

АЛГОРИТМ ВЫБОРА МЕТОДА МИНИМАЛЬНО-ИНВАЗИВНОГО ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

И.А. Борщенко¹, Я.А. Борщенко², А.В. Басков^{1,3}

¹Клиника ОРТСПАЙН, Москва

²Курганский государственный университет

³Центральная клиническая больница № 1 ОАО «РЖД», Москва

Цель: получение алгоритма выбора метода минимально-инвазивного лечения дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника на основе современных методов математического интеллектуального анализа данных.

Материал и методы: современное минимально-инвазивное хирургическое лечение дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника включает в себя микрохирургические, эндоскопические, пункционные методики. Его успех зависит прежде всего от выбора адекватного метода вмешательства. Анализ существующих клинических данных и принятие решения зависят от личного опыта хирурга и представляют собой эвристическое, интуитивное действие. Оно является сложным как для воспроизведения и обучения, так и для сторонней оценки. Для получения достоверного и эффективного алгоритма выбора вида хирургического лечения были применены современные методы интеллектуального математического анализа. Они включали в себя анализ на основе алгоритма нейросетей и алгоритма дерева решений. Выбор метода лечения осуществляли между пункционной лазерной реконструкцией диска, пункционной гидродисэктомией, чрескожной трансфораминальной поясничной дисэктомией, чрескожной междужковой поясничной дисэктомией, поясничной микродисэктомией, поясничной микрохирургической декомпрессией, а также сочетаниями этих методов. Когорта больных включала в себя 80 пациентов с дегенеративным поражением поясничного отдела позвоночника, у которых были применены вышеозначенные хирургические вмешательства. Оцениваемые признаки включали в себя клинические симптомы и морфологические данные на основании МРТ-исследования.

Результаты: на основе современных методов интеллектуального математического анализа получен алгоритм выбора минимально-инвазивного метода хирургического вмешательства для лечения дегенеративного поражения поясничного отдела позвоночника.

Заключение: современные методы интеллектуального математического анализа клинических данных позволяют получить эффективные алгоритмы принятия решения для выбора метода минимально-инвазивного хирургического лечения дегенеративного поражения поясничного отдела позвоночника. Это является важным для повышения эффективности лечения в клинической практике, осуществления дидактических и обучающих задач, а также для проведения экспертной оценки и выработки стандартов лечения.

Ключевые слова: минимально-инвазивная спинальная хирургия, дегенеративная болезнь поясничного отдела позвоночника, интеллектуальный анализ данных

Objective: to obtain an algorithm to choose the method of minimally invasive treatment of degenerative diseases of the lumbar spine based on modern mathematical methods of data mining.

Material and methods: The current minimally invasive surgical treatment of degenerative diseases of the lumbar spine includes microsurgery, endoscopy, puncture technique. Its success depends primarily on the choice of an appropriate method of intervention. An analysis of existing clinical data and the adoption of a decision depends on the personal experience of the surgeon and is a heuristic, intuitive operation. It is difficult for both reproduction and learning, as well as for third-party evaluation. Modern methods of predictive mathematical analysis were applied for reliable and efficient algorithm for selecting the form of surgical treatment. They included an analysis based on the algorithm of neural networks and decision tree algorithm. Choice of treatment was carried out between the laser percutaneous disc reconstruction, percutaneous hydrodiscectomy, transforaminal endoscopic discectomy, interlaminar endoscopic discectomy, lumbar microdiscectomy, lumbar microsurgical decompression, as well as combinations of these methods in the cohort of 80 patients with degenerative lesions of the lumbar spine. Estimated symptoms included clinical signs and morphological data on the basis of MRI.

Results: an algorithm for selecting a minimally invasive method of surgery for the treatment of lumbar degenerative disease was obtained on the basis of modern predictive methods of mathematical analysis (Data Mining).

Conclusion: the modern methods of mathematical analysis of clinical data (Data Mining) enable us to obtain efficient algorithms for selection of minimally invasive surgical treatment of degenerative disease of the lumbar spine. It is important to improve the effectiveness of treatment, the implementation of teaching and learning tasks, as well as for peer review and development of standards of care.

Key words: minimally invasive spine surgery, degenerative lumbar spine disease, Data Mining

Введение

Клиническое суждение о диагнозе и лечение болезни являются составляющими врачебного искусства, которому сложно научиться или получить из учебников, которое, однако, развивается на основе многолетнего опыта и наблюдений. Это связано с тем, что врачебное решение включает в себя много факторов, многие из которых учитываются интуитивно, подсудно, отражая профессиональный опыт и умение. Многомерность такого анализа и человеческий фактор приводят к тому, что среди пациентов после выписки из стационара на врачебную ошибку указывают до 13,05%, среди которых 10,5% имели серьезные осложнения. Риск стать жертвой медицинской ошибки с тяжелыми последствиями оценивается пациентами в 11,9% [16]. При оценке общих причин осложнений у больных, подвергшихся хирургическому лечению, 78,3% связаны с врачебными ошибками, среди которых ошибки в хирургической технике составляют 63,5%, ошибки клинического суждения — 29,6%, невнимание к деталям — 29,3%, недостаточное понимание проблемы — 22,7% [10]. В США ежегодно регистрируется до 100 000 смертей по причине медицинской ошибки, что составляет восьмью по частоте причину смерти [9].

В каталоге Index Medicus термин «минимальная инвазивная спинальная хирургия» — «*minimally invasive spine surgery*» впервые цитируется в ортопедическом обзоре W.J. Stith в 1991 г. [21]. С тех пор мировой опыт этой инновационной области медицины стал огромным. Минимально-инвазивная хирургия позвоночника связана прежде всего с его дегенеративной патологией. В течение последних 30 лет малотравматичные методики вмешательства широко развились и могут очень значительно отличаться друг от друга. По мере накопления опыта их использования вытесняются неоправдавшие себя методики и изобретаются новые. Среди основных направлений минимально-инвазивной хирургии в лечении дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника можно выделить пункционные методы, эндоскопические и микрохирургические вмешательства. Разнообразие видов хирургического воздействия, с одной стороны, дает хирургу возможность достичь хороших результатов, с другой стороны, может вызвать затруднения при выборе адекватного метода и привести к врачебной ошибке, понизить эффективность лечения или даже быть причиной ятрогенных осложнений.

Дегенеративное поражение позвоночника затрагивает различные части двигательного сегмента. В частности, изменения межпозвонкового диска проявляются в виде протрузии, экструзии, которые могут быть различными по размеру, локализации и степени фиброзной трансформации. Высота диска также варьирует от минимального снижения до выраженного уменьшения. Поражение задних опорных структур позвоночника включает в себя проявления спондилоартроза с разрастанием межпозвонковых суставов и желтой связки, что вызывает развитие спиналь-

ного стеноза в различных отделах позвоночного канала, в том числе фораминальной, центральной или латеральной локализации. Весь комплекс морфологических изменений приводит к различным воздействиям на проходящие в позвоночном канале нервно-сосудистые образования конского хвоста. В зависимости от преобладающих изменений в позвоночнике клинические проявления болезни могут быть очень вариабельными. Они включают в себя болевые синдромы (корешковый, дискогенный, миотонический), симптомы неврологических нарушений (нарушения движений, чувствительности, в том числе кауда-синдром) и т.д. Воздействие хирурга при минимально-инвазивном вмешательстве на позвоночнике может быть направлено на различные морфологические субстраты, в том числе собственно межпозвонковый диск, грыжевой дисковый секвестр, область позвоночного канала, включая межпозвонковые суставы и связочный аппарат. Таким образом, разнообразные комбинации клинических проявлений, патоморфологических изменений, а также возможных способов хирургического воздействия создают сложную тактическую задачу выбора адекватного хирургического вмешательства, которую постоянно приходится решать в клинической практике. Успешность ее решения связана с личным опытом хирурга, который нередко сложно получить из учебников или передать при обучении. Интуитивность принятия решения создает проблемы при обучении молодых врачей, воспроизведении хирургических результатов или проведении экспертной оценки лечения.

Для перевода решения лечебных задач из области интуиции в сферу доказательной медицины традиционно применяют методы статистического анализа [19]. Они позволяют достоверно оценить прежде всего эффективность использованного лечения. Однако в случае необходимости классификации, моделирования и прогнозирования работа по использованию методов статистического анализа становится сложной и трудоемкой. В последние два десятилетия для решения подобных проблем применяют методы интеллектуального анализа данных — *Data Mining* (в пер. с англ. — добыча данных), что означает совокупность методов обнаружения в исходных данных ранее неизвестных полезных знаний, необходимых для принятия решений [1]. В медицине подобные технологии применяют с 1990-х гг. для следующих основных целей: понимания клинических данных, оказания ассистенции в принятии решений во врачебной деятельности, развития методов анализа, пригодных для медицинской сферы [14]. Основу методов *Data Mining* составляют всевозможные методы классификации, моделирования и прогнозирования, основанные на применении деревьев решений, искусственных нейронных сетей и других алгоритмов анализа. Современные методы интеллектуального математического анализа были использованы нами для создания алгоритма выбора метода минимально-инвазивного хирургического лечения дегенеративного поражения поясничного отдела позвоночника.

Материал и методы

Для получения требуемого алгоритма выбора метода хирургического лечения дегенеративного поражения поясничного отдела позвоночника были проанализированы результаты исследования и лечения 80 пациентов, которым выполнили минимально-инвазивное вмешательство. Выбор осуществляли среди следующих методов лечения, которые представлены в табл. 1.

Для выявления закономерностей по каждой подгруппе пациентов были отобраны 9–11 пациентов с наиболее характерной клинико-морфологической картиной, у которых был применен определенный вид минимально-инвазивного хирургического вмешательства. Эти были наблюдения успешного применения определенного вида хирургии, результаты которой оценивали согласно шкале опросника качества жизни SF36, а также на основе изменений визуальной аналоговой шкалы боли (ВАШ). Среди пациентов было 38 мужчин и 42 женщины, средний возраст пациентов $43,98 \pm 14,55$ года. Средний срок наблюдения за больными для оценки эффективности лечения составил $23,66 \pm 22,91$ мес. Для общего статистического анализа данных была применена программа статистических исследований Statistica 7.0, а также стандартный программный пакет Microsoft Office Excel. Основные статистические показатели анализируемых пациентов представлены в табл. 2.

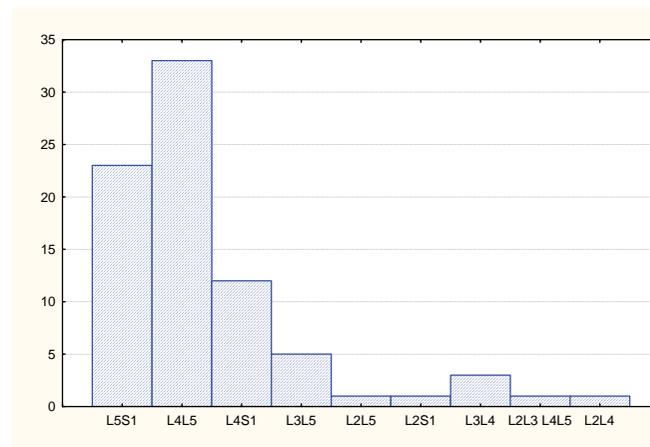


Рис. 1. График распределения хирургических случаев ($n=80$) в зависимости от уровня вмешательства.

Fig. 1. Distribution graph of surgical cases ($n=80$) depending on intervention level.

Анализируя общую эффективность использованных хирургических методов, был применен Z-тест Вилкоксона для двух связанных выборок. Во всех случаях использовали двусторонние критерии при 5% уровне значимости. Сравнительные показатели качества жизни и уровня болевого синдрома до и после операции, было выявлено различие в высокой степени достоверности при $p < 0,0001$. Примененные методы минимально-

Таблица 1 / Table 1

Выходные данные (дифференцируемые методы хирургического лечения) для интеллектуального анализа данных ($n=80$) / Output data (differentiated methods of surgical treatment) for database mining analysis ($n=80$)

№	Вид минимально-инвазивного хирургического вмешательства	Число анализируемых пациентов в подгруппе
1	Пункционная лазерная реконструкция диска	11
2	Пункционная гидродискэктомия	10
3	Трансфораминальная поясничная эндоскопическая дискэктомия	10
4	Междужковая поясничная эндоскопическая дискэктомия	10
5	Микродискэктомия	10
6	Микрохирургическая декомпрессия корешков конского хвоста	10
7	Сочетание микродискэктомии и микродекомпрессии	10
8	Сочетание микродекомпрессии или микродискэктомии с интраоперационной гидродискэктомией	9

Таблица 2 / Table 2

Основные статистические показатели эффективности примененного лечения / The main statistical values of applied treatment efficiency

Показатель эффективности лечения	N	среднее	минимум	максимум	стандартное отклонение
Возраст, годы	80	43,97500	18,00000	80,00000	14,55150
SF36 до операции	80	19,92500	10,00000	48,00000	6,35804
SF36 после операции	80	74,10000	37,00000	95,00000	9,84384
ВАШ болей в спине до операции	80	5,66250	0,00000	10,00000	2,12248
ВАШ болей в спине после операции	80	0,55000	0,00000	4,00000	1,06617
ВАШ болей в ноге до операции	80	6,76250	0,00000	10,00000	3,17524
ВАШ болей в ноге после операции	80	0,33750	0,00000	3,00000	0,79466
Срок наблюдения, мес	80	23,65931	1,10000	82,53000	22,91031

но-инвазивного лечения достоверно привели к улучшению качества жизни, а также регрессу болевого синдрома как в спине, так и в ноге. Распределение числа хирургических случаев в зависимости от уровня вмешательства представлено на рис. 1. Наиболее частым уровнем вмешательства были одноуровневые операции в сегментах позвонков L4L5, L5S1, а также на двух уровнях — позвонков L4-S1 и L3-L5.

Входные данные представляли собой оценку клинической картины пациентов и морфологических дегенеративных изменений позвоночно-двигательного сегмента на основании МРТ и КТ-исследования. Критерии включали в себя 14 пунктов и приведены ниже.

Входные признаки для интеллектуального анализа данных в группе из 80 пациентов, которым выполнили минимально-инвазивное вмешательство

Входные признаки для интеллектуального анализа данных	
1	Наличие дегенеративного изменения межпозвонкового диска
2	Ширина основания грыжи (узкое или широкое)
3	Наличие протрузии диска
4	Наличие экструзии диска
5	Выход экструзии за пределы задней продольной связки
6	Миграция грыжевого фрагмента за пределы досягаемости эндоскопом
7	Оссификация грыжевого фрагмента
8	Сагиттальный размер грыжевого выпячивания (до 6 мм или более)
9	Высота межпозвонкового диска (сохранение высоты диска более 50% от смежного здорового диска)
10	Наличие корешковых или дискогенных болей
11	Присутствие в клинической картине кауда-синдрома или его элементов
12	Степень пареза конечности (сила более 3 баллов или менее)
13	Присутствие центрального спинального стеноза
14	Присутствие латерального спинального стеноза

Для проведения интеллектуального математического анализа был использован программный пакет Deductor. Это пакет приложений, предназначенный для быстрого и эффективного анализа информации. В нем сосредоточены современные методы извлечения, очистки, манипулирования и визуализации данных. С применением пакета Deductor пользователю становятся доступны моделирование, прогнозирование, кластеризация, поиск закономерностей и многие другие технологии обнаружения знаний и добычи данных (Data Mining — англ.).

Для решения поставленной задачи был применен алгоритм *дерева решений* и, в частности, модуль программы Tree Analyzer. Деревья решений являются одним из наиболее популярных подходов к решению задач добычи данных. Они создают иерархическую структуру классифицирующих

правил типа «Если, то», имеющую вид дерева. Чтобы принять решение, к какому классу следует отнести некоторый объект или ситуацию, требуется ответить на вопросы, стоящие в узлах этого дерева, начиная с его корня. Вопросы имеют вид «значение параметра А больше В?». Если ответ положительный, осуществляется переход к правому узлу следующего уровня соответствующим узлом и т. д. Дерево решений — это способ представления решающих правил в иерархической, последовательной структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий решение. Дерево решений состоит из узлов — точек, в которых производится проверка условия, и листьев — конечных узлов дерева, узлов решения (рис. 2).

Также для решения поставленной задачи был использован модуль Neural Analyzer, использующий алгоритмы многослойных *нейронных сетей*. Нейронные сети (НС) представляют собой вычислительные структуры, моделирующие простые биологические процессы, аналогичные процессам, происходящим в человеческом мозге. НС — это распределенные и параллельные системы, способные к адаптивному обучению путем реакции на положительные и отрицательные воздействия. В основе построения НС лежит элементарный преобразователь, называемый искусственным нейроном или просто нейроном по аналогии с его биологическим прототипом. В процессе функционирования нейронной сети в ней осуществляется некоторое преобразование информации, в результате которого входной вектор преобразуется в выходной. Конкретный вид выполняемого сетью преобразования данных определяется не только характеристиками составляющих ее нейронов, но и особенностями архитектуры — топологией межнейронных связей, выбором подмножеств нейронов для ввода и вывода данных, способами обучения сети, наличием или отсутствием конкуренции между нейронами, направлением и способами управления передачи данных. Функционирование нейронной сети и операции, которые она способна выполнять, зависят от величин синаптических связей. Поэтому, выбрав определенную структуру сети, соответствующую некоторой задаче, необходимо установить оптимальные значения всех перемен-

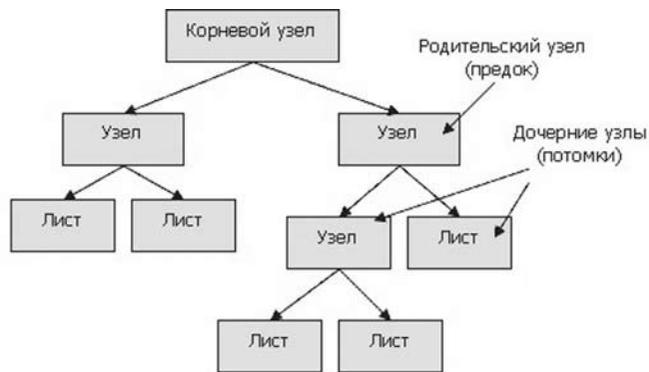


Рис. 2. Принципиальная схема дерева решений. Fig. 2. Principle diagram of decision tree

ных весовых коэффициентов. Эта задача решается на этапе обучения НС, и от того, насколько успешно она будет решена, зависит способность сети решать те или иные поставленные перед ней проблемы.

Результаты

На первом этапе исследования с помощью алгоритма дерева решений в программе Deductor Tree Analyzer мы провели анализ лечения 60

пациентов, у которых применяли один из видов минимально-инвазивного хирургического лечения. В результате программа сгенерировала следующее дерево решений (рис. 3). Программа Deductor дает возможность представлять результаты в наглядном цветном виде, что позволяет быстро оценить результаты и пользоваться ими более эффективно (рис. 4). При этом цветная легенда позволяет быстро понять, какой метод лечения является выходным результатом анализа.

Для понимания и анализа результатов программа способна выдавать различные наглядные

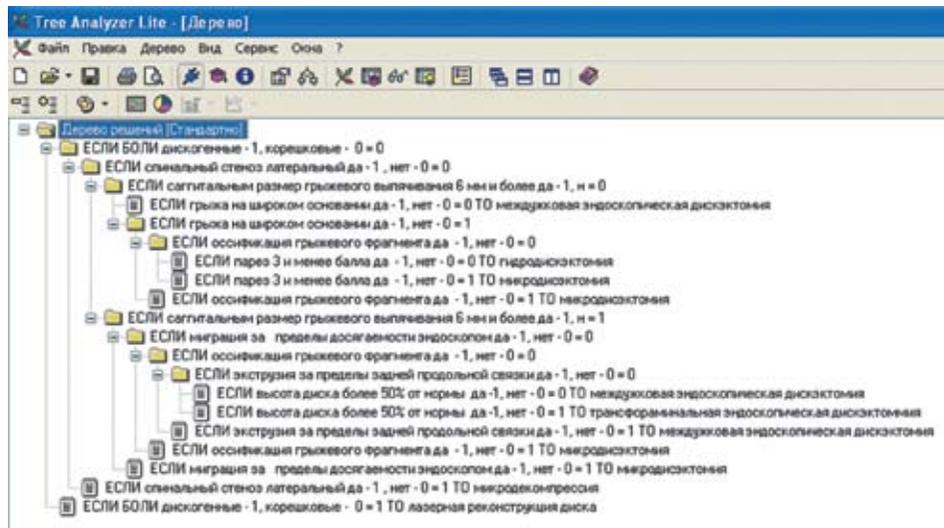


Рис. 3. Дерево решений в виде вложенных папок в программе Deductor 3.0 Tree Analyzer при анализе 60 случаев применения минимально-инвазивных методов хирургического лечения дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника.

Fig. 3. Decision tree in the form of subfolders in Deductor 3.0 Tree Analyzer software while analyzing 60 cases of minimally invasive surgical methods usage for treatment of patients with degenerative pathology of lumbar spine.

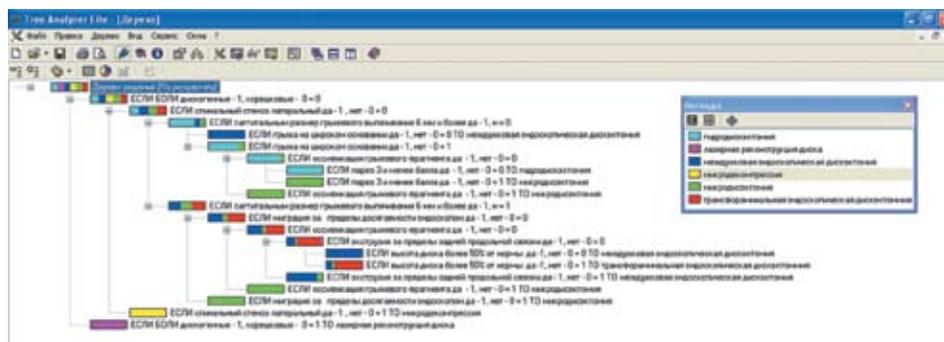


Рис. 4. Дерево решений в программе Deductor 3.0 Tree Analyzer при анализе 60 случаев применения минимально-инвазивных методов хирургического лечения дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника в цветном представлении.

Fig. 4. Decision tree in color view in Deductor 3.0 Tree Analyzer software while analyzing 60 cases of minimally invasive surgical methods usage for treatment of patients with degenerative pathology of lumbar spine.

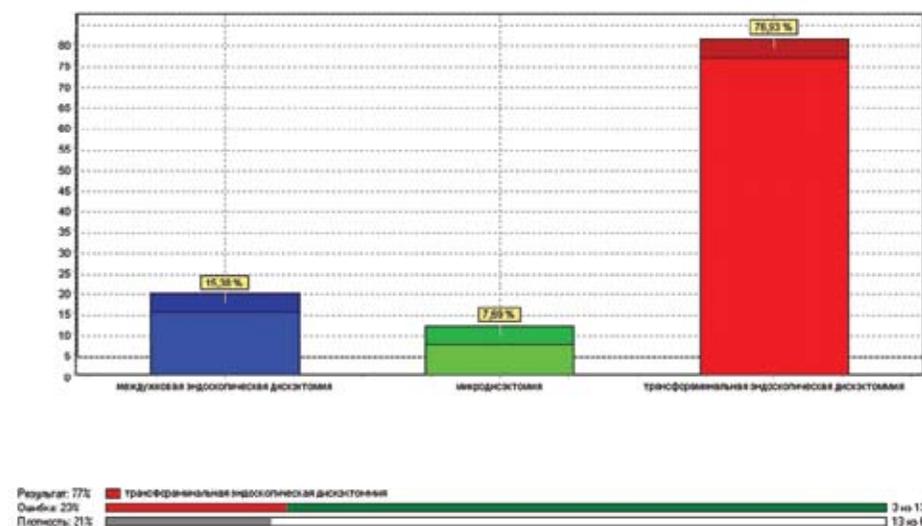


Рис. 5. Одно из конечных решений в программе Deductor 3.0 Tree Analyzer в виде гистограммы.

Fig. 5. One of the final decision in Deductor 3.0 Tree Analyzer software as a histogram.

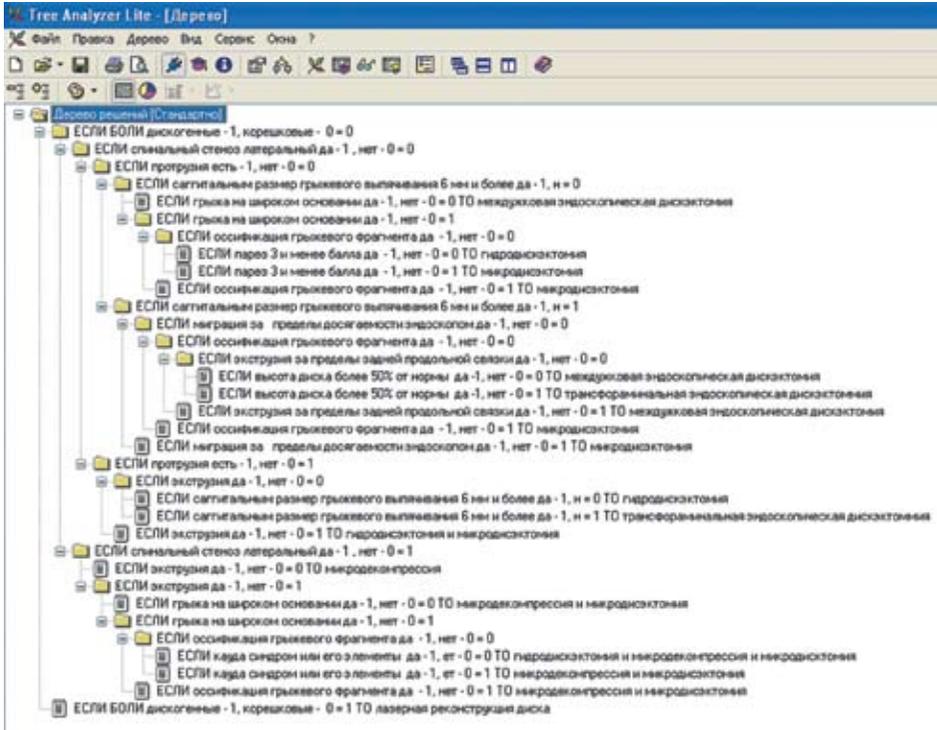


Рис. 6. Дерево решений в виде вложенных папок в программе Deductor 3.0 Tree Analyzer при анализе 80 случаев применения минимально-инвазивных методов хирургического лечения дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника.

Fig. 6. Decision tree in the form of subfolders in Deductor 3.0 Tree Analyzer software while analyzing 80 cases of minimally invasive surgical methods usage for treatment of patients with degenerative pathology of lumbar spine.

представления решения. В области конечных ветвей во многих случаях мы наблюдаем единственное решение в виде прямоугольника одного цвета. Это означает, что решение принято программой бесспорно. В некоторых конечных ветвях решение представлено несколькими цветами. При построении графика от этой ветви становится понятно, что представлены несколько решений с различной долей вероятности. Так например, в случае наблюдения пациента, имеющего корешковые боли, — при отсутствии спинального стеноза — при сагиттальном размере грыжевого выпячивания более 6 мм — при отсутствии миграции грыжевого фрагмента за пределы досягаемости эндоскопом — отсутствии оссификации грыжевого фрагмента — экструзия не выходит за пределы задней продольной связки — при высоте диска более 50% от нормального соседнего диска предлагается решение в виде прямоугольника с красной, зеленой и синей частью. График от этой ветви представлен на рис. 5. Становится понятно, что в 76,83% случаев программа рекомендует для заданных условий решение в виде трансформанальной эндоскопической дискэктомии, 7,69% в виде микродискэктомии и в 15,38% в виде междужковой эндоскопической дискэктомии.

На втором этапе исследований были анализированы результаты лечения всех 80 пациентов, у которых применяли минимально-инвазивные методы лечения дегенеративной патологии позвоночника, в число которых вошли и комбинации некоторых методов лечения. В результате было получено следующее дерево решений (рис. 6).

Учитывая полученные нами данные, были составлены сокращенные и расширенные алгоритмы принятия решения по выбору метода минимально-инвазивного хирургического лечения

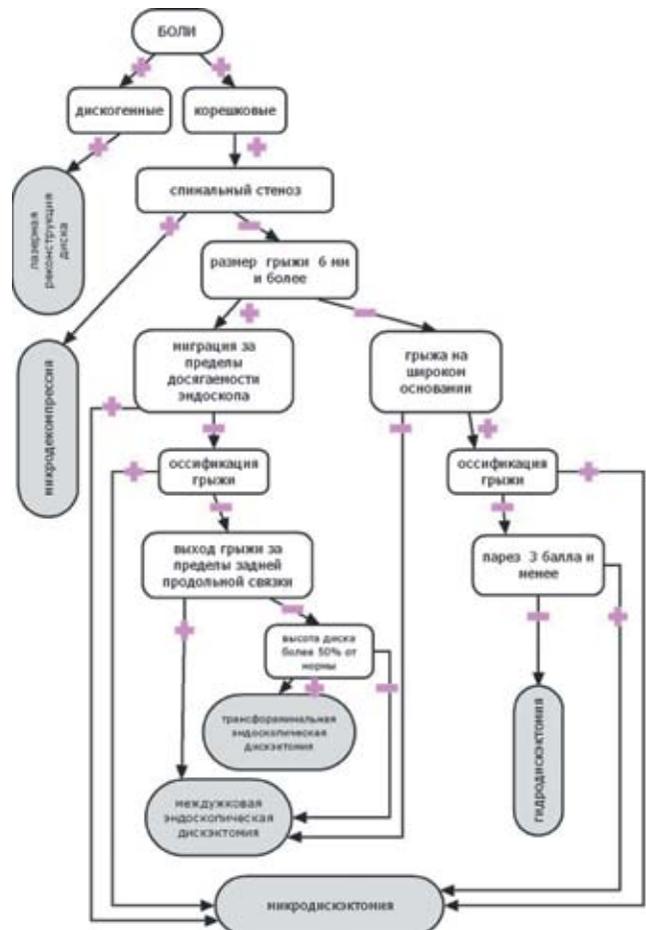


Рис. 7. Схема сокращенного алгоритма выбора минимально-инвазивного хирургического вмешательства при дегенеративном поражении поясничного отдела позвоночника.
Fig. 7. The scheme of short cut choice algorithm of minimally invasive surgical method for treatment of lumbar spine degenerative pathology.

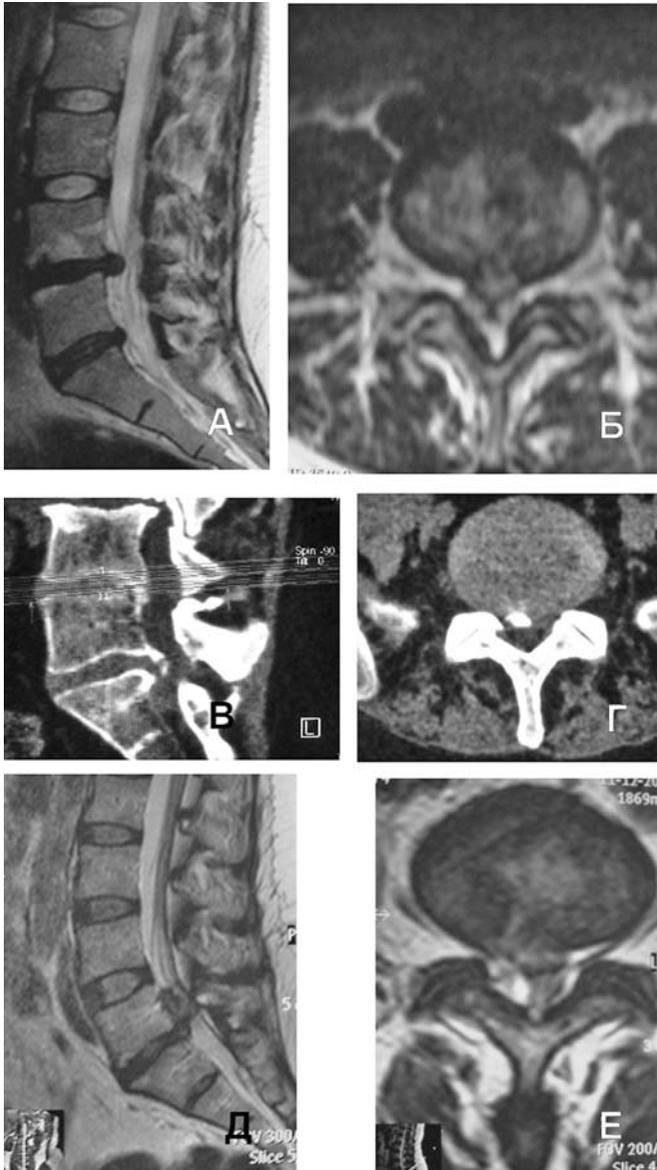


Рис. 10. Клинические случаи с наиболее характерными морфологическими изменениями, на основании которых программой математического интеллектуального анализа данных рекомендованы определенные виды хирургического вмешательства (А, Б — МРТ, режим Т2ВИ, использовали трансфораминальную эндоскопическую дискэктомию позвонков L4-L5; В, Г — КТ, применили микродискэктомию на уровне позвонков L5-S1; Д, Е — МРТ, режим Т2ВИ, применили микродискэктомию на уровне позвонков L5-S1).
 Fig. 10. Clinical cases with the most characteristic morphological changes, by applying whose the software of mathematic database mining analysis recommended the selected methods of surgical intervention (A, Б — MRI T2 — we used transforaminal endoscopic discectomy at the level of L4-L5 vertebrae; В, Г — CT — we used microdiscectomy at the level of L5-S1 vertebrae; Д, Е — MRI T2 — we used microdiscectomy at the level of L5-S1 vertebrae).

воздержаться от пункционных или эндоскопических вмешательств. Разные морфологические изменения в области грыжи или межпозвонкового диска диктуют различный выбор вмешательства. Например, оссификация грыжевого секвестра или значительная миграция фрагмента за пределы досягаемости эндоскопом вызывает затруд-

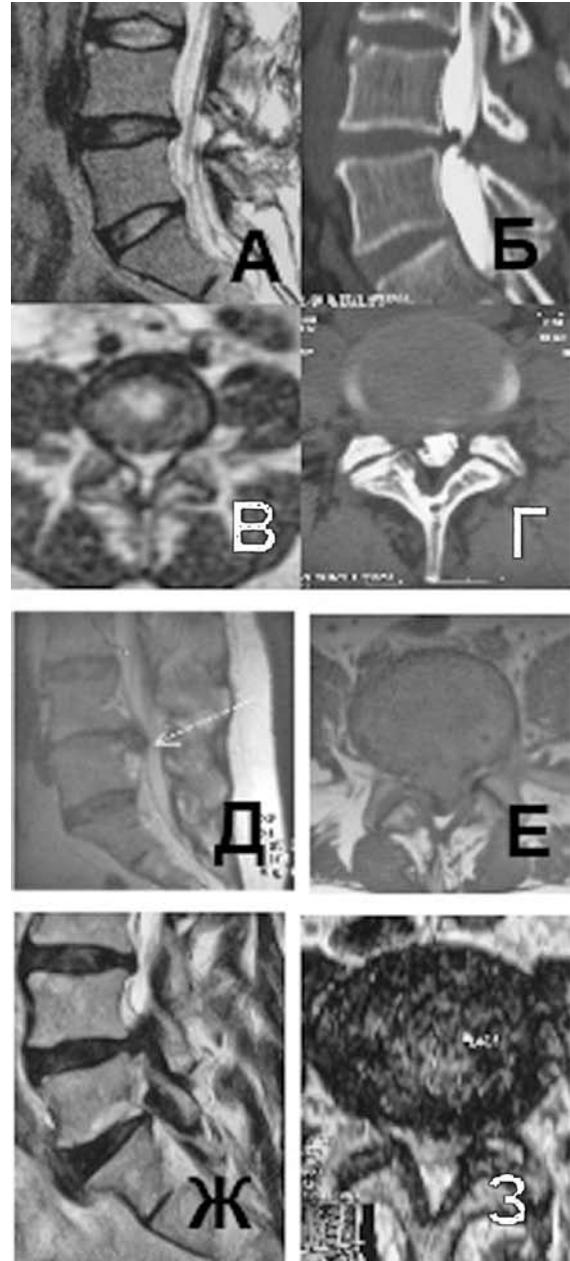


Рис. 11. Клинические случаи с наиболее характерными морфологическими изменениями, на основании которых программой математического интеллектуального анализа данных рекомендованы определенные виды хирургического вмешательства (А, В — МРТ, Б, Г — КТ-миелография в случае двустороннего латерального спинального стеноза на уровне позвонков L4-L5, применили двустороннюю микрохирургическую декомпрессию из одностороннего доступа; Д, Е — МРТ, режим Т2ВИ, применили сочетание микродекомпрессии и микродискэктомии на уровне позвонков L4-L5; Ж, З — МРТ, режим Т2ВИ, применили сочетание микродекомпрессии и гидродискэктомии на уровне позвонков L4-L5).
 Fig. 11. Clinical cases with the most characteristic morphological changes, by applying whose the software of mathematic database mining analysis recommended the selected methods of surgical intervention (A, В — MRI, Б, Г — CT-myelography in the case of bilateral spinal stenosis at the level of L4-L5 vertebrae; we used bilateral microsurgical decompression via unilateral approach; Д, Е — MRI T2 — we used the combination of microdecompression and microdiscectomy at the level of L4-L5 vertebrae; Ж, З — MRI T2 — we used the combination of microdecompression and hydrodiscectomy at the level of L4-L5 vertebrae).

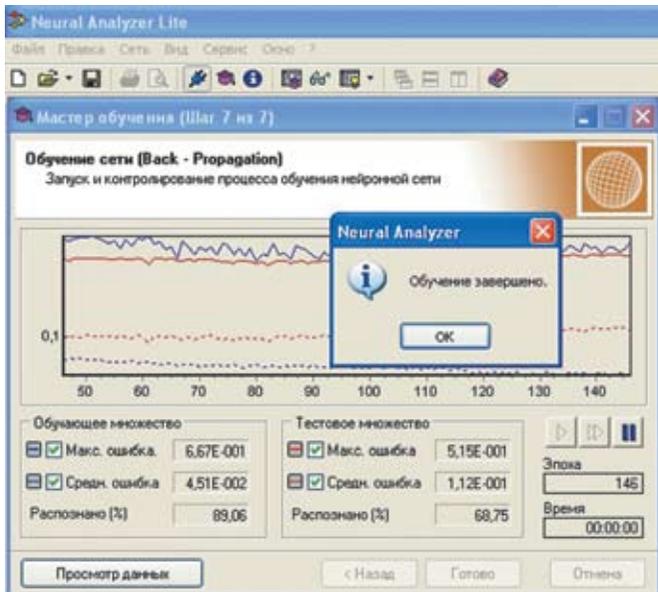


Рис. 12. Окно обучения нейросети в программе Deductor 3.0 Neural Analyzer.

Fig. 12. Training window of neuron network in Deductor 3.0 Neural Analyzer software.

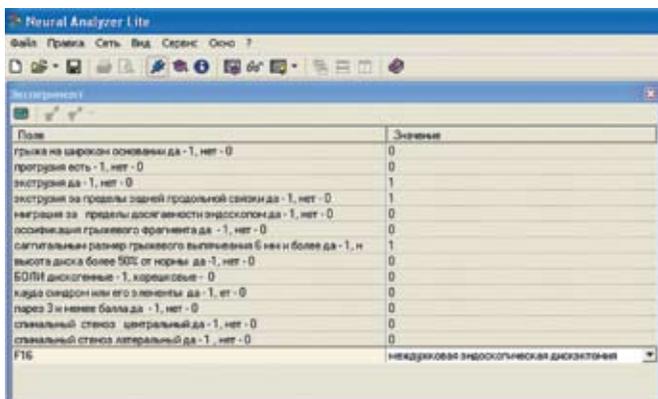


Рис. 13. Окно эксперимента в программе Deductor 3.0 Neural Analyzer, при котором на основании заданных условий состояния пациента обученная нейросеть рекомендует использовать междушковую эндоскопическую дискэктомию.

Fig. 13. Experimental window in Deductor 3.0 Neural Analyzer software, which demonstrates that trained neuron network recommends to use the endoscopic diskectomy with approach between vertebral arches based on specified criteria of patient's condition.

нения при эндоскопическом вмешательстве, поэтому программа согласно алгоритму рекомендует выбрать микродискэктомию (см. рис. 10). Для удаления грыжи малого размера на широком основании рекомендована пункционная гидродискэктомия (см. рис. 9). Также грыжевое выпячивание на широком основании в сочетании со спинальным стенозом рекомендовано оперировать, сочетая микрохирургическую декомпрессию с интраоперационной гидродискэктомией (рис. 11). Грыжи большого размера на широком основании рекомендовано оперировать путем трансфораминальной эндоскопической дискэктомии (см. рис. 10), но в случае значительного снижения высоты диска или выхода грыжевого

секвестра за пределы задней продольной связки рекомендовано обратиться к междушковому эндоскопическому вмешательству (см. рис. 9). При спинальном стенозе в отсутствие дискового выпячивания следует применить микрохирургическую декомпрессию без вмешательства на диске (см. рис. 11).

Также для решения задачи выбора необходимого хирургического вмешательства был применен алгоритм на основе нейросетей в программе Deductor Neural Analyzer. На основании имеющегося массива обучающей выборки из 80 пациентов было проведено обучение нейросети (рис. 12). При этом было достигнуто распознавание 89,06% примеров. После обучения нейросети был проведен эксперимент, который является собственным результатом работы программы, то есть на основании определенных входных данных программа рекомендует необходимый вид вмешательства. В одном из примеров были заданы следующие условия: пациент имел корешковые боли без грубого пареза или кауда-синдрома на фоне экструзии на узком основании с выходом грыжевого фрагмента за пределы задней продольной связки без спинального стеноза. Учитывая такие условия, программа рекомендовала использовать междушковую эндоскопическую дискэктомию (рис. 13).

Обсуждение результатов

Обучение программе искусственного интеллекта зависит от качества и объема обучающей выборки, а также критериев, примененных для ее описания. Признаки, примененные нами для описания пациентов, выбраны на основании клинического опыта и данных литературы. В частности, в данной выборке корешковые боли по клиническому значению преобладали над дискотомиями. Такие клинические критерии, как кауда-синдром и грубый парез с силой 3 и менее баллов, были использованы, поскольку они являются противопоказаниями для эндоскопического вмешательства [2]. Известно, что на результат хирургического вмешательства влияет как образ жизни пациента (степень физической активности, наличие избыточной массы тела, эмоциональный настрой и т.п.), так и морфологические изменения самого диска (размер грыжевого выпячивания, величина разрыва фиброзного кольца диска и соответственно ширина основания грыжи) [5–8, 13, 17, 18]. Это отразилось в наших критериях оценки пациентов и соответственно в программе при ее обучении. Безусловно, рекомендации и алгоритм, полученные на основании данных программ, не являются абсолютными. Они носят рекомендательный характер, но они могут помочь практическому врачу принять правильное решение. Преимущество программ интеллектуального анализа данных состоит в том, что полученные алгоритмы способны к переобучению. Это означает, что увеличение объема обучающей выборки, увеличение количества и градаций описываемых признаков позволяет заново обучить программу

и получить более точный, более объективный и надежный алгоритм принятия решения.

Доказательная медицина связана с введением в практику критически доказанных научных результатов [4, 9] и позволяет пользователю интегрировать как клинический опыт, так и наиболее доступные доказательства из литературы [20]. Анализ на основе дерева решений уже применяется в некоторых областях медицины, таких как ведение дефекта межжелудочковой перегородки [4], проблема онкофертильности [11], лечение раннего остеоартрита лучезапястного сустава [12], скрининговое исследование для обнаружения рака предстательной железы [15]. Анализ решений (дерево решений) при корректном выполнении стал мощной и эффективной техникой в различных клинических ситуациях. Также анализ на основе искусственных нейросетей применяют в медицине все шире в последние два десятилетия. В частности, в фармацевтических исследованиях [3], анестезиологии и реанимации [22] и для решения прогностических задач во многих других областях медицины [23].

Модернизация системы здравоохранения Российской Федерации, которая происходит в последние годы, предполагает выработку стандартов оказания медицинской помощи населению, на основании которых надлежит работать медицинскому лечебному учреждению. Использование современных методов интеллектуального анализа данных может позволить выполнить эту задачу объективно, с учетом опыта многих специалистов и литературы. Это является важным для повышения эффективности лечения, осуществления дидактических и обучающих задач, а также для проведения экспертной оценки и выработки стандартов лечения.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Борщенко Игорь Анатольевич — канд. мед. наук, врач-нейрохирург, Клиника ОРТОСПАЙН Россия, 125252, Москва, проезд Березовой рощи, д.12, e-mail: spine@orthospine.ru

Борщенко Ярослав Анатольевич — Канд. техн. наук, доцент, проректор по информатизации, зав. кафедрой «Организация и безопасность движения» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Курганский государственный университет», e-mail: prorit@kgsu.ru

Басков Андрей Владимирович — д-р мед. наук, проф., нейрохирург Центральная клиническая больница № 1 ОАО «РЖД», 125367, Москва, Волоколамское шоссе, д. 84, e-mail: spine@orthospine.ru

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Холод И.И. и др. Григорий Пятецкий-Шапиро, Data Mining и перегрузка информацией // Вступительная статья к книге // Анализ данных и процессов. 3-е изд. перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 512 С. С.13.

2. Борщенко И.А., Мигачев С.Л., Басков А.В. и др. Универсальная эндоскопическая чрезкожная поясничная дискэктомия: объединение заднебокового и междужкового доступа. Опыт использования. // Материалы съезда. 2009. С. 86-87.
3. Agatonovic-Kustrin S., Beresford R. Basic concepts of artificial neural network (ANN) modeling and its application in pharmaceutical research // J Pharm Biomed Anal. 2000. Vol. 22, № 5. P. 717-727.
4. Aleem I.S. et al. Transcatheter device versus surgical closure of ventricular septal defects: a clinical decision analysis // Catheter Cardiovasc Interv. 2006. Vol. 67, № 4. P. 630-636.
5. Bokov A. et al. Differential treatment of nerve root compression pain caused by lumbar disc herniation applying nucleoplasty // Pain Physician. 2010. Vol. 13, № 5. P. 469-480.
6. Carragee E.J. et al. Clinical outcomes after lumbar discectomy for sciatica: the effects of fragment type and annular competence // J Bone Joint Surg Am. 2003. Vol. 85-A, № 1. P. 102-108.
7. Castro W.H. et al. Restriction of indication for automated percutaneous lumbar discectomy based on computed tomographic discography // Spine. 1992. Vol. 17, № 10. P. 1239-1243.
8. Cohen S.P. et al. Nucleoplasty with or without intradiscal electrothermal therapy (IDET) as a treatment for lumbar herniated disc // J Spinal Disord Tech. 2005. Vol. 18 Suppl. P. S119-124.
9. Etchells E., O'Neill C., Bernstein M. Patient safety in surgery: error detection and prevention // World J Surg. 2003. Vol. 27, № 8. P. 936-941; discussion 941-942.
10. Fabri P.J., Zayas-Castro J.L. Human error, not communication and systems, underlies surgical complications // Surgery. 2008. Vol. 144, № 4. P. 557-563; discussion 563-565.
11. Gardino S.L., Jeruss J.S., Woodruff T.K. Using decision trees to enhance interdisciplinary team work: the case of oncofertility // J. Assist. Reprod. Genet. 2010. Vol. 27, № 5. P. 227-231.
12. Graham B., Detsky A.S. The application of decision analysis to the surgical treatment of early osteoarthritis of the wrist // J Bone Joint Surg Br. 2001. Vol. 83, № 5. P. 650-654.
13. Hirsch J.A. et al. Automated percutaneous lumbar discectomy for the contained herniated lumbar disc: a systematic assessment of evidence // Pain Physician. 2009. Vol. 12, № 3. P. 601-620.
14. Iavindrasana J. et al. Clinical data mining: a review // Yearb Med Inform. 2009. P. 121-133.
15. Krahn M.D. et al. Screening for prostate cancer. A decision analytic view // JAMA. 1994. Vol. 272, № 10. P. 773-780.
16. Mira J.J. et al. Perceptions of clinical safety after hospital discharge // Med Clin (Barc). 2008. Vol. 131 Suppl 3. P. 26-32.
17. Mirzai H. et al. The results of nucleoplasty in patients with lumbar herniated disc: a prospective clinical study of 52 consecutive patients // Spine J. 2007. Vol. 7, № 1. P. 88-92; discussion 92-93.
18. Moon C.T., Cho J., Chang S.K. Availability of discographic computed tomography in automated percutaneous lumbar discectomy // J. Korean Med. Sci. 1995. Vol. 10, № 5. P. 368-372.
19. Rosenberg W.M., Sackett D.L. On the need for evidence-based medicine // Therapie. 1996. Vol. 51, № 3. P. 212-217.
20. Sackett D.L. Evidence-based medicine // Spine. 1998. Vol. 23, № 10. P. 1085-1086.
21. Savits M.H., Chiu J.C., Rauschnig W., Yeung E.T. The practice of minimally invasive spinal technique. AAMISS PRESS, New City, New York, 2005.
22. Traeger M. et al. Artificial neural networks. Theory and applications in anesthesia, intensive care and emergency medicine // Anaesthesist. 2003. Vol. 52, № 11. P. 1055-1061.
23. Trujillano J., March J., Sorribas A. Methodological approach to the use of artificial neural networks for predicting results in medicine // Med Clin (Barc). 2004. Vol. 122 Suppl 1. P. 59-67.