

альной диагностике пневмонии и онкологических заболеваний, которая показала качество классификации по критерию M не ниже 15 %, а по критерию ϵ – не ниже 50 единиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00164а.

Список литературы:

1. Томакова Р.А., Томаков М.В., Дураков И.В. и др. Метод классификации рентгенограмм на основе использования глобальной информации об их структуре // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 45-51.
2. Дюдин М.В., Кудрявцев П.С., Подмастерьев К.В. и др. Математические модели для интеллектуальных систем классификации рентгенограмм грудной клетки // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия «Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение». 2016. № 2 (19). С. 94-107.
3. Филист С.А., Шаталова О.В., Ефремов М.А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. 2014. № 6. С. 35-39.
4. Кудрявцев П.С., Кузьмин А.А. Развитие методологии бустинга для классификации рентгенограмм грудной клетки // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 10-15.
5. Томакова Р.А., Филист С.А., Яа Зар До Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 4 (43). С. 44-50.
6. Дюдин М.В., Филист С.А., Кудрявцев П.С. Способ выделения и классификации контуров легких на изображениях флюорограмм грудной клетки // Научные технологии. 2014. № 12. Т. 15. С. 25-30.

7. Филист С.А., Емельянов С.Г., Рыбочкин А.Ф. Нейросетевой решающий модуль для исследования живых систем // Известия Курского государственного технического университета. 2008. № 2 (23). С. 77-82.
8. Захаров А.В., Кольцов П.П., Кравченко Н.В., Куцаев А.С., Осипов А.С. Некоторые методы сравнительного исследования детекторов границ // Труды НИИСИ РАН. 2012. Т. 2. № 1. С. 4-13.
9. Мурашов Д.М. Метод автоматизированной сегментации изображений цитологических препаратов на основе модели активного контура // Труды МФТИ. 2009. Т. 1. № 1. С. 80-89.

*Сергей Алексеевич Филист,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра биомедицинской инженерии,
Римма Александровна Томакова,
д-р техн. наук, профессор,
Сергей Викторович Дегтярев,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра программной инженерии,
Анатолий Федорович Рыбочкин,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра космического приборостроения,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
e-mail: sfilist@gmail.com*

*Н.А. Кореневский, М.И. Лукашов, В.В. Дмитриева, Е.В. Письменная,
А.В. Иванов, Д.И. Кича, Т.И. Субботина, А.И. Колесник*

Оценка эффективности лечения больных генитальным герпесом по электрическим характеристикам тканей в специфических точках акупунктуры на основе нечеткой математической модели

Аннотация

Рассматриваются вопросы классификации стадий генитального герпеса на основе информации, снимаемой с акупунктурных точек P7 и VC7, меняющих свои энергетические характеристики при возрастании активности генитального герпеса. Показывается, что включение методов рефлексотерапии в традиционные схемы лечения позволяет уменьшить продолжительность клинических эпизодов. Приводится схема автономного прибора на базе микроконтроллера с малым энергопотреблением, обеспечивающего контроль энергетического состояния точек акупунктуры.

Методы исследования

Работами отечественных и зарубежных ученых было доказано, что для решения ряда задач прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики заболеваний, включая различные заболевания кожи, целесообразно использовать электрические характеристики точек акупунктуры (биологически активных точек – БАТ) [1]-[4].

Одной из важных задач синтеза правил принятия решений является выбор информативных признаков, и в частности информативных БАТ.

В работах [1], [2] было показано, что процедура выбора информативных БАТ будет эффективнее, если учитывать особенности «вывода» информации о состоянии внутренних структур организма на эти точки. К таким особенностям относятся: вывод большого количества информации на одну точку (множество диагнозов, симптомов, синдромов); циклические изменения энергетического состояния БАТ в течение суток даже при нормальной энергетической сбалансированности мериди-

ан; большой объем данных, который нужно анализировать, если патология заранее не известна и др. Все это затрудняет процедуру выбора информативных точек при использовании традиционных методов, принятых в теории информации и теории распознавания образов.

Для преодоления этих трудностей на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета предложены методы поиска таких комбинаций БАТ, анализ которых позволяет подтвердить исследуемую ситуацию (диагноз) и опровергнуть ситуации, «выводимые» на БАТ по справочным данным, но отсутствующие у исследуемого [1]-[3]. Эти комбинации называют диагностически значимыми точками (ДЗТ). Основная идея получения списков ДЗТ заключается в следующем.

Для получения списка БАТ, которые потенциально могут подтвердить искомую ситуацию (диагноз) x_0 и исключить остальные возможные ситуации x_k ($k = 1, 2, \dots, K$) или, по крайней мере, минимизировать список последних, предлагается формировать специальную двоичную таблицу связей (ДТС).

По строкам этой таблицы выписываются все возможные (по списку) БАТ, имеющие связи с ситуацией x_0 . По столбцам этой таблицы без повторов выписываются все возможные ситуации, присущие всем отобраным БАТ, за исключением x_0 , для которой все элементы $a_{0j} = 1$. Выбранные для диагноза x_0 БАТ являются претендентами на информативные БАТ y_j ($j = 1, 2, \dots, J$). Пример ДТС в общем виде представлен *табл. 1*. Элементами этой *таблицы* служат двоичные переменные $a_{kj} = \{0, 1\}$, где 0 обозначает факт отсутствия связи между y_j и x_k , а 1 обозначает, что такая связь есть. Очевидно при этом, что для x_0 элементы *таблицы* $a_{0j} = 1$ ($j = 1, \dots, J$). В *табл. 1* элементы a_{kj} взяты произвольно для пояснения сущности предлагаемого способа поиска информативной группы (групп) из множества $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j\}$.

Таблица 1

Двоичная таблица связей

| $y_j \backslash x_k$ | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | ... | x_k |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
| y_1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| y_2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | - | 0 |
| y_3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | - | 0 |
| ... | - | - | - | - | - | - | - |
| y_j | - | - | - | - | - | - | 1 |

Из полученной *таблицы* видно, что если $a_{kj} = 0$, то каково бы ни было состояние x_k , оно не влияет на постановку диагноза по энергетическому состоянию точки y_j и, следовательно, если БАТ с именем y_j изменила свое энергетическое состояние, то это происходит не под влиянием x_k . С другой стороны, если в строке y_j находятся элементы $a_{kj} = 1$, то все соответствующие x_k влияют на энергетическое состояние БАТ с номером j .

Например, если для строки y_j соответствующая БАТ даст положительную (в смысле отклонения энергетических характеристик от нормальных значений) реакцию, то можно считать, что вместе с ситуацией x_0 нельзя исключить появление ситуаций x_1 и x_2 , однако это не связано с ситуациями x_3 , x_4 и x_5 , по крайней мере на этапе контроля энергетического состояния БАТ с именем y_j .

Если провести измерение энергетических характеристик БАТ y_1 и y_2 , то их одновременная энергетическая реакция свидетельствует о возможном влиянии на них ситуаций x_0 , но исключает влияние на эту одновременную реакцию ситуации x_1 . Если добавить точку y_3 , то она исключит влияние ситуации x_2 на одновременную энергетическую реакцию всех трех точек.

Таким образом, измерение энергетических характеристик трех точек y_1 , y_2 и y_3 позволяет сделать вывод о том, что одновременное изменение их энергетических состояний вызывается только ситуацией x_0 , а следовательно, остальные ситуации можно исключить как прогностические и (или) диагностические гипотезы при таком способе измерений.

Механизм поиска информативных групп $y_j \in Y$ рассмотрим для определенности на примере парных сравнений строк *табл. 1*, обобщив их в дальнейшем на большее сочетание строк.

Условием исключения ситуации (диагностической гипотезы) x_k по паре строк с номерами j и t (по энергетической реакции точек y_j и y_t) является равенство нулю логического произведения вида

$$z_{jtk} = a_{jk} \cdot a_{tk}.$$

Условием исключения из диагностических (прогностических) гипотез всех ситуаций x_1, \dots, x_k парой строк с номерами j и t является выполнение равенства

$$z_{jt} = \sum_{k=1}^k a_{jk} \cdot a_{tk} = 0. \quad (1)$$

Процедура алгоритмического перебора всех сочетаний пар строк *табл. 1*: $j = 1, \dots, J$; $t = 1, \dots, T$; $t > j$ – позволяет найти такие пары ДЗТ, которые обеспечивают исключение всех ситуаций (гипотез) x_k , если хотя бы по одной из пар выполняется условие (1). Термин исключения ситуации (гипотезы) подразумевает, что гипотеза x_k отвергается, а гипотеза x_0 подтверждается, если наблюдается одновременное отклонение энергетических характеристик БАТ из списка ДЗТ от своих номинальных значений.

В работе [1] приводится алгоритм поиска диагностически значимых точек и других информативных акупунктурных точек для любого количества строк ДТС.

В работах [1]-[3] показано, что наиболее подходящими параметрами для решения выбранной задачи являются величины их электрических сопротивлений, измеряемых на переменном токе частотой 1 кГц при силе тока не более 10 мкА. В этих же работах обосновывается выбор в качестве математического аппарата теории нечеткой логики принятия решений, в частности разработанного авторами метода синтеза коллективов гибридных нечетких решающих правил [2], [5].

Результаты

Анализ известных атласов меридиан показывает, что биологически активных точек, имеющих связи с генитальным герпесом, нет [6]. Однако, как показали специально проводимые исследования при заболеваниях кожи, включая воспалительные и инфекционные заболевания, наблюдается определенная энергетическая реакция биологически активных точек (БАТ).

В соответствии с рекомендациями [1], [2], на первом этапе исследований был определен список БАТ, связанных с заболеваниями кожи, со своими списками ситуаций (всего более 20 точек) [6].

На втором этапе исследований из всего множества точек, связанных с заболеваниями кожи, эксперты отобрали 5 точек, наиболее соответствующих симптоматике генитального герпеса: F11, VC1, VC7, VG1 и P7. Использование алгоритмов поиска ДЗТ, описанных в работе [1], позволило выбрать две ДЗТ: P7 и VC7.

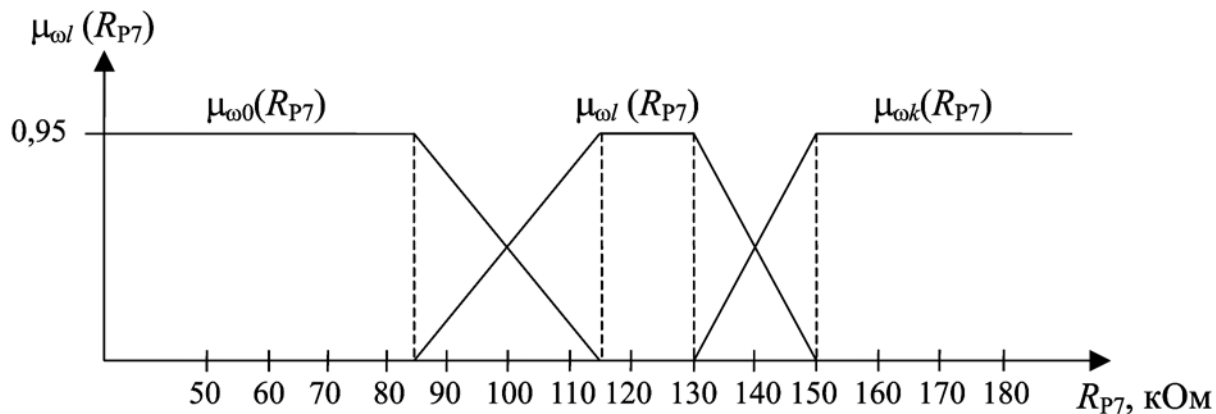


Рис. 1. Графики функций принадлежности к классам ω_0 , ω_1 и ω_k для точки P7

В ходе оценки информативности выбранной пары точек проводилось измерение их сопротивления на людях, не имеющих герпеса вирусной инфекции, и людях, находящихся в состоянии ремиссии (класс ω_0); находящихся на стадии вирусывыделения без клинической симптоматики (класс ω_1); имеющих клиническую симптоматику различной длительности (до трех дней – класс ω_2 , до десяти дней – класс ω_3 , с непрерывными рецидивами – класс ω_4).

Статистические расчеты показали, что класс ω_0 характеризуется средним значением сопротивления точек P7 и VC7 – (100 ± 15) кОм.

С учетом этого был выбран коридор нормы 85...115 кОм. Класс ω_1 характеризуется значениями сопротивлений в диапазоне 115...130 кОм, а в классах ω_2 , ω_3 и ω_4 сопротивление, как правило, превышает величину 130 кОм. Эти результаты делают целесообразным объединение классов ω_2 , ω_3 и ω_4 в класс пациентов с клинической симптоматикой ω_k . С учетом нечеткой природы информации, «выводимой» на БАТ, и пользуясь общими рекомендациями по синтезу гибридных нечетких решающих правил [1], [5], были построены функции принадлежности $\mu_{\omega_l}(R_{P7})$ и $\mu_{\omega_l}(R_{VC7})$ к трем выбранным классам состояний ω_0 , ω_l и ω_k .

На рис. 1 представлены графики функций принадлежности к классам ω_0 , ω_1 и ω_k для точки P7. Аналогичные графики получены для точки VC7.

Решение о классификации по точке P7 или VC7 осуществляется с использованием нечетких моделей вида

$$UK_{\omega_l}(P7) = \max\{\mu_{\omega_0}(R_{P7}), \mu_{\omega_l}(R_{P7}), \mu_{\omega_k}(R_{P7})\}; \quad (2)$$

$$UK_{\omega_l}(VC7) = \max\{\mu_{\omega_0}(R_{VC7}), \mu_{\omega_l}(R_{VC7}), \mu_{\omega_k}(R_{VC7})\}, \quad (3)$$

где $UK_{\omega_l}(P7)$ и $UK_{\omega_l}(VC7)$ – уверенности в классификации по соответствующим точкам. Пациент относится к тому классу состояний, для которого соответствующая функция принадлежности принимает максимальное значение.

Для оценки соответствия между выбранными экспертами классами состояний и диапазонами сопротивлений БАТ P7 и VC7 была сформирована контрольная группа из 200 пациентов, наблюдавшихся в период ремиссии и обострения.

Эти пациенты были разбиты на две подгруппы по 100 человек. В первой подгруппе специализированных лечебно-оздоровительных мероприятий не проводилось.

Во второй подгруппе на стадиях вирусывыделения и клинической симптоматики пациентам оказывалась специализированная медицинская помощь. Наблюдение за первой группой больных показало, что более 50 % из них часто переходят из класса ω_0 в классы ω_1 и ω_k , т. е. их состояние периодически ухудшается.

Во второй подгруппе пациентов проводились лечебно-оздоровительные мероприятия двух типов: 1) традиционные схе-

мы, включающие в себя лечение валтарексом по 0,5 г 2 раза в день с интервалом в 12 ч, 5 дней; 2) курсовая доза 5 г комбинированная терапия с использованием традиционных методов в сочетании с рефлексотерапией на точки P7 и VC7.

Оба вида терапии для 50 человек проводились на этапе появления гиперемий и отека, а для 50 человек – на начальном этапе клинической симптоматики (образовании визикулозных элементов).

У всех пациентов каждый день в течение 15 дней проводилось измерение электрического сопротивления точек P7 и VC7.

Анализ динамики сопротивлений этих точек позволил сделать вывод о том, что с достоверностью $P < 0,1$ изменения сопротивлений БАТ соответствуют изменению состояний пациентов, подтвержденных лабораторными исследованиями. Это позволяет использовать соответствующие недорогие и оперативные процедуры контроля сопротивления БАТ для оценки состояния пациентов, страдающих генитальным герпесом, и для контроля эффективности различных терапевтических процедур.

В ходе исследования получены данные о том, что если значения контролируемых сопротивлений после обострения не входят в «коридор нормы», то с большой вероятностью следует ожидать обострения заболеваний. Этот факт может быть использован для прогнозирования обострений и их стадий.

Для контроля электрического сопротивления БАТ могут быть использованы схемы, описанные в работах [1], [7]. Однако простые измерительные и вычислительные процедуры позволяют использовать более экономичные и дешевые схемы на микроконтроллерах, имеющих в своем составе АЦП, ЦАП и встроенные интерфейсы, подключаемые к блоку клавиатуры (БК) и жидкокристаллическому индикатору (ЖКИ).

На рис. 2 представлен вариант одноканального прибора для рефлексодиагностики и рефлексотерапии на микроконтроллере с низким энергопотреблением типа STM32F.

В этой схеме блок клавиатуры (БК) и жидкокристаллический индикатор подключены к стандартному четырехпроводному интерфейсу SPI. К интерфейсу SDIO подключается твердотельная память ТП (карта SD). Первый ЦАП используется для формирования терапевтического тока (через первый усилитель УТ1). Второй ЦАП через токовый усилитель УТ2 задает измерительный ток, проходящий через БАТ (сопротивление R_x).

Падение напряжения на эталонном сопротивлении R_0 , пропорциональное R_x , подается на АЦП микроконтроллера.

Исследование эффективности различных схем терапии показало, что если совместно с традиционными схемами лечения использовать рефлексотерапию, то продолжительность клинического эпизода уменьшается почти на 50 %, что делает целесообразным использование комбинированных схем лечения при разработке соответствующих алгоритмов управления лечебно-диагностическим процессом.

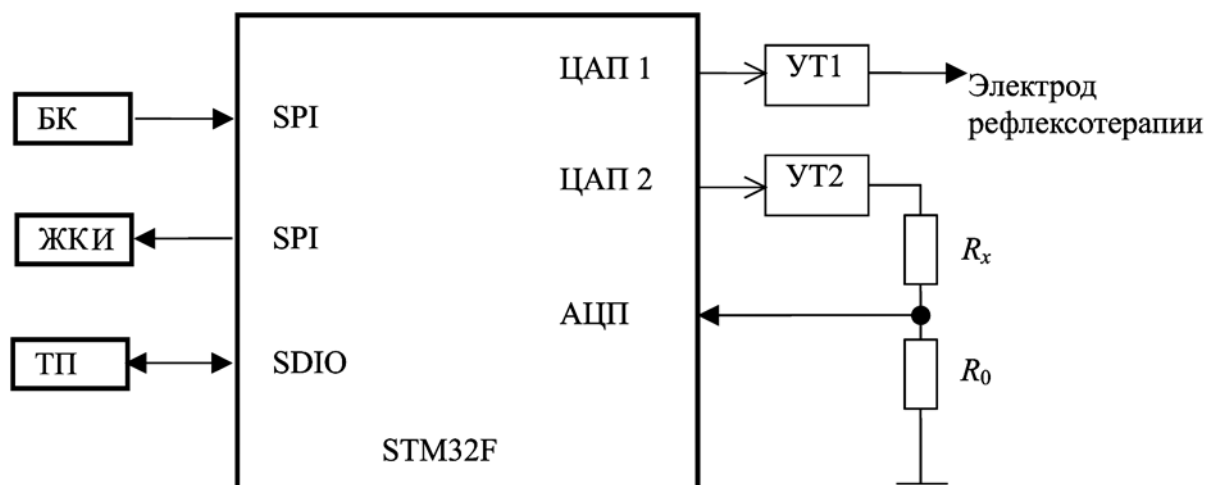


Рис. 2. Схема прибора для рефлексодиагностики и рефлексотерапии

Список литературы:

1. *Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касасбех Р.Т.* Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.
2. *Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Горбатенко С.А., Серебровский В.И.* Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий. Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
3. *Лукашов М.И., Корневский Н.А., Серебровский В.И. и др.* Использование информационных технологий для прогнозирования и диагностики инфекционных заболеваний (на примере генитального герпеса). Монография. – Курск: Изд-во Курской гос. с.-х. ак., 2011. 123 с.
4. *Портнов Ф.П.* Электропунктурная рефлексотерапия. – Рига: Зинанте, 1980. 245 с.
5. *Корневский Н.А.* Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33-35.
6. *Гаваа Лувсан* Традиционные и современные аспекты точной рефлексотерапии. – М.: Наука, 1986. 575 с.
7. *Корневский Н.А., Мухатаев Ю.Б., Старцев Е.А., Лазурин Л.П.* Многоканальный анализатор меридианных структур организма на базе аналоговых интерфейсов АФЕ // Медицинская техника. 2016. № 6. С. 28-31.

*Николай Алексеевич Корневский,
д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный
государственный университет»,
Михаил Иванович Лукашов,
канд. мед. наук,
ОБУЗ «Курский областной клинический
кожно-венерологический диспансер»,
г. Курск,*

*Валентина Викторовна Дмитриева,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра электрофизических установок,
НИЯУ «МИФИ»,
г. Москва,
Екатерина Васильевна Письменная,
канд. мед. наук, зам. главного врача
по организационно-методической работе,
ОБУЗ «Курский областной клинический
кожно-венерологический диспансер»,
Александр Викторович Иванов,
д-р мед. наук, профессор,
зав. кафедрой гистологии,
ФГБОУ ВО «Курский государственный
медицинский университет»,
г. Курск,
Дмитрий Иванович Кича,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра общественного здоровья,
здравоохранения и гигиены,
ФГАОУ ВО «Российский
университет дружбы народов»,
г. Москва,
Татьяна Игоревна Субботина,
д-р мед. наук, профессор,
зав. кафедрой общей патологии,
ФГБОУ ВПО «Тульский
государственный университет»,
г. Тула,
Александр Иванович Колесник,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра хирургических болезней ФПО,
ФГБОУ ВО «Курский государственный
медицинский университет»,
г. Курск,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru*

**ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ,
РУКОВОДИТЕЛЕЙ СЛУЖБ ИНФОРМАЦИИ И БИБЛИОТЕК!**

**ПРЕДЛАГАЕМ ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ
«МЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНИКА»**

НА 2017 ГОД.

Индекс по каталогу «Роспечать» – 72940.

В редакции можно оформить и оплатить льготную подписку с любого месяца.

**Стоимость подписки : 1200 руб. – за один номер,
3600 руб. – на первое полугодие 2017 года (3 номера), 7200 руб. – на 2017 год (6 номеров).**

Наши тел.: (495) 695-10-70, 695-10-71.