

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЛОР-ЗАБОЛЕВАНИЙ

Г.Б. БУРДО<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Е.Г. ПОРТЕНКО<sup>2</sup>, д-р мед. наук,  
Н.А. ВАШНЕВСКАЯ<sup>2</sup>, канд. мед. наук

<sup>1</sup>Тверской государственной технической университет,  
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: gbtms@yandex.ru

<sup>2</sup>Тверской государственной медицинский университет,  
170100, Тверь, ул. Советская, д. 4

© Бурдо Г.Б., Портенко Е.Г., Вашневская Н.А., 2022

В статье рассматривается один из подходов к созданию интеллектуальных экспертных систем поддержки принятия решений при диагностике хронических заболеваний глотки. Подход основан на обобщении опыта диагностики заболеваний. Были выявлены группы параметров, учитываемых при диагностике лор-заболеваний указанного типа. Каждой группе параметров, как и каждому из них, экспертами были присвоены веса, позволяющие оценивать ожидание подтверждения предполагаемого прогноза. На основании этих данных путем разработки продукционных моделей знаний и реализации методики нечетких множеств были получены алгоритмы, позволяющие оценить степень уверенности в правильности постановки диагноза.

*Ключевые слова:* поддержка принятия решений, нечеткие множества, искусственный интеллект, продукционные модели, диагностика, лор-заболевания.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2022-2-83-90**

### ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития медицины врачи и ученые уделяют большое внимание проблеме диагностики хронической патологии глотки. По данным медицинской литературы, более 70 % случаев воспалительных заболеваний лор-органов вызвано различной вирусной инфекцией [1], в частности герпетической.

Диагностика хронического фаринготонзиллита, ассоциированного с герпетической инфекцией, достаточна сложна. Не вдаваясь в медицинские рассуждения и тонкости (которые не являются темой настоящей работы), можно утверждать, что проблема диагностики заключается в том, что ни один из известных способов обследования (инструментальные средства, анализы и т. д.) не дает полной уверенности в наличии герпетической инфекции именно лор-органов [1, 2]. Следовательно, для диагностики указанного заболевания весьма важным становится опыт практикующего врача, принимающего решение о диагнозе. В связи с этим разработка методики принятия окончательного взвешенного решения на основе экспертной системы, синтезирующей естественный и искусственный интеллекты, кажется нам вполне актуальной.

Таким образом, целью настоящего исследования стала разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений на примере диагностики заболеваний глотки, вызванных герпетической инфекцией.

Указанный подход был реализован путем разработки моделей экспертной системы, обобщающей опыт практикующих врачей.

## УСТАНОВЛЕНИЕ ВЕСОВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Как мы уже отметили, модели поддержки принятия решений в рамках настоящей работы разрабатывались на примере диагностики хронического фаринготонзиллита на фоне герпетической инфекции ротоглотки.

Модели поддержки принятия решений создавались в определенной последовательности.

**На первом этапе** врачами-экспертами были определены четыре основные группы параметров (данных), имеющих наиболее существенное значение для постановки диагноза [2, 3]:

- 1) жалобы и ощущения больного;
- 2) лор-статус больного;
- 3) полимеразная цепная реакция (ПЦР-диагностика) соскоба слизистой задней стенки глотки и небных миндалин на наличие ДНК вируса;
- 4) анализ крови на авидность IgG к обнаруженному вирусу.

На основе оценок врачами-экспертами важности групп параметров для постановки диагноза (именно важности, а не достоверности) всем этим группам были присвоены веса  $P_i$  от 0 до 1 (табл. 1).

Таблица 1. Важность групп параметров для постановки диагноза

| Группы параметров  | Вес важности группы параметров, $P_i$ |
|--|---------------------------------------|
| Жалобы и ощущения больного   | 0,75                                  |
| Лор-статус больного  | 0,85                                  |
| ПЦР-диагностика соскоба слизистой задней стенки глотки и небных миндалин на наличие ДНК вируса | 1,0                                   |
| Анализ крови на авидность IgG к обнаруженному вирусу   | 1,0                                   |

**На втором этапе** определили коэффициенты, позволяющие охарактеризовать степень уверенности врачей в диагнозе на основании того или иного параметра. С этой целью проводилась детализация каждого параметра, приведенного в табл. 1.

*Группа параметров 1.* Были выявлены основные жалобы, характерные для пациентов рассматриваемой группы, а каждому из параметров (видов жалоб) был присвоен вес  $S_j^1$ , характеризующий его значимость в общей структуре жалоб (табл. 2). Суммарное значение весов равнялось 1.

*Группа параметров 2.* Опросом врачей-экспертов были установлены параметры лор-статуса, влияющие на постановку диагноза, и определены их веса (табл. 3). Суммарное значение весов равнялось 1.

*Группа параметров 3.* Параметр «ПЦР-диагностика соскоба слизистой задней стенки глотки и небных миндалин на наличие ДНК вируса» имеет бинарное значение: 1)  $S_j^3 = S_j^3 = 1$ , если обнаружена ДНК вируса; 2)  $S_j^3 = 0$ , если она не обнаружена (табл. 4).

*Группа параметров 4.* В основу структуры параметров был положен индекс авидности (ИА) IgG к обнаруженному вирусу [1–3]. На основе экспертных оценок (табл. 5) были получены значения весов ИА.

Таблица 2. Веса жалоб

| Структура параметров в жалобах пациента   | Вес параметра (жалобы), $S_j^i = S_j^1$ |
|---|---|
| Боль в горле при глотании («пустой глоток»)   | 0,25                                    |
| Ощущение постороннего тела в горле  | 0,1                                     |
| Неловкость в горле  | 0,1                                     |
| Ощущение крупинок на языке (гнилостных пробок из лакун небных миндалин)             | 0,2                                     |
| Нерезкие болевые ощущения в области региональных лимфатических узлов, их увеличение | 0,2                                     |
| Слабость  | 0,05                                    |
| Боли в сердце   | 0,05                                    |
| Затрудненное носовое дыхание  | 0,05                                    |

Таблица 3. Веса параметров лор-статуса

| Структура параметров лор-статуса         | Вес параметра лор-статуса, $S_j^i = S_j^2$ |
|--|--|
| Гиперемия слизистой оболочки глотки      | 0,2  |
| Широкие лакуны небных миндалин           | 0,1  |
| Сращение небных миндалин с дужками       | 0,1  |
| Гнойные пробки в лакунах небных миндалин | 0,2  |
| Симптом Гизе                             | 0,2  |
| Симптом Зака                             | 0,2  |

Таблица 4. Веса параметров ПЦР-диагностики

| Структура параметров ПЦР-диагностики | Вес параметра ПЦР-диагностики, $S_j^i = S_j^3$ |
|--------------------------------------|--|
| Обнаружена ДНК вируса                | 1,0  |
| Не обнаружена ДНК вируса             | 0  |

Таблица 5. Веса параметров авидности

| Значение ИА | Вес параметра авидности, $S_j^i = S_j^4$ |
|-------------|--|
| < 45 %      | 0,5                                      |
| 45...55 %   | 0,8                                      |
| > 55 %      | 1,0                                      |

Введем коэффициент  $K_i$ , характеризующий степень влияния группы параметров  $i$  на подтверждение диагноза:

$$K_i = P_i \cdot (\Sigma S_j^i),$$

где  $i$  – номер группы параметров,  $i = \overline{1,4}$ ;  $j$  – номер параметра (в первой группе параметров их 8, во второй – 6, в третьей – 2, в четвертой – 3).

Как можно видеть, в результате выполнения диагностики мы получим четыре значения коэффициента  $K_i$ , каждое из которых характеризует степень влияния своей группы параметров на подтверждение предполагаемого диагноза. Значение коэффициентов находится в интервале от 0 (нет влияния) до 1 (сильное влияние).

### МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОДТВЕРЖДЕННОСТИ ДИАГНОЗА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Модель, позволяющая оценить степень подтвержденности диагноза на основе четырех наблюдаемых групп параметров диагностики, была сформирована на основе продукционных баз знаний с использованием теории нечетких множеств [4–7, 9].

Форма выражений в продукционной базе знаний имеет следующий вид:

**ЕСЛИ** степень влияния первой группы параметров  $A_1$  **И ЕСЛИ** степень влияния второй группы параметров  $A_2$  **И ЕСЛИ** степень влияния третьей группы параметров  $A_3$  **И ЕСЛИ** степень влияния четвертой группы параметров  $A_4$  **ТО** степень подтвержденности диагноза равна  $B_i$ .

В данном выражении  $A_i$  и  $B_i$  являются лингвистическими переменными.

Лингвистическая переменная  $A_i$  имеет три терма: низкая степень влияния, средняя и высокая. График функции принадлежности  $\mu(A_i)$  показан на рис. 1.

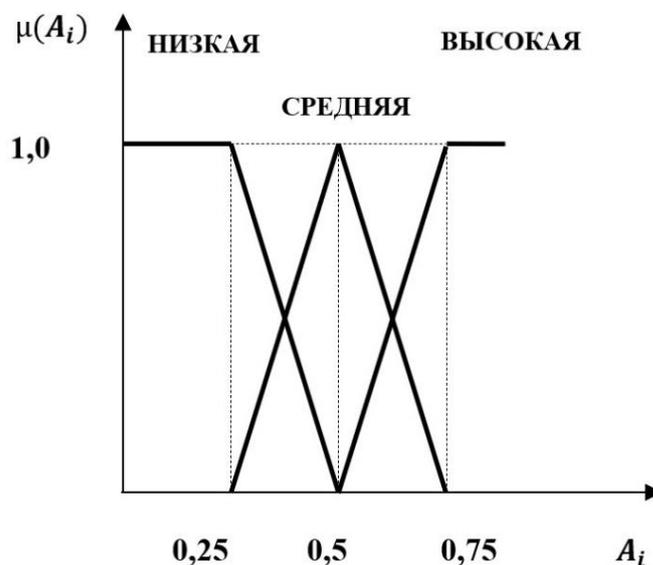


Рис. 1. Функция принадлежности лингвистической переменной  $A_i$

Лингвистическая переменная  $B_i$  имеет пять термов (применительно к степени подтвержденности диагноза): весьма низкая, низкая, сомнительная, высокая, весьма высокая.

График функции принадлежности  $\mu(B_i)$  показан на рис. 2.

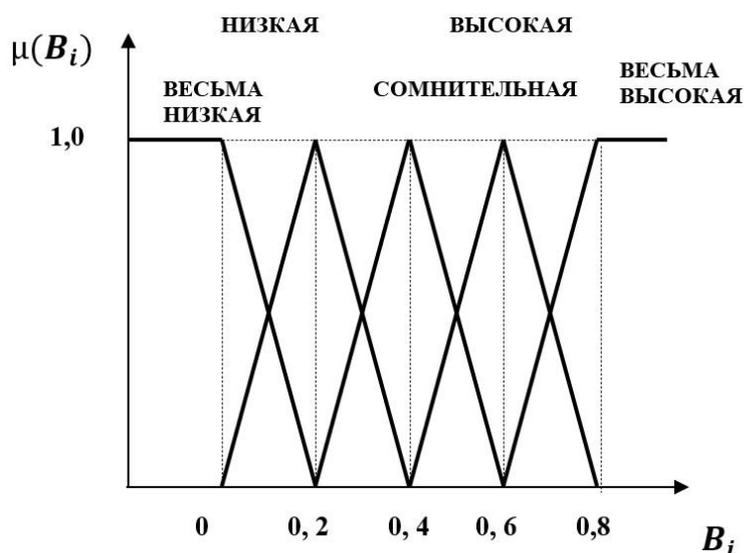


Рис. 2. Функция принадлежности лингвистической переменной  $V_i$

Была построена продукционная база знаний. Для ее формирования привлекались врачи-эксперты.

Приведем примеры нескольких правил из базы знаний.

**ЕСЛИ** степень влияния первой группы параметров *НИЗКАЯ* **И** **ЕСЛИ** степень влияния второй группы параметров *НИЗКАЯ* **И** **ЕСЛИ** степень влияния третьей группы параметров *НИЗКАЯ* **И** **ЕСЛИ** степень влияния четвертой группы параметров *НИЗКАЯ* **ТО** степень подтвержденности диагноза равна *ВЕСЬМА НИЗКАЯ*.

**ЕСЛИ** степень влияния первой группы параметров *НИЗКАЯ* **И** **ЕСЛИ** степень влияния второй группы параметров *НИЗКАЯ* **И** **ЕСЛИ** степень влияния третьей группы параметров *ВЫСОКАЯ* **И** **ЕСЛИ** степень влияния четвертой группы параметров *ВЫСОКАЯ* **ТО** степень подтвержденности диагноза равна *СОМНИТЕЛЬНАЯ*.

**ЕСЛИ** степень влияния первой группы параметров *ВЫСОКАЯ* **И** **ЕСЛИ** степень влияния второй группы параметров *ВЫСОКАЯ* **И** **ЕСЛИ** степень влияния третьей группы параметров *ВЫСОКАЯ* **И** **ЕСЛИ** степень влияния четвертой группы параметров *НИЗКАЯ* **ТО** степень подтвержденности диагноза равна *ВЫСОКАЯ*.

Всего продукционная база знаний состоит из 81 правила, сформированного по следующему алгоритму:

1. Если все значения функций принадлежности в подусловиях *НИЗКАЯ*, то значение лингвистической переменной  $V_i$  – *ВЕСЬМА НИЗКАЯ*.
2. Если все значения функций принадлежности в подусловиях *ВЫСОКАЯ*, то значение лингвистической переменной  $V_i$  – *ВЕСЬМА ВЫСОКАЯ*.
3. Если два значения функций принадлежности в подусловиях *ВЫСОКАЯ*, а два *НИЗКАЯ*, то значение лингвистической переменной  $V_i$  – *СОМНИТЕЛЬНАЯ*.
4. Если три значения функций принадлежности в подусловиях *ВЫСОКАЯ*, а одно – *НИЗКАЯ* или *СРЕДНЯЯ*, то значение лингвистической переменной  $V_i$  – *ВЫСОКАЯ*.
5. Если три значения функций принадлежности в подусловиях *НИЗКАЯ*, а одно – *ВЫСОКАЯ* или *СРЕДНЯЯ*, то значение лингвистической переменной  $V_i$  – *НИЗКАЯ*.

6. Если два значения функций принадлежности в подусловиях *ВЫСОКАЯ*, а два *СРЕДНЯЯ*, то значение лингвистической переменной  $V_i$  – *ВЫСОКАЯ*.

7. Если два значения функций принадлежности в подусловиях *НИЗКАЯ*, а два *СРЕДНЯЯ*, то значение лингвистической переменной  $V_i$  – *НИЗКАЯ*.

Фаззи-логическая конъюнкция подусловий выполняется по правилу минимума. Нахождение функций совместной принадлежности – по правилу нечеткой импликации Мамдани. Дефаззификация взвешенной оценки подтвержденности диагноза (результат) выполняется по центроидному методу [6].

### **МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ**

Последовательность работы с системой, реализованной в среде MATLAB [8], следующая.

На первом этапе после беседы с больным, выявления лор-статуса, проведения анализов (ПЦР-диагностики соскоба слизистой задней стенки глотки и небных миндалин на наличие ДНК вируса, анализа крови на авидность IgG к обнаруженному вирусу) врач, работая с параметрами, приведенными в табл. 2–5 (по сути, отмечая их), вводит информацию по результатам диагностики. Каждому параметру автоматически присваиваются веса  $S_j^i$ . На основании весов в автоматическом режиме производится подсчет коэффициентов  $K_i$ .

На втором этапе выполняется обработка продукционной базы знаний, по результатам которой выявляется экспертная оценка степени подтвержденности диагноза (вероятности наличия заболевания). Результат выдается на интервале значений от 0 (диагноз не подтверждается) до 1 (высокая степень подтверждаемости диагноза).

После этого, руководствуясь собственным мнением и подсказками системы, врач ставит диагноз.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Можно отметить, что использование программных реализаций разработанной методики не вызывает возражений у практикующих врачей.

Данный факт определяется рядом соображений:

методика предполагает использование привычной для врачей терминологии; основой диагностики служат действующие для лор-врачей медицинские стандарты и методики (в широком трактовании);

применение программных средств не требует от врачей наличия специальных знаний в области вычислительной техники и информатики;

выходные параметры выдаются в понятном числовом формате и диапазоне (1, т. е. 100 % – полное подтверждение; 0, т. е. 0 % – полное отрицание);

методика может быть распространена и на коллективную дистанционную диагностику (консилиум).

Программные средства прошли первичную верификацию и валидацию. Числовые значения входных и выходных параметров для нескольких примеров расчетов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Примеры расчетов

| $K_1$   | $K_2$   | $K_3$ | $K_4$ | Степень подтвержденности диагноза |
|---------|---------|-------|-------|-----------------------------------|
| 0,637 5 | 0,765   | 1     | 0,8   | 0,834                             |
| 0,637 5 | 0,595   | 1     | 0,8   | 0,713                             |
| 0,637 5 | 0,637 5 | 0     | 0,8   | 0,159                             |

Пользователи отмечали полезность программных средств с точки зрения уверенности врача в своих действиях. Следует сказать, что программные средства имеют открытую базу знаний, которую можно постоянно развивать и совершенствовать.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов И.Е., Мещеряков К.Л., Якушенкова А.П. Оценка изменений показателей гуморального иммунитета у детей с хронической патологией лимфоидного кольца глотки НЦЗД РАМН // *Российская ринология*. 2009. Т. 17. № 2. С. 114.
2. Портенко Г.М., Портенко Е.Г., Шматов Г.П. Хронический тонзиллит с позиций современных информационных технологий. Тверь: ТГМА. 2012. 79 с.
3. Кишкун А.А. Иммунологические и серологические исследования в клинической практике. М.: Медицинское информационное агентство. 2006. 531 с.
4. Бурдо Г.Б., Болотов А.Н. Механизм машинного обучения в системах автоматизированного проектирования // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2021. № 4 (12). С. 66–75.
5. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учебное пособие. М.: Финансы и статистика: Инфра-М. 2010. 430 с.
6. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: учебное пособие. СПб.: Питер. 2000. 382 с.
7. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений. М.: Мир. 1976. 165 с.
8. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB: специальный справочник. СПб.: Питер. 2001. 475 с.
9. Бурдо Г.Б. Концептуальные подходы к созданию информационных систем для машиностроительного производства // *Мягкие измерения и вычисления*. 2019. № 2 (15). С. 79–90.

**Для цитирования:** Бурдо Г.Б., Портенко Е.Г., Вашневская Н.А. Интеллектуальная поддержка принятия решений при диагностике лор-заболеваний // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2022. № 2 (14). С. 83–90.

## INTELLIGENT DECISION SUPPORT IN THE DIAGNOSIS OF ENT DISEASES

G.B. BURDO<sup>1</sup>, Dr. Sc., E.G. PORTENKO<sup>2</sup>, Dr. Sc.,  
N.A. VASHNEVSKAYA<sup>2</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,  
Russian Federation, e-mail: gbtms@yandex.ru

<sup>2</sup>Tver State Medical University, 4, Sovetskaya str., 170100, Tver

The article discusses one of the approaches to the creation of intelligent expert decision support systems for the diagnosis of chronic pharyngeal diseases. design systems by technological processes of mechanical processing. The approach is based on generalizing the experience of diagnosing diseases. Groups of parameters taken into account in the diagnosis of ENT diseases of this type were identified. Each group of parameters, as well as each of them, were assigned weights by experts, allowing them to assess the expectation of confirmation of the expected forecast. Based on these data, by developing production models of knowledge and implementing the fuzzy sets methodology, algorithms were developed to assess the degree of confidence in the correctness of the diagnosis.

*Keywords:* decision support, fuzzy sets, artificial intelligence, production models, diagnostics, ENT diseases.

### REFERENCES

1. Smirnov I.E., Meshcheryakov K.L., Yakushenkova A.P. Evaluation of changes in humoral immunity in children with chronic pathology of the lymphoid ring of the pharynx SCCH RAMS. *Rossiyskaya rinologiya*. 2009. V. 17. No. 2. P. 114. (In Russian).
2. Portenko G.M., Portenko E.G., Shmatov G.P. Khronicheskiy tonsillit s pozitsiy sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy [Chronic tonsillitis from the standpoint of modern information technologies]. Tver: TGMA. 2012. 79 p.
3. Kishkun A.A. Immunologicheskiye i serologicheskiye issledovaniya v klinicheskoy praktike [Immunological and serological studies in clinical practice]. Moscow: Meditsinskoye informatsionnoye agentstvo. 2006. 531 p.
4. Burdo G.B., Bolotov A.N. The mechanism of machine learning in computer-aided design systems. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Tekhnicheskkiye nauki»*. 2021. No. 4 (12), pp. 66–75. (In Russian).
5. Rybina G.V. Osnovy postroyeniya intellektualnykh sistem: uchebnoye posobiye [Fundamentals of building intelligent systems: a tutorial]. Moscow: Finansy i statistika: Infra-M. 2010. 430 p.
6. Gavrilova T.A., Khoroshevsky V.F. Knowledge bases of intellectual systems: textbook allowance. St. Petersburg: Piter. 2000. 382 p.
7. Zade L.A. The concept of a linguistic variable and its application to the concept of approximate solutions. M.: Mir. 1976. 165 p.
8. Dyakonov V., Kruglov V. Matematicheskiye pakety rasshireniya MATLAB: spetsialnyy spravochnik [Mathematical extension packages MATLAB: a special reference book]. St. Petersburg: Piter. 2001. 475 p.
9. Burdo G.B. Conceptual approaches to the creation of information systems for machine-building production. *Myagkiye izmereniya i vychisleniya*. 2019. No. 2 (15), pp. 79–90. (In Russian).

Поступила в редакцию/received: 24.03.2022; после рецензирования/revised: 30.03.2022;  
принята/accepted: 01.04.2022