

ПРОФИЛАКТИКА РЕЦИДИВОВ ГРЫЖ МЕЖПОЗВОНКОВЫХ ДИСКОВ ПОСЛЕ ПОЯСНИЧНОЙ МИКРОДИСК- И СЕКВЕСТРЭКТОМИИ

Макаров С.А.*¹, Аганесов А.Г.¹, Алексанян М.М.¹, Демина В.А.²

DOI: 10.25881/20728255_2024_19_3_136

¹ ГНЦ РФ ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», Москва

² НИЦ «Курчатовский институт», Москва

Резюме. Обоснование: Дегенеративно-дистрофические заболевания поясничного отдела позвоночника в России занимают третье место среди причин хирургического лечения. Грыжи межпозвонковых дисков являются самым распространенным дегенеративным заболеванием поясничного отдела, вызывающим боли в нижней части спины и корешковые симптомы в нижних конечностях. Поясничная микродискэктомия стала одной из самых распространенных операций на позвоночнике в мире. В различных мировых исследованиях приводятся данные о наличии рецидивов заболевания после операции от 1,1 до 27,3%. Рецидивы грыж межпозвонковых дисков являются одной из главных причин ревизионных операций в спинальной хирургии. Цель: проанализировать частоту и причины возникновения рецидивов грыж межпозвонковых дисков после микродиск- и секвестрэктомии по данным литературы, что позволит улучшить результаты хирургического лечения и снизить количество рецидивов.

Материалы и методы. Поиск литературных источников проведен в базах PubMed, eLibrary по следующим ключевым словам: рецидив грыжи межпозвонкового диска, дефект фиброзного кольца, протез фиброзного кольца, lumbar disc reoperation, annulus fibrosus defects, annulus fibrosus prosthesis. Были проанализированы устройства, способы, которые использовались ранее или используются сейчас, сформулированы требования, которыми, на наш взгляд, должен обладать имплант. Глубина поиска составила более 20 лет (2002–2023 гг.). В результате поиска найдено и проанализировано 62 статьи.

Результаты и обсуждение. Наиболее полно снизить количество рецидивов заболевания возможно только с помощью механического препятствия выхода регенерата или вещества межпозвонкового диска в позвоночный канал путём укрытия интраоперационного дефекта фиброзного кольца. Исходя из этого, мы пришли к выводу, что в настоящее время нет устройства, которое бы отвечало всем требованиям. Время деградации импланта должно совпадать с процессом регенерации фиброзного кольца, чтобы обеспечить правильное ремоделирование ткани. Изменение механических свойств импланта в результате деградации должно сохранять совместимость с процессом репарации и регенерации. Ну и наконец имплант должен способствовать восстановлению нормальной биомеханики позвоночника: восстановление высоты МПД; правильное распределения нагрузки на все участки МПД; восстановление физиологического объёма движений, лордоза; достижение сагиттального баланса.

Заключение. На основании анализа данных мировой литературы нами начата разработка биосовместимого биodeградируемого устройства для заполнения полости межпозвонкового диска и закрытия дефекта в области фиброзного кольца после секвестр- и микродискэктомии для восстановления биомеханики позвоночно-двигательного сегмента в поясничном отделе позвоночника, для устранения послеоперационных рецидивов. В настоящее время РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского совместно с НИЦ «Курчатовский институт» проводятся лабораторные испытания опытных образцов для изучения статических свойств материалов и выбора наиболее подходящего.

Ключевые слова: рецидивы грыж межпозвонковых дисков, микродискэктомия, секвестрэктомия, фиброзное кольцо.

Введение

Межпозвонковые диски (МПД) имеют сложную структуру, обеспечивающую биомеханику позвоночно-двигательного сегмента. МПД состоит из пульпозного ядра – неравномерной сетки фибрилл коллагена II с осмо-

PREVENTION OF RECURRENT DISC HERNIATION AFTER LUMBAR MICRODISCECTOMY AND SEQUESTRECTOMY

Makarov S.A.*¹, Aganesov A.G.¹, Alexanyan M.M.¹, Demina V.A.²

¹ Petrovsky Russian Research Center of Surgery, Moscow

² Kurchatov Institute, Moscow

Abstract. Introduction: Degenerative and dystrophic diseases of the lumbar spine in Russia rank 5th among the causes of hospitalization and 3rd among the causes of surgical treatment. Herniated discs are the most common degenerative disease of the lumbar spine causing low back pain and radicular symptoms in the lower extremities. Lumbar microdiscectomy has become one of the most common spinal surgeries. Various worldwide studies cite a postoperative recurrence rate ranging from 1.1% to 27.3%. Recurrences of herniated discs are one of the main reasons for revision surgeries in spinal surgery. Also in a number of cases, radicular pain syndrome persists after microdiscectomy, which may be associated with biochemical changes in the intervertebral disc. Through the annular defect inflammatory mediators (interleukins), cytokines and chemical agents are released from the pulposus nucleus, which cause irritation of the spinal ganglion and nerve root. Purpose of the study: to analyze the frequency and causes of recurrence of herniated discs after microdiscectomy and sequestrectomy according to the literature, which will allow us to develop a device to reduce the number of recurrences.

Materials and methods: we searched available literature sources, including PubMed and eLibrary databases, for the following keywords: «recurrence of disc herniation», «annulus fibrosus defect», «annulus fibrosus prosthesis», «lumbar disc reoperation», «annulus fibrosus defects», «annulus fibrosus prosthesis». The depth of the search was more than 20 years (2002–2023). As a result of the search, 108 articles were found and analyzed.

Results: In our opinion and according to the literature, the most complete reduction in the number of disease recurrences is possible only with the help of mechanical obstruction of regenerate or intervertebral disc substance exit into the spinal canal by covering the intraoperative defect of the annulus fibrosus. We analyzed the devices, methods that were used earlier or are used now, formulated the requirements that, in our opinion, the implant should possess. Based on this, we came to the conclusion that at present there is no device that meets all the requirements. The time of implant degradation should coincide with the process of fibrous ring regeneration to ensure proper tissue remodeling. The change in the mechanical properties of the implant as a result of degradation must remain compatible with the repair and regeneration process. Finally, the implant should contribute to the restoration of normal spine biomechanics: restoration of IVD height; correct distribution of load on all areas of the IVD; restoration of physiologic volume of movement, lordosis; achievement of sagittal balance.

Conclusion: Based on the analysis of the world literature data, we started to develop a biocompatible biodegradable device for filling the intervertebral disc cavity and closing the defect in the area of the annulus fibrosus after sequestrum and microdiscectomy to restore the biomechanics of the vertebral-motor segment in the lumbar spine and to eliminate postoperative recurrences. At present, the FGBNU «Petrovsky RRCS» together with SIC «Kurchatov Institute» are conducting laboratory tests of prototypes to study the static properties of materials and select the most suitable one.

Keywords: recurrent disc herniation, microdiscectomy, sequestrectomy, annulus fibrosus.

тическим давлением набухания, создаваемым большим количеством протеогликана агрекана, агрегированного с цепочками гиалуронана. Она окружена кольцевым фиброзом – волокнами коллагена I, ориентированными под косыми углами в гетерогенной структуре в отдельных ла-

* e-mail: makarov.spine@gmail.com

мелях, причем в каждой последующей ламели коллагеновые волокна укладываются под чередующимися косыми углами, образуя угловато-слоистую архитектуру [1; 2].

Дегенеративные изменения в МПД приводят к потере гидратации в пульпозном ядре, уменьшая высоту МПД. Фиброзное кольцо становится объектом постоянных механических воздействий, вследствие чего в нем развиваются патологические изменения: дезорганизация нормальной слоистой структуры в результате повреждения коллагенового матрикса, что приводит к возникновению трещин и разрывов фиброзного кольца. При развитии таких изменений МПД становится уязвимым для разрушающего воздействия биомеханических влияний, возникающих в условиях нагрузок и усилий человека при его нормальной активности. В результате уменьшения давления в диске напряженность волокон фиброзного кольца уменьшается, нарушаются фиксационные свойства диска, появляется патологическая подвижность в позвоночно-двигательном сегменте, вызывая в том числе смещение пульпозного ядра, что приводит к возникновению грыжи МПД [3–5].

Дегенеративно-дистрофические заболевания поясничного отдела позвоночника в России занимают 5-е место среди причин госпитализации и 3-е место среди причин хирургического лечения. В свою очередь грыжи МПД являются самым распространенным дегенеративным заболеванием поясничного отдела, вызывающим боли в нижней части спины и корешковые симптомы в нижних конечностях [6; 7]. Грыжа МПД определяется как смещение вещества диска в сторону позвоночного канала без разрыва фиброзного кольца (протрузия) или через его дефект (экструзия, секвестрация) [8]. Данное заболевание встречается примерно у 1–3% населения [9]. В 15–20% случаях заболевания требуется оперативное лечение [10].

Поясничная микродискэктомия стала одной из самых распространенных операций на позвоночнике во всем мире. Ежегодно в Корее проводится около 90 000 подобных операций в год, в США – до 200 000, в Дании – 3000 [11–13]. В России в 2015 г. было выполнено около 50 000 операций по поводу дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника и эти операции являются самыми частыми в хирургии позвоночника [14]. В среднем, в развитых странах проводится от 3 до 20 поясничных микродискэктомий на 10 000 населения, и это число ежегодно растёт [15–17]. Согласно данным корейских вертебологов после микродискэктомий проводится до 13,5% повторных операций в течение 5 лет [11]. Разные авторы отмечают большой процент хороших и отличных результатов поясничной микродискэктомии (боль по шкале ВАШ 0–1 балл) от 70 до 89% [18; 19].

Hakkinen et al, оценивая свой опыт проведения 166 микродискэктомий за 1 год, отмечают проведение повторных операций в течение 5 лет при рецидивах грыж в 10,2% случаев [20]. ChiKim сообщает, что в течение 5 лет они провели повторные операции у 13,4% пациентов (2485 из 18590), в том числе 5,4% (1001) в течение первых 90 дней [11].

Отмечается, что по объективным данным КТ и МРТ только у 9% пациентов после операции не определялись рецидивы грыж МПД, а средний размер грыжевых выпячиваний на уровне операции уменьшился на 30%, при увеличении на соседнем уровне на 55%. Однако, анализируя представленные им в исследовании МРТ до и после операции обращает на себя внимание, что пациенту проводилась не радикальная микродискэктомия, а, скорее, секвестрэктомия [21].

Е. Лопарев отмечает, что продолженная дегенерация оперированного сегмента выявлена у 83,3% пациентов. Из них у 49,5% диагностирован рецидив грыжи диска, у 33,8% – продолженная дегенерация оперированного уровня привела к развитию нестабильности. Дегенерацию смежного уровня выявили у 31 (16,7 %) пациента. Тем не менее, после операции положительные результаты в виде регресса болевого синдрома были в 87,1 % случаев, неудовлетворительные (сохранение болевого синдрома на прежнем уровне) – в 12,9 %. При этом указывается, что у большинства пациентов первая операция была микродискэктомия [22].

В исследовании J. McGirt показано, что среди 108 пациентов, которым выполнялась микродискэктомия на одном уровне без стабилизации, 10,2% потребовалась повторная операция по поводу рецидива в течение первого года [16]. Вероятность возникновения рецидива была выше у пациентов с большим интраоперационным дефектом фиброзного кольца (более 6 мм). Caragee показал, что частота рецидивов варьировала от 1,1% при небольших трещинообразных аннулярных дефектах до 27,3% при больших (6 мм и больше) аннулярных дефектах [23].

В целом же рецидив грыж поясничных МПД является одной из главных причин ревизионного хирургического вмешательства в спинальной хирургии [29].

Также в ряде случаев после микродискэктомии сохраняется болевой корешковый синдром, что может быть связано с биохимическими изменениями МПД. Через дефект фиброзного кольца из пульпозного ядра выделяются медиаторы воспаления (интерлейкины), цитокины и химические агенты, которые вызывают раздражение спинального ганглия и нервного корешка [31; 32].

Надо отметить, что хирурги разных школ придерживаются разной оперативной тактики при грыжах МПД: некоторые ограничиваются секвестрэктомией, а другие проводят радикальную дискэктомию с кюретажем диска [33; 34].

Несмотря на большой процент хороших и отличных результатов после классической поясничной микродискэктомии по Caspar и её модификаций, проблема рецидива грыж МПД и по сей день является актуальной.

Учитывая значительное количество рецидивов после данных операций, отсутствие единого подхода к проблеме закрытия послеоперационного дефекта фиброзного кольца, мы поставили целью исследования обобщение информации и анализ литературных данных мирового опыта.

Материалы и методы

Поиск литературных источников проведён в базах PubMed, eLibrary по следующим ключевым словам: ре-

цидив грыжи МПД, дефект фиброзного кольца, протез фиброзного кольца, lumbar disc reoperation, annulus fibrosus defects, annulus fibrosus prosthesis. Глубина поиска составила более 20 лет (2002–2023 гг.). В результате поиска найдено и проанализировано 108 статей, данные 50 из которых мы использовали в нашей работе.

Результаты

На наш взгляд и по данным литературы, наиболее полно снизить количество рецидивов заболевания возможно только с помощью механического препятствия выхода регенерата или остатков МПД в позвоночный канал путём укрытия интраоперационного дефекта фиброзного кольца [30; 31].

Это объясняется тем, что фиброзное кольцо обладает весьма ограниченной способностью к самовосстановлению при дегенерации или травме [32]. Если после дискэктомии и происходит заживление аннулярного дефекта, то очень медленно и в конечном итоге приводит к образованию биомеханически неполноценной ткани с пониженной способностью воспринимать растягивающие нагрузки [19]. Это, в свою очередь, может спровоцировать повторное образование грыжи при меньших биомеханических нагрузках у пациентов с большими послеоперационными аннулярными дефектами, которые составляют около 30% пациентов, подвергшихся дискэктомии поясничного отдела [32].

В настоящее время в области тканевой инженерии изучаются биомиметические подходы, позволяющие воспроизвести пластинчатую структуру фиброзного кольца и вызвать его регенерацию, однако отсутствие васкуляризации и низкий уровень технологической готовности означает, что до клинического применения данной технологии ещё далеко [33].

Было проведено множество исследований, направленных на поиск лучшей стратегии восстановления целостности фиброзного кольца. Предпринимались попытки закрытия дефекта с помощью различных швов [34–36], сеткообразных устройств, цианакрилатных или других клеев [37–39], различных имплантов в виде заплат и пробок с неоднозначными результатами [40; 41].

В настоящее время известны следующие устройства для закрытия дефекта фиброзного кольца:

1. Системы Inclose и Xclose (США). Система Inclose состоит из расширяемой плетёной сетчатой заплаты и двух шовных тросов из полиэтилентерефталата (ПЭТ). Якорная система Xclose позволяла сделать шов аннулярного дефекта. Однако не было доказано, что эти устройства достоверно снижают частоту рецидивов. В настоящее время обе системы не применяются после появления сообщений о многочисленных осложнениях, таких как разрыв натяжных лент и прорезывание анкеров через мягкие ткани [36].
2. Система для наложения швов AnchorKnot (США) предназначена для закрытия аннулярного дефекта. Оно состоит из устройства, напоминающего по форме кусачки

Керрисона, которое доставляет в фиброзное кольцо нитки из сверхвысокомолекулярного полиэтилена 2–0 с узлом Дайнса. Послеоперационные МРТ показали одинаковое уменьшение объёма МПД как после восстановления фиброзного кольца, так и без него, по сравнению с неоперированными контрольными МПД.

3. Устройство для закрытия аннулярного дефекта Barricaid (производство США) представляет собой плетёную ПЭТ сетку, закреплённую на титановом якоре, фиксируемом в одном из тел смежных позвонков. Гибкая полимерная сетка образует механический барьер, закрывающий аннулярный дефект и препятствующий дальнейшей миграции пульпозного ядра. Клинические результаты свидетельствовали о том, что этот метод позволяет решить многие вопросы, связанные с послеоперационной высотой МПД. Данное устройство предотвращает рецидивы грыж; также отмечается уменьшение баллов по визуальной аналоговой шкале боли и индексу Освестри [42].

Однако, имплант Barricaid обладает рядом недостатков. При его установке для обеспечения нужного угла внедрения и для заведения анкера параллельно замыкательной пластинке необходима резекция дуги вышележащего позвонка. Анкерная часть импланта жёстко закрепляется в теле позвонка, что увеличивает риск перелома замыкательной пластинки. Также увеличивается нагрузка на соседние позвоночно-двигательные сегменты, что может привести к синдрому смежного уровня. Были сообщения о расшатывании импланта, о его давлении на спинномозговые нервы [43; 44]. Данный имплант возможно установить только при высоте межпозвонкового промежутка в заднем отделе больше 5 мм по данным МРТ [45]. Учитывая тот факт, что у 45% пациентов высота МПД меньше 5 мм, возможность применения данного импланта ограничена [45]. В настоящее время этот имплант является единственным устройством, имеющим клинические доказательства эффективного решения проблемы наличия дефекта фиброзного кольца, однако его применение ограничивается в том числе и высокой стоимостью. В РФ аналогов не существует.

A. Vergroesen et al. проводили эксперимент по закрытию дефекта фиброзного кольца биодegradуемым клеем, используя МПД коз, без проведения микродискэктомии. Дефекты в фиброзном кольце выполнялись иглой диаметром 2,4 мм, в контрольной группе дефекты клеем не закрывали. Была проведена серия биомеханических тестов *ex vivo* с 864000 циклов нагрузки, оценивалась прочность и выносливость заклеенного дефекта. В основной группе все диски выдержали нагрузки, без образования дефекта. В контрольной группе 40 % дисков не выдержали нагрузки, в них образовалась грыжа, и произошло снижение высоты. Авторы пришли к выводу, что биодegradуемые клеи эффективны при восстановлении фиброзного кольца и повышают его прочность при биомеханических нагрузках. Однако, испытания *in vivo* не проводились [39].

Ранее проводились испытания по созданию протеза пульпозного ядра. Berknot et al. разработали и испытали *in vivo* на трупах собак протез, представляющий собой гидрогель, синтезированный в результате реакции свободнорадикальной полимеризации из четырёх мономеров винилового типа: N-винил-2-пирролидинон, 2-гидроксизетилметакрилат, 2-(4-йодобензол)-оксоэтилметакрилат и аллилметакрилат. Главные свойства данного полимера – рентгеноконтрастность, а также способность набухать *in situ*, заполняя всё пространство МПД [46].

Исследователи в основном изучали возможность использования биодеградируемых имплантов для укрытия дефекта фиброзного кольца, способствующих регенерации тканей в течение определённого периода времени [32; 47]. На нескольких животных моделях с хирургическими повреждениями МПД было показано, что заживление происходит в фиброзном кольце, но не в пульпозном ядре [48]. Считается, что это связано с тем, что плотность клеток фиброзного кольца в 4 раза больше, что предполагает наличие у ткани определённой способности к заживлению, хотя это окончательно не доказано [49].

Обсуждение

На наш взгляд, основной проблемой, связанной с восстановлением аннулярного дефекта, является отсутствие импланта, способного интегрировать в ткани реципиента, герметизирующего место разрыва и обладающего механическими свойствами, аналогичными нативному аналогу.

Если заживление фиброзного кольца вообще происходит, то, согласно гипотезе, оно происходит очень медленно, при этом у ткани снижается способность воспринимать повседневные биомеханические нагрузки [16].

Мы проанализировали, какими свойствами должен обладать имплант:

1. Время деградации импланта должно совпадать с процессом регенерации фиброзного кольца, чтобы обеспечить правильное ремоделирование ткани.
2. Изменение механических свойств импланта в результате деградации должно сохранять совместимость с процессом репарации и регенерации. По оценкам, в течение жизни позвоночник совершает около 100 млн. циклов сгибания-разгибания [50].
3. С точки зрения биомеханики, регенерация МПД может произойти только при соблюдении следующих условий: восстановление физиологического объёма движений, лордоза, достижение сагиттального баланса; восстановление высоты МПД, нормального внутридискового давления и правильного распределения нагрузки на все участки МПД. Это должно быть учтено при разработке размера и формы импланта.

Заключение

На основании анализа данных мировой литературы нами разработано биосовместимое биодеградируемое устройство для заполнения полости МПД и закрытия

дефекта в области фиброзного кольца после секвестр- и микродискэктомии для восстановления биомеханики позвоночно-двигательного сегмента в поясничном отделе позвоночника, для устранения послеоперационных рецидивов. В настоящее время ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского» совместно с НИЦ «Курчатовский институт» проводятся лабораторные испытания опытных образцов для изучения статических свойств материалов и выбора наиболее подходящего.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке министерства науки и образования в рамках темы НИР FURG-2022-0009.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Martins DE, de Medeiros VP, Wajchenberg M, Paredes-Gamero EJ, Lima M, Reginato RD, et al. Changes in human intervertebral disc biochemical composition and bony end plates between middle and old age. *PLoS One*. 2018; 13(9): 1-17. doi: 10.1371/journal.pone.0203932.
2. Urban JPG, Roberts S. Degeneration of the intervertebral disc. *Arthritis Res Ther*. 2003; 5(3): 120-30. doi: 10.1186/ar629.
3. Griffith JF, Wang YXJ, Antonio GE, Choi KC, Yu A, Ahuja AT, et al. Modified Pfirrmann grading system for lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007; 32(24): 708-12. doi: 10.1097/BRS.0b013e31815a59a0.
4. Pfirrmann CW, Metzger A, Zanetti M, Hodler J, Boos N. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001; 26(17): 1873-8. doi: 10.1097/00007632-200109010-00011.
5. Guio BH, Fessler RG, Benzel EC, Parsa AT, McCormick PC, Sonntag VKH. Molecular biology of degenerative disc disease. *Neurosurgery*. 2000; 47(5): 1034-40.
6. Amin RM, Andrade NS, Neuman BJ. Lumbar Disc Herniation. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2017; 10(4): 507-16. doi: 10.1007/s12178-017-9441-4.
7. Suthar P, Patel R, Mehta C, Patel N. MRI evaluation of lumbar disc degenerative disease. *J Clin Diagnostic Res*. 2015; 9(4): TC04-9. doi: 10.7860/JCDR/2015/11927.5761.
8. Fardon DF, Williams AL, Dohring EJ, Murtagh FR, Gabriel Rothman SL, Sze GK. Lumbar disc nomenclature: Version 2.0 Recommendations of the combined task forces of the North American Spine Society, the American Society of Spine Radiology and the American Society of Neuroradiology. *Spine J*. 2014; 14(11): 2525-45. doi: 10.1016/j.spinee.2014.04.022.
9. Jordan J, Konstantinou K, O'Dowd J. Herniated lumbar disc. *BMJ Clin Evid*. 2009; 7.
10. Omid-Kashani F, Hejrati H, Ariamanesh S. Ten important tips in treating a patient with lumbar disc herniation. *Asian Spine J*. 2016; 10(5): 955-63. doi: 10.4184/asj.2016.10.5.955.
11. Kim CH, Chung CK, Park CS, Choi B. Reoperation Rate After Surgery for Lumbar. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013; 38(7): 581-90. doi: 10.1155/2018/9073460.
12. Головин К.Ю., Аганесов А.Г., Хейло А.Л., Гурова О.Ю. Хирургическое лечение заболеваний поясничного отдела позвоночника у лиц с избыточной массой тела и ожирением // *Хирургия позвоночника*. – 2013. – Т.3. – С.53-61. [Golovin KYu, Aganesev AG, Kheylo AL, Gurova OYu. Surgical treatment of degenerative diseases of the lumbar spine in patients with overweight and obesity. *Russian Journal of Spine Surgery*. 2013; 3: 053-061. (In Russ.)] doi: 10.14531/ss2013.3.53-61.
13. Аганесов А.Г., Алексанян М.М., Макаров С.А., Микаелян К.П. Современные малоинвазивные технологии в хирургии позвоночника // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. – 2021. – 6(2). – 65-72. [Aganesev AG, Alexan-yan MM, Makarov SA, Mikaelyan KP. Modern minimally invasive technologies in spine surgery. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2021; 6(2): 65-72. (In Russ.)] doi: 10.17116/hirurgia202106265.
14. Крылов В.В., Конавалов А.Н. Состояние нейрохирургической службы российской федерации // *Нейрохирургия*. – 2016. – Т.3. – С.1-46. [Krylov VV, Konovalov AN. The current state of neurosurgery in russian federation. *Russian journal of neurosurgery*. 2016; 3: 3-44. (In Russ.)]

15. Szpalski M, Gunzburg R, Rydevik BL, Le Huec JC, Mayer HM. Surgery for low back pain. *Surg Low Back Pain*. 2010; 34(10): 1-285. doi: 10.1007/s00590-012-1095-8.
16. Miller LE, McGirt MJ, Garfin SR, Bono CM. Association of Annular Defect Width after Lumbar Discectomy with Risk of Symptom Recurrence and Reoperation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2018; 43(5): E308-15. doi: 10.1097/BRS.0000000000002501.
17. Shin BJ. Risk factors for recurrent lumbar disc herniations. *Asian Spine J*. 2014; 8(2): 211-5. doi: 10.4184/asj.2014.8.2.211.
18. Asch HL, Lewis PJ, Moreland DB, Egnatchik JG, Yu YJ, Clabeaux DE, et al. Prospective multiple outcomes study of outpatient lumbar microdiscectomy: Should 75 to 80% success rates be the norm? *J Neurosurg*. 2002; 96(1S): 34-44. doi: 10.3171/spi.2002.96.1.0034.
19. Caspar W, Campbell B, Barbier DD, Kretschmer R, Gotfried Y. The Caspar microsurgical discectomy and comparison with a conventional standard lumbar disc procedure. *Neurosurgery*. 1991; 28(1): 78-86; discussion 86-7. doi: 10.1097/00006123-199101000-00013.
20. Häkkinen A, Kiviranta I, Neva MH, Kautiainen H, Ylinen J. Interest on Residues During a 5-Year Follow-Up. *BMC Musculoskelet Disord*. 2007; 6: 1-6. doi: 10.1186/1471-2474-8-2.
21. Weinstein JN, 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(25): 2789-2800. doi: 10.1097/BRS.0b013e31818ed8f4.
22. Лопарев Е.А., Климов В.С., Евсюков А.В. Повторные оперативные вмешательства у пациентов с дегенеративно-дистрофическим заболеванием поясничного отдела позвоночника после удаления грыж дисков // *Хирургия позвоночника*. – 2017. – Т.14. – №1. – С.51-59. [Loparev EA, Klimov VS, Evsyukov AV. Reoperation after herniated disc removal in patients with lumbar degenerative disc disease. *Russian Journal of Spine Surgery*. 2017; 14(1): 51-59. (In Russ.)] doi: 10.14531/ss2017.1.51-59.
23. Carragee EJ, Spinnickie AO, Alamin TF, Paragioudakis S. A prospective controlled study of limited Versus subtotal posterior discectomy: Short-term outcomes in patients with herniated lumbar intervertebral discs and large posterior annular defect. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006; 31(6): 653-7. doi: 10.1097/01.brs.0000203714.76250.68.
24. Urgery S, Ncorporate I, Leven D, Passias PG, Errico TJ, Lafage V, et al. Risk Factors for Reoperation in Patients Treated Surgically for Intervertebral Disc Herniation. 2015; 1316-25. doi: 10.2106/JBJS.N.01287.
25. Parker SL, Xu R, McGirt MJ, Witham TF, Long DM, Bydon A. Long-term back pain after a single-level discectomy for radiculopathy: Incidence and health care cost analysis – Clinical article. *J Neurosurg Spine*. 2010; 12(2): 178-82. doi: 10.3171/2009.9.SPINE09410.
26. Tufan K, Sen O, Çekinmez M, Bolat FA, Alkan O, Sarica FB, et al. Comparison of E-selectin and the other inflammatory markers in lumbar disc herniation: A new promising therapeutical window for radicular pain. *J Spinal Disord Tech*. 2012; 25(8): 443-6. doi: 10.1097/BSD.0b013e318238e2db.
27. Geiss A, Larsson K, Junevik K, Rydevik B, Olmarker K. Autologous nucleus pulposus primes T cells to develop into Interleukin-4-producing effector cells: An experimental study on the autoimmune properties of nucleus pulposus. *J Orthop Res*. 2009; 27(1): 97-103. doi: 10.1002/jor.20691.
28. Басанкин И.В., Порханов В.А. и др. Сравнительная оценка эффективности транспедикулярной эндоскопической секвестрэктомии и микродискэктомии в лечении межпозвонковых грыж поясничного отдела с высокой степенью миграции // *Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко*. 2020; 84(6): 15-25. [Basankin IV, Porkhanov VA, et al. Comparison of transpedicular endoscopic sequestrectomy and discectomy in the treatment of lumbar intervertebral disc herniation with a high degree of migration. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2020; 84(6): 15-25. (In Russ.)] doi: 10.17116/neiro20208406115.
29. Ran J, Hu Y, Zheng Z, Zhu T, Zheng H, Jing Y, et al. Comparison of discectomy versus sequestrectomy in lumbar disc herniation: A meta-analysis of comparative studies. *PLoS One*. 2015; 10(3): 1-14. doi: 10.1371/journal.pone.0121816.
30. Heuer F, Ulrich S, Claes L, Wilke HJ. Biomechanical evaluation of conventional annulus fibrosus closure methods required for nucleus replacement: Laboratory investigation. *J Neurosurg Spine*. 2008; 9(3): 307-13. doi: 10.3171/SPI/2008/9/307.
31. Strenge KB, et al. Multicenter study of lumbar discectomy with Barricaid annular closure device for prevention of lumbar disc reherniation in US patients: A historically controlled post-market study protocol. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98(35): e16953. doi: 10.1097/MD.00000000000016953.
32. Adams MA, Stefanakis M, Dolan P. Healing of a painful intervertebral disc should not be confused with reversing disc degeneration: Implications for physical therapies for discogenic back pain. *Clin Biomech*. 2010; 25(10): 961-71. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2010.07.016.
33. Koepsell L, Zhang L, Neufeld D, Fong H, Deng Y. Electrospun Nanofibrous Polycaprolactone Scaffolds for Tissue Engineering of Annulus Fibrosus. *Macromol Biosci*. 2011; 11(3): 391-9. doi: 10.1002/mabi.201000352.
34. Bateman AH, Balkovec C, Akens MK, Chan AHW, Harrison RD, Oakden W, et al. Closure of the annulus fibrosus of the intervertebral disc using a novel suture application device – in vivo porcine and ex vivo biomechanical evaluation. *Spine J [Internet]*. 2016; 16(7): 889-95. doi: 10.1016/j.spinee.2016.03.005.
35. Qi L, Li M, Si H, Wang L, Jiang Y, Zhang S, et al. The clinical application of “jetting suture” technique in annular repair under microendoscopic discectomy. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95(31): e4503. doi: 10.1097/MD.0000000000004503.
36. Bartlett A, Wales L, Houfburg R, Durfee WK, Griffith SL, Bentley I. Optimizing the effectiveness of a mechanical suture-based annulus fibrosus repair construct in an acute failure laboratory simulation. *J Spinal Disord Tech*. 2013; 26(7): 393-9.
37. Likhitpanichkul M, Kim Y, Torre OM, See E, Kazezian Z, Pandit A, et al. Fibrinogenin annulus fibrosus sealant as a delivery system for anti-TNFα drug. *Spine J*. 2015; 15(9): 2045-54. doi: 10.1016/j.spinee.2015.04.026.
38. Cruz MA, McAnany S, Gupta N, Long RG, Nasser P, Eglon D, et al. Structural and Chemical Modification to Improve Adhesive and Material Properties of Fibrin-Genipin for Repair of Annulus Fibrosus Defects in Intervertebral Disks. *J Biomech Eng*. 2017; 139(8): 1-7. doi: 10.1115/1.4036623.
39. Vergroesen PPA, Bochyńska AI, Emanuel KS, Sharifi S, Kingma I, Grijpma DW, et al. A biodegradable glue for annulus closure: Evaluation of strength and endurance. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015; 40(9): 622-8. doi: 10.1097/BRS.0000000000000792.
40. Chik TK, Ma XY, Choy TH, Li YY, Diao HJ, Teng WK, et al. Photochemically crosslinked collagen annulus plug: A potential solution solving the leakage problem of cell-based therapies for disc degeneration. *Acta Biomater*. 2013; 9(9): 8128-39. doi: 10.1016/j.actbio.2013.05.034.
41. Ledet EH, Jeshuran W, Glennon JC, Shaffrey C, De Deyne P, Belden C, et al. Small intestinal submucosa for annular defect closure: Long-term response in an in vivo sheep model. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009; 34(14): 1457-63. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181a48554.
42. Ardeshtiri A, Miller LE, Synowitz M, Jadik S. Surgical Experience and Complications in 50 Patients Treated with an Annular Closure Device Following Lumbar Discectomy. *Orthop Surg*. 2019; 11(3): 431-7. doi: 10.1111/os.12495.
43. Krutko AV, Baykov ES, Sadovoy MA. Reoperation after microdiscectomy of lumbar herniation: Case report. *Int J Surg Case Rep*. 2016; 24: 119-23. doi: 10.1016/j.ijscr.2016.04.043.
44. Lange N, Meyer B, Shiban E. Symptomatic annulus-repair-device loosening due to a low-grade infection. *Acta Neurochir (Wien)*. 2018; 160(1): 199-203. doi: 10.1007/s00701-017-3371-1.
45. Круглюк А.В., Сангинов А.Д. К вопросу об объеме предоперационных радиологического и томографического обследований пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника // *Хирургия позвоночника*. – 2018. – Т.15. – №2. – С.66-75. [Krutko AV, Sanginov AD. On the extent of preoperative radiological and ct examination of patients with degenerative diseases of the lumbar SPINE. *Russian Journal of Spine Surgery*. 2018; 15(2): 66-75. (In Russ.)] doi: 10.14531/ss2018.2.66-75.
46. Bergknot N, Smolders LA, Koole LH, Voorhout G, Hagman RE, Lagerstedt AS, et al. The performance of a hydrogel nucleus pulposus prosthesis in an ex vivo canine model. *Biomaterials*. 2010; 31(26): 6782-8. doi: 10.1016/j.biomaterials.2010.05.032.
47. Gluais M, Clouet J, Fusellier M, Decante C, et al. In vitro and in vivo evaluation of an electrospun-aligned microfibrillar implant for Annulus fibrosus repair. *Biomaterials*. 2019; 205: 81-93. doi: 10.1016/j.biomaterials.2019.03.010.
48. Ahlgren BD, Lui W, Herkowitz HN, Panjabi MM, Guiboux JP. Effect of annular repair on the healing strength of the intervertebral disc: A sheep model. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000; 25(17): 2165-70. doi: 10.1097/00007632-200009010-00004.
49. Bron JL, Helder MN, Meisel HJ, Van Royen BJ, Smit TH. Repair, regenerative and supportive therapies of the annulus fibrosus: Achievements and challenges. *Eur Spine J*. 2009; 18(3): 301-13. doi: 10.1007/s00586-008-0856-x.
50. Salzmann SN, Plais N, Shue J, Girardi FP. Lumbar disc replacement surgery – successes and obstacles to widespread adoption. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2017; 10(2): 153-9. doi: 10.1007/s12178-017-9397-4.