. 2013. V. 23 (1). P. 21-6. DOI: 10.1007/s00590-011-0928-1.

32. 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. V. 28 (3). P. 322-6. DOI: 10.1007/s11596-008-0321-4.

33. Li Q., Yun C., Li S. Transpedicular bone grafting and pedicle screw fixation in injured vertebrae using a paraspinous approach for thoracolumbar fractures: a retrospective study. J. Orthop. Surg. Res. 2016. V. 17; 11 (1). P. 115.

34. Liao J.C., Fan K.F., Chen W.J., Chen L.H., Kao H.K. Transpedicular bone grafting following short-segment posterior instrumentation for acute thoracolumbar burst fracture. Orthopedics. 2009. V. 32 (7). P. 493. DOI: 10.3928/01477447-20090527-11.

35. 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. V. 35 (1). P. 50-5.

36. 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. V. 154 (12). P. 2205-13. DOI: 10.1007/s00701-012-1518-7.

37. Liao J.C., Fan K.F. Posterior short-segment fixation in thoracolumbar unstable burst fractures - Transpedicular grafting or six-screw construct? Clin Neurol Neurosurg. 2017. V. 153. P. 56-63. DOI: 10.1016/j.clineuro.2016.12.011.

38. 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.

39. Liao J.C., Fan K.F., Keorochana G., Chen W.J., Chen L.H. Transpedicular grafting after short-segment pedicle instrumentation for thoracolumbar burst fracture: calcium sulfate cement versus autogenous iliac bone graft. Spine (Phila Pa 1976). 2010. V. 1; 35 (15). P. 1482-1488. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181c176f8.

40. Рерих В.В., Аветисян А.Р., Савченко С.В., Попелюх А.И., Аронов А.М., Семанцова Е.С. Восстановление формы и прочности тел поврежденных грудопоясничных позвонков

- алюмооксидными биокерамическими гранулами // Хирургия позвоночника. 2014. №3. С. 86-94.
41. Li D., Huang Y., Yang H., Sun T., Wu Y., Li X., Chen L. Short-segment pedicle instrumentation with transpedicular bone grafting for nonunion of osteoporotic vertebral fractures involving the posterior edge. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2013. V. 23 (1). P. 21-6. DOI: 10.1007/s00590-011-0928-1.
42. 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. V. 24 Suppl 1: S.159-65. DOI: 10.1007/s00590-013-1266-2.
43. 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. V. 41 (4). P. 354-361. DOI: 10.4103/0019-5413.37000.
44. Alanay A., Acaroglu E., Yazici M., Oznur A., Surat A. Short-segment pedicle instrumentation of thoracolumbar burst fractures: does transpedicular intracorporeal grafting prevent early failure? *Spine.* 2001. V. 26 (2). P. 213-217.