



DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2019.1.02  
УДК 51–76

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ СОСУДИСТОГО ТРАКТА ГЛАЗА**

**А.Ю. Конькова<sup>1</sup>, Д.А. Бояршинов<sup>2</sup>, Т.В. Гаврилова<sup>1</sup>, М.Б. Гитман<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Кафедра офтальмологии Пермского государственного медицинского университета имени академика Е.А. Вагнера Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия, 614990, Пермь, ул. Петропавловская, 26, e-mail: nu\_86@mail.ru, gavrilova.tv@mail.ru

<sup>2</sup> Кафедра вычислительной математики, механики и биомеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета, Россия, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29, e-mail: houston707@mail.ru, gmb@pstu.ru

**Аннотация.** Исследуется связь между причиной возникновения увеита и результатами комплексного обследования пациентов. Приведена методика определения причины возникновения увеита у обследуемого пациента, которая основывается на использовании элементов теории нечетких множеств и заключается в построении нечеткого отношения между результатами обследования некоторой выборки пациентов и причинами возникновения у них увеита. Преимуществом применения методики, основанной на использовании элементов теории нечетких множеств, является возможность построения связи, которую достаточно сложно описать аналитически с приемлемой точностью. Данная методика отличается от известных тем, что рассматривает достаточно широкий спектр причин возникновения увеита, а также дает возможность определить его причину с достаточной точностью при относительно небольшом количестве исследуемых пациентов. Методика была применена на выборке из 70 пациентов с односторонним увеитом, для каждого из которых известны результаты комплексного клинико-лабораторного обследования и определены 117 наиболее значимых показателей. Для определения связи между результатами комплексного обследования пациента и причиной возникновения увеита были использованы данные 65 из 70 больных, а остальные 5 пациентов отобраны для проверки получаемой точности определения причин возникновения увеита. Дополнительная верификация приведенной методики проводилась на основании данных шести пациентов с двухсторонним процессом. Для реализации разработанной методики был создан программный комплекс.

**Ключевые слова:** увеит, причины возникновения, теория нечетких множеств, нечеткое условное предложение, составное правило выбора, погрешность вычислений, тестирование.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Воспалительные заболевания сосудистого тракта глаза называются увеитами. Эта патология известна еще со времен Гиппократ, но до сих пор не обнаружено идеального способа диагностики, лечения и предупреждения рецидивов заболевания в связи с особенностями анатомического строения глазного яблока и иммунологического реагирования пациентов, многообразием клинических форм

© Конькова А.Ю., Бояршинов Д.А., Гаврилова Т.В., Гитман М.Б., 2019

Конькова Анна Юрьевна, ассистент кафедры, Пермь

Бояршинов Дмитрий Альбертович, магистрант, Пермь

Гаврилова Татьяна Валерьевна, д.м.н., профессор, заведующая кафедрой, Пермь

Гитман Михаил Борисович, д.ф.-м.н., профессор, Пермь

и полиэтиологичностью заболевания. Особое внимание следует обратить на то, что один и тот же тип заболевания может быть вызван различными причинами, что, в свою очередь, обуславливает выбор оригинальных методик лечения одного и того же заболевания, вызванного различными этиологическими факторами. Поэтому анализ причин возникновения увеитов является актуальной задачей современной медицины.

Увеиты широко распространены в популяции и регистрируются в различных регионах мира. При этом показатели заболеваемости варьируются и составляют от 50 до 620 на 100 тыс. человек [12, 15, 23, 24].

Серьезное значение имеет тот факт, что увеиты встречаются у людей любых возрастных групп, но наиболее часто они поражают лиц молодых и трудоспособных [18, 21, 28]. Рецидивирующий характер воспаления вызывает появление осложнений, приводящих к снижению или полной потере зрения на пораженном глазу и, как следствие, снижению качества жизни пациентов [12, 15, 18, 21, 23, 24, 28, 30]. Доля увеитов как причины приобретенной слепоты и слабовидения составляет 10–15% [8, 11, 25, 26].

Неоспоримо, что для уменьшения количества неблагоприятных исходов и успешного лечения пациентов необходимо основываться на этиопатогенетическом подходе. Однако расшифровка этиологических факторов увеита остается значительной проблемой современной офтальмологии. Природа заболевания многообразна – развитие воспаления может быть спровоцировано воздействием экзогенных и эндогенных факторов [7]. Экзогенные увеиты развиваются при травмах глазного яблока, сопровождающихся внедрением инфекции. В качестве причин эндогенных процессов на сегодняшний день рассматривается около 150 различных инфекционных и неинфекционных соматических заболеваний организма [29]. Несмотря на прогресс современной медицины и многолетнюю историю изучения рассматриваемой патологии, установление причин увеитов вызывает большие трудности, а у 30–40% больных этиология заболевания остается неустановленной [2, 3, 5, 22]. Следовательно, этиологическая диагностика увеитов остается актуальной задачей практической офтальмологии.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В настоящее время имеются два подхода к определению причины возникновения увеита.

Первый из них основан на статистическом методе и рассматривает лишь наличие связи между определенными результатами анализов или обследования пациента и причиной возникновения увеита. Примером являются работы [6, 13, 14, 16, 27]. Рассмотрим более подробно некоторые из них.

В работе [13] оценивается связь между возрастом и течением увеита у пациентов детского и подросткового возраста с ювенильным идиопатическим артритом. На основании анализа результатов лечения 62 больных были получены данные, говорящие о том, что в большинстве случаев возраст пациента влияет на течение и активность увеита, возникшего по причине ювенильного идиопатического артрита. Стоит отметить, что в данной работе было выявлено лишь наличие связи, а не вид этой связи, ввиду ее сложности. В статье [6] была проведена оценка влияния различных параметров, характеризующих пациента, на течение токсоплазмозного увеита на основании данных 153 пациентов. В результате установлено, что увеит чаще наблюдался у женщин, чем у мужчин, заболевание преимущественно развивалось у пациентов в возрасте до 29 лет, однако точный вид влияния рассмотренных параметров на течение увеита не был установлен.

Работа [14] посвящена хроническому переднему увеиту у детей и возникшим осложнениям. На основе анализа данных 115 пациентов было показано, что на течение увеита влияет возраст, пол и еще несколько параметров. В статье [27] были изучены факторы риска возникновения ювенильного идиопатического артрита. На основе анализа данных 1047 пациентов было выявлено, что фактором риска является определенный возраст, но только для девочек. Как и в других работах, отнесенных к первой группе, в данной статье лишь подтверждается наличие связи между причиной возникновения увеита или его течения и различными параметрами пациента, такими как пол, возраст и множество других.

Второй подход этиологической диагностики основывается на попытке установления связи между присутствием определенных иммуногенетических маркеров заболеваний и причиной возникновения увеита. Например, работы [17, 19, 20] посвящены изучению связи между наличием определенного человеческого лейкоцитарного гена (*HLA*) и причиной возникновения увеита.

Следует отметить, что данные работы не позволяют в достаточной мере описать связь между причиной возникновения увеита и результатами обследований, проведенных пациенту. Поэтому были выполнены исследования, направленные на более детальный анализ причин возникновения различных типов увеита. Предложенный подход базируется на применении элементов теории нечетких множеств, в частности на использовании нечеткого условного предложения и составного правила выбора [9, 10, 31, 32]. Основная идея предлагаемого подхода заключается в построении нечеткого отношения между результатами обследования пациента и соответствующими этому набору результатов причинами возникновения увеита. Преимуществом применения теории нечетких множеств является возможность построения связи, которую достаточно сложно описать аналитически с приемлемой точностью.

В исследование были включены 76 пациентов с эндогенными увеитами на 82 глазах, из них 54% мужчин и 46% женщин в возрасте от 19 до 75 лет (средний возраст –  $46,25 \pm 14,56$  г.). Пациенты проходили стационарное лечение в трех офтальмологических отделениях Государственного бюджетного учреждения здравоохранения Пермского края «Пермская Орден «Знак почета» краевая клиническая больница» или отделении внелегочного туберкулеза Государственного бюджетного учреждения здравоохранения Пермского края противотуберкулезного клинического диспансера № 1 «Фтизиопульмонология». Всем больным было выполнено комплексное офтальмологическое и лабораторное обследование.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Результаты комплексного офтальмологического и лабораторного обследования для каждого пациента представляют собой набор из переменных  $k$  (входящие параметры), а количество причин, вызывающих заболевание (увеит), обозначим  $r$  (выходные параметры). Отметим, что чаще всего выходной параметр только один ( $r = 1$ ) и он является причиной заболевания, но в общем случае методика подходит для нескольких выходных параметров. Другими словами, причин возникновения того или иного типа увеита может быть и несколько.

Еще раз обратим внимание на то, что все переменные, как входные, так и выходные, являются нечеткими числами [31, 32], т.е. каждая переменная представляет собой пару – четкое значение и степень принадлежности этого значения тому понятию, которое оно собой формализует. Значение степени принадлежности каждого элемента строится на основе известных статистических данных.

Для нахождения нечеткого отношения между результатами тестирования пациента и соответствующих этому набору результатов причинами возникновения увеита  $F$  построим соответствующие нечеткие отношения  $S^i$  [31, 32].

Будем считать, что количество пациентов, для которых известны результаты тестирования и причина возникновения увеита, равно  $l$ . Тогда

$$S^i = A^i \times B^i, \quad i=1, \dots, l, \quad (1)$$

где  $A^i$  – специальное нечеткое множество, содержащее результаты тестирования для  $i$ -го пациента;  $B^i$  – специальное нечеткое множество, содержащее выходные параметры, а именно причину возникновения увеита для  $i$ -го пациента;  $\times$  – знак декартова произведения нечетких множеств [9, 10].

Отметим, что (1) определяет собой нечеткое отношение, которое представимо в виде матрицы [9, 10], где  $m$ -й член этой матрицы  $\mu_{mn}$ , найденный для элемента  $(a_m, b_n)$ , определяется правилами векторного произведения для нечетких множеств [31];  $m = 1, \dots, d$ ;  $n = 1, \dots, w$ .

В работах [9, 10] указано, что, в отличие от обычных нечетких множеств, специальные нечеткие множества могут состоять из элементов различной физической природы с разными размерностями.

Общее количество пар элементов в нечетком множестве  $A^i$  равно значению  $d$ , а общее количество пар элементов в нечетком множестве  $B^i$  равно значению  $w$ , которые определяются следующим образом:

$$d = \sum_{i=1}^k p_i; \quad w = \sum_{i=1}^r t_i, \quad (2)$$

где  $p$  и  $t$  – количества возможных значений  $i$ -го параметра.

Таким образом, для каждого  $i$ -го пациента ( $i = 1, \dots, l$ ) определено отношение связи  $S^i$  между специальными нечеткими множествами  $A^i$  и  $B^i$ . Связь между произвольным (тестируемым) множеством  $A^i$ , описывающим результаты тестирования пациента, и индуцируемым им множеством  $B^i$ , описывающим выходные параметры пациента, которые в данном случае являются причиной возникновения увеита, можно определить следующим образом:

$$F = S = \bigcup_{i=1}^l S^i. \quad (3)$$

При этом индуцируемое множество  $B^i$  находим с помощью соотношения

$$B^i = A^i \circ F, \quad (4)$$

где  $\circ$  – знак максиминного произведения (максиминное произведение определяется как обычное произведение матриц [1], при этом вместо операции умножения вводится  $\min$ , а вместо операции сложения –  $\max$ ).

Таким образом, можно определить оператор  $F$ , позволяющий по известному набору результатов тестирования пациента получать причину возникновения у него увеита.

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УВЕИТА  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕСТИРОВАНИЯ ПАЦИЕНТА**

Каждому пациенту было проведено комплексное офтальмологическое и лабораторное обследование, по результатам которого были отобраны 117 значимых показателей. Для простоты восприятия они были поделены на группы (табл. 1).

Таблица 1

**Показатели пациентов с увеитами**

Наименование группы	Показатель
Общие данные	Возраст, пол, больной глаз, тубконтакт, диагноз при поступлении, тип течения заболевания, острота воспаления, течение по классификации <i>SUN</i> , наличие провоцирующего фактора
Осложнения	Катаракта, глаукома, рубеоз, задние синехии, заращение зрачка, помутнение роговицы, фиброз стекловидного тела, отек макулы, макулярная дистрофия, периферическая витреохориоретинальная дистрофия, субатрофия глазного яблока
Сопутствующие заболевания	ЛОР-органов: хронический ринит, хронический риносинусит, хронический тонзиллит, отит. Системные: ревматоидный полиартрит, системная красная волчанка, болезнь Бехтерева, деформирующий остеоартроз, ювенильный ревматоидный артрит. Мочеполовой системы: хронический пиелонефрит. Полости рта: хронический пародонтит, кариес. Инфекционные: сифилис, токсоплазмоз, туберкулез, герпес, хламидиоз
Данные объективного обследования	Роговица: прозрачность, десцеметит, инфильтрат, отек, старое помутнение, эрозия, язва, эпителиопатия, локализация, васкуляризация, чувствительность. Преципитаты: размер, цвет, расположение, количество. Передняя камера: прозрачность влаги. Синехии: наличие, вид. Радужка: норма, атрофичность, раздрация, рубеоз, отек. Цилиарное тело: болезненность. Хрусталик: экссудат на передней капсуле хрусталика, катаракта, артификация. Общие для глаза: внутриглазное давление, острота зрения, острота зрения с коррекцией. Стекловидное тело: клеточная реакция. Диск зрительного нерва: цвет, границы. Макула: норма, отек, геморрагии, воспалительный очаг. Периферия сетчатки: норма, экссудат, воспалительный очаг, отек. Очаговые изменения: активность, цвет, границы, расположение, отек, экссудат, геморрагии, проминенция
Лабораторные исследования	Общий анализ крови: скорость оседания эритроцитов, лейкоциты, эритроциты, гемоглобин. Биохимический анализ крови: С-реактивный белок, фибриноген. Общий анализ мочи: белок, слизь. Ревматоидный фактор. Реакция Вассермана. IgM к цитомегаловирусу, хламидиям. IgG к вирусу простого герпеса, цитомегаловирусу, хламидиям, токсоплазме. Авидность IgG к цитомегаловирусу, токсоплазме. Бактериологическое исследование роста микрофлоры в слезной жидкости.

Основными причинами возникновения увеитов у рассматриваемых пациентов были [2, 3, 5, 6, 13, 16, 22] системные (ревматоидный артрит, болезнь Бехтерева, системная красная волчанка) и инфекционные (вирусы группы герпеса, токсоплазмоз, хламидии, сифилис, туберкулез, фокальные инфекции) заболевания.

Общее число обследуемых пациентов с односторонним увеитом составляло 70 человек, данные 65 из них были использованы для определения связи между результатами тестирования пациента и причиной возникновения увеита, а 5 были отобраны для проверки получаемой точности определения причин возникновения увеита. Для проверки точности решения в произвольном порядке были выбраны пациенты под номерами 14, 20, 33, 44, 56.

Для возможности записи нечисленных значений соответствующих нечисловых параметров в модель была введена численная классификация этих значений. Например, при рассмотрении пола 1 соответствует мужской пол, а 2 – женский.

Часть результатов обследования некоторых пациентов и причины возникновения у них увеита записаны в табл. 2 в виде нечетких множеств, где первое число является результатом теста, а второе – значением соответствующей степени принадлежности.

В качестве примера продемонстрируем вид нечетких множеств  $A^1$  и  $B^1$ , причем  $A^1$  будет записано сокращенно (из-за своей большой длины):

$$A^1 = \left( \frac{0}{20}, \frac{0}{40}, \frac{0,3}{60}, \frac{0}{80}, \frac{0}{1}, \frac{0,1}{2}, \frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0}{5}, \frac{0,5}{6} \dots \right), B^1 = \left( \frac{1}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0}{5}, \frac{0}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0}{9} \right).$$

Отметим, что нечеткие отношения  $S^i$ ,  $i=1, \dots, 65$  для нашего примера представляют собой матрицы размерами  $327 \times 9$ .

Ввиду большого количества рассматриваемых тестов и пациентов задача имеет большое количество входных данных и требует достаточно больших вычислений. Для решения этой проблемы был разработан программный комплекс на языке C++, позволяющий определить причины возникновения увеита на основе описанной выше методики.

Таблица 2

**Результаты обследования пациентов с увеитами и соответствующие им причины заболевания**

№ п/п	Возраст	Пол	Тубконтакт	Диагноз при поступлении	Тип течения	Острота воспаления	...	Этиология
1	60/0,3	2/1	1/0,1	6/0,5	1/0	2/0,5	...	1
2	70/0,3	2/1	1/0	1/0,3	8/0,2	2/0,5	...	1
3	50/0	2/0	1/0	1/0,6	5/0	1/0,3	...	8
5	70/0,3	2/1	1/0	6/0,5	3/0,2	1/0	...	1
6	60/0	1/0	1/0	4/0	4/0	1/0,5	...	2
8	30/0,3	1/0	1/0	1/0,3	8/0,2	2/0,3	...	4
...	...	...	...	...	...	...	...	...
65	70/0	1/1	1/0	1/0,8	3/0,4	1/0	...	8

Объединяя нечеткие отношения  $S^i$ ,  $i = 1, \dots, 65$  по формуле (3), получим нечеткое отношение (матрицу) связи между произвольным (тестируемым) множеством  $A^{\text{тест}}$ , описывающим результаты тестирования пациента, и индуцируемым им множеством  $B^{\text{тест}}$ , описывающим причину возникновения увеита. При этом индуцируемое множество  $B^{\text{тест}}$  (искомые характеристики) определится по соотношению (4).

Результаты вычислений для отобранных для проверки точности определения причин возникновения увеита пациентов в виде специальных нечетких множеств занесены в табл. 3.

Для более наглядного представления результатов предлагается ввести невязку  $\delta$ , которая будет учитывать, что наиболее важно значение полученной функции принадлежности для причины, которая является предполагаемой. Таким образом, предлагается невязка  $\delta$ , которая представляет собой обычную норму Чебышева [4].

Результаты, приведенные выше, были получены при рассмотрении группы пациентов с односторонним увеитом. Стоит отметить, что достаточно распространенными являются двухсторонние поражения. При этом возможны редкие случаи, когда причины воспаления для каждого глаза могут быть различными. Случаи, когда этиология увеита одинакова для обоих глаз, могут быть рассмотрены для верификации построенной модели. Для этого первый и второй глаз пациента относят к первой и второй группе, а далее определяют причину возникновения увеита для первого глаза, рассматривая лишь первую группу, а причину возникновения увеита второго глаза – рассматривая вторую группу. Сравнивая полученные результаты, мы ожидаем схожие результаты для первой и второй групп. Такая методика применялась для 6 пациентов. В этом случае для определения причины возникновения увеита первого глаза  $i$ -го пациента рассматривались первые глаза остальных 5 пациентов, то же самое было проведено для второго глаза каждого из 6 пациентов. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 3

Результаты вычисления причины возникновения увеита

№ пациента	Предполагаемая причина возникновения увеита	Вычисленная причина возникновения увеита	Невязка $\delta$
14	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{1}{4}, \frac{0}{5}, \frac{0}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0}{9})$	$(\frac{0,5}{1}, \frac{0,5}{2}, \frac{0,4}{3}, \frac{0,3}{4}, \frac{0,7}{5}, \frac{0,3}{6}, \frac{0,6}{7}, \frac{0,7}{8}, \frac{0}{9})$	0,7
20	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0}{5}, \frac{0}{6}, \frac{0}{7}, \frac{1}{8}, \frac{0}{9})$	$(\frac{0,5}{1}, \frac{0,3}{2}, \frac{0,3}{3}, \frac{0,3}{4}, \frac{0,5}{5}, \frac{0,5}{6}, \frac{0,5}{7}, \frac{1}{8}, \frac{0}{9})$	0,05
33	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0}{5}, \frac{1}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0}{9})$	$(\frac{0,5}{1}, \frac{0,3}{2}, \frac{0,3}{3}, \frac{0,3}{4}, \frac{0,5}{5}, \frac{1}{6}, \frac{0,5}{7}, \frac{0,5}{8}, \frac{0}{9})$	0,05
44	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{1}{5}, \frac{0}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0}{9})$	$(\frac{0,5}{1}, \frac{0,5}{2}, \frac{1}{3}, \frac{0}{4}, \frac{1}{5}, \frac{0,4}{6}, \frac{0,8}{7}, \frac{0,5}{8}, \frac{0}{9})$	0,1
56	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{1}{5}, \frac{0}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0}{9})$	$(\frac{0,4}{1}, \frac{0,5}{2}, \frac{1}{3}, \frac{0}{4}, \frac{1}{5}, \frac{0,4}{6}, \frac{0,8}{7}, \frac{0,5}{8}, \frac{0}{9})$	0,1

Таблица 4

**Результаты вычисления причины возникновения увеита  
для пациентов с двусторонним увеитом**

№ п	№ заданной причины	Вычисленная причина увеита в виде нечеткого множества (первый глаз)	$\delta$	Вычисленная причина увеита в виде нечеткого множества (второй глаз)	$\delta$
71	6	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0,7}{5}, \frac{1}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0,7}{9})$	0,07	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0,7}{5}, \frac{1}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0,7}{9})$	0,07
72	6	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0,7}{5}, \frac{1}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0,8}{9})$	0,08	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0,7}{5}, \frac{1}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0,8}{9})$	0,08
73	5	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{1}{5}, \frac{0,7}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0,7}{9})$	0,07	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0,7}{5}, \frac{0,7}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0,7}{9})$	0,3
74	5	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{1}{5}, \frac{0,7}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0,7}{9})$	0,07	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0,8}{5}, \frac{0,7}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0,7}{9})$	0,2
75	5	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0,8}{5}, \frac{0,7}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0,7}{9})$	0,2	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0,8}{5}, \frac{0,7}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0,7}{9})$	0,2
76	9	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0,7}{5}, \frac{0,8}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0}{9})$	1	$(\frac{0}{1}, \frac{0}{2}, \frac{0}{3}, \frac{0}{4}, \frac{0,7}{5}, \frac{0,8}{6}, \frac{0}{7}, \frac{0}{8}, \frac{0}{9})$	1

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведем анализ полученных результатов отдельно для пациентов с односторонним и двусторонним увеитом.

В настоящее время в подавляющем числе работ, посвященных данной теме, выделяется лишь одна причина возникновения увеита. Однако мы предполагаем, что возможны случаи, когда увеит является следствием влияния нескольких причинных факторов, что может ощутимо усложнять процесс определения причин его возникновения.

В результате (табл. 3) всех пациентов можно условно разделить на три группы. Первую группу составляют пациенты под номерами 20 и 33, у которых наибольшее значение функции принадлежности полученного нечеткого множества имеет такой же номер причины, как и у реальной. Это свидетельствует о достаточно точном решении. Вторую группу составляют пациенты под номерами 44 и 56. В этих случаях наибольшее значение функции принадлежности принимается не только у предполагаемой причины, но и еще у одной. Это говорит о том, что, вероятно, существуют две причины возникновения увеита, что является достаточно правдоподобным, учитывая общее их количество. В третью группу входит пациент под номером 14. Максимальное значение степени принадлежности выявлено не у имеющейся причины. Это говорит о необходимости дальнейшего исследования, что может быть связано с недостаточным количеством пациентов, необходимых для определения причины появления увеита.

Следует также отметить, что при анализе результатов на основе не полных представлений о полученных причинах возникновения увеита в виде нечетких множеств, а в виде вычисленной невязки, получаем аналогичные выводы. Как видно из

табл. 3, наиболее точное решение, соответствующее наименьшему значению невязки, равно 0,05, получено для пациентов под номерами 20 и 33. Менее точное решение получено для номеров 44 и 56, невязка вычисления причины возникновения увеита равна 0,1. Наименьшую точность вычисления причины возникновения увеита имеет пациент под номером 14. Из приведенного анализа можно заключить, что вид вычисления невязки выбран верно.

Приведем результаты анализа причин появления увеита для пациентов с двусторонним поражением. Как видно из табл. 4, результаты нахождения причины возникновения увеита для различных глаз схожи, особенно учитывая малое количество рассмотренных пациентов. Стоит, однако, отметить, что погрешность вычисления причины возникновения увеита для 76 пациента велика из-за того, что для построения матрицы связи в данном случае используются остальные 6 пациентов, причины возникновения увеита которых отличны. Этот результат не позволяет качественно определить связь между результатами тестов и данной причиной возникновения увеита.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования были проанализированы современные методы определения причин возникновения увеитов, рассмотрены их достоинства и недостатки, а также предложена новая методика решения поставленной задачи на основе применения теории нечетких множеств.

В результате исследования получены следующие выводы:

- разработана методика получения оператора, который позволяет по результатам комплексного обследования пациентов определить причинные факторы увеитов;
- на основе анализа результатов комплексного обследования пациентов были получены нечеткие множества, описывающие причины возникновения увеита, а также проведен анализ полученных результатов, включающий в себя выбор вида определения погрешности вычисления причины возникновения увеита и проверку оправданности данного выбора;
- на выборке пациентов с двусторонним увеитом была проведена дополнительная верификация полученной методики определения причины возникновения увеита;
- разработан программный комплекс, реализующий описанную методику определения причины возникновения увеита на основании анализа результатов комплексного обследования пациентов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашихмин В.Н., Гитман М.Б., Наймарк О.Б., Столбов В.Ю., Трусов П.В., Фрик П.Г. Введение в математическое моделирование: учеб. пособие / под ред. П.В. Трусова. – М.: Логос, 2016. – 440 с.
2. Дроздова Е.А. Вопросы классификации и эпидемиологии увеитов // Клиническая офтальмология. – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 155–159.
3. Зайцева Н.С., Кацнельсон Л.А. Увеиты. – М.: Медицина, 1984. – 320 с.
4. Колмогоров А.Н., Фомин С.И. Элементы теории функций и функционального анализа. – М.: Наука, 2004. – 572 с.
5. Панова И.Е., Дроздова Е.А. Увеиты: руководство для врачей. – М.: Медицинское информационное агентство, 2014. – 144 с.
6. Панова И.Е., Теплова С.Н., Лапина Е.Б., Варнавская Н.Г., Авдеева О.Н. Задний токсоплазмозный увеит: клиническая характеристика, иммунологические особенности патогенеза // Офтальмологические ведомости. – 2009. – Т. 2, № 3. – С. 5–10.

7. Устинова Е.И. К классификации эндогенных увеитов // *Офтальмологические ведомости*. – 2016. – Т. 9, № 2. – С. 74–80.
8. Durrani O.M., Meads C.A., Murray P.I. Uveitis: a potentially blinding disease // *Ophthalmologica*. – 2004. – Vol. 218. – P. 223–236.
9. Gitman M.B., Skriabin V.L., Sotin A.V., Stolbov V.Yu., Batin S.E. Methods for complex assessment of operational life of the functional material in hip replacement. Report 1 // *Russian Journal of Biomechanics*. – 2017. – Vol. 21, № 4. – P. 310–318.
10. Gitman I.M., Klyuev A.V., Gitman M.B., Stolbov V.Yu. Multi-scale approach for strength properties estimation in functional materials // *Z. Angew. Math. Mech.* – 2018. – Vol. 98, № 6. – P. 945–953.
11. Goldstein H. The reported demography and causes of blindness throughout the world // *Adv. Ophthalmol.* – 1980. – Vol. 40. – P. 1–99.
12. Gritz D.C., Wong I.G. Incidence and prevalence of uveitis in Northern California; the Northern California Epidemiology of uveitis study // *Ophthalmology*. – 2004. – Vol. 111, № 3. – P. 491–500.
13. Hoeve M., Ayuso V.R., Schalijs-Delfos N.E., Los L.I., Rothova A., de Boe J.H. The clinical course of juvenile idiopathic arthritis-associated uveitis in childhood and puberty // *The British journal of ophthalmology*. – 2012. – Vol. 96, № 6. – P. 852–855.
14. Holland G.N., Denove C.S., Yu A.F. Chronic anterior uveitis in children: clinical characteristics and complications // *American Journal of Ophthalmology*. – 2009. – Vol. 147, № 4. – P. 671–673.
15. Hwang D.-K., Chou Y.-J., Pu C.-Y., Chou P. Epidemiology of uveitis among the Chinese population in Taiwan: a population-based study // *Ophthalmology*. – 2012. – Vol. 119, № 11. – P. 2371–2376.
16. Kim S. J. Diagnosis and management of noninfectious pediatric uveitis // *Int. Ophthalmol. Clin.* – 2011. – Vol. 51, № 1. – P. 129–140.
17. Loh A.R., Acharya N.R. Incidence rates and risk factors for ocular complications and vision loss in HLA-B27-associated uveitis // *Am. J. Ophthalmol.* – 2010. – Vol. 150, № 4. – P. 534–542.
18. London N.J., Rathinam S.R., Cunningham E.T. Jr. The epidemiology of uveitis in developing countries // *Int. Ophthalmol. Clin.* – 2010. – Vol. 50, № 2. – P. 1–17.
19. Mackensen F., David F., Schwenger V., Smith L.K., Rajalingam R., Levinson R.D., Austin C.R., Houghton D., Martin T.M., Rosenbaum J.T. HLA-DRB1\*0102 is associated with TINU syndrome and bilateral, sudden-onset anterior uveitis but not with interstitial nephritis alone // *Br. J. Ophthalmol.* – 2011. – Vol. 95. – P. 971–974.
20. Martin T., James T., Rosenbaum J. An update on the genetics of HLA B27 associated acute anterior uveitis // *Ocular Immunology and Inflammation*. – 2011. – Vol. 19, № 2. – 108 p.
21. Miserocchi E., Fogliato G., Modorati G., Bandello F. Review on the worldwide epidemiology of uveitis // *Eur. J. Ophthalmol.* – 2013. – Vol. 23, № 5. – P. 705–717.
22. Nussenblatt R.B., Whitcup S.M. Uveitis: fundamental and clinical practice. – 4-th ed. – Elsevier Inc., 2010. – 433 p.
23. Rathinam S.R., Krishnadas R., Ramakrishnan R., Thulasiraj R.D., Tielsch J.M., Katz J., Robin A.L., Kempen J. H. Population-based prevalence of uveitis in Southern India // *British Journal of Ophthalmology*. – 2011. – Vol. 95, № 4. – P. 463–467.
24. Rim T.H., Kim S.S., Ham D., Yu S.-Y., Chung E.J., Lee S.Ch. Incidence and prevalence of uveitis in South Korea: a nationwide cohort study // *British Journal of Ophthalmology*. – 2018. – Vol. 102, № 1. – P. 79–83.
25. Rothova A., Suttorp-Schulten M.S., Treffers F.W., Kijlstra A. Causes and frequency of blindness in patients with intraocular inflammatory disease // *British Journal of Ophthalmology*. – 1996. – Vol 80. – P. 332–336.
26. Rupesh V. Agrawal, Somasheila Murthy, Virender Sangwan, Jyotirmay Biswas. Current approach in diagnosis and management of anterior uveitis // *Indian J. Ophthalmol.* – 2010. – Vol. 58, № 1. – P. 11–19.
27. Saurenmann R.K., Levin A.V., Feldman B.M., Laxer R.M., Schneider R., Silverman E.D. Risk factors for development of uveitis differ between girls and boys with juvenile idiopathic arthritis // *J. Arthritis & Rheumatism*. – 2010. – Vol. 62, № 6. – P. 1824–1826.
28. Smit R.L., Baarsma G.S. Epidemiology of uveitis // *Curr. Opin. Ophthalmol.* – 1995. – Vol. 6, № 3. – P. 57–61.
29. Van Gelder R.N. Ocular pathogens for the twenty-first century // *Am. J. Ophthalmol.* – 2010. – Vol. 5, № 150. – P. 595–597.
30. Venkataraman A., Rathinam S.R. Pre- and post-treatment evaluation of vision-related quality of life in uveitis // *Indian J. Ophthalmol.* – 2008. – Vol 56. – P. 307–312.
31. Zadeh L. Outlain of a new approach to the analysis of complex system and decision processes // *Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. – 1973. – Vol. 3, № 1. – P. 28–44.

32. Zadeh L. From computing with numbers to computing with words – from manipulation of measurements to manipulation of perceptions // International Journal of Applied Math and Computer Science. – 2002. – Vol. 12, № 3. – P. 307–324.

## **ANALYSIS OF THE CAUSES OF INFLAMMATORY DISEASES OF THE VASCULAR TRACT OF THE EYE**

**A.Yu. Konkova, D.A. Boyarshinov, T.V. Gavrilova, M.B. Gitman (Perm, Russia)**

The relationship between cause of uveites and the results of a comprehensive examination of patients are explored. The method of determining the cause of uveites in the examined patient is given, which is based on the theory of fuzzy sets and shows a fuzzy relationship between the results of the survey among chosen patients and reasons of their uveites. The advantage of this method, based on the use of the elements of the theory of fuzzy sets, its ability to build a connection, which is quite difficult to describe analytically with acceptable accuracy. This technique differs from the known ones, because it considers a fairly wide range of causes of uveites, and also makes it possible to determine its cause with sufficient accuracy among a relatively small number of studied patients. The method was applied to a sample of 70 patients with unilateral uveites, for each person the results of a comprehensive clinical and laboratory examination were known and 117 most significant indicators were determined. To determine the relationship between the results of a comprehensive examination of the patient and the cause of uveites, the results of 65 out of 70 patients were used, and the remaining 5 patients were selected to verify the accuracy of determining the causes of uveites. Additional verification of this technique was carried out among six patients with bilateral process. A software package was created to implement the developed methodology.

**Key words:** uveitis, causes of appearance, fuzzy set theory, fuzzy conditional sentence, compound selection rule, calculation error, testing.

*Получено 5 января 2019*