

## Метод принятия решения при определении степени тяжести анемий с помощью аппарата нечетких множеств

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Предложен метод определения степени тяжести анемии по выявленному количеству эритроцитов с измененными морфологическими характеристиками. Для оценки степени тяжести применен метод нечетких множеств. Для оценки значений всех лингвистических переменных использованы шкалы качественных термов, включающие в себя заключения: «норма» N, «пограничное состояние» P, «легкая степень» L, «средняя степень» S, «тяжелая степень» G. Создана база правил нечетких продукций. Построены функции принадлежности для качественных термов входных и выходной лингвистических переменных. Предложенный метод позволяет автоматизировать процесс принятия решения о степени тяжести анемий, определять пограничные состояния, проводить мониторинг течения заболевания и определять эффективность его лечения.

**Ключевые слова:** анемия, эритроциты, степень тяжести, функция принадлежности, лингвистические переменные.

До недавнего времени медицинское сообщество не считало анемию серьезным и широко распространенным заболеванием, однако исследования Всемирной организации здравоохранения, Национального центра медицинской статистики (одна из организаций США, деятельность которой направлена на профилактику и терапию заболеваний) и данные различных публикаций показали, что анемия является состоянием, требующим повышенного внимания [1]. Существует большое количество видов анемий. Железодефицитная анемия (ЖДА) - наиболее распространённая форма, составляющая 80...95% всех анемий. ЖДА наблюдают у 10...30% взрослого населения. У женщин она возникает значительно чаще, чем у мужчин. Судя по отчету Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), 1,8 миллиарда человек в мире страдают ЖДА [2].

Создание и внедрение автоматизированных информационных систем способствуют изменениям в технологии оказания медицинской помощи, экономических показателях работы медицинских учреждений, а также позволяет оптимизировать диагностический процесс (Эльянов М. М. ([info@armit.ru](mailto:info@armit.ru))). Оценивание степени тяжести анемии помогает медицинскому специалисту в принятии решения о тактике лечения.

Основной диагностический признак анемий – снижение количества гемоглобина, а также изменение морфологических характеристик эритроцитов [3]. К ним относится размер, форма и содержание гемоглобина. Оценивание последних происходит при микроскопии мазка крови [4,5]. Степень тяжести зависит от количественных оценок измененных эритроцитов. На сегодняшний день при ручном микроскопическом методе количество измененных клеток оценивают как “незначительное”, “умеренное”, “значительное”, основываясь на личном опыте и квалификации специалиста. Известные автоматизированные системы компьютерной цитоморфометрии не проводят оценку степени тяжести выявленных изменений, характерных для определенного вида анемий [6,7].

В статье предложен метод определения тяжести анемии по выявленному количеству эритроцитов с измененными морфологическими характеристиками. Отсутствие четких определений количества измененных клеток при различных степенях тяжести анемий привело к необходимости построения математических

моделей принятия решения в условиях неопределенности[8,9,10,11].

Основными этапами нечеткого вывода являются следующие[12]:

- 1) формирование базы правил системы нечеткого вывода;
- 2) фаззификация входных переменных;
- 3) агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций;
- 4) активизация подзаключений в нечетких правилах продукции;
- 5) аккумуляирование заключений нечетких правил продукций.

Для формального представления эмпирических знаний об оценивании степени тяжести анемии по морфологическим характеристикам клеток была создана база правил систем нечеткого вывода, которая использует правила нечетких продукций, основанные на мнении экспертов. Заключения о степени тяжести выдавали в виде лингвистических заключений.

Были введены следующие обозначения:  $T$  -- степень тяжести анемий, являющаяся выходной лингвистической переменной с качественными заключениями: «норма»  $N$ , «пограничное состояние»  $P$ , «легкая степень»  $L$ , «средняя степень»  $S$ , «тяжелая степень»  $G$ :

$$T = \{ N, P, L, S, G \}.$$

Входными параметрами явились лингвистические переменные следующего вида:

- 1)  $T_R$  тяжесть анемий по количеству клеток ненормального размера;
- 2)  $T_F$  тяжесть анемий по количеству клеток ненормальной формы;
- 3)  $T_{Hb}$  тяжесть анемии по количеству клеток с повышенным или пониженным количеством гемоглобина.

Для оценки значений всех лингвистических переменных использовали такие шкалы качественных термов:

- для  $T_R$  шкала – норма, пограничное состояние, легкая, средняя, тяжелая;
- для  $T_F$  шкала – норма, пограничное состояние, легкая, средняя, тяжелая;
- для  $T_{Hb}$  шкала – норма, пограничное состояние, легкая, средняя, тяжелая.

Таким образом, для каждой лингвистической переменной присваиваются значения терм-множеств: норма  $N$ , пограничное состояние  $P$ , легкая степень  $L$ , средняя степень  $S$ , тяжелая степень  $G$ :

$$T_R = \{ N, P, L, S, G \},$$

$$T_F = \{ N, P, L, S, G \},$$

$$T_{Hb} = \{ N, P, L, S, G \}.$$

База правил нечетких продукций представлена 125 правилами нечетких выводов вида:

$$R_1: \text{If } T_R \text{ is } N \ \& \ T_F \text{ is } N \ \& \ T_{Hb} \text{ is } N \text{ then } T \text{ is } N$$

$$R_2: \text{If } T_R \text{ is } N \ \& \ T_F \text{ is } N \ \& \ T_{Hb} \text{ is } P \text{ then } T \text{ is } P$$

$$R_3: \text{If } T_R \text{ is } N \ \& \ T_F \text{ is } N \ \& \ T_{Hb} \text{ is } L \text{ then } T \text{ is } L$$

$$R_4 : \text{If } T_R \text{ is N \& } T_F \text{ is N \& } T_{Hb} \text{ is S then } T \text{ is S}$$

$$R_5 : \text{If } T_R \text{ is N \& } T_F \text{ is N \& } T_{Hb} \text{ is G then } T \text{ is G}$$

Входные лингвистические переменные  $T_R$ ,  $T_F$ ,  $T_{Hb}$  считают заданными, если для них определено базовое терм-множество с соответствующими функциями принадлежности. Для этого необходимо провести фаззификацию входных переменных системы нечеткого вывода для определения конкретных значений функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, которые используются в подусловиях базы правил нечеткой продукции.

В качестве функций принадлежности термов использовали треугольные функции принадлежности. Каждая функция задана на универсуме  $X=[0,100]$ , в качестве которого выбрана шкала процентного содержания измененных эритроцитов, классифицированных по форме, размеру и содержанию гемоглобина. Графики зависимостей функций принадлежности от количественных значений трех параметров представлены ниже. На рис 1. показан график, определяющий функции принадлежности  $\mu_R(x)$  всех терм-множеств, относящихся к процентному содержанию эритроцитов с уменьшенными (микроцитов) или увеличенными (макроцитов) размерами. Если распознающая система определила нормальное количество микроцитов и повышенное количество макроцитов, то для оценки степени тяжести учитывается повышенное количество макроцитов, и наоборот. Если определен признак – анизацитоз, то повышенное количество микроцитов и макроцитов суммируется и делится пополам. Полученное число является входным параметром лингвистической переменной  $T_R$ .

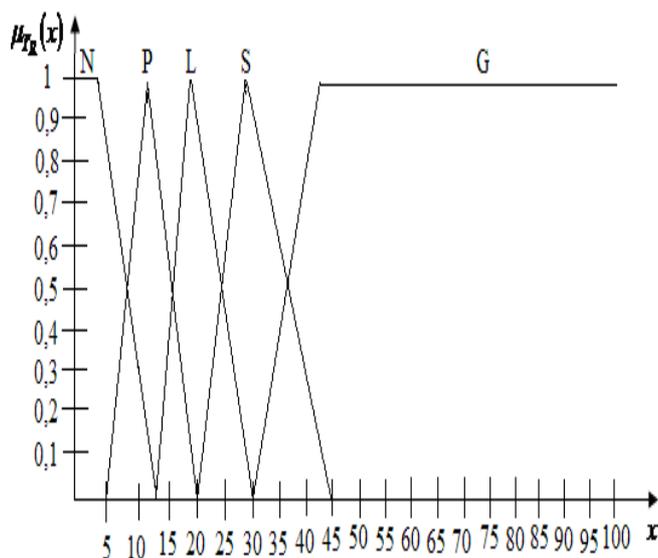


Рис. 1. График функций принадлежности качественных термов эритроцитов различных размеров

На рис. 2 показан график, определяющий функции принадлежности  $\mu_F(x)$  всех терм-множеств, относящихся к процентному содержанию эритроцитов патологических форм.

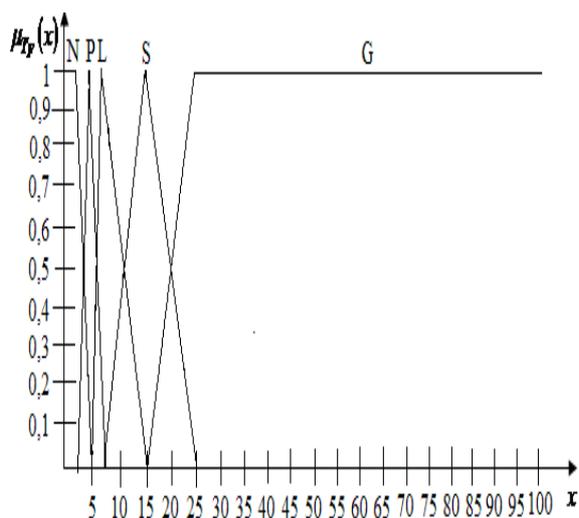


Рис. 2. График функций принадлежности качественных термов эритроцитов патологических форм

На рис. 3 изображен график, определяющий функции принадлежности  $\mu_{Hb}(x)$  всех терм-множеств, относящихся к процентному содержанию эритроцитов с повышенным или пониженным количеством гемоглобина.

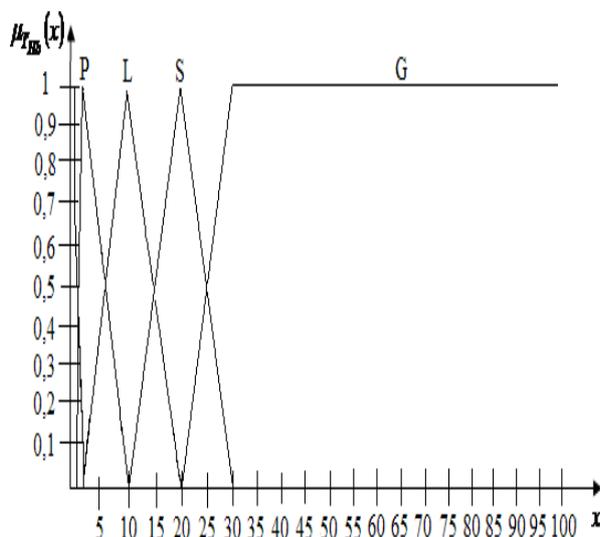


Рис. 3. График функций принадлежности качественных термов эритроцитов с измененным количеством гемоглобина

Для оценки выходной лингвистической переменной  $T$  использовали качественные термы: норма  $N$ , пограничное состояние  $P$ , легкая степень  $L$ , средняя степень  $S$ , тяжелая степень  $G$ .

На рис. 4 показан график, определяющий функции принадлежности  $\mu_T(x)$  всех терм-множеств, относящихся к степени тяжести анемии. В качестве универсума  $X$  принята условная шкала  $[0...1]$ .

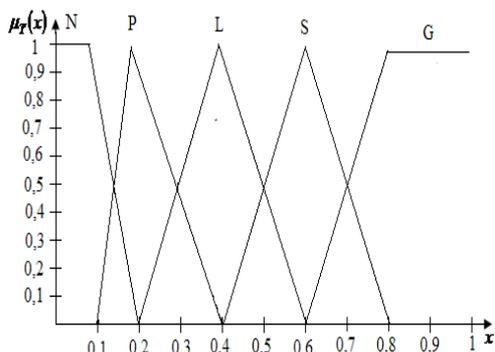


Рис. 4. График функций принадлежности качественных термов степени тяжести анемии

Для аналитического описания функциональных зависимостей использовано уравнение прямой:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}. \quad (1)$$

Поскольку во всех 125 правилах в качестве логической связи для подусловий применяется только нечеткая конъюнкция, то в качестве метода агрегирования необходимо использовать операцию min-конъюнкции.

$$\mu_c(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (\forall x \in X). \quad (2)$$

Следующим этапом нечеткого вывода является активизация заключений в нечетких правилах продукций. Те правила, степень истинности которых отлична от нуля, считаются активными и используются для дальнейших расчетов. Метод активизации рассчитывается по формуле:

$$\mu'(y) = \min(c_i, \mu(y)). \quad (3)$$

Например, входящими параметрами явились  $x_R = 10$ ,  $x_F = 7$ ,  $x_{Hb} = 1$ . Анализируя представленные выше графики, делаем вывод, что активными продукционными правилами со степенью истинности, отличной от нуля, являются  $R_{26}$ ,  $R_{31}$ ,  $R_{51}$ ,  $R_{56}$ .

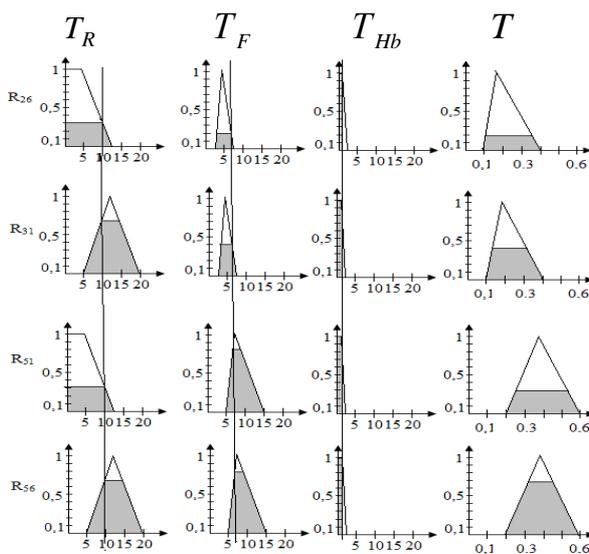


Рис. 5. Формализация системы принятия решения о степени тяжести анемии по заданным входным параметрам

Аккумуляция заключений нечетких правил продукций проводится с использованием операции max-дизъюнкции:

$$T = \max(N \vee P \vee L \vee S \vee G). \quad (5)$$

Результат аккумуляции выбранного примера отражается на графике функций принадлежности выходной переменной T.

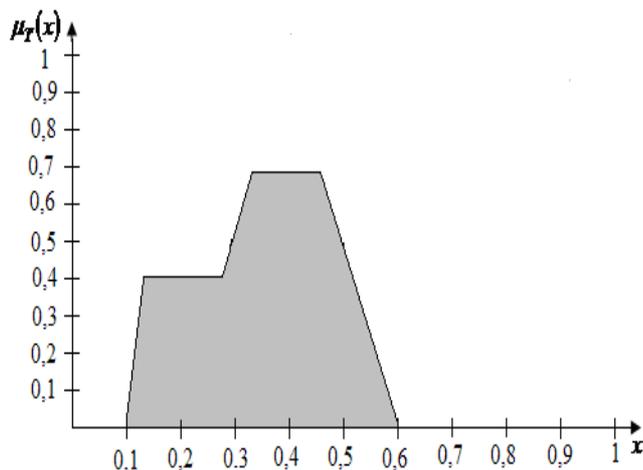


Рис. 6. Графическое представление аккумуляции заключений

Предложено в качестве оценки степени тяжести выдавать заключения специалисту в виде графического результата аккумуляции. Это даст возможность получить более точные оценки степени тяжести заболевания в динамике при последующих исследованиях.

Для получения количественного значения характеристики степени тяжести можно выполнить дефаззификацию выходной переменной – степени тяжести, используя метод центра тяжести

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}. \quad (6)$$

### Выводы

1. Предложенный метод, основанный на применении теории нечетких множеств, позволяет не только определять степень тяжести анемии, но и выявить пограничное состояние.
2. Полученные в результате расчетов количественные характеристики оценки степени тяжести анемии дают возможность проводить мониторинг течения заболевания и определять эффективность его лечения.
3. Предлагаемый метод может быть реализован в автоматизированной системе диагностики анемий по морфологическим характеристикам клеток.

### Список литературы

1. Чернов В.М. Анемия - скрытая эпидемия / В.М. Чернов. - М.: МегаПро, – 2004. – 76 с.
2. Богданова О. М. Клинико-гематологическая характеристика гипохромных анемий у лиц пожилого и старческого возраста: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – 2003. - 19 с.
3. Кровь: Клинический анализ. Диагностика анемий и лейкозов. Интерпретация результатов / Г. И. Козинец, В. М. Погорелов, О. А Дягилева, И. Н. Наумова. – М.: Медицина XXI, 2006. – 256 с.
4. Козинец Г. И. Клетки крови: Современные технологии исследования. / Г. И. Козинец, В. М. Погорелов, Д. А. Шмаров и др. – М.: Триада-Фарм, 2002. - 451 с.
5. Погорелов В. М. Морфология клетки – золотой стандарт клинической гематологии / В. М Погорелов, Г. И. Козинец // Проблемы гематологии. – 1998. - №2. - С. 5 – 10.
6. Погорелов В.М. Методы компьютерной цитологии в гематологических исследованиях / В.М. Погорелов, В.С. Медовый, В.А. Балабуткин и др. //Клиническая лабораторная диагностика. М., – 1997. – № 11. – С.40-44.
7. Шмаров Д. А. Лабораторно-клиническое значение проточно-цитометрического анализа крови / Д. А. Шмаров, Г. И. Козинец – М.: Медицинское информационное агентство, 2004. – 128 с.
8. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
9. Белкин А.Р. Нечеткая классификация на основе лингвистических переменных и задачи дифференциальной диагностики / А.Р. Белкин // Вопросы кибернетики. – 1989. – Вып. 151. – С. 120.
10. Саати Т. Математические модели конфликтных ситуаций / Т. Саати. – М.: Сов. радио, 1977. –224 с.
11. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечёткой логике / А.П. Ротштейн. – Винница.: Континент-ПРИМ, 1996. – 132 с.
12. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. - Спб.: Петербург, 2005. – 736 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры А. Ю.Соколов, Национальный аэрокосмический университет им Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 16.09.09

## **Метод ухвалення рішення при визначенні ступеня важкості анемії за допомогою апарата нечітких множин**

Запропоновано метод визначення ступеня важкості анемії за виявленою кількістю еритроцитів зі зміненими морфологічними характеристиками. Для оцінювання ступеня важкості застосовано метод нечітких множин. Для оцінювання значень усіх лінгвістичних змінних використано шкали якісних термів, що містять висновки: «норма» N, «граничний стан» P, «легкий ступінь» L, «середній ступінь» S, «важкий ступінь» G. Створено базу правил нечітких продукцій. Побудовано функції належності для якісних термів вхідних і вихідної лінгвістичних змінних. Запропонований метод дозволяє автоматизувати процес ухвалення рішення про ступінь важкості анемії, визначати граничні стани, проводити моніторинг перебігу захворювання й визначати ефективність його лікування.

**Ключові слова:** анемія, еритроцити, ступінь важкості, функція належності, лінгвістичні змінні.

## **Decision support method for definition Degrees of anemias weight with the help of the fuzzy sets**

The method of definition of an anemia weight degree by the revealed amount of the red blood cells with the changed morphological characteristics is offered. The method of fuzzy sets is applied for an estimation of a weight degree. For an estimation of values of all linguistic variables the scales of qualitative terms including the conclusions were used: "norm" N, «a boundary condition» P, «an easy degree» L, «an average degree» S, «a heavy degree» G. The base of rules fuzzy conclusions was made. Functions of an accessory to qualitative terms entrance and target linguistic variables are constructed. The offered method allows to automate process of decision-making on a degree of the anemias weight, to determine boundary conditions, to carry out monitoring current of disease and to determine efficiency of its treatment.

**Keywords:** anemia, red blood cells, degree of weight, function of accessory, linguistic variables.