

Хирургические методы лечения рецидива болевого синдрома при дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника

П.Г. Шнякин¹, А.В. Ботов², А.А. Амельченко¹

¹ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого», Красноярск, Россия;

²КГБУЗ «Краевая клиническая больница», Красноярск, Россия

Количество операций на поясничном отделе позвоночника постоянно растет в связи с появлением новых методов хирургического лечения дегенеративной патологии позвоночника и большим количеством пациентов с болевым синдромом в пояснице. Часто хирургическое вмешательство оказывается недостаточно эффективным, и болевой синдром сохраняется, что приводит к необходимости повторных ревизионных операций с применением стабилизирующих систем. В обзоре представлены данные научных исследований о причинах рецидивирующего течения дегенеративного процесса, описаны проблемы рубцово-спаечного эпидурита как одного из предикторов болевого синдрома, результаты использования различных систем стабилизации и доступов для их имплантации, обобщены недостатки и преимущества вентрального доступа с использованием межтелового эндотепезирования в сравнении с дорсальным доступом для установки транспедикулярной системы и межтелового корпородеза.

К положительным сторонам межтелового протезирования из переднего забрюшинного доступа относятся возможность быстрого и полного удаления всего диска, декомпрессии дурального мешка без вхождения в позвоночный канал, оптимальный подбор импланта, соответствующего размеру замыкательных пластинок позвонков, создание оптимального угла лордоза, обеспечение кратчайшего подхода к оперируемому диску и точке компрессии невральных структур. Преимуществом дорсального доступа с имплантацией транспедикулярной системы и межтелового корпородеза являются лучшая визуализация невральных структур в сравнении с дискэтомией при вентральном доступе, возможность широкой декомпрессии, расширения объема операции и абляции фасеточных суставов диатермокоагуляцией на этапе доступа, надежность задней фиксации. Этот доступ привычен для нейрохирурга и требует меньшей длительности обучения.

Ключевые слова: протезирование межпозвоночного диска, транспедикулярная фиксация, рецидив грыжи диска, рецидив болевого синдрома.

Адрес для корреспонденции: 660022, Россия, Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 3а. Краевая клиническая больница. E-mail: doktor_anton@rambler.ru. Ботов А.В.

Для цитирования: Шнякин П.Г., Ботов А.В., Амельченко А.А. Хирургические методы лечения рецидива болевого синдрома при дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии* 2018; 12(3): 61–68.

DOI: 10.25692/ACEN.2018.3.8

Surgical methods of treatment of back pain syndrome recurrence in the degenerative pathology of the lumbar spine

Pavel G. Shnyakin¹, Anton V. Botov², Andrey A. Amelchenko¹

¹Prof. V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia;

²Regional Clinical Hospital, Krasnoyarsk, Russia

The number of surgical interventions on the lumbar spine is constantly growing due to the emergence of new surgical techniques aimed at treatment of degenerative spine pathology and a large number of patients, suffering from the back pain. Quite often, surgical intervention turns to be not effective enough and the pain syndrome persists, leading to the necessity for the repeated revision surgeries with the use of stabilizing systems. The review represents research data on the causes of recurrent-remitting course of degenerative process, problems of epidural adhesion as one of the back pain syndrome predictors, the survey of various stabilization systems and operative approaches for their implantation. The disadvantages and advantages of ventral approach with the use of interbody fusion are summarized in comparison with dorsal approach used for the installation of the transpedicular system and interbody fusion with a bone graft.

The positive features of interbody fusion from anterior retroperitoneal approach include the ability to quickly and completely remove the entire disc, decompress the dural sac without entering the vertebral canal, optimally select an implant corresponding to the size of the vertebral end plates, creation of the optimal lordosis angle, and provision of the shortest approach to the operated disk and to the place of neural structures compression.

The advantages of the dorsal approach with transpedicular system implantation and interbody fusion with a bone graft are better visualization of neural structures in comparison with discectomy from the ventral approach, the possibility of wide decompression and expansion of the extent of operation, the possibility of ablation of the facet joints by diathermocoagulation after the surgical wound was made, the reliability of posterior fixation, and familial approaches for a neurosurgeon with a lesser duration of training.

Keywords: *intervertebral disc prosthesis, transpedicular fixation, disc hernia recurrence, recurrence of back pain syndrome.*

For correspondence: 660022, Russia, Krasnoyarsk, ul. Partizan Zheleznyak, 3a, Regional Clinical Hospital. E-mail: doktor_anton@rambler.ru. Anton V. Botov.

For citation: Shnyakin P.G., Botov A.V., Amelchenko A.A. [Surgical methods of treatment of back pain syndrome recurrence in the degenerative pathology of the lumbar spine]. *Annals of clinical and experimental neurology* 2018; 12(3): 61–68. (In Russ.)

DOI: 10.25692/ACEN.2018.3.8

Остеохондроз позвоночника является не только серьезной медицинской, но и социальной проблемой, т.к. определяет одну из наиболее частых причин временной утраты трудоспособности [1, 2]. Заболеваемость у лиц трудоспособного возраста в крупных городах России составляет 49,8 случая на 1000 жителей [3].

Клинико-неврологические проявления данного заболевания достаточно часто имеют комплексный патофизиологический механизм развития с длительным прогрессивным течением [2, 3]. Если экстренная операция не требуется, лечение начинают с назначения лекарственных препаратов, физиотерапии, лечебной физкультуры на 3–4 нед. В большинстве случаев это позволяет существенно облегчить состояние пациентов и даже полностью купировать болевой синдром. Однако у 10–23% больных не удается добиться стойкого улучшения, и возникает вопрос о хирургическом лечении [2–7].

Существует широкий спектр оперативных технологий, направленных на лечение осложнений остеохондроза позвоночника. С общепринятых в хирургии позиций, при выборе метода хирургического лечения грыж межпозвоночных дисков (МПД) начинают с малоинвазивных, в том числе пункционных вмешательств, затем рассматривают варианты стандартных микродискэктомий и только потом – расширенных вмешательств с металлофиксацией или протезированием диска [8–15].

При этом не только малоинвазивные вмешательства, но и большие реконструктивные операции не всегда дают положительный результат. Неслучайно именно при дегенеративной патологии позвоночника в международной номенклатуре появилась «Болезнь неудачно оперированного позвоночника», которая часто связана с выбором неоптимального хирургического лечения (если такое вообще было показано) у конкретного пациента, а также развитием ряда закономерно возникающих патоморфологических изменений после оперативного вмешательства, в первую очередь рубцово-спаечного эпидурита [16, 17]. В основе данного процесса лежит асептическое аутоиммунное воспалительное эпидуральное клетчатка, которое дестабилизирует восстановительные процессы и способствует хронизации боли [18, 19].

Другой причиной возобновления болевого, особенно корешкового, синдрома являются рецидивы грыжи оперированного диска, возникающие в результате дальнейшей дегенерации МПД или неполного удаления пульпозного ядра [17, 19], а также сегментарная нестабильность [2].

Стенозирование позвоночного канала через 5 лет после выполнения декомпрессивных операций отмечено у 27% пациентов [20]. Количество рецидивов грыж МПД в раннем и позднем послеоперационных периодах на уровне поясничного отдела позвоночника достигает 15–17%, при этом клинически значимые рецидивы встречаются в 4–9% случаев [20–23].

В последнее время исследователи начали уделять внимание регенераторной способности ткани диска как дополнительному фактору риска рецидива грыж, хотя еще в 1983 г. D.S. Bradford и соавт. сообщили о восстановлении высоты диска и гистологической картины ткани диска до исходного уровня через 6 мес после хемонуклеолиза [24]. M. Laus и соавт. определили, что морфологическая картина истинной рецидивировавшей грыжи идентична ее дооперационному виду [25]. M.V. Risbud и соавт. выявили, что клетки рецидивировавшей грыжи, полученные из фиброзного кольца и пульпозного ядра, имеют хондрогенную дифференцировку [26].

S.U. Kuh с соавт. получили новые данные о состоянии молекулярно-биологических характеристик первичной и рецидивной грыж дисков [27]. Они выявили, что оставшиеся клетки диска после дискэктомии могут регенерировать и пролиферировать в процессе заживления. Клетки «рецидивного диска» имеют сходную остеогенную и хондрогенную экспрессию генов с клетками первичных грыж диска. Эта схожесть особенно отчетливо проявляется при грыжах, рецидивировавших в первый год после операции. Таким образом, авторы пришли к заключению, согласно которому регенерация оставшейся части диска может быть одним из факторов рецидива грыжи диска и возобновления болевого синдрома.

Развитие постнуклеотомной нестабильности в дегенерированном позвоночно-двигательном сегменте может достигать 50%, также может нарушаться сагиттальный баланс всего позвоночника, что будет сопряжено с возобновлением, а в некоторых случаях и с усилением болевого синдрома [28]. Применяемые при этом декомпрессивно-стабилизирующие операции позволяют восстановить анатомическое взаимоотношение элементов пораженного позвоночно-двигательного сегмента и его статическую функцию [29]. Однако с широким внедрением устройств для фиксации позвоночника в последние десятилетия появились новые причины для формирования боли в послеоперационном периоде [30]. Эти устройства при их неправильной установке (а в некоторых случаях и при установке не по показаниям) могут вызывать компрессию нервного корешка, псевдоартроз. Кроме того, при замыкании двигательного

сегмента с помощью металлоконструкции происходит перегрузка смежных с ним сегментов с прогрессированием в них дегенеративных процессов и возобновлением болевого синдрома [29, 31, 32].

Началом применения фиксации позвоночно-двигательных сегментов можно считать 1977 г., когда J. Résina и соавт. доложили об успешном применении сегментарной фиксации позвонков проволокой [33]. Позже позвоночник стали фиксировать металлическими стержнями, что подробно описано в работах E.R. Luque [34]. В дальнейшем P.R. Harrington и соавт. описали различные комбинации фиксации с одномоментной distraction позвоночника, при этом указывались недостатки метода, приведшие к ограничению применения данных конструкций [35].

Введение в практику транспедикулярных систем (ТПС) можно назвать прорывом в истории лечения заднего спондилодеза позвоночника. Винты, проведенные через ножку дужки в тело позвонка, позволяют манипулировать последним во всех трех плоскостях, добиваясь соосности и правильного позиционирования позвонков по отношению друг к другу с одномоментным приданием стабильности. P.R. Harrington и соавт. одними из первых сообщили об использовании ТПС [35] при попытке редуцировать патологический сдвиг позвонков при антелистезе.

Первые успешные попытки замкнуть сегмент, используя введение аутокостного трансплантата из острого отростка в межпозвонковый промежуток после кюретажа диска и замыкательных пластинок, выполнили в 1944 г. H. Briggs и соавт. [36]. В работе этих авторов подчеркивалась важность сочетания межтелового и заднего спондилодеза для создания полноценного спондилодеза и стабильности позвоночно-двигательного сегмента. В 1946 г. I.A. Jaslow [37], в 1953 г. R.V. Cloward [38] опубликовали свой опыт подобных операций. R.N. Stauffer и соавт. в 1959–1967 гг. сообщили о наблюдении 83 больных, которым был выполнен передний межтеловой артродез, при этом только у 28 (36%) пациентов отмечался регресс болевого синдрома, а у 40 пациентов при рентгенологическом обследовании через 18 мес после операции был выявлен псевдоартроз [39]. Весьма скромные результаты этих операций побудили хирургов и исследователей к разработке специальных устройств для межтелового спондилодеза, которые были удобны для имплантации из заднего доступа и обеспечивали стабильность. Изобретателем кейджа можно по праву считать G.W. Bagby [40], который предложил устройство в виде сетчатого цилиндра, наполняемого костной крошкой. При этом сохранялась высота межтелового промежутка и достигался хороший спондилодез. В дальнейшем устройство совершенствовалось и дополнялось, его адаптировали для использования с ТПС, на гранях кейджа появилась резьба. Первые операции с внедрением ТПС на постсоветском пространстве были выполнены в конце 1980-х – начале 1990-х гг. в институтах травматологии и ортопедии Белоруссии, Украины, России [41].

R.V. Cloward указывал на необходимость увеличения площади устанавливаемых кейджей, что увеличивало опору и скорость создания спондилодеза [42, 43]. В последующем с этой целью было предложено устанавливать кейджи парно [44].

С 1963 г. появляются сообщения об альтернативном переднем доступе к поясничному отделу позвоночника [45–47]; в 1997 г. T.J. Huang сообщил о 25 операциях, проведенных

из переднего доступа [48]. Таким образом, наметился значительный прогресс в способах и альтернативных заднему оперативных вмешательствах на структурах позвоночника. При этом, если задние подходы, вне зависимости от уровня, по технике имеют схожее исполнение, то доступы к передним колоннам для каждого отдела имеют существенные особенности.

В биомеханических исследованиях на фоне развития технических наук в 1980 г. заговорили о возможности восстановления МПД посредством использования функционального эндопротеза, что привело в начале XXI в. к формированию отдельного направления в хирургии позвоночника – артропластике. Целью данного направления было сохранение полноценной функции позвоночно-двигательного сегмента и придание стабильности. Первые попытки восстановить функцию МПД посредством эндопротеза предпринимались еще в середине 1950-х гг.

Для решения вопроса сохранения подвижности в оперированном позвоночном сегменте, профилактики прогрессирования дегенерации в смежных позвоночно-двигательных сегментах предложен способ функционального протезирования МПД [49]. Например, при межпозвонковом эндопротезировании использовали принципы протезирования тазобедренных суставов, где, как ранее считали, при формировании артродеза отсутствует боль. Первое протезирование поясничного МПД выполнено U. Fernström в 1950-х гг. [50, 51]. Операция заключалась в имплантации стального шара между замыкательных пластин при частичном сохранении фиброзных колец. При этом основной проблемой было пролабирование шара через замыкательные пластины и миграция в тела позвонков, что не могло удержать диск от дальнейшего проседания и формирования дегенеративного стеноза [52]. В дальнейшем, начиная с 1970 г., ежегодно предлагались различные конструкции протезов [53, 54], при этом только единицы нашли практическое применение. В России попытки создания устройства были предприняты Я.Л. Цивьяном [55], П.А. Савченко [56] и др. После предложения U. Fernström конструкции эндопротезов претерпели существенные изменения, были изобретены силиконовые, полимерные, биологические, пружинные, шарнирные протезы в комбинации с различными металлическими пластинами [57].

Приемлемых результатов хирургических вмешательств с применением тотального эндопротезирования, при котором полностью резецировался диск с пульпозным ядром и фиброзными кольцами, удалось добиться только в начале 1980-х гг. Идеальный протез в своей работе должен сохранять все необходимые движения в рамках степеней свободы, а также выполнять амортизирующую функцию. В разрабатываемых имплантах конструкторы пытались объединить эти два принципа [52].

Первые из внедренных в клиническую практику протезов МПД сохраняли движения в сегменте, но не имели амортизирующей функции, которая свойственна естественному диску. Эти протезы состояли из двух металлических компонентов: имитации замыкательных (краевых) пластин и шарика по центру конструкции, которые в ряде случаев имели полиэтиленовый вкладыш, напоминая по структуре протезы для периферических суставов [58]. Другим видом протезов, в основном имитирующим функцию амортизатора, были эндопротезы пульпозного ядра [52]. Структурно они не имели жестких замыкательных пластин, при этом

протезы подразделялись на биологические, механические и эластомерные [54, 59, 60].

По площади контакта эндопротеза с телами позвонков выделяли эндопротезы пульпозного ядра, когда сохранялись фиброзные кольца, а замещался только центр диска, и тотальное протезирование диска, при котором диск старались резецировать полностью [53].

Тотальное эндопротезирование впервые стали применять в 1980–1990-х гг., одними из первых устанавливаемых протезов были Charite («Link Spine Group», Германия) и Prodisc («Spine Solutions, Inc», США). С 2001 г. клинические исследования проходили протезы Movidisc («LDR Medical», Франция), Maveric («Medtronic», США), Kineflex («Spinal Motion», ЮАР), Dynardi («Zimmer», США), Flexicore («Stryker», США), Active-L («Aesculap», Германия).

Российское освоение данной технологии началось в 2004 г., когда Н.А. Коновалов впервые осуществил протезирование МПД в НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко.

Современные искусственные диски поясничного отдела позвоночника разработаны для имитации анатомической структуры и биомеханических свойств естественного диска. Инновационная конструкция включает искусственное ядро, обеспечивающее осевое сжатие, и кольцо из волокнистого материала, обеспечивающее подвижность с контролируемой амплитудой и шестью степенями свободы. Эта физиологическая подвижность предназначена для сохранения подвижности сегмента позвоночника и, возможно, предотвращения или отсрочки дальнейшей дегенерации дисков на уровне соседних позвонков [49, 61, 62].

В ряде работ, опубликованных после 2008 г., авторы не отмечали осложнений в виде снижения высоты дисков на смежных с прооперированным уровнях, проседания протеза, его расшатывания, смещения, поломки металлической или пластиковой части после тотальной резекции поясничных дисков из вентрального доступа [49].

Десятилетний опыт применения в нашей стране протезирования дисков отечественными конструкциями показал неоспоримые преимущества данного метода [63, 64].

Таким образом, для купирования болевого синдрома при рецидивирующем течении дегенеративного процесса применяются два разных метода декомпрессии и стабилизации, осуществляемые из дорсального и вентрального доступов: транспедикулярная фиксация и протезирование МПД. Обе технологии имеют свои недостатки и преимущества.

Преимущества передней декомпрессии и стабилизации из брюшинного доступа (протезирование МПД):

1. Быстрое и полное удаление всего диска, а соответственно, отсутствие возможности рецидива и, как следствие, радикальность решения проблемы отмечены при наблюдении за людьми, перенесшими данную операцию, в исследованиях в 2002 и 2006 гг. [65–67].
2. Возможность декомпрессии дурального мешка без вхождения в позвоночный канал [68–71].
3. Оптимальный подбор импланта большего размера, соответствующего размеру замыкательных пластинок позвонков [72].

4. Создание оптимального угла лордоза, соответствующего нормальным показателям локального сагиттального баланса. Д.Л. Глухих в 2015 г. указывал на полное восстановление и сохранение высоты межпозвонкового промежутка, восстановление сегментарного сагиттального баланса и баланса смежных уровней при выполнении артропластики на уровне поясничного отдела позвоночника [63].
5. Обеспечение кратчайшего подхода к оперируемому диску и точке компрессии невральных структур [73].

Недостатки переднего брюшинного доступа:

1. Необходимость большого количества специальных инструментов [74].
2. Ограниченность ревизии спинно-мозгового канала (маленький угол операционного действия) [75].
3. Наличие в зоне доступа крупных сосудистых образований и органов, требующих мобилизации (контакт с крупными венами, артериями, мочеточником, брюшиной) [64, 76].
4. Непривычный (редко используемый) для нейрохирурга доступ с высокой кривой обучаемости [77, 78].
5. Высокая стоимость [79, 80].
6. Необходимость иметь большой размерный ряд имплантов для индивидуального применения [81].

Преимущества дорсальной декомпрессии и стабилизации (транспедикулярная фиксация):

1. Лучшая визуализация в сравнении с дискэтомией при вентральном доступе, проявляющаяся в более широких углах операционного действия и возможности радикулолиза нервного корешка [68, 69, 72, 82, 83].
2. Возможность широкой декомпрессии и расширения объема операции. М.В. Хижняк и соавт. при сравнении межкостистой и транспедикулярной систем стабилизации доказали возможность увеличения объема операции за счет резекции суставных отростков, а следовательно, и большей декомпрессии нервных корешков в фораминальных отверстиях [84].
3. Возможность абляции фасеточных суставов диатермокоагуляцией. На этапе доступа хирург выделяет фасеточные суставы, как правило, обходя их с латеральной стороны с использованием диатермокоагуляции, что физически вызывает денервацию фасеточных суставов и нивелирует болевой синдром в послеоперационном периоде, связанный с раздражением капсулы сустава [85].
4. Надежность задней фиксации. Ряд авторов указывают на малый процент (менее 2%) несостоятельности металлоконструкции в виде переломов штанг и винтов, а также резорбции костной ткани вокруг винтов [10, 21, 86].
5. Привычные для нейрохирурга доступы с меньшей кривой обучения [87, 88].

Недостатки задней декомпрессии и стабилизации:

1. Сложность размещения и малая площадь опоры межтелового импланта. Ряд работ о сравнении методов имплантации кейджа из заднего доступа подчеркивают важность его точного позиционирования внутри межтелового пространства [89, 90].
2. Работа в рубцово измененных тканях [68].
3. Перегрузка смежного сегмента. Данный факт подтверждается множеством не только мультицентровых клинических [29], но и биомеханических исследований [31].

4. Необходимость смещения дурального мешка и корешков (доступ через позвоночный канал для межтелового спондилолиза приводит к эпидуральному фиброзу) [82, 91].
5. Высокий риск интраоперационной травмы дурального мешка и риск послеоперационной ликвореи [92, 93].
6. Частая необходимость фасетэктомии (значительной резекции задних опорных структур). Фасетэктомия нужна для профилактики ущемления нервного корешка в ме-

сте выхода из фораминального отверстия, где на фоне снижения высоты диска может встречаться комбинированный стеноз [94].

Таким образом, вопрос об оптимальном доступе к поясничному отделу позвоночника при вмешательствах по поводу рецидивов грыж диска является не до конца решенным и требует дальнейших исследований, в том числе с использованием новых оценивающих критериев и методов.

Список литературы

1. Быкова Е.В. Интраоперационная профилактика боли в спине после микродискэктомии: дис. ... канд. мед. наук. М.; 2009. 166 с.
2. Golob A.L., Wipf J.E. Low back pain. *Med Clin North Am* 2014; 98: 405–428. DOI: 10.1016/j.mcna.2014.01.003. PMID: 24758954.
3. Александрова Я.Ю. Остеохондроз позвоночника (прогнозирование и профилактика): автореф. дис. ...канд. мед. наук. Самара; 2000. 15 с.
4. Eliyas J.K., Karahalios D. Surgery for degenerative lumbar spine disease *Dis Mon* 2011; 57: 592–606. DOI: 10.1016/j.disamonth.2011.09.001. PMID: 22036115.
5. Guyer R.D., Thongtrangan I., Ohnmeiss D.D. Outcomes of CHARITE lumbar artificial disk versus fusion: 5-year data. *Semin Spine Surg* 2012; 24: 32–36. DOI: 10.1053/j.semss.2011.11.007.
6. Canbulat N., Sasani M., Ataker Y. et al. A rehabilitation protocol for patients with lumbar degenerative disk disease treated with lumbar total disk replacement. *Arch Phys Med Rehabil* 2011; 92: 670–676. DOI: 10.1016/j.apmr.2010.10.037. PMID: 21367399.
7. Louw A., Farrell K., Landers M. et al. The effect of manual therapy and neuroplasticity education on chronic low back pain: a randomized clinical trial. *J Man Manip Ther* 2017; 25: 227–234. DOI: 10.1080/10669817.2016.1231860. PMID: 29449764.
8. José-Antonio S.S., Baabor-Aqueveque M., Silva-Morales F. Philosophy and concepts of modern spine surgery *Acta Neurochir Suppl* 2011; 108: 23–31. DOI: 10.1007/978-3-211-99370-5_5. PMID: 21107934.
9. Bruffey J.D., Regan J., McMillan M. et al. *Update in minimally invasive spine (MIS) surgery: clinical examples of anatomy, indications, and surgical techniques.* Tucson, AZ: Center for advanced spinal surgery of Southern Arizona; 2011; 25–37.
10. Gornet M.F., Chan F.W., Coleman J.C. et al. Biomechanical assessment of a PEEK rod system for semi-rigid fixation of lumbar fusion constructs. *J Biomech Eng* 2011; 133: 081009. DOI: 10.1115/1.4004862. PMID: 21950902.
11. De lure F., Bosco G., Cappuccio M. et al. Posterior lumbar fusion by peck rods in degenerative spine: preliminary report on 30 cases. *Eur Spine J* 2012; 21: S50–S54. DOI: 10.1007/s00586-012-2219-x. PMID: 22402841.
12. Kotani Y., Abumi K., Ito M. et al. Mid-term clinical results of minimally invasive decompression and posterolateral fusion with percutaneous pedicle screws versus conventional approach for degenerative spondylolisthesis with spinal stenosis. *Eur Spine J* 2012; 21: 1171–1177. DOI: 10.1007/s00586-011-2114-x. PMID: 22173610.
13. Mobbs R.J., Sivabalan P., Li J. Technique, challenges and indications for percutaneous pedicle screw fixation. *J Clin Neurosci* 2011; 18:741–749. DOI: 10.1016/j.jocn.2010.09.019. PMID: 21514165.
14. von Jako R., Finn M.A., Yonemura K.S. et al. Minimally invasive percutaneous transpedicular screw fixation: increased accuracy and reduced radiation exposure by means of a novel electromagnetic navigation system. *Acta Neurochir (Wien)* 2011; 153: 589–596. DOI: 10.1007/s00701-010-0882-4. PMID: 28435606.
15. Stüer C., Ringel F., Stoffel M. et al. Robotic technology in spine surgery: current applications and future developments *Acta Neurochir (Wien)* 2011; 109: 241–245. DOI: 10.1007/978-3-211-99651-5_38. PMID: 20960350.
16. Эрдынеев К.Ц., Сороковиков В.А., Ларионов С.Н. Послеоперационный рубцово-спаечный эпидурит (обзор литературы). *Бюллетень ВСИЦ СО РАМН* 2011; (1–2): 243–246.
17. Кокина М.С., Филатова Е.Г. Анализ причин неудачного хирургического лечения пациентов с болью в спине. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика* 2011; (3): 30–34.
18. Bosscher H.A., Heavner J.E. Incidence and severity of epidural fibrosis after back surgery: an endoscopic study. *Pain Pract* 2010; 10: 18–24. DOI: 10.1111/j.1533-2500.2009.00311.x. PMID: 19735365.
19. Bundschuh C.V., Modic M.T., Ross J.S. et al. Epidural fibrosis and recurrent disk herniation in the lumbar spine: MR imaging assessment. *Am J Neuroradiol* 1988; 9: 169–178. DOI: 10.2214/ajr.150.4.923. PMID: 3258108.
20. Yoshimoto M., Iesato N., Terashima Y. et al. Long-term outcome of microendoscopic discectomy for lumbar disk herniation. A clinical study of consecutive 112 cases with more than 5-year follow-up. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg* 2017; 78: 446–452. DOI: 10.1055/s-0037-1598657. PMID: 28249307.

References

1. Bykova E.V. [Intraoperative prevention of pain in the back after microdiscectomy: PhD thesis]. Moscow; 2009. 166 p. (In Russ.)
2. Golob A.L., Wipf J.E. Low back pain. *Med Clin North Am* 2014; 98: 405–428. DOI: 10.1016/j.mcna.2014.01.003. PMID: 24758954.
3. Alexandrova Ya.Yu. [Osteochondrosis of the spine (prognosis and prevention): PhD thesis abstract]. Samara; 2000. 15 p. (In Russ.)
4. Eliyas J.K., Karahalios D. Surgery for degenerative lumbar spine disease *Dis Mon* 2011; 57: 592–606. DOI: 10.1016/j.disamonth.2011.09.001. PMID: 22036115.
5. Guyer R.D., Thongtrangan I., Ohnmeiss D.D. Outcomes of CHARITE lumbar artificial disk versus fusion: 5-year data. *Semin Spine Surg* 2012; 24: 32–36. DOI: 10.1053/j.semss.2011.11.007.
6. Canbulat N., Sasani M., Ataker Y. et al. A rehabilitation protocol for patients with lumbar degenerative disk disease treated with lumbar total disk replacement. *Arch Phys Med Rehabil* 2011; 92: 670–676. DOI: 10.1016/j.apmr.2010.10.037. PMID: 21367399.
7. Louw A., Farrell K., Landers M. et al. The effect of manual therapy and neuroplasticity education on chronic low back pain: a randomized clinical trial. *J Man Manip Ther* 2017; 25: 227–234. DOI: 10.1080/10669817.2016.1231860. PMID: 29449764.
8. José-Antonio S.S., Baabor-Aqueveque M., Silva-Morales F. Philosophy and concepts of modern spine surgery *Acta Neurochir Suppl* 2011; 108: 23–31. DOI: 10.1007/978-3-211-99370-5_5. PMID: 21107934.
9. Bruffey J.D., Regan J., McMillan M. et al. *Update in minimally invasive spine (MIS) surgery: clinical examples of anatomy, indications, and surgical techniques.* Tucson, AZ: Center for advanced spinal surgery of Southern Arizona; 2011; 25–37.
10. Gornet M.F., Chan F.W., Coleman J.C. et al. Biomechanical assessment of a PEEK rod system for semi-rigid fixation of lumbar fusion constructs. *J Biomech Eng* 2011; 133: 081009. DOI: 10.1115/1.4004862. PMID: 21950902.
11. De lure F., Bosco G., Cappuccio M. et al. Posterior lumbar fusion by peck rods in degenerative spine: preliminary report on 30 cases. *Eur Spine J* 2012; 21: S50–S54. DOI: 10.1007/s00586-012-2219-x. PMID: 22402841.
12. Kotani Y., Abumi K., Ito M. et al. Mid-term clinical results of minimally invasive decompression and posterolateral fusion with percutaneous pedicle screws versus conventional approach for degenerative spondylolisthesis with spinal stenosis. *Eur Spine J* 2012; 21: 1171–1177. DOI: 10.1007/s00586-011-2114-x. PMID: 22173610.
13. Mobbs R.J., Sivabalan P., Li J. Technique, challenges and indications for percutaneous pedicle screw fixation. *J Clin Neurosci* 2011; 18:741–749. DOI: 10.1016/j.jocn.2010.09.019. PMID: 21514165.
14. von Jako R., Finn M.A., Yonemura K.S. et al. Minimally invasive percutaneous transpedicular screw fixation: increased accuracy and reduced radiation exposure by means of a novel electromagnetic navigation system. *Acta Neurochir (Wien)* 2011; 153: 589–596. DOI: 10.1007/s00701-010-0882-4. PMID: 28435606.
15. Stüer C., Ringel F., Stoffel M. et al. Robotic technology in spine surgery: current applications and future developments *Acta Neurochir (Wien)* 2011; 109: 241–245. DOI: 10.1007/978-3-211-99651-5_38. PMID: 20960350.
16. Erdyneev K.Ts., Sorokovikov V.A., Lariонов S.N. [Postoperative cicatricial-adhesive epiduritis (review of literature)]. *Bulletin VSSC of SB RAMS* 2011; (1–2): 243–246. (In Russ.)
17. Kokina M.S., Filatova E.G. [Analysis of the causes of unsuccessful surgical treatment of patients with pain in the back]. *Nevrologiya, neyropsikhiatriya, psikhosomatika* 2011; (3): 30–34. (In Russ.)
18. Bosscher H.A., Heavner J.E. Incidence and severity of epidural fibrosis after back surgery: an endoscopic study. *Pain Pract* 2010; 10: 18–24. DOI: 10.1111/j.1533-2500.2009.00311.x. PMID: 19735365.
19. Bundschuh C.V., Modic M.T., Ross J.S. et al. Epidural fibrosis and recurrent disk herniation in the lumbar spine: MR imaging assessment. *Am J Neuroradiol* 1988; 9: 169–178. DOI: 10.2214/ajr.150.4.923. PMID: 3258108.
20. Yoshimoto M., Iesato N., Terashima Y. et al. Long-term outcome of microendoscopic discectomy for lumbar disk herniation. A clinical study of consecutive 112 cases with more than 5-year follow-up. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg* 2017; 78: 446–452. DOI: 10.1055/s-0037-1598657. PMID: 28249307.

21. Продан А.И., Перепечай О.И., Колесниченко В.А. и др. Осложнения хирургического лечения поясничного спинального стеноза. *Хирургия позвоночника* 2009; (1): 31–37.
22. Fan Y.F., Chong V.F., Tan S.K. Failed back surgery syndrome: differentiating epidural fibrosis and recurrent disc prolapse with Gd-DTPA enhanced MRI. *Singapore Med J* 1995; 36: 153–156. PMID: 7676258.
23. Yoshihara H., Chatterjee D., Paulino C.B., Errico T.J. Revision surgery for “real” recurrent lumbar disc herniation: a systematic review. *Clin Spine Surg* 2016; 29: 111–118. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000365. PMID: 27002374.
24. Bradford D.S., Cooper K.M., Oegema T.R.Jr. Chymopapain, chemonucleolysis, and nucleus pulposus regeneration. *J Bone Joint Surg Am* 1983; 65: 1220–1231. PMID: 6361035.
25. Laus M., Bertoni F., Bacchini P. et al. Recurrent lumbar disc herniation: what recurs? (A morphological study of recurrent disc herniation). *Chir Organi Mov* 1993; 78: 147–154. PMID: 8243133.
26. Risbud M.V., Guttapalli A., Tsai T.T. et al. Evidence for skeletal progenitor cells in the degenerate human intervertebral disc. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007; 32: 2537–2544. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318158dea6. PMID: 17978651.
27. Kuh S.U., Kwon Y.M., Chin D.K. et al. Different expression of extracellular matrix genes: primary vs. recurrent disc herniation. *J Korean Neurosurg Soc* 2010; 47: 26–29. DOI: 10.3340/jkns.2010.47.1.26. PMID: 20157374.
28. Griffon D., Hamaide A. (eds.) *Complications in small animal surgery*. Wiley Blackwell; 2016: 968 p.
29. Gomeksiz C., Sasani M., Oktenoglu T., Fahir Ozer A. A short history of posterior dynamic stabilization. *Adv Orthoped* 2012; 2012: 629–698. DOI: 10.1155/2012/629698. PMID: 23326674.
30. Афаунов А.А., Басанкин И.В., Кузьменко А.В. и др. Анализ причин ревизионных операций при хирургическом лечении больных с поясничными стенозами дегенеративной этиологии. *Хирургия позвоночника* 2014; (1): 86–93.
31. Lafage V., Gangnet N., SÉNÉGAS J. et al. New interspinous implant evaluation using an *in vitro* biomechanical study combined with a finite-element analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007; 32: 1706–1713. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3180b9f429. PMID: 17632390.
32. Park P., Garton H.J., Gala V.C. et al. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004; 29: 1938–1944. PMID: 15534420.
33. Resina J., Alves A.F. A technique of correction and internal fixation for scoliosis. *J Bone Joint Surg Br* 1977; 59: 159–165. PMID: 873976.
34. Luque E.R. The anatomic basis and development of segmental spinal instrumentation *Spine (Phila Pa 1976)* 1982; 7: 256–259. PMID: 7112238.
35. Harrington P.R., Tullos H.S. Reduction of severe spondylolisthesis in children. *South Med J* 1969; 62: 1–7. PMID: 5766428.
36. Briggs H., Milligan P.R. Chip fusion of the low back following exploration of the spinal canal. *J Bone Joint Surg* 1944; 26: 125–130.
37. Jaslow I.A. Intercorporeal bone graft in spinal fusion after disc removal. *Surg Gynecol Obstet* 1946; 82: 215–218. PMID: 21011710.
38. Cloward R.B. The treatment of ruptured lumbar intervertebral disc by vertebral body fusion indications, operative technique, aftercare. *J Neurosurg* 1953; 10: 154–168. DOI: 10.3171/jns.1953.10.2.0154. PMID: 13035484.
39. Stauffer R.N., Coventry M.B. Anterior interbody lumbar spine fusion. *J Bone Joint Surg Am* 1972; 54: 756–768. PMID: 4560076.
40. Bagby G.W. Arthrodesis by the distraction-compression method using a stainless steel implant. *Orthopedics* 1988; 11: 931–934. PMID: 3387340.
41. Корж А.А., Грунтовский Г.Х., Клепач Н.С., Филиппенко В.А. Наружная транспедикулярная коррекция и стабилизация при повреждении позвоночника. *Ортопедия и травматология* 1992; (3): 11–15.
42. Cloward R.B. The treatment of ruptured intervertebral discs by vertebral body fusion. Indications, operative technique, after care. *J Neurosurg* 1953; 10: 154–168. DOI: 10.3171/jns.1953.10.2.0154. PMID: 13035484.
43. Cloward R.B. Spondylolisthesis: Treatment by laminectomy and posterior lumbar interbody fusion. *Clin Orthop* 1981; 27: 74–82. PMID: 7471591.
44. Chiang M.F., Zhong Z.C., Chen C.S. et al. Biomechanical comparison of instrumented posterior lumbar interbody fusion with one or two cages by finite element analysis. *Spine* 2006; 31: E682–E689. DOI: 10.1097/01.brs.0000232714.72699.8e. PMID: 16946641.
45. Цивьян Я.Л. Переднеархальный внебрюшинный доступ к передним отделам поясничных позвонков в клинике. В кн.: *Лечение заболеваний и повреждений позвоночника*. Новосибирск: Кн. Изд-во; 1963: 60–61.
46. Цивьян Я.Л. Передний поясничный и пояснично-крестцовый спондилодез. *Вестник хирургии*; 1967; (7): 78–86.
47. Linson M.A., Williams H. Anterior and combined anteroposterior fusion for lumbar disc pain: a preliminary study. *Spine* 1991; 16: 143–145. PMID: 1707187.
48. Huang T.J., Hsu R.W., Liu H.P. et al. Technique of video-assisted thoracoscopic surgery for the spine new approach. *World J Surg* 1997; 21: 358–361. PMID: 9143564.
49. Guyer R.D., McAfee P.C., Banco R.J. et al. Prospective, randomized, multicenter Food and Drug Administration investigational device exemption study of lumbar total disc replacement with the CHARITÉ artificial disc versus lumbar fusion: Five-year follow-up. *Spine J* 2009; 9: 374–386. DOI: 10.1016/j.spinee.2008.08.007. PMID: 18805066.
50. Fernström U. Arthroplasty with intercorporeal endoprosthesis in herniated disc and in painful disc. *Acta Chir Scand Suppl* 1966; 357: 154–159. PMID: 5227072.
21. Prodan A.I., Perepchai O.I., Kolesnichenko V.A. et al. [Complications of surgical treatment of lumbar spinal stenosis]. *Khirurgiya pozvonochnika* 2009; (1): 31–37. (In Russ.)
22. Fan Y.F., Chong V.F., Tan S.K. Failed back surgery syndrome: differentiating epidural fibrosis and recurrent disc prolapse with Gd-DTPA enhanced MRI. *Singapore Med J* 1995; 36: 153–156. PMID: 7676258.
23. Yoshihara H., Chatterjee D., Paulino C.B., Errico T.J. Revision surgery for “real” recurrent lumbar disc herniation: a systematic review. *Clin Spine Surg* 2016; 29: 111–118. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000365. PMID: 27002374.
24. Bradford D.S., Cooper K.M., Oegema T.R.Jr. Chymopapain, chemonucleolysis, and nucleus pulposus regeneration. *J Bone Joint Surg Am* 1983; 65: 1220–1231. PMID: 6361035.
25. Laus M., Bertoni F., Bacchini P. et al. Recurrent lumbar disc herniation: what recurs? (A morphological study of recurrent disc herniation). *Chir Organi Mov* 1993; 78: 147–154. PMID: 8243133.
26. Risbud M.V., Guttapalli A., Tsai T.T. et al. Evidence for skeletal progenitor cells in the degenerate human intervertebral disc. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007; 32: 2537–2544. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318158dea6. PMID: 17978651.
27. Kuh S.U., Kwon Y.M., Chin D.K. et al. Different expression of extracellular matrix genes: primary vs. recurrent disc herniation. *J Korean Neurosurg Soc* 2010; 47: 26–29. DOI: 10.3340/jkns.2010.47.1.26. PMID: 20157374.
28. Griffon D., Hamaide A. (eds.) *Complications in small animal surgery*. Wiley Blackwell; 2016: 968 p.
29. Gomeksiz C., Sasani M., Oktenoglu T., Fahir Ozer A. A short history of posterior dynamic stabilization. *Adv Orthoped* 2012; 2012: 629–698. DOI: 10.1155/2012/629698. PMID: 23326674.
30. Афаунов А.А., Басанкин И.В., Кузьменко А.В. [Analysis of the causes of revision operations in the surgical treatment of patients with lumbar stenoses of degenerative etiology]. *Khirurgiya pozvonochnika* 2014; (1): 86–93. (In Russ.)
31. Lafage V., Gangnet N., SÉNÉGAS J. et al. New interspinous implant evaluation using an *in vitro* biomechanical study combined with a finite-element analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007; 32: 1706–1713. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3180b9f429. PMID: 17632390.
32. Park P., Garton H.J., Gala V.C. et al. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004; 29: 1938–1944. PMID: 15534420.
33. Resina J., Alves A.F. A technique of correction and internal fixation for scoliosis. *J Bone Joint Surg Br* 1977; 59: 159–165. PMID: 873976.
34. Luque E.R. The anatomic basis and development of segmental spinal instrumentation *Spine (Phila Pa 1976)* 1982; 7: 256–259. PMID: 7112238.
35. Harrington P.R., Tullos H.S. Reduction of severe spondylolisthesis in children. *South Med J* 1969; 62: 1–7. PMID: 5766428.
36. Briggs H., Milligan P.R. Chip fusion of the low back following exploration of the spinal canal. *J Bone Joint Surg* 1944; 26: 125–130.
37. Jaslow I.A. Intercorporeal bone graft in spinal fusion after disc removal. *Surg Gynecol Obstet* 1946; 82: 215–218. PMID: 21011710.
38. Cloward R.B. The treatment of ruptured lumbar intervertebral disc by vertebral body fusion indications, operative technique, aftercare. *J Neurosurg* 1953; 10: 154–168. DOI: 10.3171/jns.1953.10.2.0154. PMID: 13035484.
39. Stauffer R.N., Coventry M.B. Anterior interbody lumbar spine fusion. *J Bone Joint Surg Am* 1972; 54: 756–768. PMID: 4560076.
40. Bagby G.W. Arthrodesis by the distraction-compression method using a stainless steel implant. *Orthopedics* 1988; 11: 931–934. PMID: 3387340.
41. Korzh A.A., Gruntovsky G.Kh., Klepach N.S., Filippenko V.A. [External transpedicular correction and stabilization in spine injuries]. *Ortopediya i travmatologiya* 1992; (3): 11–15. (In Russ.)
42. Cloward R.B. The treatment of ruptured intervertebral discs by vertebral body fusion. Indications, operative technique, after care. *J Neurosurg* 1953; 10: 154–168. DOI: 10.3171/jns.1953.10.2.0154. PMID: 13035484.
43. Cloward R.B. Spondylolisthesis: Treatment by laminectomy and posterior lumbar interbody fusion. *Clin Orthop* 1981; 27: 74–82. PMID: 7471591.
44. Chiang M.F., Zhong Z.C., Chen C.S. et al. Biomechanical comparison of instrumented posterior lumbar interbody fusion with one or two cages by finite element analysis. *Spine* 2006; 31: E682–E689. DOI: 10.1097/01.brs.0000232714.72699.8e. PMID: 16946641.
45. Tsiyvan Ya.L. [Anterior non-peritoneal access to the anterior lumbar vertebrae in the clinic]. In: *Lecheniye zabolovaniy i povrezhdeniy pozvonochnika* [Treatment of diseases and injuries of the spine]. Novosibirsk: Kn. isd-vo; 1963: 60–61. (In Russ.)
46. Tsiyvan Ya.L. [Anterior lumbar and lumbosacral spondylodesis]. *Vestnik khirurgii*; 1967; (7): 78–86. (In Russ.)
47. Linson M.A., Williams H. Anterior and combined anteroposterior fusion for lumbar disc pain: a preliminary study. *Spine* 1991; 16: 143–145. PMID: 1707187.
48. Huang T.J., Hsu R.W., Liu H.P. et al. Technique of video-assisted thoracoscopic surgery for the spine new approach. *World J Surg* 1997; 21: 358–361. PMID: 9143564.
49. Guyer R.D., McAfee P.C., Banco R.J. et al. Prospective, randomized, multicenter Food and Drug Administration investigational device exemption study of lumbar total disc replacement with the CHARITÉ artificial disc versus lumbar fusion: Five-year follow-up. *Spine J* 2009; 9: 374–386. DOI: 10.1016/j.spinee.2008.08.007. PMID: 18805066.
50. Fernström U. Arthroplasty with intercorporeal endoprosthesis in herniated disc and in painful disc. *Acta Chir Scand Suppl* 1966; 357: 154–159. PMID: 5227072.

51. Szpalski M., Gunzburg R., Mayer M. Spine arthroplasty: a historical review. *Eur Spine J* 2002; 11: S65–S84. DOI: 10.1007/s00586-002-0474-y. PMID: 12384726.
52. Gunzburg R., Mayer H.M., Szpalski M., Aebi M. Arthroplasty of the spine: the long quest for mobility. In: Gunzburg R., Mayer H.M., Szpalski M., Aebi M. (eds.) *Arthroplasty of the spine*. Berlin: Springer-Verlag; 2004: 1–2.
53. Boos N., Aebi M. Spinal disorders: fundamentals of diagnosis and treatment: Springer; 2008; 1165. DOI: 10.1007/978-3-540-69091-7.
54. Yue J.J., An H.S., McAfee P.C. et al. Motion preservation surgery of the spine: advanced techniques and controversies. *Am J Neuroradiol* 2009; 30: E134. DOI: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1707>.
55. Цивьян Я.Л., Мотов В.П. Оперативное лечение поясничных межпозвоноковых остеохондрозов. В кн.: *Вопросы патологии позвоночника, травматологии и ортопедии*. Новосибирск; 1965: 30–34.
56. Савченко П.А., Пюнттер В.Э., Фомичев Н.Г. и др. *Протез межпозвонокового диска*: Патент на изобретение RU2140229 от 25.02.1998.
57. Mayer H.M., Wiechert K., Korge A. et al. Minimally invasive total disc replacement: surgical technique and preliminary clinical results. *Eur Spine J* 2002; 11: S124–S130. DOI: 10.1007/s00586-002-0446-2. PMID: 12384733.
58. Шмырев В.И., Шевелев И.Н., Васильев П.П. Клинико-нейровизуализационные сопоставления и комплексное лечение компрессионных радикулопатий при поясничном остеохондрозе. *Неврологический журнал* 1999; (1): 21–26.
59. Coric D., Mummaneni P.V. Nucleus replacement technologies. *J Neurosurg Spine* 2008; 8: 115–120. DOI: 10.3171/SPI/2008/8/2/115. PMID: 18248282.
60. Wilke H.J. Principles and mechanical requirements of nucleus implants. *Global Spine J* 2014; 4(1) DOI: 10.1055/s-0034-1376762.
61. Lee M.J., Dumonski M., Phillips F.M. Disc replacement adjacent to cervical fusion: a biomechanical comparison of hybrid construct versus two-level fusion. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011; 36: 1932–1939. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181fca1aff. PMID: 21289581.
62. Glenn J.S., Yaker J., Guyer R.D., Ohnmeiss D.D. Anterior discectomy and total disc replacement for three patients with multiple recurrent lumbar disc herniations. *Spine J* 2011; 11: e1–e6. DOI: 10.1016/j.spinee.2011.07.030. PMID: 21907631.
63. Глухих Д.Л. Результаты артропластики при дегенеративных поражениях поясничного отдела позвоночника. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко* 2015; 79(1): 68–74. DOI: 10.17116/neiro201579168-74.
64. Kirkham B.W., Schwender J.D. Lumbar intervertebral cages: limitations and complications. *Operative Techniques in Orthopaedics*. 2000; 10: 320–4. DOI: 10.1016/S1048-6666(00)80032-4.
65. Cunningham B.W., Lowery G.L., Serhan H.A. Total disc replacement arthroplasty using the AcroFlex lumbar disc: a non-human primate model. *Eur Spine J* 2002; 11: S115–S123. DOI: 10.1007/s00586-002-0481-z. PMID: 12384732.
66. Bertagnoli R., Yue J.J., Kershaw T. et al. Lumbar total disc arthroplasty utilizing the ProDisc prosthesis in smokers versus nonsmokers: a prospective study with 2-year minimum follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006; 31: 992–997. DOI: 10.1097/01.brs.0000214970.07626.68. PMID: 16641775.
67. Bertagnoli R., Yue J.J., Nanieva R. et al. Lumbar total disc arthroplasty in patients older than 60 years of age: A prospective study of the ProDisc prosthesis with 2-year minimum follow-up period. *J Neurosurg Spine* 2006; 4: 85–90. DOI: 10.3171/spi.2006.4.2.85. PMID: 16506473.
68. Доценко В.В. Повторные операции при дегенеративных заболеваниях позвоночника. *Хирургия позвоночника* 2004; (4): 63–67.
69. Загородний Н.В., Доценко В.В., Сампиев М.Т. Минимально инвазивный передний доступ в хирургию дегенеративного стеноза поясничного отдела позвоночника. *Вестник Российского университета дружбы народов* 2003; (2): 113–117.
70. Linson M.A., Williams H. Anterior and combined anteroposterior fusion for lumbar disc pain: a preliminary study. *Spine (Phila Pa 1976)* 1991; 16: 143–145. PMID: 1707187.
71. Zdeblick T.A. A prospective, randomized study of lumbar fusion: preliminary results. *Spine (Phila Pa 1976)* 1993; 18: 983–991. PMID: 8367786.
72. Mayer H.M. A new microsurgical technique for minimally invasive anterior lumbar interbody. *Spine (Phila Pa 1976)* 1997; 22: 691–699; discussion 700. PMID: 9089943.
73. Ломатидзе Е.Ш., Доценко В.В., Вознесенская Н.Н. История развития малоинвазивной хирургии передних отделов позвоночника на поясничном уровне. *Астраханский медицинский журнал* 2013; 8(1): 142–149.
74. Kim S.M., Lim T.J., Paterno J. et al. Biomechanical comparison: stability of lateral-approach anterior lumbar interbody fusion and lateral fixation compared with anterior-approach anterior lumbar interbody fusion and posterior fixation in the lower lumbar spine. *J Neurosurg Spine* 2005; 2: 62–68. DOI: 10.3171/spi.2005.2.1.0062. PMID: 15658128.
75. Huang T.J., Hsu R.W., Liu H.P. et al. Technique of video-assisted thoracoscopic surgery for the spine new approach. *World J Surg* 1997; 21: 358–362. PMID: 9143564.
76. Regan J.J., Aronoff R.J., Ohnmeiss D.D., Sengupta D.K. Laparoscopic approach to L4–L5 for interbody fusion using BAK cages: experience in the first 58 cases. *Spine (Phila Pa 1976)* 1999; 24: 2171–2174. PMID: 10543017.
77. Boswell M.V., Shah R.V., Everett C.R. et al. Interventional techniques in the management of chronic spinal pain: evidencebased practice guidelines. *Pain Phys* 2005; 8: 1–47. PMID: 16850041.
51. Szpalski M., Gunzburg R., Mayer M. Spine arthroplasty: a historical review. *Eur Spine J* 2002; 11: S65–S84. DOI: 10.1007/s00586-002-0474-y. PMID: 12384726.
52. Gunzburg R., Mayer H.M., Szpalski M., Aebi M. Arthroplasty of the spine: the long quest for mobility. In: Gunzburg R., Mayer H.M., Szpalski M., Aebi M. (eds.) *Arthroplasty of the spine*. Berlin: Springer-Verlag; 2004: 1–2.
53. Boos N., Aebi M. Spinal disorders: fundamentals of diagnosis and treatment: Springer; 2008; 1165. DOI: 10.1007/978-3-540-69091-7.
54. Yue J.J., An H.S., McAfee P.C. et al. Motion preservation surgery of the spine: advanced techniques and controversies. *Am J Neuroradiol* 2009; 30: E134. DOI: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1707>.
55. Tsivyan Ya.L., Motov V.P. [Operative treatment of lumbar intervertebral osteochondrosis]. In: *Voprosy patologii pozvonochnika, travmatologii i ortopedii* [Questions of pathology of the spine, traumatology and orthopedics]. Novosibirsk; 1965: 30–34. (In Russ.)
56. Savchenko P.A., Gyunther V.E., Fomichev N.G. *Protez mezhpozvonkovogo diska* [Prosthesis of the intervertebral disc]: Patent for invention RU2140229, 25.02.1998. (In Russ.)
57. Mayer H.M., Wiechert K., Korge A. et al. Minimally invasive total disc replacement: surgical technique and preliminary clinical results. *Eur Spine J* 2002; 11: S124–S130. DOI: 10.1007/s00586-002-0446-2. PMID: 12384733.
58. Shmyrev V.I., Shevelev I.N., Vasiliev P.P. [Clinico-neuroimaging comparisons and complex treatment of compression radiculopathy in lumbar osteochondrosis]. *Neurologicheskiy zhurnal* 1999; (1): 21–26. (In Russ.)
59. Coric D., Mummaneni P.V. Nucleus replacement technologies. *J Neurosurg Spine* 2008; 8: 115–120. DOI: 10.3171/SPI/2008/8/2/115. PMID: 18248282.
60. Wilke H.J. Principles and mechanical requirements of nucleus implants. *Global Spine J* 2014; 4(1) DOI: 10.1055/s-0034-1376762.
61. Lee M.J., Dumonski M., Phillips F.M. Disc replacement adjacent to cervical fusion: a biomechanical comparison of hybrid construct versus two-level fusion. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011; 36: 1932–1939. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181fca1aff. PMID: 21289581.
62. Glenn J.S., Yaker J., Guyer R.D., Ohnmeiss D.D. Anterior discectomy and total disc replacement for three patients with multiple recurrent lumbar disc herniations. *Spine J* 2011; 11: e1–e6. DOI: 10.1016/j.spinee.2011.07.030. PMID: 21907631.
63. Glukhikh D.L. [Results of arthroplasty in degenerative lesions of the lumbar spine]. *Voprosy neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko* 2015; 79(1): 68–74. DOI: 10.17116/neiro201579168-74. (In Russ.)
64. Kirkham B.W., Schwender J.D. Lumbar intervertebral cages: limitations and complications. *Operative Techniques in Orthopaedics*. 2000; 10: 320–4. DOI: 10.1016/S1048-6666(00)80032-4.
65. Cunningham B.W., Lowery G.L., Serhan H.A. Total disc replacement arthroplasty using the AcroFlex lumbar disc: a non-human primate model. *Eur Spine J* 2002; 11: S115–S123. DOI: 10.1007/s00586-002-0481-z. PMID: 12384732.
66. Bertagnoli R., Yue J.J., Kershaw T. et al. Lumbar total disc arthroplasty utilizing the ProDisc prosthesis in smokers versus nonsmokers: a prospective study with 2-year minimum follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006; 31: 992–997. DOI: 10.1097/01.brs.0000214970.07626.68. PMID: 16641775.
67. Bertagnoli R., Yue J.J., Nanieva R. et al. Lumbar total disc arthroplasty in patients older than 60 years of age: A prospective study of the ProDisc prosthesis with 2-year minimum follow-up period. *J Neurosurg Spine* 2006; 4: 85–90. DOI: 10.3171/spi.2006.4.2.85. PMID: 16506473.
68. Dotsenko V.V. [Repeated operations with degenerative diseases of the spine]. *Khirurgiya pozvonochnika* 2004; (4): 63–67. (In Russ.)
69. Zagorodni N.V., Dotsenko N.V., Sampiev M.T. [Minimally invasive fore access in the surgery of degenerative stenosis of the lumbar spine]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov* 2003; (2): 113–117. (In Russ.)
70. Linson M.A., Williams H. Anterior and combined anteroposterior fusion for lumbar disc pain: a preliminary study. *Spine (Phila Pa 1976)* 1991; 16: 143–145. PMID: 1707187.
71. Zdeblick T.A. A prospective, randomized study of lumbar fusion: preliminary results. *Spine (Phila Pa 1976)* 1993; 18: 983–991. PMID: 8367786.
72. Mayer H.M. A new microsurgical technique for minimally invasive anterior lumbar interbody. *Spine (Phila Pa 1976)* 1997; 22: 691–699; discussion 700. PMID: 9089943.
73. Lomatidze E.Sh., Dotsenko V.V., Voznesenskaya N.N. [The history of development of minimally invasive surgery of the anterior spine at the lumbar level]. *Astrakhanskiy meditsinskiy zhurnal* 2013; 8(1): 142–149. (In Russ.)
74. Kim S.M., Lim T.J., Paterno J. et al. Biomechanical comparison: stability of lateral-approach anterior lumbar interbody fusion and lateral fixation compared with anterior-approach anterior lumbar interbody fusion and posterior fixation in the lower lumbar spine. *J Neurosurg Spine* 2005; 2: 62–68. DOI: 10.3171/spi.2005.2.1.0062. PMID: 15658128.
75. Huang T.J., Hsu R.W., Liu H.P. et al. Technique of video-assisted thoracoscopic surgery for the spine new approach. *World J Surg* 1997; 21: 358–362. PMID: 9143564.
76. Regan J.J., Aronoff R.J., Ohnmeiss D.D., Sengupta D.K. Laparoscopic approach to L4–L5 for interbody fusion using BAK cages: experience in the first 58 cases. *Spine (Phila Pa 1976)* 1999; 24: 2171–2174. PMID: 10543017.
77. Boswell M.V., Shah R.V., Everett C.R. et al. Interventional techniques in the management of chronic spinal pain: evidencebased practice guidelines. *Pain Phys* 2005; 8: 1–47. PMID: 16850041.

78. Hacker R.J. Comparison of interbody fusion approaches for disabling low back. *Spine (Phila Pa 1976)* 1997; 22: 660–665; discussion 665–666. PMID: 9089939.
79. McGlynn E.A. Six challenges in measuring the quality of health care. *Health Aff (Millwood)* 1997; 16: 7–21. PMID: 9141316.
80. Холодов С.А. Микрохирургическое лечение многоуровневых дискогенных поражений поясничного отдела позвоночника. *Вопросы нейрохирургии* 2001; (3): 6–10.
81. Narotam P.K., Pauley S.M., McGinn G.J. Titanium mesh cages for cervical spine stabilization after corpectomy: a clinical and radiological study. *J Neurosurg* 2003; 99: 172–180. PMID: 12956460.
82. Исаева Н.В., Дралюк М.Г. Современный взгляд на клиническое значение эпидурального фиброза после поясничных дискэктомий. *Хирургия позвоночника* 2010; (1): 38–45. DOI: 10.14531/ss2010.1.38-45.
83. Mayer H.M. The ALIF concept. *Eur Spine J* 2000; 9: S35–S43. PMID: 10766056.
84. Хижняк М.В., Новакович К.С. Хирургическое лечение рецидивов грыж межпозвонковых дисков поясничного отдела позвоночника с применением систем межостистой стабилизации. *Медицинский журнал* 2013; (2): 151–152.
85. Певзнер К.Б., Егоров О.Е., Евзиков Г.Ю., Розен А.И. Чрескожная высокочастотная деструкция дугоотростчатых суставов в лечении постдискэктомического синдрома на поясничном уровне. *Хирургия позвоночника* 2007; (3): 45–48.
86. Симонович А.Е. Хирургическое лечение дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника с использованием инструментария DYNESYS для транспедикулярной динамической фиксации. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова* 2005; (2): 11–15.
87. Tsantrizos A., Andreou A., Aebi M., Steffen T. Biomechanical stability of five stand-alone anterior lumbar interbody fusion constructs. *Eur Spine J* 2000; 9: 14–22. PMID: 10766072.
88. Weinstein J.N., Lurie J.D., Tosteson T.D. et al. Surgical versus nonoperative treatment for lumbar disc herniation: four-year results for the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT). *Spine (Phila Pa 1976)* 2008; 33: 2789–2800. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31818ed8f4. PMID: 19018250.
89. Крутько А.В. Сравнительный анализ результатов заднего межтелового спондилодеза (PLIF) и трансфораминального межтелового спондилодеза (TLIF) в сочетании с транспедикулярной фиксацией. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова* 2012; (2): 12–21.
90. Chiang M.F., Zhong Z.C., Chen C.S. et al. Biomechanical comparison of instrumented posterior lumbar interbody fusion with one or two cages by finite element analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006; 31: E682–E689. DOI: 10.1097/01.brs.0000232714.72699.8e. PMID: 16946641.
91. Завьялов Д.М., Перетечиков А.В. Профилактика и лечение послеоперационного рубцово-спаечного эпидурита. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко* 2016; 80: 115–117. DOI: 10.17116/neiro2016806115-117.
92. Бердюгин К.А., Каренин М.С. Осложнения транспедикулярной фиксации позвоночника и их профилактика. *Фундаментальные исследования*. 2010; (9): 61–71.
93. Пасков Р.В., Плющенко Д.С., Сергеев К.С. и др. Лечение инфекционного осложнения после транспедикулярной фиксации: случай из практики и анализ современного состояния проблемы. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2013; (4): 60–63.
94. Клишин Д.Н., Древал О.Н., Кузнецов А.В. Топографо-анатомические особенности обоснования хирургического лечения грыж межпозвонковых дисков верхнепоясничного уровня. *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова*. 2012; 4(1): 16–21.
78. Hacker R.J. Comparison of interbody fusion approaches for disabling low back. *Spine (Phila Pa 1976)* 1997; 22: 660–665; discussion 665–666. PMID: 9089939.
79. McGlynn E.A. Six challenges in measuring the quality of health care. *Health Aff (Millwood)* 1997; 16: 7–21. PMID: 9141316.
80. Kholodov S.A. [Microsurgical treatment of multilevel discogenic lesions of the lumbar spine]. *Voprosy neyrokhirurgii* 2001; (3): 6–10. (In Russ.)
81. Narotam P.K., Pauley S.M., McGinn G.J. Titanium mesh cages for cervical spine stabilization after corpectomy: a clinical and radiological study. *J Neurosurg* 2003; 99: 172–180. PMID: 12956460.
82. Isaeva N.V., Dralyuk M.G. [A modern view of the clinical importance of epidural fibrosis after lumbar discectomy]. *Khirurgiya pozvonochnika* 2010; (1): 38–45. DOI: 10.14531/ss2010.1.38-45. (In Russ.)
83. Mayer H.M. The ALIF concept. *Eur Spine J* 2000; 9: S35–S43. PMID: 10766056.
84. Khizhnyak M.V., Novakovich K.S. [Surgical treatment of recurrences of herniated intervertebral discs of the lumbar spine with the use of interstitial stabilization systems]. *Meditsinskiy zhurnal* 2013; (2): 151–152. (In Russ.)
85. Pevzner K.B., Egorov O.E., Evzikov G.Yu., Rozen A.I. [Percutaneous high-frequency destruction of arcuate joints in the treatment of postdiscectomy syndrome at the lumbar level]. *Khirurgiya pozvonochnika* 2007; (3): 45–48. (In Russ.)
86. Simonovich A.E. [Surgical treatment of degenerative lesions of the lumbar spine using DYNESYS instrumentation for transpedicular dynamic fixation]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* 2005; (2): 11–15. (In Russ.)
87. Tsantrizos A., Andreou A., Aebi M., Steffen T. Biomechanical stability of five stand-alone anterior lumbar interbody fusion constructs. *Eur Spine J* 2000; 9: 14–22. PMID: 10766072.
88. Weinstein J.N., Lurie J.D., Tosteson T.D. et al. Surgical versus nonoperative treatment for lumbar disc herniation: four-year results for the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT). *Spine (Phila Pa 1976)* 2008; 33: 2789–2800. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31818ed8f4. PMID: 19018250.
89. Krut'ko A.V. [Comparative analysis of the results of posterior interbody fusion (PLIF) and transforaminal interbody fusion (TLIF) in combination with transpedicular fixation]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* 2012; (2): 12–21. (In Russ.)
90. Chiang M.F., Zhong Z.C., Chen C.S. et al. Biomechanical comparison of instrumented posterior lumbar interbody fusion with one or two cages by finite element analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006; 31: E682–E689. DOI: 10.1097/01.brs.0000232714.72699.8e. PMID: 16946641.
91. Zavyalov D.M., Peretechikov A.V. [Prevention and treatment of postoperative cicatricial-adhesive epiduritis]. *Voprosy neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko* 2016; 80: 115–117. DOI: 10.17116/neiro2016806115-117. (In Russ.)
92. Berdyugin K.A., Karenin M.S. [Complications of transpedicular fixation of the spine and their prevention]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2010; (9): 61–71. (In Russ.)
93. Pas'kov R.V., Plushenko D.S., Sergeev K.S. et al. [Treatment of an infectious complication after transpedicular fixation: a case from practice and an analysis of the current state of the problem]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2013; (4): 60–63. (In Russ.)
94. Klislin D.N., Dreval' O.N., Kuznetsov A.V. [Topographical and anatomical features of the substantiation of surgical treatment of herniated intervertebral discs of the upper lumbar level]. *Rossiyskiy neyrokhirurgicheskiy zhurnal im. professora A.L. Polenova*. 2012; 4(1): 16–21. (In Russ.)

Информация об авторах: Шнякин Павел Геннадьевич – д.м.н., зав. каф. травматологии, ортопедии и нейрохирургии с курсом последипломного образования ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, главный нейрохирург Министерства здравоохранения Красноярского края, Красноярск, Россия;
Ботов Антон Витальевич – врач-нейрохирург отделения нейрохирургии КГБУЗ «Краевая клиническая больница», Красноярск, Россия;

Амельченко Андрей Андреевич – ординатор кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии с курсом последипломного образования ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Россия

Information about the authors: Pavel G. Shnyakin, Dr. Sci. (Med.), Head of Department of traumatology, orthopedics and neurosurgery with a postgraduate training course, Prof. V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Chief Neurosurgeon of the Ministry of Health of the Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk, Russia;
Anton V. Botov, neurosurgeon, Department of neurosurgery, Regional Clinical Hospital, Krasnoyarsk, Russia;
Andrey A. Amelchenko, resident physician, Department of traumatology, orthopedics and neurosurgery with a postgraduate training course, Prof. V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia