

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

О.Г.Жариков, Ю.В.Мещеряков, А.А.Литвин

Гомельская областная клиническая больница, г. Гомель
Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск

Внедрение информационных технологий в медицине является одним из приоритетных направлений развития здравоохранения. Среди методов медицинской информатики наибольшего внимания заслуживают искусственные нейронные сети. Этот метод позволяет решать задачи точного диагноза, дифференциальной диагностики, прогнозирования, выбора оптимальной стратегии лечения. Приведены известные примеры использования нейросетевых технологий, изложены достоинства и недостатки применения искусственного интеллекта в медицине.

Значение информационного обеспечения различных медицинских технологий возрастает. Оно становится критическим фактором развития практически во всех областях знания. Разработка и внедрение информационных систем – на сегодняшний день одна из самых актуальных задач [1]. По данным ряда исследователей, наибольшую практическую значимость в медицине среди методов нейроинформатики имеют искусственные нейронные сети, благодаря их способности решать слабоструктурированные и плохо формализованные задачи [2–5].

Анализ применения персональных компьютеров в организациях здравоохранения показывает, что они используются недостаточно эффективно: большинство применяются для обработки текстовой документации, хранения и обработки баз данных, ведения статистики и финансовых расчетов. Отдельная специализированная часть машин используется совместно с различными диагностическими и лечебными приборами [6].

В большинстве лечебно-диагностических технологий (прежде всего, это диагностика, назначение лечебных мероприятий, прогнозирование течения заболеваний и их исходов) практически не используются современные возможности компьютера. Причины этого носят чрезвычайно сложный характер и постоянно дискутируются. Основные из них – недостаточно развитая техническая база, низкая компьютерная грамотность исполнителей. Большое значение имеет психологический аспект использования компьютерных приложений. Это – серьезная причина, связанная с характером работы врача. Врач является исследователем, и его работа носит творческий характер, однако он несет прямую ответственность за результат своей деятельности. Принимая решение о диагнозе или лечении, он опирается на знания и опыт, свои собственные и коллег, являющихся для него авторитетом. Очень важно при этом обоснование решения, если оно подсказывается со стороны [6].

Все задачи, решаемые человеком, с позиций нейроинформационных технологий можно условно классифицировать на две группы [2]:

1. Задачи, имеющие известный и определенный набор условий, на основании которого необходимо

получить четкий, точный, недвусмысленный ответ по известному и определенному алгоритму.

2. Задачи, в которых не представляется возможным учесть все реально имеющиеся условия, от которых зависит ответ, а можно лишь выделить приблизительный набор наиболее важных условий. Так как часть условий при этом не учитывается, ответ носит неточный, приблизительный характер, а алгоритм нахождения ответа не может быть выписан точно.

Для решения задач первой группы с большим успехом можно использовать традиционные компьютерные программы. Ограниченность набора условий (входных параметров) дает возможность составления алгоритма решения и написания конкретной программы, решающей данную задачу. Нет никакого смысла в использовании нейроинформационных технологий для решения таких задач, так как в этом случае нейросетевые методы будут априорно хуже.

При решении задач второй группы применение нейротехнологии оправдывает себя по всем параметрам при выполнении двух условий: во-первых, наличие универсального типа архитектуры и единого универсального алгоритма обучения (отсутствие необходимости в их разработке для каждого типа задач), во-вторых, наличие примеров (предыстории, фиксированного опыта), на основании которых производится обучение нейронных сетей. При выполнении этих условий скорость создания экспертных систем возрастает в десятки раз, и соответственно снижается их стоимость [2].

Практически вся медицинская и биологическая наука состоит именно из задач, относящихся ко второй группе, и в большинстве этих задач достаточно легко набрать необходимое количество примеров для выполнения второго условия. Это задачи диагностики, дифференциальной диагностики, прогнозирования, выбора стратегии и тактики лечения и др. Медицинские задачи практически всегда имеют несколько способов решения и «нечеткий» характер ответа, совпадающий со способом выдачи результата нейронными сетями [5].

Наибольший интерес для практического здравоохранения представляют системы для диагностики и дифференциальной диагностики заболеваний. При

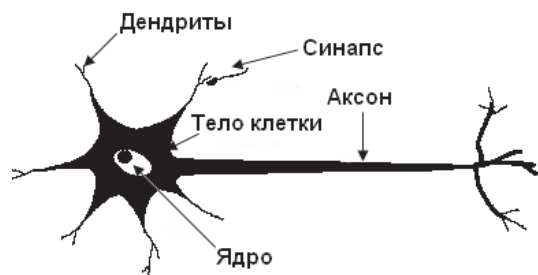
этом для принятия решений могут использоваться самые разнообразные данные – анамнез, клинический осмотр, результаты лабораторных тестов и сложных функциональных методов. Список областей медицины, в которых начали применяться новые технологии, чрезвычайно обширен и продолжает расти [7].

Искусственные нейронные сети (ИНС) (англ. – «artificial neural networks») представляют собой нелинейную систему, позволяющую гораздо лучше классифицировать данные, чем обычно используемые линейные методы. В приложении к медицинской диагностике ИНС дают возможность значительно повысить специфичность метода, не снижая его чувствительности [2, 3].

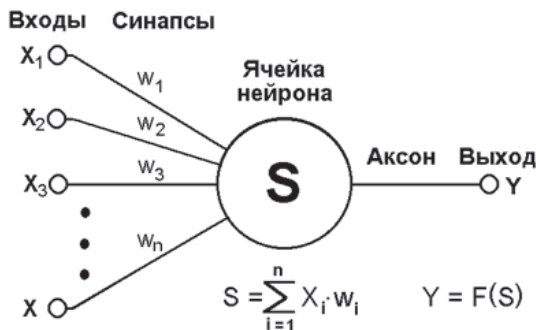
ИНС – это структура для обработки когнитивной информации, основанная на моделировании функций мозга [5]. Основу каждой ИНС составляют относительно простые, в большинстве случаев однотипные элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга (рис. 1). Каждый нейрон характеризуется своим текущим состоянием по аналогии с нервными клетками головного мозга, которые могут быть возбуждены или заторможены. Искусственный нейрон обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона, с которой сигнал (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов (рис. 2). Для ИНС характерен принцип параллельной обработки сигналов, который достигается путем объединения большого числа нейронов в так

называемые слои и соединения определенным образом нейронов различных слоев. Теоретически число слоев и число нейронов в каждом слое может быть произвольным, однако фактически оно ограничено ресурсами компьютера: чем сложнее ИНС, тем масштабнее задачи, подвластные ей. Прочность синаптических связей модифицируется в процессе извлечения знаний из обучающего набора данных (режим обучения), а затем используется при получении результата на новых данных (режим исполнения) [3, 4].

Наиболее важным отличием метода ИНС от всех остальных методов прогнозирования является возможность конструирования экспертных систем самим врачом-специалистом, который может передать нейронной сети свой индивидуальный опыт, опыт своих коллег или обучать сеть на реальных данных, полученных путем наблюдений. Нейронные сети оказываются способными принимать решения, основываясь на выявляемых ими скрытых закономерностях в многомерных данных. Положительное отличительное свойство ИНС состоит в том, что они не программируются, т.е. не используют никаких правил вывода для постановки диагноза, а обучаются делать это на примерах. По данным литературы, ИНС могут демонстрировать удивительные свойства, присущие мозгу человека, в том числе отыскивать закономерности в запутанных данных. Нейронные сети нашли применение во многих областях техники, где они используются для решения многочисленных прикладных задач: в космонавтике, автомобилестроении, банковском деле, страховании, военном деле, робототехнике, при передаче данных и др. Другое, не менее важное свойство нейронной сети состоит в способности к обучению и к обобщению полученных знаний. Сеть обладает чертами так называемого искусственного интеллекта. Натренированная на ограниченном множестве обучающих выборок, она



А. Биологический нейрон



Б. Искусственный нейрон

Рис. 1. Аналогия биологического и искусственного нейронов

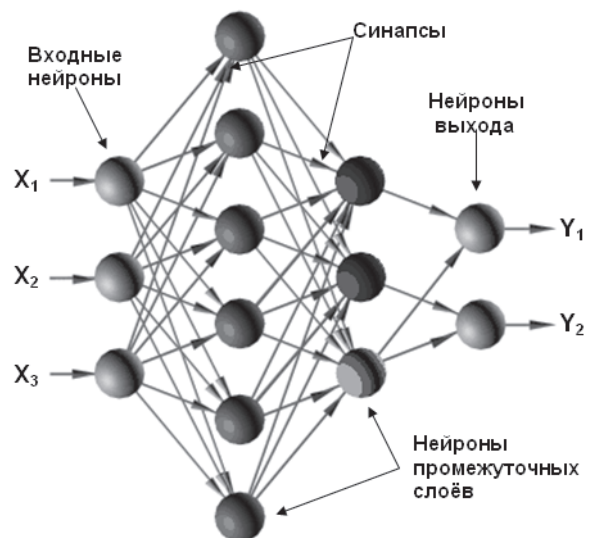


Рис. 2. Схематическое строение искусственной нейронной сети

обобщает накопленную информацию и вырабатывает ожидаемую реакцию применительно к данным, не обрабатывавшимся в процессе обучения [2–4].

Несмотря на значительное количество уже известных практических приложений искусственных нейронных сетей, возможности их дальнейшего использования для обработки сигналов не изучены окончательно, и можно высказать предположение, что нейронные сети еще в течение многих лет будут средством развития информационной техники [4].

Примеры использования ИНС в медицине нельзя назвать единичными, они применяются во многих областях здравоохранения.

Mobley et al. (2002) разработали систему для идентификации стеноза коронарных артерий, которая включала 14 ангиографических переменных [8]. Позже эта система была улучшена авторами и состояла из 11 входных нейронов, 36 нейронов «скрытого слоя» и 1 – выходного. Специфичность составила 26%, чувствительность – 100% [9].

Много работ посвящено прогнозированию и раннему выявлению рака молочной железы. Так, Abbass (2002) создал нейросеть для определения злокачественности опухоли, основанную на 9 гистологических характеристиках [10], Delen et al. (2004) определили выживаемость пациенток с раком молочной железы на основании 17 прогнозирующих переменных (раса, семейное положение, гистологические данные, размер опухоли и т.д.), чувствительность сети составила 91,2% [11]. Papadopoulos et al. (2002) разработали на основе ИНС систему распознавания микрокальцинов на маммограмме, которая в 2004 г. была дополнена определением добро- или злокачественности образований. Ее чувствительность – 83% [12, 13]. Подобная система прогнозирования, основанная на данных маммографии, создана Markey et al. (2003) [14]. Gomez-Ruiz et al. (2004) опубликовали информацию о ИНС для прогнозирования раннего рецидива после хирургического лечения рака молочной железы на основе шести входных параметров (размер опухоли, возраст пациентки, продолжительность менструации и т.п.) [15], Lisboa et al. (2003) на основе нейросети на 1616 обучающих примерах отобрали 18 переменных для прогнозирования результата лечения рака молочной железы [16].

Применение ИНС при беременности охватывает почти все моменты развития жизни: от предсказания времени овуляции, успешного оплодотворения и внутриматочного развития до родов [17–19]. Все эти исследования базируются на ИНС с входными переменными различных числовых масштабов. Входные переменные охватывают спектр от символьных [17] до числовых и ультразвуковых [20].

Одной из самых сложных задач для нейросетей в практической медицине является обработка и распознавание сложных образов – разработаны модели для анализа и извлечения важных особенностей при

КТ, МРТ, рентгенографии и т.д. Важный шаг в анализе биомедицинских изображений – точная сегментация объектов изображения. В работе Aizenberg et al. (2001) имеются примеры фильтрации, сегментации и детектирования с использованием клеточных нейронных сетей [21]. Это позволяет улучшить интерпретацию томограмм головного мозга, улучшить обнаружение микроуплотнений на маммограммах. ИНС были успешно применены для повышения сегментации изображений глаза для определения офтальмопатии [22]. Система сегментации ИНС была объединена в существующую медицинскую систему визуализации. Она имеет пользовательский интерфейс и позволяет диалоговый выбор изображений, архитектуры нейросети, обучающих алгоритмов и данных.

Разработаны системы, облегчающие лабораторную и инструментальную диагностику. Nattkemper et al. (2003) создали систему подсчета и идентификации форм лимфоцитов, которая правильно распознала 95% клеток крови, тогда как опытный специалист смог распознать только 80% клеток [23]. Тжоа и Krishnan (2003) создали ИНС, способную по фотографиям, выполненным при колоноскопии, оценивать состояние толстой кишки. Ее чувствительность – 97,7% [24]. Zhou et al. (2002) разработали нейросеть, оценивающую состав клеток бронхиального дерева и выявляющую раковые клетки по материалам эндоскопических биопсий [25].

Прогнозирование у пациентов раннего артрита посредством самоорганизующейся ИНС было предметом изучения Wuns et al. (2004). Две из самых частых форм хронического аутоиммунного артрита – ревматоидный артрит и спондилоартропатия – классифицировались на основе 14 гистологических особенностей. В комбинации с сетью Кохонена была достигнута точность 76% [26].

Wigderowitz et al. (2000) на основе нейросетевой модели оценили риск возникновения переломов у больных остеопорозом – достигнута точность 91% [27]. Имеются примеры использования ИНС в протезировании для моделирования и подбора имплантатов [28, 29]. В психиатрии Berdia и Metz (1998) использовали нейросеть для постановки диагноза шизофрении [30], Maurelli и Di Gulio – для установления стадии алкоголизма [31].

Accardo и Pensiero (2002) по топографической карте роговицы определяли вероятность развития кератоконуса, Arle et al. – исходы после хирургического лечения эпилепсии (точность достигала 98%), Hayashi et al. (2000) посредством нейросети, основанной на анализе девяти биохимических показателей, прогнозировали гепатобилиарную дисфункцию, Marble и Healy предсказывали исход у травмированных больных (чувствительность метода – 100%, специфичность – 96,5%), Paetz (2003) прогнозировал развитие у пациентов септического шока [32–36].

Разработанная нами нейросетевая модель создана для прогнозирования вероятности развития инфицированного панкреонекроза на основании данных, полученных при поступлении больного в стационар и в течение первых 48 часов госпитализации. Точность результатов – 90%, специфичность – 96% [37]. Используя эту модель, мы получили возможность уже на ранних сроках заболевания острым панкреатитом определить группу больных, угрожаемых по развитию инфицированного панкреонекроза, с выбором адекватной лечебно-диагностической тактики.

Общая черта, объединяющая приведенные примеры – отсутствие единой универсальной технологии создания таких приложений. В публикуемых разработках используются самые разнообразные архитектуры и алгоритмы функционирования нейронных сетей. Это приводит к тому, что почти для каждой задачи разрабатывается своя собственная архитектура, и часто – уникальный алгоритм или уникальная модификация уже существующего. С точки зрения практического применения такие экспертные системы почти не отличаются от традиционных программ принятия решений; предложены даже методы преобразования традиционных экспертных систем в нейросетевые. Их разработка требует участия специалистов по нейроинформатике, а возможности конструирования пользователем практически отсутствуют. Это делает такие системы чрезвычайно дорогими и не очень удобными для практического применения, поэтому в публикациях авторы в основном сравнивают качество работы нейросетевых алгоритмов и традиционных систем, работающих по правилам вывода.

Выводы:

1. Анализ публикаций о применении нейросетевых технологий в медицине показывает, что практически отсутствуют какие-либо методологии разработки нейросетевых медицинских систем, о чем свидетельствует как отсутствие работ такого профиля, так и огромное разнообразие подходов к нейросетевым алгоритмам обучения и архитектурам нейронных сетей. Это подтверждает то, что медицинская нейроинформатика как наука находится еще, в основном, на стадии накопления фактического материала.

2. Нейронная сеть обладает чертами так называемого искусственного интеллекта. Натренированная на ограниченном множестве обучающих выборок, она обобщает накопленную информацию и вырабатывает ожидаемую реакцию применительно к данным, не обрабатывавшимся в процессе обучения. Несмотря на значительное количество уже известных практических приложений, возможности дальнейшего использования искусственного интеллекта не изучены окончательно.

3. Современные технические возможности позволяют выйти на качественно новый уровень представления течения заболевания, а именно: на основе нейросетевых технологий смоделировать типовое развитие патологического процесса. Экспертные компьютерные медицинские системы позволяют врачу не только проверить собственные диагностические предположения, но и обратиться к машине за консультацией в трудных диагностических случаях.

1. Жарко, В.И. Здоровье народа и Программа развития

ЛИТЕРАТУРА

1. здравоохранения Республики Беларусь / В.И.Жарко [и др.] // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. – 2006. – №4. – С.3-7.
2. Андрейчиков, А.В. Интеллектуальные информационные системы / А.В.Андрейчиков, О.Н.Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 424 с.
3. Боровиков, В.П. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows / В.П.Боровиков, Г.И.Ивченко. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 368 с.
4. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С.Осовский; пер. с польского И.Д.Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.
5. Haykin, S. New directions in statistical signal processing: from systems to brain / S.Haykin [et al.]. – Cambridge, London: The MIT Press, 2007. – 514 p.
6. Гельман, В.Я. Медицинская информатика. Практикум / В.Я.Гельман. – СПб: Питер, 2002. – 480 с.
7. Begg, R. Neural networks in healthcare: potential and challenges / R.Begg, J.Kamruzzaman, R.Sarkar. – Idea Group Publishing, 2006. – 334 p.
8. Mobley, B.A. Predictions of coronary artery stenosis by artificial neural network / B.A.Mobley, E.Schechter, W.E.Moore // Artificial Intelligence in Medicine. – 2000. – Vol.18. – P.187-203.
9. Mobley, B.A. Neural network predictions of significant coronary artery stenosis in men / B.A.Mobley, E.Schechter, W.E.Moore // Artificial Intelligence in Medicine [Electronic resource]. – 2004. – Mode of access: <http://www.intl.elsevierhealth.com/journals/aiim>. – Date of access: 23.09.2005.
10. Abbass, H.A. An evolutionary artificial neural networks approach for breast cancer diagnosis / H.A.Abbass // Artificial Intelligence in Medicine. – 2002. – Vol.25, №3. – P.265-281.
11. Delen, D. Predicting breast cancer survivability: A comparison of three data mining methods / D.Delen, G.Walker, A.Kadam // Artificial Intelligence in Medicine [Electronic resource]. – 2004. – Mode of access: <http://www.intl.elsevierhealth.com/journals/aiim>. – Date of access: 23.09.2005.
12. Papadopoulos, A. An automatic microcalcification detection system based on a hybrid neural network classifier / A.Papadopoulos, D.I.Foriadis, A.Likas // Artificial Intelligence in Medicine. – 2002. – Vol.25, №2. – P.149-167.
13. Papadopoulos, A. Characterization of clustered microcalcifications in digitized mammograms using neural networks and support vector machines / A.Papadopoulos, D.I.Foriadis, A.Likas // Artificial Intelligence in Medicine [Electronic resource]. – 2004. – Mode of access: <http://www.intl.elsevierhealth.com/journals/aiim>.

- www.intl.elsevierhealth.com/journals/aiim. – Date of access: 23.09.2005.
14. *Markey, M. K.* Self-organizing map for cluster analysis of a breast cancer database / M.K.Markey, J.Y.Lo, G.D.Tourassi // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2003. – Vol.27. – P.113-127.
 15. *Gomez-Ruiz, J.A.* A neural network based model for prognosis of early breast cancer / J.A.Gomez-Ruiz, J.M.Jerez-Aragones, J.Munoz-Perez // *Applied Intelligence*. – 2004. – Vol.20. – P.231-238.
 16. *Lisboa, P.J.* A Bayesian neural network approach for modelling censored data with an application to prognosis after surgery for breast cancer / P.J.Lisboa, H.Wong, P.Harris // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2003. – Vol.28. – P.1-25.
 17. *Cunningham, P.* Stability problems with artificial neural networks and the ensemble solution / P.Cunningham, J.Carney, S.Jacob // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2000. – Vol.20. – P.217-225.
 18. *Gurgen, F.* Neural-network-based decision making in diagnostic applications / F.Gurgen // *IEEE Engineering in Medicine and Biology*. – 1999. – Vol.18, №4. – P.89-93.
 19. *Ulbricht, C.* Neural networks for recognizing patterns in cardiocytograms / C.Ulbricht, G.Dorffner, A.Lee // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 1998. – Vol.12. – P.271-284.
 20. *Gurgen, F.* Antenatal fetal risk assessment using neurofuzzy technique / F.Gurgen, N.Guler, F.Varol // *IEEE Engineering in Medicine and Biology*. – 2001. – Vol.20, №6. – P.165-169.
 21. *Aizenberg, I.* Cellular neural networks and computational intelligence in medical image processing / I.Aizenberg, N.Aizenberg, J.Hiltnerb // *Image and Vision Computing*. – 2001. – Vol.19, №4. – P.177-183.
 22. *Ossen, A.* Segmentation of medical images using neural network classifiers / A.Ossen, T.Zamzow, H.Oswald // *Proceedings of the International Conference on Neural Networks and Expert Systems in Medicine and Healthcare* / Editors: E.C.Ifeachor, K.Rosen. – Plymouth, UK, 1994. – P.427-432.
 23. *Nattkemper, T.W.* Human vs. machine: Evaluation of fluorescence micrographs / T.W.Nattkemper, T.Twellmann, H.Ritter // *Computers in Biology and Medicine*. – 2003. – Vol.33, №1. – P.31-43.
 24. *Tjoa, M.P.* Feature extraction for the analysis of colon status from the endoscopic images / M.P.Tjoa, S.M.Krishnan // *Biomedical Engineering Online*. – Vol.2, №9.
 25. *Zhou, Z.H.* Lung cancer cell identification based on artificial neural network ensembles / Z.H.Zhou, Y.Jiang, B.Yang // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2002. – Vol.24, №1. – P.25-36.
 26. *Wyns, B.* Prediction of diagnosis in patients with early arthritis using a combined Kohonen mapping and instance-based evaluation criterion / B.Wyns, S.Sette, L.Boullart // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2004. – Vol.31. – P.45-55.
 27. *Wigderowitz, C.A.* Prediction of bone strength from cancellous structure of the distal radius: Can we improve on DXA? / C.A.Wigderowitz, C.R.Paterson, H.Dashti // *Osteoporosis International*. – 2000. – Vol.11, №10. – P.840-846.
 28. *Archambeau, C.* Prediction of visual perceptions with artificial neural networks in a visual prosthesis for the blind / C.Archambeau, J.Delbeke, C.Veraartb // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2004. – Vol.32. – P.183-194.
 29. *Borrett, D.S.* Evolutionary autonomous agents and the nature of apraxia / D.S.Borrett, F.Jin, H.C.Kwan // *Biomedical Engineering Online*. – 2005. – Vol.4, №1. – P.1.
 30. *Berdia, S.* An artificial neural network stimulating performance of normal subjects and schizophrenics on the Wisconsin card sorting test / S.Berdia, J.T.Metz // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 1998. – Vol.13. – P.123-138.
 31. *Maurelli, G.* Artificial neural networks for the identification of the differences between «light» and «heavy» alcoholics, starting from five nonlinear biological variables / G.Maurelli, M.Di Gulio // *Substance Use & Misuse*. – 1998. – Vol.33, №3. – P.693-708.
 32. *Accardo, P.A.* Neural network-based system for early keratoconus detection from corneal topography / P.A.Accardo, S.Pensiero // *J. of Biomedical Informatics*. – 2002. – Vol.35, №3. – P.151-159.
 33. *Arle, J.E.* Neural network analysis of preoperative variables and outcome in epilepsy surgery / J.E.Arle, K.Perrine, O.Devinsky // *J. of Neurosurgery*. – 1999. – Vol.90, №6. – P.998-1004.
 34. *Hayashi, Y.* A comparison between two neural network rule extraction techniques for the diagnosis of hepatobiliary disorders / Y.Hayashi, R.Seiono, K.Yoshida // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2000. – Vol.20. – P.205-216.
 35. *Marble, R.P.* A neural network approach to the diagnosis of morbidity outcomes in trauma care / R.P.Marble, J.C.Healy // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 1999. – Vol.15. – P.299-307.
 36. *Paetz, J.* Knowledge-based approach to septic shock patient data using a neural network with trapezoidal activation functions / J.Paetz // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2003. – Vol.28. – P.207-230.
 37. *Литвин, А.А.* Возможности прогнозирования инфицированного панкреонекроза / А.А.Литвин, О.Г.Жариков, Г.А.Сенчук // *Проблемы здоровья и экологии*. – 2007. – №2(12). – С.7-14.

Поступила 07.09.2007 г.