

УДК 004.9:612

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Гергет О.М., Кочегуров В.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

РЕЗЮМЕ

Целью исследования являлась разработка подходов и критериев, позволяющих получить индивидуальную оценку состояния здоровья. Все существующие в настоящее время подходы для диагностики состояния здоровья можно разделить на две группы: статистические методы и функциональные зависимости, формируемые на основе законов, определяющих обменные энергоинформационные процессы, происходящие в организме.

Наиболее развитые и широко применяемые в настоящее время статистические методы являются безусловно полезными и в большинстве случаев дают возможность понять общую тенденцию изучаемых процессов. Однако статистические методы с точки зрения практической медицины обладают одним существенным недостатком, не позволяющим принимать доказательные выводы при индивидуальном прогнозе и выявлении воздействий лечебных процедур в динамике. В связи с этим существует необходимость в разработке новых подходов, позволяющих на фоне общих тенденций делать доказательные выводы о состоянии здоровья каждого обследуемого. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: выявить общие закономерности и осуществить адекватный выбор наблюдаемых переменных; выделить аномальные наблюдения и сформировать однородные группы; выбрать методы, позволяющие получать усредненные оценки и адекватно отражающие функционирование выделенных однородных групп объектов.

С позиции системного подхода рассмотрена технология представления результатов наблюдений, а организм ребенка представлен как сложная динамическая система, содержащая все необходимые элементы для устойчивого функционирования в условиях внешней среды. С целью формирования обобщенных критериев оценки функционирования динамической биосистемы приводится энергоинформационный подход.

Приведены разработанные критерии и полученные коэффициенты, характеризующие степень напряженности организма в условиях нормального функционирования. Рассмотрены усредненные значения коэффициентов по группам. Представленный в статье энергоинформационный подход дает возможность выявить состояние организма на грани нормы и патологии, что особенно актуально для детей.

Применение энергоинформационных технологий для оценки функционирования динамических систем позволяет выявлять закономерности группового поведения объектов исследования и получать индивидуальные оценки состояния. Такого рода задачи ставятся в практической и доказательной медицине, когда на фоне общих закономерностей функционирования существует возможность делать индивидуальные оценки состояния.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моделирование, система, доказательная медицина, степень напряжения организма, энергия.

Введение

В настоящее время наибольшее число исследований в сфере биоинформатики посвящено исходу течения заболевания. Значительно меньше изучены вопросы выявления закономерностей реакции организма

здоровых детей раннего возраста при воздействии тех или иных факторов. Разработка обоснованных технологий выявления закономерностей развития систем, реакции системы на внешние воздействия открывает возможность профилактики не только заболеваний, но и состояний на грани нормы и патологии [1], что особенно актуально для детей раннего возраста, когда малейшие изменения оказывают огромное влияние на состояние здоровья ребенка.

✉ Гергет Ольга Михайловна, e-mail: olgagerget@mail.ru,
kva06@rambler.ru

Цель исследования – разработать подходы и критерии, позволяющие получить индивидуальную оценку состояния здоровья.

Материал и методы

Все существующие в настоящее время подходы можно разделить на две группы:

1) статистические, позволяющие с определенным риском выявить закономерности функционирования организма;

2) функциональные, позволяющие выявить зависимости, формируемые на основе законов, определяющих обменные энергоинформационные процессы, происходящие в организме.

Широко применяемые и наиболее развитые в настоящее время статистические подходы успешно отражают общую тенденцию изучаемых процессов. Однако существуют значительные трудности в формировании индивидуальных прогнозов и выявлении закономерностей реакции организма на внутренние и внешние изменения в динамике. В связи с этим можно говорить о необходимости разработки новых подходов, позволяющих на фоне общих тенденций делать доказательные выводы о состоянии здоровья каждого обследуемого. Нами разрабатываются комплексные методы прогнозирования здоровья детей раннего возраста. При этом возникают следующие проблемы:

1) выявления общих закономерностей и адекватного выбора наблюдаемых переменных;

2) выделения аномальных наблюдений и формирования однородных групп;

3) выбора методов, позволяющих получать усредненные оценки и адекватно отражающих функционирование выделенных однородных групп объектов.

Для успешного решения задачи выявления закономерностей временного изменения показателей биосистемы на первом этапе исследований обнаружены и удалены аномальные наблюдения в данных [2]. Для решения этой задачи использовался метод Ирвина, при помощи которого вычисляется величина

$$I_t = \frac{|y_t - y_{t-1}|}{S_y},$$

где y_t – выходной сигнал в момент времени t ; y_{t-1} – выходной сигнал в момент времени $t-1$; S_y – коэффициент, определяемый по формуле

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t.$$

При проверке гипотезы о наличии аномальных наблюдений во временном ряде задан уровень статистической значимости различий, равный 0,05. Выявленные

аномальные наблюдения исключены из исследуемых временных рядов и заменены на расчетные значения. Результаты для показателя «Васкулоэндотелиальный ростовой фактор (VEGF)» приведены на рис. 1.



Рис. 1. Результаты применения метода Ирвина на временном ряде показателя VEGF

При работе с медицинскими данными мы вынуждены исследовать сложные объекты, одной из характерных черт которых является многомерность. В процессе изучения сложного объекта (организм ребенка), как правило, возникают трудности при задании исходной системы показателей для описания. Такое задание основано на знаниях, опыте и интуиции исследователя и производится путем «постулирования» потенциально полезных показателей, измеренных в разных шкалах. Однако, как показывает опыт решения прикладных задач, в исходную систему входит много «дублирующих» и «шумящих» показателей. Поэтому актуальна проблема выбора наиболее информативной подсистемы показателей при решении задачи диагностики. Уменьшение числа показателей исходной системы, как показывают теоретические исследования, часто улучшает качество решения.

На втором этапе исследований все полученные данные ранжированы по информативности и степени влияния на результирующие показатели с помощью метода построения диаграммы Парето [3]:

$$a_i = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i \in O(x_{ин}, x_{ив}); \\ 1, & \text{если } x_i \in \Pi(x_{ин}, x_{ив}); \end{cases}$$

$$b_i = e^{-a_i}, \quad i = 1, \dots, n,$$

где a_i – бинарный признак; b_i – число отклонений i -го показателя; x_i – значение i -го показателя конкретного пациента; $(x_{ин}, x_{ив})$ – нижняя и верхняя граница нормы i -го показателя; n – количество показателей.

Полученные отклонения располагаются в порядке их значимости, затем вычисляется кумулятивный процент (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Предварительная обработка данных с помощью метода Парето			
Показатель	Число отклонений, b_i	Процент числа отклонений по каждому показателю к общей сумме	Накопленный процент
t41	54	9,59%	9,59%
e12	49	8,70%	18,29%
kor1	48	8,53%	26,82%
e1	45	7,99%	34,81%
mda1	44	7,82%	42,63%
kor12	43	7,64%	50,27%
ttg1	43	7,64%	57,90%
t412	42	7,46%	65,36%
kor6	41	7,28%	72,65%
t31	40	7,10%	79,75%
Vegf	32	5,51%	81,90%
ins12	28	4,97%	84,72%
t36	26	4,62%	89,34%
ins1	20	3,55%	92,90%
mda6	19	3,37%	96,27%
mda12	18	3,20%	99,47%
ins6	2	0,36%	99,82%
ttg6	1	0,18%	100,00%
ttg12	0	0,00%	100,00%
t312	0	0,00%	100,00%
t46	0	0,00%	100,00%
e6	0	0,00%	100,00%
...

Рассмотрим с позиции системного подхода технологию представления результатов наблюдений, в рамках которой покажем возможность индивидуализированной оценки принятия решения с использованием функциональных зависимостей, формируемых на основе законов, определяющих обменные энергоинформационные процессы, происходящие в организме ребенка. Организм ребенка представляет собой сложную динамическую систему, взаимодействующую с внешней средой и обладающую внутренними энергетическими ресурсами [4].

Существует проблема формирования энергетических показателей на основе наблюдаемых переменных состояния, поскольку их измерения производятся в неоднородных шкалах и требуются знания их производных. Поэтому при моделировании необходимо измеряемые величины привести к единым системным шкалам, опираясь на принцип баланса, подобия и сохранения размерности. Это достаточно сложная задача, которая в каждом конкретном случае требует дополнительных исследований.

Для получения при прогнозировании здоровья детей доказательных выводов формально нами была введена единая шкала измерений [5]. Запишем их в виде $q\{q_1, \dots, q_n\}, \dot{q}\{q_1, \dots, q_n\}$.

В обобщенных координатах состояние системы определяется уровнем кинетической $W_k\{q, \dot{q}\}$ и по-

тенциальной $W_n\{q, \dot{q}\}$ энергии. При этом частные производные

$$\frac{\partial W_k(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}} = F(q, \dot{q}),$$

$$\frac{\partial W_n(q, \dot{q})}{\partial q} = F(q, \dot{q})$$

соответственно равны обобщенному импульсу $F(q, \dot{q})$ (реактивность гомеостатических свойств системы) и обобщенной силе $F(q, \dot{q})$, определяющей резервные возможности гомеостаза (напряжение организма) и включающей все силы, действующие внутри системы.

Связь между $x(t)$ и $q(t)$ определяется некоторым нелинейным преобразованием $x(t) = x(q(t))$ и $\dot{x}(t) = \frac{\partial x(t)}{\partial q} \frac{dq(t)}{dt}$.

Обменные процессы описывают состояние системы. Для характеристики обменных процессов введем разность между кинетической и потенциальной энергией:

$$\Delta W(q, \dot{q}, \ddot{q}) = W_k(q, \dot{q}, \ddot{q}) - W_n(q, \dot{q}, \ddot{q}).$$

Данное выражение позволяет учитывать внутренние затраты и внешние поступления энергии. Следовательно, справедливо равенство

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial \Delta W(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial \Delta W(q, \dot{q})}{\partial q_i} = F_i(q, \dot{q}),$$

где $F_i(q, \dot{q}) = \frac{\partial W_n(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial x^T(t)}{\partial q_i} \frac{dF(q, \dot{q})}{dt}$.

Здесь $\Phi_i(q, \dot{q}, \ddot{q})$ – силовая функция, которая способствует при естественных потерях восстановлению функциональных возможностей организма за счет внутренних и внешних источников энергии.

Режим $\Phi_i(q, \dot{q}, \ddot{q}) = 0$ характеризует динамическое равновесие, при этом переменные состояния совершают циклические колебания в допустимых пределах вблизи равновесия значения.

Показателем функционирования динамических систем являются темпы относительного изменения переменных состояния в единицу времени:

$$T_i = \frac{\dot{x}_i(t)}{x_i(t)}.$$

Для оценки темпов относительного изменения переменных состояния (медленно изменяющиеся процессы) введем обобщенный вектор состояния системы [6]:

$$V_{об}(t) = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n x_q(t)}.$$

На круговой диаграмме вектор $V_{об}(t)$ располагается внутри отрезка

$$V_{об\ min} < \Delta V_{об}(t) < V_{об\ max}.$$

При малых колебаниях обобщенных координат $x_{q_i}(t)$ относительно равновесных значений $x_{q_{ip}}(t)$ выполняется условие

$$\frac{DV_{об}(t)}{V_{об\ p}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Dx_{q_i}}{x_{q_{ip}}},$$

где $\Delta V_{об}(t) = V_{об}(t) - V_{об\ p}(t)$; $V_{об\ p}(t)$ – обобщенный вектор равновесного состояния системы.

При известных значениях $V_{об\ p}(t)$ для интервалов времени, в пределах которых $V_{об\ p}(t)$ остается неизменным, оценкой принадлежности наблюдений к траектории $V_{об\ p}(t)$ является условие

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Dx_{q_i}}{x_{q_{ip}}} = 0,$$

где $x_{q_i}(t)$ – значения переменных, описывающих состояние системы; $x_{q_{ip}}(t)$ – значения переменных, описывающих равновесное состояние системы.

Это условие качественно характеризует упругие свойства системы, его нарушение указывает на накопление эффектов остаточной деформации, что приводит к деградации системы.

Характер напряженности состояния системы может быть определен на основе относительного изменения показателей из выражения

$$g = \frac{a^2}{1 - a^2},$$

где $a^2 = \frac{Dx^T(t) Dx(t)}{Dx_m^T Dx_m}$; Δx_m – допустимые отклонения от нормы.

В данных выражениях $0 \leq a \leq 1$ и $0 \leq \gamma \leq \infty$. Показатель γ назовем коэффициентом, характеризующим степень напряженности организма в условиях нормального функционирования.

Результаты и обсуждение

С целью получения надежной оценки и прогноза здоровья детей необходимо выбрать признаки, которые не только описывали бы состояние организма в прошлом и настоящем, но и отражали бы особенности его реактивности и адаптационные возможности. В качестве таких признаков исследовались анамнестические данные, позволяющие выявить наследственно-генетический фон, дающие представление о действии неблагоприятных факторов в антенатальном, интра- и перинатальном периодах; данные лабораторных и инструментальных исследований (показатели крови), позволяющие проводить оценку состояния организма ребенка и выявить взаимосвязь систем организма.

Приведем результаты обработки данных для выявления закономерности реакции организма ребенка на условия жизнедеятельности по показателям крови. Для проведения исследования экспертами были сформированы три группы детей: группа здоровых детей («норма»); дети с риском возникновения отклонений в состоянии здоровья («предкризис»); больные дети (диагностировано перинатальное поражение центральной нервной системы (ППЦНС) – «кризис»). Интерес представляет выделение однородных групп детей, закономерности развития которых происходят по адекватным магистральным траекториям. Для этого оценивался темп относительного изменения переменных состояния и строились магистральные траектории. Если состояние здоровья ребенка развивается по «предкризисной» траектории, то необходимо проводить реабилитационные мероприятия с целью не допустить перехода в кризисное состояние.

В ходе работы моделировались усредненные значения для указанных выше групп, которые были занесены в базу знаний интеллектуальной системы. С целью выявления различий между эталонными магистральями использовался критерий близости. Относительно эталонных (занесенных в базу знаний траекторий) формировались индивидуальные модельные траектории.

На рис. 2 приведены модельные траектории для однородных групп детей.

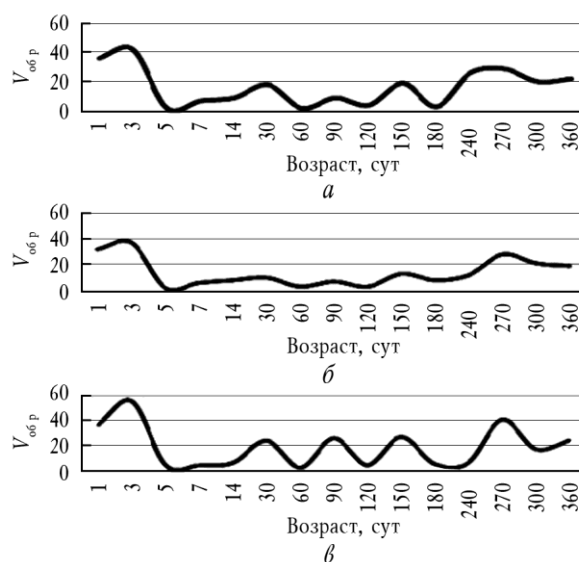


Рис. 2. Модельные траектории закономерностей развития: а – здоровые дети («норма»); б – дети с риском возникновения отклонений в состоянии здоровья («предкризис»); в – больные дети («кризис»)

Принадлежность каждого ребенка к той или иной группе можно оценивать с использованием коэффициентов, характеризующих степень напряженности.

При значениях α и γ , близких к 0, можно делать заключение о том, что у данного ребенка процесс становления показателей проходит без отклонений. В случаях, когда коэффициент α принимает значения из диапазона (0,75; 1), экспериментально получены подтверждения, что процесс становления происходит с нарушением гомеостатических свойств организма. Усредненные значения для коэффициента γ в зависимости от группы пациентов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Средние значения коэффициента γ для однородных групп	
Группа	γ
Здоровые пациенты	0,123
Пациенты с риском возникновения отклонений в состоянии здоровья	1,839
Больные пациенты	6,197

Полученные значения показали, что для группы здоровых пациентов в среднем показатель γ незначительно отклоняется от 0, в то время как для групп больных пациентов он достоверно ($p < 0,01$ по основному статистическому критерию) выше.

Данный подход позволяет по наблюдениям в любой момент времени дать оценку степени отклонения функционирующей системы от нормы и обосновать вывод показателей, характеризующих как саму магистраль, так и свойства близлежащих траекторий. Метод позволяет определить состояние организма на грани нормы и патологии, что особенно актуально для детей.

Все рассмотренные подходы реализованы в информационной медицинской системе. Для разработки данной системы выбран язык Php, поскольку это один из популярных сценарных языков благодаря кросс-платформенности, скорости выполнения, богатой функциональности, что удовлетворяет всем предъявленным к системе требованиям. Для построения базы данных выбрана СУБД MySQL, так как она наиболее подходит для системы подобного уровня. MySQL поддерживает SQL (структурированный язык запросов) и может применяться в качестве SQL-сервера. В качестве основной структуры разрабатываемого приложения выбрана модель Model-view-controller (MVC), позволяющая строить проекты с объектно-ориентированной структурой. Для создания понятного и удобного для пользователя интерфейса использованы такие технологии, как каскадная таблица стилей (css) и сценарный язык программирования (javaScript). Комплексное использование рассмотренных методов и подходов позволяет легко вносить данные в удален-

ную базу и проводить в реальном масштабе времени экспресс-диагностику. Достоверность результатов, полученных с помощью информационной медицинской системы, подтверждена высококвалифицированными экспертами и составляет 86–91%.

Заключение

Применение энергоинформационных технологий для оценки функционирования динамических систем позволяет выявлять закономерности группового поведения объектов исследования и получать индивидуальные оценки состояния. Такого рода задачи ставятся в практической и доказательной медицине, биологии и т.п., когда на фоне общих закономерностей функционирования существует возможность делать индивидуальные оценки состояния.

Представленный в статье комплексный подход к оценке состояния здоровья детей является универсальным и позволяет выявить общие для различных стрессирующих факторов закономерности реакции организма на внешние воздействия. Осуществляемая с помощью информационной медицинской системы экспресс-диагностика дает возможность медицинскому персоналу контролировать ход развития ребенка в раннем возрасте и определить риск возникновения тех или иных заболеваний.

Работа выполнена в рамках проекта № 1957 Гос. задания «Наука» Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. Власов В.В. Введение в доказательную медицину. М.: Медиа Сфера, 2001. 392 с.
2. Гергет О.М., Кочегуров А.И. Решение актуальных медицинских задач математическими методами. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 145 с.
3. Сахаров В.Л., Андреев А.С. Методы математической обработки электроэнцефалограмм. Таганрог: Антон, 2000. 44 с.
4. Баевский Р.Н., Чернышов М.К. Некоторые аспекты системного подхода и анализа временной организации функций в живом организме. М.: Наука, 1986. 274 с.
5. Гергет О.М., Кривоногова Т.С. Математические методы оценки влияния комплекса реабилитационных мероприятий в охране здоровья матерей и их детей // Вопросы современной педиатрии. 2009. № 5. С. 15–23.
6. Кочегуров В.А., Гергет О.М., Константинова Л.И. Модели закономерностей развития детей в раннем периоде и методы оценки их состояния // Проблемы информатики. 2012. Спецвып. С. 6–12.

Поступила в редакцию 27.02.2014 г.

Утверждена к печати 07.05.2014 г.

Гергет Ольга Михайловна (✉) – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой прикладной математики НИ ТПУ (г. Томск).

Кочегуров Владимир Александрович – д-р техн. наук, профессор-консультант кафедры прикладной математики НИ ТПУ (г. Томск).

✉ Гергет Ольга Михайловна, e-mail: olgagerget@mail.ru, kva06@rambler.ru

ENERGY-INFORMATION APPROACH FOR FINDING DYNAMICAL PROCESS PATTERN

Gerget O.M., Kochegurov V.A.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

ABSTRACT

The purpose of the research is developing of approaches and criterias that allow obtaining individual health value. Existing methods of diagnosing may be divided into two categories: statistic methods and functional dependency, based on metabolic energy-information process that takes place in organism.

There is no doubt that wide spread statistic methods are beneficial and in most cases allow recognizing general trend of researched processes. But all statistic approaches share same drawback, they do not allow taking evincive conclusion while individual diagnosing and grading physician's impact in dynamics. Thus we face necessity for developing new ways of diagnosing, allowing individual health evaluating based on common trend. This task may be subdivided into: find common trend and recognize informative variables; identify anomalies and form homogeneous groups; apply methods to obtain average values, adequately revealing group functioning.

The article, based on systematic approach, describes technology presenting the results of observations and child's body is presented as complex dynamical system, that includes all required elements for the sustained functioning under external environment condition. Energy-informative approach is used for synthesizing generalized criteria for evaluating the functioning of dynamical biosystems.

Given developed criteria and coefficients revealing the degree of tension in the body under normal functioning conditions. The average groups coefficient values are taken into consideration. Described energy-information approach enables determine state of normal or pathology functioning that may be crucial for children.

Application of energy-information approach to evaluate the functioning of dynamic systems, allows recognizing common trend of researched objects and obtain individual health values. Such tasks are faced by practical and evidence-based medicine – finding individual health values, based on analysis of common trend of functioning.

KEY WORDS: modeling, system, evidence medicine, degree of strain, energy.

Bulletin of Siberian Medicine, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 32–37

References

1. Vlasov V.V. *Introduction into evidence-based medicine*. Moscow, Media Sfera Publ., 2001. 392 p. (in Russian).
2. Gerget O.M., Kochegurov A.I. *Actual medical problems are solved by mathematical methods*. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 145 p. (in Russian).
3. Saharov V.L., Andreenko A.S. *Mathematical methods of electroencephalograms*. Taganrog, Anton Publ., 2000. 44 p. (in Russian).
4. Baevsky R.N., Chernyshov M.K. *Some aspects of the systems approach and analysis of the temporal organization of functions in a living organism*. Moscow, Science Publ., 1986. 274 p. (in Russian).
5. Gerget O.M., Krivonogova T.S. Mathematical methods of assessing the impact of complex rehabilitation measures in the health of mothers and their children. *Voprosy Sovremennoi Pediatrii – Problems of a Modern Pediatrics*, 2009, no. 5, pp. 15–23 (in Russian).
6. Kochegurov V.A., Gerget O.M., Konstantinova L.I. Model of children development patterns in the early period and methods of its evaluation. *Problemy Informatiki – Problems of Informatics*, 2012, special issue, pp. 6–12 (in Russian).

Gerget Olga M. (✉), National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation.

Kochegurov Vladimir A., National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation.

✉ Gerget Olga M., e-mail: olgagerget@mail.ru, kva06@rambler.ru