

УДК 519.816:617.7-007.681

Е.В. Высоцкая<sup>1</sup>, А.Н. Страшненко<sup>1</sup>, С.А. Синенко<sup>2</sup>, Ю.А. Демин<sup>3</sup><sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков<sup>2</sup>Харьковская городская клиническая больница №14 им. проф. Л.Л. Гиришмана, Харьков<sup>3</sup>Харьковская медицинская академия последипломного образования, Харьков

## УТОЧНЯЮЩАЯ ДИАГНОСТИКА ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА СЕТЕЙ

Статья посвящена разработке метода уточняющей диагностики первичной открытоугольной глаукомы на основе метода анализа сетей, учитывающего взаимозависимости между признаками и обратные связи. Разработана структура сетевой модели для определения стадии первичной открытоугольной глаукомы, которая позволит повысить достоверность и обоснованность решения на этапе диагностики. Получен вектор предельных приоритетов стадий первичной открытоугольной глаукомы, которые затем можно использовать для выбора соответствующего метода лечения наиболее вероятной стадии заболевания с наблюдаемыми признаками.

**Ключевые слова:** первичная открытоугольная глаукома, диагностика, стадия, метод анализа сетей.

### Анализ состояния вопроса и постановка задачи

В современной офтальмологии важнейшей медико-социальной проблемой является глаукома, занимающая ведущие позиции среди причин неизлечимой слепоты и инвалидности по зрению, как в Украине, так и во всем мире. Наиболее часто встречается первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ), которая вначале протекает практически незаметно для человека (нет ухудшения зрения, боли, «пелены») и это в свою очередь приводит к прогрессированию заболевания. Врачам-офтальмологам часто приходится сталкиваться с тяжелыми стадиями, когда встает вопрос только о сохранении остаточного зрения, а порой для снятия болевого синдрома, чтобы сохранить глаз. Поэтому важным является вовремя выявить ПОУГ на ранних стадиях развития и вовремя начать лечение.

Согласно современным представлениям о патогенезе ПОУГ, главным признаком заболевания считается наличие глаукомной оптической нейропатии [1], сопровождающейся развитием структурных изменений диска зрительного нерва (ДЗН) и патологическими изменениями поля зрения. Повышение внутриглазного давления перестало быть главным признаком глаукомы, в настоящее время более значимыми признаками являются патологические изменения поля зрения и морфометрические изменения ДЗН.

При постановке диагноза врач-офтальмолог сталкивается с множеством признаков (следствий) и вероятных стадий ПОУГ (причин), которые далеко не всегда являются независимыми. Когда существует множество взаимозависимых и взаимосвязанных признаков, задача определения диагноза, которому

они соответствуют, усложняется. Лечение основано на диагнозе, правильность которого, в свою очередь, зависит от того, насколько верно врачи могут установить отношения между признаками и стадиями. При этом различные диагнозы приводят к разным стратегиям лечения. Поэтому для поддержки принятия лечебно-диагностических решений целесообразно применять метод анализа сетей (МАС), который дает логическую основу для связи признаков с другими знаниями о болезни, используя опыт экспертов наряду с доступными статистическими данными. Один из главных аспектов МАС связан с представлением экспертных суждений с помощью надежного математического аппарата [2].

**Целью статьи** является разработка метода уточняющей диагностики ПОУГ на основе МАС.

### Основной материал

Оптимальная последовательность лечебно-диагностических мероприятий обеспечивает предотвращение инвалидизации пациентов с ПОУГ и улучшение их качества жизни. Алгоритм оптимальной диагностики ПОУГ складывается из:

– предварительной диагностики, для определения наличия у пациента ПОУГ на ранних этапах развития, по клиническим признакам, характеризующим данное состояние [3];

– уточняющей диагностики, для определения стадии заболевания с целью правильного выбора дальнейших диагностических, лечебных и реабилитационных процедур в зависимости от состояния больного, фактической эффективности предшествующего лечения и ожидаемой динамики протекания болезни.

Метод уточняющей диагностики ПОУГ заключается в следующем.

На первом этапе для задачи определения стадии ПОУГ в качестве альтернатив были взяты 4 степени тяжести ПОУГ:  $S_1'$  – начальная (I стадия);  $S_2'$  – развитая (II стадия);  $S_3'$  – далекозашедшая (III стадия);  $S_4'$  – терминальная (IV стадия). Каждая из стадий может быть диагностирована с помощью наборов показателей (критериев). В качестве критериев используются показатели, наиболее выражено характеризующие течение ПОУГ: 14 морфометрических показателей ДЗН, полученных в результате конфокальной сканирующей лазерной офтальмоскопии (HRT-II) и 8 показателей поля зрения, полученных в результате кинетической периметрии:  $X_1'$  – площадь ДЗН ( $\text{мм}^2$ );  $X_2'$  – площадь нейроретинального пояска ( $\text{мм}^2$ );  $X_3'$  – объем нейроретинального пояска ( $\text{мм}^3$ );  $X_4'$  – площадь экскавации ДЗН ( $\text{мм}^2$ );  $X_5'$  – объем экскавации ДЗН ( $\text{мм}^3$ );  $X_6'$  – отношение площади экскавации к площади ДЗН;  $X_7'$  – отношение диаметра экскавации к диаметру ДЗН;  $X_8'$  – средняя глубина экскавации (мм);  $X_9'$  – максимальная глубина экскавации (мм);  $X_{10}'$  – полная трехмерная форма экскавации;  $X_{11}'$  – высота вариации поверхности сетчатки вдоль контурной линии (мм);  $X_{12}'$  – средняя толщина слоя нервных волокон по краю ДЗН (мм);  $X_{13}'$  – площадь поперечного сечения нервных волокон по краю ДЗН ( $\text{мм}^2$ );  $X_{14}'$  – референтная высота;  $X_{15}'$  – верхний радиус (град.);  $X_{16}'$  – верхненосовой радиус (град.);  $X_{17}'$  – носовой радиус (град.);  $X_{18}'$  – нижненосовой радиус (град.);  $X_{19}'$  – нижний радиус (град.);  $X_{20}'$  – нижневисочный радиус (град.);  $X_{21}'$  – височный радиус (град.);  $X_{22}'$  – верхневисочный радиус (град.). Подкритериями выступают градации каждого диагностического показателя.

Далее происходит построение максимально обобщенной сети кластеров (или компонентов) и их элементов, которая объединяет все управляющие критерии. При этом находится наиболее удобная форма расположения кластеров и их элементов, и вводятся соответствующие обозначения. После этого из обобщенной сети выбираются кластеры, которые имеют отношение к каждому управляющему критерию или подкритерию, и устанавливаются между ними связи, соответствующие внешним и внутренним зависимостям (влияниям). Стрелка, направленная от одного кластера к другому, пока-

зывает, что все или некоторые элементы второго кластера влияют на элементы первого.

На основании приведенных исходных данных и сформулированных критериев, была построена сетевая модель для определения стадии ПОУГ, структура которой представлена на рис. 1.

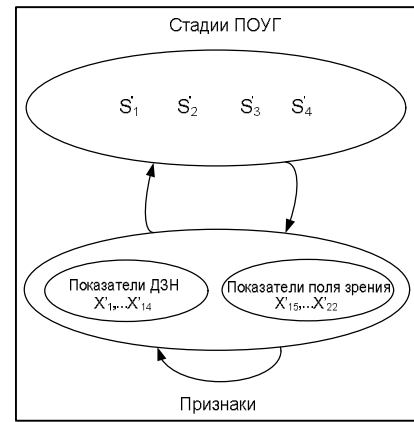


Рис. 1. Сетевая модель для определения стадии ПОУГ

Затем проводилось формирование матриц парных сравнений на основе экспертных суждений. При заполнении матрицы, приведенной в табл. 1 врач отвечал на вопрос: какой из двух признаков является более характерным для данной стадии ПОУГ и насколько более характерным?

Таблица 1  
Матрица парных сравнений признаков для диагноза I стадии ПОУГ

I стадия	Изменение ДЗН	Изменение поля зрения
Изменение ДЗН	1	3
Изменение поля зрения	1/3	1

Экспертные суждения записывали в позиции, расположенные выше главной диагонали. Элементами главной диагонали являются единицы, а элементы нижней треугольной части матрицы представляют собой обратные величины элементов из верхнего треугольника. Выражались суждения вербальными оценками: одинаково, умеренно, сильно, очень сильно и чрезвычайно сильно [4]. Этим оценками соответствовали конкретные числа: 1, 3, 5, 7, 9. Промежуточные значения 2, 4, 6, 8 использовались как компромисс между соседними вербальными оценками. Для представления «обратных» предпочтений применялись обратные величины, т. е. 1/2, 1/3, ..., 1/9. Такая шкала пригодна для сравнения однородных элементов любой природы. Например, когда мы выясняли, какой из двух признаков является более характерным для I стадии ПОУГ, изменение ДЗН или изменение поля зрения, мы получи-

ли ответ, что изменение ДЗН умеренно характернее (3) для этой стадии.

Формирование матриц парных сравнений является итерационной процедурой и довольно трудоемким процессом, который делает невозможным выполнять формирование матриц парных сравнений индивидуально для каждого пациента. Поэтому, для каждого диагностического показателя были установлены интервалы, которые служат для определения принадлежности пациента к однородной группе.

Далее определялись векторы приоритетов альтернатив, критериев и подкритериев из матриц парных сравнений, заполненных экспертами.

По полученным на основе экспертных оценок матрицам парных сравнений каждого элемента кластера вычислялись локальные приоритеты сравниваемых элементов согласно выражению:

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} / \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{ik}}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество сравниваемых объектов;  $a_{ij}, a_{ik}$  – степени приоритета  $j$ -го сравниваемого объекта над  $k$ -м.

Таким образом, формируется матрица локальных приоритетов нижнего уровня  $w^1$  размерностью  $m \times n$  элементов и вектор-столбец верхнего уровня  $w^2$  размерностью  $n$  элементов. Элементы  $w^1$  и  $w^2$  определяются по выражению (1) для соответствующих матриц парных сравнений. Вектор глобальных приоритетов альтернатив  $w^g$  размерностью  $m$  элементов определяется умножением соответствующих локальных приоритетов согласно выражению:

$$w^g = w^1 \times w^2. \quad (2)$$

В табл. 2 записаны векторы приоритетов для каждой стадии ПОУГ относительно признаков, вычисленных согласно выражению (2) из матриц парных сравнений, заполненных врачом на основе экспертных знаний. Эти приоритеты показывают, какой из признаков является более характерным для соответствующей стадии ПОУГ.

Таблица 2

Приоритеты стадий ПОУГ относительно признаков

	Изменение ДЗН	Изменение поля зрения
I стадия	0,11896	0,11706
II стадия	0,16893	0,15200
III стадия	0,26094	0,28975
IV стадия	0,45117	0,44118

Затем проверяется согласованность оценок в матрице и определяется ошибка согласованности.

При определении стадии ПОУГ существенны

ми показателями являются индекс согласованности матриц  $I_S$  и ошибка согласования  $\Delta_S$ , которые определяются по выражениям:

$$I_S = \frac{\sum_{i=1}^n w_i * \left( \sum_{j=1}^n a_{ji} \right) - n}{n-1}, \quad \Delta_S = \frac{I_S}{I_{SS}},$$

где  $I_{SS}$  – индекс согласованности матрицы того же порядка, но заполненной случайным образом.

Если ошибка согласования матрицы превышает некоторое пороговое значение, то необходимо пересмотреть экспертные оценки, на основе которых была составлена данная матрица.

Для этого необходимо выявить те позиции в матрице суждений, которые вносят максимальный вклад в величину отношения согласованности, и попытаться изменить меру несогласованности в меньшую сторону на основе более глубокого анализа вопроса.

Далее для каждого управляющего критерия формируется суперматрица, последовательно разместив в ней все кластеры и содержащиеся в них элементы сверху вниз по вертикали и слева направо по горизонтали. Записываются в соответствующие позиции суперматрицы векторы приоритетов, полученные из парных сравнений, как подстолбцы (блоки) соответствующих столбцов суперматрицы.

Суперматрица сети, приведенной на рис. 1, имеет вид:

$$Q = \begin{pmatrix} 0 & \alpha_1 W_{12} \\ W_{21} & \alpha_2 W_{22} \end{pmatrix}.$$

Приоритеты, записанные в матрице-блоке  $W_{12}$ , указывают на наиболее вероятный диагноз, которому соответствуют наблюдаемые признаки. На уровне признаков в матрице  $W_{21}$  записаны приоритеты, показывающие, какой признак является более характерным для данной стадии ПОУГ. Другими словами,  $W_{12}$  представляет вероятности стадий, вызывающих данный признак, а  $W_{21}$  – матрица относительной важности (характерности) признаков для рассматриваемых диагнозов (стадий). Обе матрицы  $W_{12}$  и  $W_{21}$  могут быть построены либо на основе статистических данных, либо на основе экспертных суждений. Матрица  $W_{22}$  показывает взаимные связи между признаками, которые представляются экспертными суждениями.

Затем выполняются парные сравнения элементов кластеров, определяя их влияние на элементы в других кластерах, с которыми они связаны (внешняя зависимость), или на элементы собственного кластера (внутренняя зависимость). В парных сравнениях определяется, какой из двух элементов сильнее влияет на заданный элемент и насколько сильнее. Проводятся парные сравнения кластеров по критериям управляющей иерархии. Полученные веса ис-

пользуются в качестве весовых коэффициентов для элементов соответствующих блоков суперматрицы. Весовой коэффициент приравнивается к нулю, если кластер не оказывает влияния на другие кластеры. В результате умножения, суперматрицы на весовые коэффициенты кластеров получается взвешенная суперматрица, стохастическая по столбцам.

На заключительном этапе производится вычисление предельных приоритетов стохастической суперматрицы для задачи определения стадии ПОУГ. Предельные приоритеты стадий ПОУГ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Предельные приоритеты стадий ПОУГ

	Приоритеты из предельной матрицы	Приоритеты, нормированные по кластерам
I стадия	0,039349	0,11805
II стадия	0,053594	0,16078
III стадия	0,091602	0,27481
IV стадия	0,148788	0,44636

Результат, который предоставил МАС, – набор приоритетов (или вероятностей) всех элементов исследуемой проблемы. В данном случае в табл. 3 во втором столбце получен вектор предельных приоритетов, которые в будущем можно использовать для выбора метода лечения наиболее вероятной стадии ПОУГ с наблюдаемыми признаками.

### Выводы

Таким образом, предложенный метод диагностики ПОУГ делает возможным уточнить стадию заболевания при наблюдаемых признаках с целью своевременного эффективного лечения. Разработанная структура сетевой модели для определения

стадии ПОУГ позволит повысить достоверность и обоснованность решения на этапе диагностики, что способствует приостановлению дальнейшего развития глаукоматозного процесса. Полученный вектор предельных приоритетов стадий ПОУГ можно использовать для выбора наилучшего метода лечения соответствующей стадии ПОУГ с наблюдаемыми признаками.

В будущем планируется апробировать предложенный метод на реальных пациентах в Харьковской городской клинической больнице №14 им. проф. Л.Л. Гиршмана.

### Список литературы

1. Кулик А.В. Морфометрический контроль диска зрительного нерва в комплексной диагностике первичной открытоугольной глаукомы: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.07 / Кулик Александр Владимирович; ФГОУ ДПО ИПК ФМБА России. – М., 2010. – 110 с.
2. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети: пер. с англ. / Т.Л. Саати. – М.: Книжный дом «Либроком», 2011. – 360 с.
3. Пат. 47283 Україна, МПК А61В 5/00. Спосіб ранньої діагностики глаукоми / Висоцька О.В., Дьомін Ю.А., Синенко С.О., Страшненко Г.М., Бых А.І., Півненко А.В., Порван А.П.; Заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – № u200907740; заявл. 23.07.09; опубл. 25.01.10, Бюл. № 2. – 22 с.: ил. 2
4. Саати Т. Л. Принятие решений: метод анализа иерархий: пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.

Поступила в редколлегию 6.03.2012

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. А.И. Бых, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### УТОЧНЮЮЧА ДІАГНОСТИКА ПЕРВИННОЇ ВІДКРИТОКУТОВОЇ ГЛАУКОМИ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ МЕРЕЖ

О.В. Висоцька, Г.М. Страшненко, С.О. Синенко, Ю.А. Дьомін

Стаття присвячена розробці методу уточненої діагностики первинної відкритокутової глаукоми на основі методу аналізу мереж, що враховує взаємозалежності між ознаками і зворотні зв'язки. Розроблено структуру мережевої моделі для визначення стадії первинної відкритокутової глаукоми, яка дозволить підвищити достовірність та обґрунтованість рішення на етапі діагностики. Отримано вектор граничних пріоритетів стадій первинної відкритокутової глаукоми, які потім можна використовувати для вибору відповідного методу лікування найбільш вірогідної стадії захворювання, з ознаками які спостерігаються.

**Ключові слова:** первинна відкритокутова глаукома, діагностика, стадія, метод аналізу мереж.

### SPECIALIZING DIAGNOSIS OF PRIMARY OPEN-ANGLE GLAUCOMA IS BASED ON NETWORK ANALYSIS

E.V. Visotskaja, A.N. Strashnenko, S.A. Sinenko, Y.A. Demin

This article is devoted to development method for diagnosing of primary open-angle glaucoma on the basis of network analysis, which takes into account the interdependence between signs and feedbacks. The structure of the network model for stage definition of primary open-angle glaucoma was developed. It's allowed to raise a certainty and validity of decisions at the stage of diagnosis. A vector of limiting priorities stages of primary open-angle glaucoma was obtained. It can be used to select the appropriate method of treatment most likely stage of the disease with the observed signs.

**Keywords:** primary open-angle glaucoma, diagnosis, stage, network analysis.