

произвольного вектора с данным  $\omega$  условие (9) выполняется при сопоставлении векторов  $\psi$  во внешней и  $\tilde{\psi}$  во внутренней областях в виде

$$\begin{aligned} \psi(\xi, \omega) &= A h_1(\xi, \omega) + B h_2(\xi, \omega) \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \tilde{\psi}(\xi, \omega) &= A \tilde{h}_1(\xi, \omega) + B \tilde{h}_2(\xi, \omega). \end{aligned}$$

Равенство коэффициентов в разных областях существенно. Аналогично, функции  $f$  и  $\tilde{f}$  во внешней и внутренней областях соответственно можно считать продолжением друг друга, если их разложения имеют вид

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} d\omega \{A(\omega)h_1 + B(\omega)h_2\} &= f(\xi) \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \tilde{f}(\xi) &= \int_0^{\infty} d\omega \{A(\omega)\tilde{h}_1 + B(\omega)\tilde{h}_2\}, \end{aligned}$$

аналогично в пространстве  $x$

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} d\omega \{A(\omega)v_1 + B(\omega)v_2\} &= F(x_e) \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \tilde{F}(x_i) &= \int_0^{\infty} d\omega \{A(\omega)\tilde{v}_1 + B(\omega)\tilde{v}_2\}. \end{aligned}$$

Можно считать пары  $\{f, \tilde{f}\}$  или  $\{F, \tilde{F}\}$  одним состоянием.

Мы рассмотрели вопрос о самосопряженности гамильтониана в пространстве Шварцшильда, кото-

рое ассоциируется с существованием черной дыры. В работе [1] было показано, что оператор движения эрмитов. В настоящей статье установлена связь между оператором движения и гамильтонианом, которая использована для построения эрмитового гамильтониана во всем пространстве. Это приводит к тому, что особая точка  $x = 1$  начинает «больше походить» на регулярную точку, какой она является в других координатах. Отметим, что спектр гамильтониана может быть не ограниченным снизу, что, возможно, является лишь квантовым выражением существования такого мощного притягательного центра, как черная дыра.

Авторы искренне благодарны В. Г. Кадышевскому и О. А. Хрусталеву за постоянный интерес к работе и ценные замечания.

#### Литература

1. Афантитис Х., Каляшин С.В. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2003. № 1. С. (Moscow University Phys. Bull. 2003. No. 1).
2. Наймарк М.А. Линейные Дифференциальные Операторы. М., 1969.
3. Титчмарш Э.Ч. Разложение по собственным функциям, связанным с дифференциальными уравнениями II порядка. I. М., 1969.

Поступила в редакцию  
17.06.02

УДК 519.2:534

## О ЗАДАЧЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

В. А. Газарян, Н. В. Иваницкая, Ю. П. Пытьев, А. К. Шаховская\*)

(кафедра компьютерных методов физики)

E-mail: pytyev@phys.msu.su

**Работа посвящена созданию нового комплексного метода компьютерной оценки состояния больных с функциональными нарушениями в системе пищеварения, включающего предварительную постановку диагноза, учитывающую изменения психоэмоциональной сферы. В статье приведены результаты практических применений разработанного метода.**

В последнее время все больше внимания уделяется заболеваниям, в генезе которых ведущее место занимают эмоционально-стрессовые моменты [1]. Так например, среди страдающих заболеваниями желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) довольно высок процент больных с функциональными расстройствами, обусловленными нарушениями моторики и тонуса толстой кишки, причем пусковыми механизмами

этих расстройств являются стрессовые воздействия или длительное психоэмоциональное напряжение.

При изучении проблемы объективизации данных о психосоматическом статусе больных с заболеваниями сердечно-сосудистой системы и ЖКТ отечественными и зарубежными специалистами широко используются специальные опросники и психологические тесты [1, 2].

\*) ГУ НИИ питания РАМН.

Для изучаемых в этой работе больных с функциональными заболеваниями органов пищеварения характерным является полиморфизм жалоб и, как правило, отсутствие «светлых» промежутков в течении заболевания. Иногда симптомы заболевания бывают столь интенсивными и держатся так упорно, что больных долго и безуспешно обследуют на предмет выявления органических заболеваний ЖКТ. В связи с отсутствием четких диагностических критериев диагноз функциональных заболеваний толстой кишки ставится методом исключения [3]. Различные формы функциональных нарушений моторики, тонуса и секреции, преимущественно толстой кишки, объединяются термином «раздраженная кишка» и характеризуются тем, что при этом не обнаруживаются органические поражения.

Длительное и часто безуспешное лечение в условиях гастроэнтерологического стационара вынуждало врачей направлять этих больных на консультацию к психотерапевту или психиатру с целью изучения личностных особенностей, вариантов поведения, а также наличия психических нарушений у больных с синдромом раздраженной толстой кишки (СРТК). С точки зрения психиатров, СРТК является классическим примером психосоматического реагирования на значимые ключевые переживания [4].

Целью настоящей работы является создание нового комплексного метода компьютерной оценки статуса больных с функциональными нарушениями процессов пищеварения, включающего предварительную постановку диагноза, учитывающую изменения психоэмоциональной сферы.

В результате анализа многолетних клинических исследований по изучению СРТК, проводившихся в клинике НИИ питания РАМН совместно с психиатрами, были разработаны специальные анкеты, ответы на которые характеризуют состояние как органов пищеварения, так и психоэмоциональной сферы больных.

Анкета была разработана для выявления основных клинических проявлений СРТК и представляла собой тест самооценки состояния, определяющий интенсивность и выраженность гастроэнтерологических и сопутствующих нервнопсихических синдромов по четырехбалльной шкале, а также наличие или отсутствие вегетативных нарушений.

В настоящей работе на основе обучающей выборки больных — пациентов НИИ питания с верифицированным диагнозом заболевания — с помощью разработанного алгоритма типа «Кора» [5] определяются наиболее характерные сочетания признаков — симптомов этого заболевания. Разработанный алгоритм позволяет обнаружить сочетания признаков, существенных для каждого заболевания и использовать их в дальнейшем для распознавания заболевания пациента.

В данной работе рассматриваются два класса —

«СРТК» и «Норма», причем к классу «Норма» отнесены люди, не имеющие заболеваний ЖКТ.

Задача распознавания была решена с использованием алгоритма типа «Кора», основанного на алгебраическом подходе к проблеме классификации [5, 6]. Для описания алгоритма определим понятие исходной информации и зададим правила вычисления оценок сходства сопоставляемых объектов.

Рассмотрим множество  $M$  объектов, представимое в виде объединения подмножеств  $\Omega_1, \dots, \Omega_m$ , называемых классами. Каждый объект  $x \in M$  описывается  $n$ -мерным вектором  $x = (x_1, \dots, x_n)$ . В рассматриваемой задаче классификации заболеваний  $x_i$  — ответ пациента на  $i$ -й вопрос анкеты,  $i = 1, \dots, n$ .

На этапе обучения алгоритма распознавания используем те объекты, о которых известно, к каким классам они принадлежат. Обозначим их  $w^1, \dots, w^{r_k}$ ,  $w^i = (w_1^i, \dots, w_n^i)$ ,  $k = 1, \dots, m$ ,  $r_k$  — число объектов обучающей выборки  $k$ -го класса. Обучающая выборка в данном случае — это больные с верифицированным диагнозом. На основе этой информации проводится обучение алгоритма «Кора».

На этапе обучения для каждого объекта  $w^i$ ,  $i = 1, \dots, r_k$  класса  $\Omega_k$  строится бинарная матрица  $B^{(i)} = (b_j^{(i)l})$ , элементы которой

$$b_j^{(i)l} = \begin{cases} 1, & \left| w_j^l - w_j^i \right| \leq \varepsilon_j \\ 0, & \left| w_j^l - w_j^i \right| > \varepsilon_j \end{cases}, \quad (1)$$

$$j = 1, \dots, n; \quad l = 1, \dots, r_k; \quad i = 1, \dots, r_k,$$

где  $\varepsilon_j$  — параметр, характеризующий разброс значений  $j$ -го признака (его значение может быть связано с точностью измерений, с другими характеристиками объекта как такового), далее называемый допуском. Следует отметить, что  $i$ -я строка матрицы  $B^{(i)}$  состоит из единиц. Затем в матрице  $B^{(i)}$  выбираются все те столбцы, число единиц в которых не менее  $\nu_k$ , где  $\nu_k$  — априори задаваемый порог по частоте встречаемости признака в классе  $\Omega_k$ . Предположим, что всего выявлено  $t_k$  признаков, соответствующих выбранным столбцам. Далее из этих признаков строятся так называемые представительные наборы признаков класса  $\Omega_k$ , соответствующие рассматриваемому объекту  $w^i$  — всевозможные сочетания признаков, которые содержат от одного до  $t_k$  признаков из выделенных на предыдущем этапе. Всего различных представительных наборов, включающих  $r \leq t_k$  признаков, —  $C_{t_k}^r$ . Признаки, не входящие в представительные наборы, объявляются несущественными для данного класса.

Обозначим некоторый представительный набор  $D_s^k(w^i)$ , где  $s$  — номер набора,  $s = 1, \dots, 2^{t_k} - 1$ ,  $k$  — номер класса,  $w^i$  — объект, для которого строилась матрица  $B^{(i)}$ , т. е. объект, давший представительный набор  $D_s^k(w^i)$ ,  $i = 1, \dots, r_k$ .

После составления всех возможных представительных наборов класса из них надо выбрать харак-

терные для данного класса. Оценим их качество по следующей формуле, являющейся аналогом формулы Байеса:

$$P(\Omega_k | D_s^k) = \frac{P(D_s^k | \Omega_k) P(\Omega_k)}{\sum_{i=1}^m P(D_s^k | \Omega_i) P(\Omega_i)}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m P(\Omega_i) = 1,$$

где  $P(\Omega_i)$  — априорная вероятность класса  $\Omega_i$ ,  $P(\Omega_k | D_s^k)$  — аналог условной вероятности класса  $\Omega_k$  при условии, что наблюдается  $D_s^k$ . Будем считать, что объект из обучающей выборки содержит представительный набор  $D_s^k(w^j)$ , если значения  $j$ -го признака из  $D_s^k(w^j)$  рассматриваемого объекта и объекта  $w^j$ , на котором получен данный представительный набор, отличаются не более чем на  $\varepsilon_j$ .

Если в  $\Omega_k$   $r_k$  объектов и  $r'$  из них содержат набор  $D_s^k$ , то  $P(D_s^k | \Omega_k)$  оценим значением:

$$P(D_s^k | \Omega_k) = \frac{r'}{r_k - 1}. \quad (3)$$

Если в формуле (2)

$$P(\Omega_k | D_s^k) \geq P_k^0, \quad (4)$$

где  $P_k^0$  — пороговое значение, задаваемое с учетом специфики задачи, то представительный набор  $D_s^k$  объявляется характерным для класса  $\Omega_k$ . В результате в каждом классе  $\Omega_k$  будет выделено множество представительных наборов  $\{D^k\}$ , состоящее из элементов, удовлетворяющих условию (4).

На этапе распознавания предъявленного объекта  $x$  выявляются все представительные наборы  $D_s^k$  из множества  $\{D^k\}$ ,  $k = 1, \dots, m$ , удовлетворяющие условию (4), которые содержит объект. Пусть найдено  $S_k$  таких наборов в классе  $\Omega_k$ . Затем в каждом классе  $\Omega_k$  определяется представительный набор  $D_{s_k}^k$ , которому соответствует максимальная апостериорная вероятность (2):

$$P(\Omega_k | D_{s_k}^k) = \max_s P(\Omega_k | D_s^k), \quad s = 1, \dots, S_k. \quad (5)$$

Объект  $x$  относится к тому классу  $\Omega_{k^*}$ , которому соответствует максимальная вероятность (5):

$$P(\Omega_{k^*} | D_{s_{k^*}}^{k^*}) = \max_k P(\Omega_k | D_{s_k}^k). \quad (6)$$

Рассмотренный алгоритм имеет некоторые отличия от используемых ранее версий метода [5, 6]. Помимо выявления эмпирических закономерностей в нем использован аналог байесовского решающего правила, минимизирующего среднее число ошибочных решений.

На этапе обучения алгоритма рассматривались 30 пациентов, страдающих СРТК. Точность измерения признаков устанавливалась с тем расчетом, чтобы различной степени тяжести симптома придать раз-

ные числовые значения, если это важно для выявления и описания данного заболевания. Оптимальным с точки зрения распознавания порогом по частоте встречаемости признаков в классе  $\Omega_k$ ,  $k = 1, \dots, m$ , оказался порог  $\nu_k = 0.7r_k$ . Выбор такого низкого порога обусловлен тем, что наличие некоторого симптома более чем у половины пациентов, акцентирует внимание врача на этом симптоме и свидетельствует о том, что данный симптом нельзя игнорировать при анализе заболевания.

В результате работы программы были выделены признаки (симптомы) и их значения, характерные для заболевания СРТК. Такими признаками являются:

- 1) ощущение легкого беспокойства, неуверенности;
- 2) два или более проявлений вегетативных нарушений;
- 3) повышенная утомляемость, чувство вялости в течение дня, усталость, трудность сосредоточиться на чем-либо;
- 4) боли, связанные с нарушениями моторно-эвакуаторной деятельности кишечника, возникающие после обильной еды, при длительных промежутках между приемами пищи, после сильного эмоционального возбуждения; дискомфорт в подложечной области;
- 5) метеоризм и связанные с ним длительные периоды дискомфорта;
- 6) нарушения моторно-эвакуаторной деятельности кишечника двух видов: замедленная моторика, ускоренная моторика.

Характер выделенных симптомов свидетельствует о том, что психосоматические отклонения являются важной составной частью заболевания и проявляются у пациентов не менее часто, чем функциональные нарушения работы ЖКТ. На этапе распознавания было проведено выявление СРТК у 20 пациентов, находящихся на лечении в клинике НИИ питания РАМН с данным диагнозом, по признакам, выработанным «Корой». Ошибок при распознавании СРТК в данной группе не выявлено. В то же время пациенты, не страдающие СРТК, не были отнесены программой к этому классу. По мнению гастроэнтерологов клиники НИИ питания РАМН, выявленные признаки и их значения действительно являются наиболее типичными проявлениями СРТК.

Задачей данного исследования явилась также классификация пациентов с СРТК на две группы, различающиеся характером моторики толстой кишки. Как было отмечено ранее, различия в течении заболеваний таких пациентов связаны не только с нарушением моторно-эвакуаторной деятельности, но также с различными особенностями психоэмоциональной сферы. Поэтому в данной работе удалось найти отличительные черты двух групп СРТК и установить связь между гастроэнтерологической и психосоматической симптоматикой заболеваний.

В конечном счете при сравнении двух групп СРТК разработанным алгоритмом были выявлены следующие особенности.

1. У пациентов, имеющих склонность к замедленной моторике (1-я группа), ощущение тревоги выражено в большей степени: многим из них свойственны отчетливое чувство беспокойства, напряженность, интенсивное тревожное предчувствие, ожидание неприятности, беды. Пациентам со склонностью к ускоренной моторике (2-я группа) свойственно в основном ощущение легкого беспокойства, неуверенности.

2. 1-я группа больных в отличие от 2-й группы характеризуется частыми нарушениями сна (1–2 раза в неделю). Многие из опрошенных считают этот симптом основной жалобой.

3. Вегетативные нарушения ярче выражены у пациентов 1-й группы.

4. Боли в животе у пациентов 1-й группы чаще связаны с замедленной моторно-эвакуаторной деятельностью, с количеством и качеством пищи, а также с сильным эмоциональным возбуждением. Для пациентов 2-й группы более характерно появление болей после обильной еды и при изменении характера питания.

Полученные результаты позволяют описать симптоматику СРТК на начальном этапе обследования пациента, облегчают работу врача, так как значительная часть обработки и анализа информации

осуществляется компьютерным методом. Специфика психосоматических изменений у пациентов двух рассмотренных групп, выявленная разработанным алгоритмом, учитывается врачами-гастроэнтерологами клиники НИИ питания РАМН при лечении больных.

#### Литература

1. Фральнис А.В. Функциональные заболевания желудочно-кишечного тракта. Л.: Медицина, 1991.
2. Шаховская А.К., Есаулов В.И. Комплексная терапия синдрома раздраженной толстой кишки с учетом психоэмоционального статуса. Труды «Новое в гастроэнтерологии». М., 1996. Т. 2.
3. Шаховская А.К., Есаулов В.И., Лоранская Т.И. Многофакторный анализ состояния здоровья и схема терапии больных с функциональными заболеваниями толстой кишки. Матер. III Российской гастроэнтерологической недели. М., 1997.
4. Марилов В.В. Клинические варианты психосоматической патологии желудочно-кишечного тракта: Автореф. дис. ... д-ра. мед. наук. М., 1993. С. 25.
5. Бонгард М.М. Проблемы узнавания. М.: 1967.
6. Дюкова Е.В. Об одной параметрической модели алгоритмов распознавания типа «Кора». М.: ВЦ АН СССР, сер. Сообщения по прикладной математике, 1995.
7. Пытьев Ю.П. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем. М., 2002.

Поступила в редакцию  
04.09.02

УДК 517.9

## О КАЧЕСТВЕННОМ ИССЛЕДОВАНИИ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОТОКОВ В IP СЕТЯХ

О. В. Манько, Б. И. Садовников, А. Н. Сандалов, Н. А. Сухарева,  
И. П. Павлоцкий, М. Стрианезе\*)

(кафедра квантовой статистики и теории поля; кафедра радиофизики)

E-mail: sadovnikov@phys.msu.ru

**Исследован качественный фазовый портрет обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на примере срывов сеанса в IP сетях. Теоретически рассмотрены и экспериментально подтверждены явные зависимости  $P_L$  от  $\lambda$ , при которых срыв имеет место. Предложены пути устранения указанной трудности.**

### Введение

Изучение достаточно широкого круга физических явлений приводит к исследованию обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, аналитическое решение которых представляет собой трудную, а иногда и невыполнимую задачу. Тогда приходится прибегать к качественному рассмотре-

нию уравнений, адекватно отражающих основные физические свойства процесса. В этой связи нами был предложен метод [1], позволяющий строить качественные интегральные кривые, исследуя уравнение на наличие сингулярностей. Хотя проблемы неоднозначности движения являются актуальными во

\*) Второй Неаполитанский университет, инженерный факультет, Италия.