



УДК 615.47

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЯЗВЕННОЙ БОЛЕЗНИ ЖЕЛУДКА НА ОСНОВЕ ТАБЛИЧНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ СОПРОТИВЛЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ТОЧЕК МЕРИДИАНА ЖЕЛУДКА

В.Д. ЛУЦЕНКО¹
А.А. БУРМАКА²
Е.Н. КОРОВИН³
В.Н. ГАДАЛОВ²
Р.А. КРУПЧАТНИКОВ²

¹⁾ МБУЗ «Городская больница №2»,
г. Белгород

²⁾ Юго-Западный государственный
университет

³⁾ Воронежский государственный
технический университет

e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Рассматриваются вопросы построения математических моделей прогнозирования возникновения язвенной болезни желудка на основе правил нечеткого вывода по изменениям электрического сопротивления биологически активных точек, расположенных на меридиане желудка.

Ключевые слова: математические модели; прогноз; диагностика; нечеткая логика; функции принадлежности; язвенная болезнь желудка.

Введение. Работами отечественных и зарубежных ученых в области акупунктуры было убедительно показано, что одним из недорогих и доступных способов получения информации о высоком риске появления заболеваний является энергетическая реакция меридианных и внемеридианных биологически активных точек (БАТ), связанных с исследуемыми заболеваниями [1, 2, 4, 5, 8, 9]. Однако конкретные решающие правила, позволяющие решать задачи прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики, получены для очень ограниченного круга заболеваний, что не позволяет широко использовать информацию об энергетических характеристиках БАТ в современных информационно-аналитических медицинских системах поддержки принятия решений.

Отчасти это объясняется своеобразием информации, «выводимой» на БАТ, которое заключается в том, что на одну точку «выводится» множество симптомов, синдромов и диагнозов, их энергетика меняется во времени и содержит несколько циклических составляющих и т.д. Эти и другие особенности представления информации на БАТ затрудняют построение точных прогностических и диагностических моделей с использованием традиционных информационных технологий.

Исследованиями, проведенными на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета, было показано, что проблема информативности БАТ в значительной степени может быть решена, если учесть биофизические особенности функционирования этих точек [4, 7]. Экспериментально было установлено, что из множества энергетических характеристик БАТ (интенсивность инфракрасного излучения, электродвижущая сила, электрическое сопротивление на постоянном и переменном токе и т.д.) наиболее информативным является их электрическое сопротивление, измеряемое на переменном токе силой от 2 мкА до 10 мкА [4, 5].

Чтобы уменьшить влияние на точность прогнозов и диагнозов различных составляющих, не относящихся к решаемой задаче, целесообразно в состав информативных БАТ включать диагностически значимые точки, определяемые по методике, описанной в работах [4, 8]. Эти точки обладают тем свойством, что при наличии искомого заболевания они одновременно меняют свои энергетические характеристики, включая электрическое сопротивление.



Методы. Опыт решения различных задач прогнозирования и диагностики с привлечением информации об энергетическом состоянии проекционных зон и, в частности, БАТ показал, что измеряемые показатели по отношению к решаемым задачам носят неполный и нечеткий характер. Структура классов, относительно которых принимается решение (особенно при прогнозировании и ранней диагностике), имеет нечеткие границы с зонами пересечения, переходящими из класса в класс [4, 8]. В этих условиях в соответствии с рекомендациями [3, 7, 8, 9, 10, 11] для синтеза соответствующих решающих правил целесообразно использовать теорию нечеткой логики принятия решений.

Чтобы унифицировать процедуру синтеза решающих правил для задач диагностики и прогнозирования, задача прогнозирования рассматривается как задача классификации по двум параметрам: обследуемый не заболеет в ближайшие T лет (класс ω_0); обследуемый заболеет в ближайшие T лет (класс ω_1).

При определении информативных биологически активных точек рекомендуется выбирать те из них, регистрация которых увеличивает уверенность в наличии исследуемой гипотезы (заболевания) ω_1 . В этих условиях, согласно рекомендациям [3, 7], в качестве базовой формулы для расчета уверенностей в принимаемых решениях по гипотезе ω_1 целесообразно выбрать накопительную итерационную формулу Е. Шортлифа в двух ее модификациях:

$$KY_{\omega_1}(i+1) = KY_{\omega_1}(i) + KY_{\omega_1}^*(x_{i+1})[1 - KY_{\omega_1}(i)], \quad (1)$$

где $KY_{\omega_1}(i)$ – коэффициент уверенности в гипотезе ω_1 при условии, что в проверке гипотезы уже участвовало i информативных признаков; $KY_{\omega_1}^*(x_{i+1})$ – коэффициент уверенности в диагнозе (прогнозе) ω_1 при использовании только одного признака x_{i+1} .

В данной работе в качестве исходной информации эксперты выбирали интервальные оценки (диапазоны сопротивлений) $\Delta R_{j,k}$ (j – номер БАТ, k – номер диапазона ΔR), относительно которых формируется диагностическое суждение. При этом формула (1) трансформируется в выражение:

$$KY_{\omega_1}(j+1) = KY_{\omega_1}(j) + KY_{\omega_1}^*(\Delta R_{j+1,k})[1 - KY_{\omega_1}(j)]. \quad (2)$$

В качестве технического средства регистрации величины сопротивления БАТ использовалась компьютерная приставка, обменивающаяся данными с ПЭВМ по радиоканалу Bluetooth. Приставка работает в двух режимах: режим поиска точки со звуковой, световой и графической регистрацией БАТ и режим измерения на частоте 1 кГц при силе тока 5 мкА.

Результаты. Для оценки влияния физиологических изменений при заболевании желудка на электрическое сопротивление БАТ, связанных с исследуемым классом заболеваний, в течение трех лет было организовано наблюдение за пациентами больниц г. Курска с измерением сопротивления выбранных для анализа биологически активных точек.

У наблюдаемых больных исследовалось состояние желудка путем фиксации их жалоб и при наличии показаний проводилась фиброгастроуденоскопия. Больные, у которых не подтверждался диагноз «язвенная болезнь желудка» (ЯБЖ), относились к классу «здоров» (ω_0). Пациенты, у которых при первичном обращении не устанавливалось диагнозов, связанных с заболеванием желудка, но в течение трех лет появилась язва желудка, относились к классу ω_R – высокий риск появления ЯБЖ (прогноз заболеваний ЯБЖ). По такой технологии были сформированы обучающие выборки по 100 человек на каждый из выделенных классов.

Возраст обследуемых колебался в пределах 18-70 лет. Мужчин и женщин было отобрано поровну (по 50 человек). Анализ известных атласов меридиан показал, что с заболеванием желудка связаны точки меридиана желудка, селезенки, поджелудочной железы, мочевого пузыря и т.д. Использовать все эти точки в практической работе достаточно трудоемко, и в этом чаще всего нет медицинской необходимости. Поэтому, проанализировав весь полученный список, целесообразно ограничиться их практиче-



ски важным набором. Сформировать этот набор можно, пользуясь мнением опытных врачей-рефлексотерапевтов с учетом доступности выбираемых для измерения точек, а также сведениями об информативности анализируемых БАТ, рассчитываемой принятыми в статистическом анализе методами, например по Кульбаку. Выбор информативных БАТ с дальнейшим синтезом соответствующих решающих правил осуществлялся по следующей методике. На обучающей выборке по выделенным классам (ω_0 , ω_1) определялись средние значения сопротивлений с оценкой достоверных различий между классами P_{01} . Точки, для которых достоверное отличие не превышало 0,05, оставались как претенденты на информативные. Табл. 1 иллюстрирует прогностическую возможность точек $E19$, $E21$, $E22$, $E25$, $E36$.

Таблица 1

**Средние значения сопротивлений информативных точек,
«связанных» с заболеваниями желудка**

Класс		Точка				
		$E19$	$E21$	$E22$	$E25$	$E36$
ω_0		100	100	90	100	120
ω_1	R ⁻	61	65	72	63	83
	R ⁺	205	189	131	223	284
P_{01}		0,01	0,01	0,05	0,01	0,001

Этот результат совпадает с результатами, полученными в работе [8], по взаимосвязи заболеваний желудка с меридианными БАТ и точками ушной раковины, с той разницей, что расширение объемов исследования в данной работе позволило выявить две тенденции в изменении сопротивлений БАТ относительно номинального значения $R_{\text{ном}}$ (люди из класса ω_0). У части обследуемых из класса ω_1 наблюдается достоверное ($P < 0,05$) уменьшение сопротивления БАТ (R⁻) относительно $R_{\text{ном}}$ (кроме точки $E22$), что характерно, по данным литературы, для острых воспалительных процессов. У другой части обследуемых наблюдается достоверное ($P < 0,05$) увеличение сопротивления БАТ (R⁺), что соответствует хроническим затяжным процессам. Проведенные перекрестные исследования показали, что устойчивые отклонения сопротивлений информативных БАТ от номинальных значений как в одну, так и в другую сторону достоверно ($P < 0,05$) характеризуют высокую вероятность появления и развития исследуемых заболеваний желудочно-кишечного тракта, если в обучающей выборке отдельно выделяются группы с уменьшающимися (верхние числа соответствующих строк классов ω_ℓ ($\ell = 0,1$) табл. 1) и с увеличивающимися (нижние числа табл.1) относительно $R_{\text{ном}}$ значениями сопротивлений.

На втором этапе исследований с учетом рекомендаций [5] шкалы сопротивлений БАТ были разбиты на 12 интервалов с номерами k , для которых определялись диагностические коэффициенты в соответствии с выражением

$$\text{ДК}(\Delta R_{j,k}) = 10 \lg \frac{P(\Delta R_{j,k} / \omega_0)}{P(\Delta R_{j,k} / \omega_1)}, \quad (4)$$

где $P(\Delta R_{j,k} / \omega_0)$ – частота появления k -ой градации j -ой точки в классе ω_0 (здоров); $P(\Delta R_{j,k} / \omega_1)$ – частота появления k -ой градации j -ой точки в классе ω_1 (прогноз заболеваний желудка).

Информативность k -ой градации j -ой точки $I(\Delta R_{j,k})$ определялась с использованием меры Кульбака:

$$I(\Delta R_{j,k}) = \text{ДК}(\Delta R_{j,k}) \cdot \frac{1}{2} [P(\Delta R_{j,k} / \omega_0) - P(\Delta R_{j,k} / \omega_1)]. \quad (5)$$

Информативность всей шкалы по точке с номером j определяется выражением

$$I_j = \sum_{k=1}^n I(\Delta R_{j,k}). \quad (6)$$



В табл. 2 приведены данные расчетов диагностических коэффициентов, информативность по градам и по точкам в целом для классов ω_0 и ω_1 .

Таблица 2

Таблица информативных БАТ, используемых для прогнозирования исследуемых классов заболеваний желудка

Точка	Диапазон (кОм)	ДК($\Delta R_{j,k}$)	$I(\Delta R_{j,k})$	I_j
E19	>500	-4	0,8	25
	400...500	0,9	0,05	
	300...399	4	0,8	
	200...299	6	1,8	
	100...199	16	7,5	
	90...99	16	7,5	
	80...89	10	4	
	70...79	5	1,25	
	60...69	2	0,2	
	50...59	-1	0,05	
<50	-4	0,8		
E21	>500	-6	1,2	18
	400...500	-1	0,05	
	300...399	0,9	0,05	
	200...299	4	0,8	
	100...199	13	5,8	
	90...99	13	5,8	
	80...89	6	1,8	
	70...79	3	0,45	
	60...69	0	0	
	50...59	-4	0,8	
<50	-6	1,2		
E22	>500	-4	0,8	4,85
	400...500	-2	0,2	
	300...399	0	0	
	200...299	2	0,2	
	100...199	6	1,2	
	90...99	6	1,2	
	80...89	2	0,2	
	70...79	0,9	0,05	
	60...69	0	0	
	50...59	-2	0,2	
<50	-4	0,8		
E25	>500	-6	1,2	21
	400...500	-2	0,2	
	300...399	0	0	
	200...299	2	0,2	
	100...199	16	7,5	
	90...99	16	7,5	
	80...89	4	0,8	
	70...79	0,9	0,05	
	60...69	-2	0,2	
	50...59	-5	1,25	
<50	-7	2,45		
E36	>500	-7	2,45	25
	400...500	-4	0,8	
	300...399	0,8	0,05	
	200...299	2	0,2	
	100...199	17	8	
	90...99	16	7,5	
	80...89	3	0,45	
	70...79	0	0	
	60...69	-3	0,45	
	50...59	-6	1,2	
<50	-9	3,6		



В связи с низкой информативностью точки E22 ее исключили из списка информативных БАТ.

Для оставшихся точек перед экспертами была поставлена задача перевода величин диагностических коэффициентов в значения коэффициентов уверенности $KY_{\omega_1}^*(\Delta R_{j,k})$ с учетом того, что класс ω_1 характеризуется отрицательными величинами $DK(\Delta R_{j,k})$, максимальные значения коэффициентов уверенности не превышают значения уровня доверия к используемым точкам (меньше единицы), нулевое значение диагностического коэффициента соответствует одинаковому уровню доверия к классам ω_0 и ω_1 и максимальные положительные значения $DK(\Delta R_{j,k})$ больше пороговых значений этих коэффициентов, соответствуют нулевым величинам соответствующих коэффициентов уверенности. Для таких условий на экспертном уровне была сформирована таблица коэффициентов уверенности в прогнозе исследуемых заболеваний желудка (табл. 3). Элементами этой таблицы являются частные коэффициенты уверенности $KY_{\omega_1}^*(\Delta R_{j,k})$ для прогностической формулы типа (2).

При построении этой таблицы эксперты учитывали величины диагностических порогов по классам ω_0 и ω_1 , рассчитываемые относительно $DK(\Delta R_{j,k})$ по формулам:

$$\text{Порог } \omega_0 = 10 \lg \frac{1-\alpha}{\beta}; \quad \text{Порог } \omega_1 = 10 \lg \frac{1-\alpha}{\beta},$$

где α – допустимый процент ошибок первого рода, когда гипотеза ω_0 принимается за гипотезу ω_1 ; β – допустимый процент ошибок второго рода, когда гипотеза ω_1 принимается за гипотезу ω_0 .

Приняв $\alpha=\beta=0,95$, получаем значения порогов ± 13 .

Таблица 3

Частные коэффициенты уверенности для прогнозирования заболеваний желудка

Класс	БАТ	Диапазоны сопротивлений, кОм										
		>500	400... 500	300... 399	200... 299	100... 199	90... 99	80... 89	70... 79	60... 69	50... 59	<50
ω	E19	0,6	0,5	0,35	0,2	0	0	0,2	0,3	0,45	0,55	0,6
	E21	0,65	0,6	0,5	0,25	0	0	0,2	0,35	0,5	0,6	0,65
	E25	0,65	0,6	0,5	0,25	0	0	0,25	0,5	0,6	0,65	0,7
	E36	0,7	0,6	0,45	0,2	0	0	0,25	0,5	0,65	0,8	0,9

Для формулы (2) по точкам меридиана желудка $KY_{\omega_1}(1) = KY_{\omega_1}^*(\Delta R_{E19,k})$, $R_{2,k} = R_{E21,k}$; $R_{3,k} = R_{E25,k}$; $R_{4,k} = R_{E36,k}$.

В ходе математического моделирования было установлено, что при максимальных значениях частных коэффициентов уверенности финальная уверенность в прогнозе возникновений заболеваний желудка, определяемая по формуле (2), превышает величину 0,95.

Для наиболее часто встречающихся значений сопротивлений при условии стабильного отклонения сопротивлений БАТ от номинальных значений («коридор» 90 кОм, ..., 200 кОм) величина KY_{ω_1} превышает величину 0,85.

Приведенные значения коэффициентов уверенностей были получены в ходе экспертного оценивания и математического моделирования. Для более объективной оценки качества принятия решений были сформированы контрольные выборки с расчетом таких показателей качества принятия решений, как диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС), прогностическая значимость положительных (ПЗ+) и отрицательных (ПЗ-) результатов.

Для задачи прогнозирования заболеваний желудка наблюдались пациенты больницы скорой медицинской помощи г. Курска. В начале исследований у всех обследуемых



дуремых были измерены сопротивления точек E_{19} , E_{21} , E_{25} и E_{36} . Контрольные выборки получали следующим образом. Те пациенты, кто не приобрел заболеваний желудка, отнесены к классу ω_0 , у кого появились различные заболевания желудка – были отнесены к классу ω_1 . Для каждого класса было отобрано по 100 человек.

После года наблюдений проверялась точность срабатывания правила (2) относительно порога $KU_{\omega_1}^{\Pi} = 0,5$, рассчитывались прогностические показатели качества ПЗ⁺ и ПЗ⁻. С учетом количества ошибок классификации было установлено, что:

$$ПЗ^+ = n_1/(n_1+n_2)=0,91; \quad ПЗ^- = n_3/(n_3+n_4)=0,86.$$

В последних выражениях n_1 – число заболевших, правильно классифицированных решающим правилом; n_2 – число не заболевших, отнесенных решающим правилом к заболевшим; n_3 – число не заболевших, правильно классифицированных решающим правилом; n_4 – число заболевших, отнесенных правилом к здоровым людям.

Заключение. В работе показано, как, используя выбранные методы обработки информации, характеризующей энергетическое состояние БАТ, решить задачу прогнозирования язвенной болезни желудка. Проверка на контрольных выборках объемом 100 человек на каждый класс, сформированных высококвалифицированными экспертами, показала, что прогностическая значимость решения выбранного класса задач не ниже 0,85. Такой результат позволяет рекомендовать полученные решающие правила для практического использования.

Литература

1. Лувсан, Г. Очерк методов восточной рефлексотерапии, 3-е изд., перераб. и доп. / Г. Лувсан. – Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1991. – 432 с.
2. Иванов, В.А. Математический анализ насыщенности нервами и корреляционная взаимосвязь анатомических (акупунктурных) зон ушной раковины человека / В.А. Иванов, А.П. Яковлев, Е.А. Яковлева // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2012. – Т. 11, № 1. – С. 228-236.
3. Корневский, Н.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских энергетических систем / Н.А. Корневский, Р.А. Крупчатников, С.А. Горбатенко // Медицинская техника. – 2008. – № 2. – С. 18-24.
4. Расчет уверенностей в принимаемых решениях по энергетической реакции меридианных структур / Р.А. Крупчатников, И.А. Ключиков, Л.В. Шульга, С.В. Харьков // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 6 (39), ч. 2. – С. 62-66.
5. Портнов, Ф.П. Электростимуляторная рефлексотерапия / Ф.П. Портнов. – Рига : Зинатне, 1980. – 245 с.
6. Оценка состояния здоровья человека с помощью гетерогенных нечетких правил / В.С. Титов, А.Г. Устинов, И.А. Ключиков, В.Н. Шевякин // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №1 (40), ч.1. – С. 33-42.
7. Bruce, G. Buchanan, Edward H. Shortliffe. Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. Addison-Wesley Publishing Company. Reading, Massachusetts, 1984. – P. 742.
8. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making / Riad Al-Kasasbeh, Nikolay Korenevskiy, Mahdi Alshamasin, Florin Ionescu, Andrew Smith // Computer Methods in Biomechanics and Bio-medical Engineering. – 2013. – Vol. 16, Issue 3. – P. 302-313.
9. Voll R. Gelöste und ungelöste Probleme den Electroakupunktur Schriftenreihe des Zentralverbandes der Ärzte für Naturheilverfahren. – 1961. S. Sonderheft. – P. 148-152.
10. Zadeh, L.A. Advances in Fuzzy Mathematics and Engineering : Fuzzy Sets and Fuzzy Information-Granulation Theory / L.A. Zadeh,. – Beijing : Beijing Normal University Press. – 2005.
11. Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes / L.A. Zadeh, King-Sun Fu, Kokichi Tanaka, Masamichi Shimura. // Academic Press, Inc. – New York; San Francisco; London, 1975.



PREDICTION OF PEPTIC ULCER BASED ON TABLE MATHEMATICAL MODELS OF FUZZY OUTPUT WITH USING INFORMATION ABOUT ELECTRICAL RESISTANCE OF THE BIOLOGICALLY ACTIVE POINTS OF THE STOMACH MERIDIAN

V.D. LUTSENKO¹

A.A. BURMAKA²

E.N. KOROVIN³

V.N. GADALOV²

R.A. KRUPCHATNIKOV²

¹⁾ *City Hospital №2, Belgorod*

²⁾ *Southwest State University*

³⁾ *Voronezh State Technical University*

e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

The paper elucidates the questions of building mathematical models of peptic ulcer prediction based on rules of fuzzy output by changing electrical resistance of the biologically active points of the stomach meridian.

Keywords: mathematical models, prediction, diagnostics, fuzzy logic, membership functions, peptic ulcer.