

Н.И. Ходаковский, Б.В. Кузьменко

Математическая модель диагностики состояния здоровья человека с использованием биосистем

Для оценки состояния здоровья человека выбрана концепция естественных технологий организма как целостной совокупности физиологических систем.

For the state of the human health assessment the concept of the natural technologies of the body as an integrated set of physiological systems is chosen.

Для оцінки стану здоров'я людини вибрано концепцію природних технологій організму як цілісної сукупності фізіологічних систем.

Введение. Создание математической модели диагностики состояния здоровья человека – цель моделирования в данной статье. Для решения задачи рассматривается возможность использования концепции естественных *технологий* организма в математико-модельной трактовке, где организм представляется как целостная совокупность физиологических систем [1]. Целостность означает, что в модели протекают жизненные процессы, т.е. поддерживается стационарное неравновесное состояние и гомеостаз, а удаление из модели любой жизненно важной компоненты приводит к тому, что система теряет устойчивость. При этом жизненные процессы прекращаются и наступает смерть.

Постановка задачи

Для создания математической модели диагностики состояния здоровья человека необходимо выбрать соответствующую концепцию естественных технологий организма как совокупности физиологических систем. При таком подходе требуется создать лечебно-диагностическую систему.

Изучение работы естественных технологий организма с использованием системы рефлексно-сенсорных модулей

Рассмотрим особенности работы системы контроля уровней энергии в организме человека с использованием возможностей рефлексно-сенсорных модулей (PCM), близких по свой-

ствам к биологически активным точкам (БАТ). Все современные приборы для нахождения РСМ основаны на принципе обнаружения участков кожи, обладающих пониженным сопротивлением [2]. С учетом этого подтверждается наличие цепи пониженного сопротивления для прохождения электрического тока. Таким образом, меридиан на каждом своем участке подчиняется законам электрической цепи и обладает определенным значением линейного сопротивления. При замыкании его между полярными электродами возникает эффект короткого замыкания. Можно считать, что меридиан представляет собой последовательно соединенные клетки, энергетически являющиеся цепью с пониженным сопротивлением к прохождению электрического тока и выражающие трансмембранный потенциал органа, с которым он связан. РСМ, расположенные на меридианах и отличающиеся кольцевым магнитным полем, с одной стороны, поддерживают полевое состояние всего меридиана, а с другой, – есть ловушками отрицательно заряженных ионов, которые, будучи захваченными из окружающей среды, используются организмом для процессов энергорегуляции.

Меридиан, обладая общим для всех РСМ полем и связью с функционально подконтрольным ему органом, есть той системой, которая, реагируя на полевое состояние окружающей среды, вносит соответствующие коррективы [3].

Такой подход может быть использован при представлении механизма воздействия акупунктуры. Подобно тому, как поле отдельной клетки выходит за ее пределы, можно говорить

Ключевые слова: естественные технологии биосистем, диагностические системы, моделирование состояния здоровья, биологическая обратная связь.

о структурных или актуальных полях органов и систем. Поля эти выходят за пределы организма, причем каждое из них может вступать во взаимодействие, и это приводит к тому, что на коже оказывается своеобразная полевая проекция внутренней структуры организма. Именно компонентами такой кожной структуры могут считаться специальные меридианы, по которым движется поступающая извне энергия, обеспечивающая жизнь [2].

Исходя из того, что основа жизни организма – процессы в его клетках, можно полагать, что жизненные явления описываются определенной переменной, например w в виде интенсивности протекания клеточных процессов. В норме $w = w_{\text{норм}}$. Ухудшение условий внутренней среды организма ингибирует жизненные процессы: w – снижается, а $w = 0$ означает, что жизненные процессы прекращаются. Описание внутренней среды Q включает m переменных x_i – количества веществ в моделируемых системах [2]:

$$Q = \sum m [x_1 x_2 \dots x_m]^T. \quad (1)$$

Для переменных, описывающих количество вещества в некотором органе организма, можно использовать компартмент x_1 , входящий в (1). Внешняя среда описывается вектором v размерности l и может быть выражена транспонированной матрицей:

$$v = [v_1 v_2 \dots v_l]^T. \quad (2)$$

В качестве v_1 можно использовать кислород атмосферы, показатели радиационного фона, загрязнения воды и пр. Для поддержания процессов жизнедеятельности необходимо, чтобы к клеткам непрерывно поступали вещества и энергия. Для этого полезные вещества должны появиться в организме, а шлаки, наоборот, выводиться из него. Процессы обмена и транспорта веществ для компартмента x_i имеют вид [2]:

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^m y_{ij}(x, \bar{v}) \sum_{j=1}^m y_{ji}(x, v) + y_{i0}(x, v) - y_{oi}(x, v), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

где $y_{ij}(x, v)$ – потоки веществ в i -й компартмент из j -го; индекс 0 – окружающая среда; $i \neq j$.

Интенсивность транспортных потоков определяется функциональными возможностями ответственных механизмов:

$$y_{pq} = F_{pq}(x, v) \times (x_p - x_q), \quad (4)$$

где $F_{pq}(x, v)$ – характеристика механизма.

Жизнь клеток организма протекает в наилучших условиях, пока имеет место гомеостаз, т.е. если M жизненно важных переменных x_i лежит в допустимых пределах:

$$x_{i\min} < x_i \leq x_{i\max} \quad (i = 1, \dots, M; M \leq m).$$

За этими пределами интенсивность жизненных процессов снижается. Если нарушения несовместимы с жизнью ($x_i \leq x_{iA\min}$ или $x_i \geq x_{iA\max}$), жизнь прекращается. Если имеется процесс, протекающий в области «оптима» со скоростью y^* , то при изменении x_i фактическая скорость y' изменяется по простому закону:

$$y' = y^* \times F(x_i), \quad (5)$$

где функция $F(x_i)$ имеет колоколообразный вид. В области гомеостаза скорость процессов неизменна, при нарушении гомеостаза уменьшается, а при существенных нарушениях процесс прекращается.

Существенное значение имеет понятие нормы – отсутствие пороков развития организма, органических и функциональных нарушений. Норма при моделировании интерпретируется следующим образом (в условиях нормы все величины отмечаются знаком *). В норме ($w = w^*$; $v = v^*$) наблюдается стационарное равновесие и гомеостаз, когда во всех исследуемых компартментах соблюдается баланс веществ [4]. В норме отсутствуют пороки развития и функциональные нарушения, т.е.

$$y^*_{pq} = F^*_{pq}(x^*, v)^* \quad (6)$$

Функциональное состояние каждой из систем определяется как ее способность выполнять свои физиологические функции. Его существенное снижение называется недостаточностью функции и относится к патологическим состояниям организма. В модели состояние каждой системы характеризуется снижением величины потока y_{pq} , поддерживаемого этой системой, в сравнении с y^*_{pq} .

Использование взаимодействия энергетических меридианов человеческого организма и биологической обратной связи при создании лечебно-диагностических систем

Рассмотрим вопросы, связанные с описанием математической модели взаимодействия энергетических меридианов человеческого организма и ее использования для построения биологической обратной связи в составе лечебно-диагностической системы (ЛДС). Для этого используем подход применения терапевтического воздействия с использованием низкоинтенсивного электромагнитного излучения высокочастотного диапазона с привлечением математических методов теории автоматического управления [5].

Несмотря на различие объектов управления в организме, работа устройств управления базируется на ряде общих принципов, которые определяют, на основании какой информации и как в системе формируются управляющие воздействия. При этом в рамках теории управления собственно понятия управления и информации неразрывно связаны.

Процесс управления охватывает три основные группы действия:

- сбор информации, необходимой для принятия решения о выработке управляющего воздействия;
- принятие решения о выработке управляющего воздействия;
- реализация управляющего воздействия.

Необходимо подчеркнуть, что управление невозможно без достаточной информации: о цели управления; о возмущении окружающей среды; о свойствах и состоянии объекта управления.

Рассмотрим механизм управления по отклонению (принцип обратной связи) с использованием РСМ. При этом управляющее воздействие вырабатывается на основе информации об отклонении управляемой величины от заданной без учета причин, вызвавших это отклонение. Возможно также использование комбинированного управления, которое сочетает управление по возмущению и отклонению. Данный принцип сочетает достоинства принципов управления по возмущению и отклоне-

нию, являясь наиболее точным, и имеет широкое применение.

Управляющее воздействие вырабатывается не только в функции отклонения (ΔY), но и в функции производных и интегралов этого отклонения.

$$U = F \left(\Delta Y, \Delta Y', \Delta Y'' \dots \int_0^t \Delta Y * dt \right). \quad (7)$$

Управление в функции отклонения называется регулированием, управляющее устройство в этом случае называется регулятором, а вся система – системой автоматического регулирования. Характерная особенность данного принципа управления – наличие главной обратной связи, необходимой для определения ΔY [6] (рисунок).

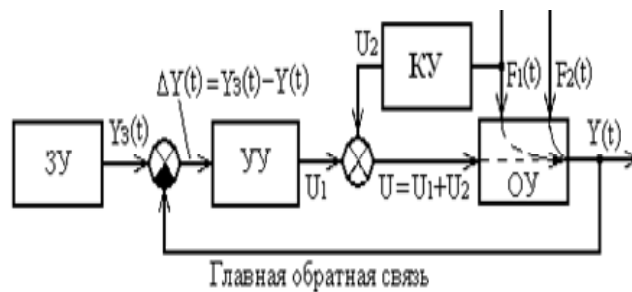


Схема работы главной обратной связи для поддержания энергии в организме с помощью РСМ

На рисунке обозначены: ОУ – объект управления; УУ – управляющее устройство; ЗУ – задающее устройство; Y – управляемая величина; F – внешнее возмущающее воздействие; U – управляющее воздействие; Y_3 – заданное значение управляемой величины; КУ – компенсирующее устройство.

Кроме главной обратной связи, в системах могут быть местные обратные связи, служащие для улучшения динамических характеристик систем.

Для понимания принципов работы главной обратной связи при поддержании энергии в организме с помощью РСМ исследуем действие низкоинтенсивного электромагнитного излучения высокочастотного диапазона (НЭМИ) на организм. При этом примем, что управляющие сигналы воздействуют на биосистему в целом. Учитывая, что усиление слабых внешних электромагнитных полей имеет место непосредственно в

кожном покрове [7], можно анализировать наличие терапевтического эффекта при целенаправленном воздействии НЭМИ на определенные участки кожи. Речь идет об участках кожного покрова, областях крупных суставов, соответствующих проекциям органов и систем организма в зонах Захарьина–Геда, выходящих к РСМ. Для повышения эффективности терапии с использованием НЭМИ в состав ЛДС вводится блок биологической обратной связи (БОС), работающий на принципе измерения электропроводности кожи (ЭПК) в БАТ по методу Накатани. Отклонения от нормы ЭПК, выявляемые методом Накатани, позволяют определить оптимальные РСМ для рефлексотерапевтического воздействия. Параметры НЭМИ выбираются в соответствии с клиническим опытом применения НЭМИ при различной патологии [5].

При разработке математической модели использованы математические методы теории автоматического управления (ТАУ). Математическая модель, положенная в основу работы БОС, может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений, описывающих взаимодействие меридианов контролируемого биообъекта, обеспечивающее энергетический баланс в организме. При этом должны учитываться следующие основные положения о взаимосвязи органов и заболеваний в рамках восточного учения У-син [7] в виде концепции пяти первоэлементов (земля, вода, металл, огонь, дерево), обеспечивающих цикличность процессов в природе.

Данное учение применяется при классификации явлений природы, органов, тканей и эмоций человека для создания и реализации систем диагностики и лечения. Учение У-син, которое основывается на действии пяти первоэлементов в своем прикладном аспекте свидетельствует о решающем значении учета противоположных состояний диагностируемых систем для последующей гармонизации состояния всего организма. При этом учитывается, что взаимоотношение подсистем, представляющих различные органы в организме человека, в высшей степени гармонично, в том числе и на уровне управления энергетическими процессами.

Взаимодействие меридианов описывается на основе указанного учения, а суточные циклы активности каждого из меридианов соответствуют так называемому большому кругу циркуляции энергии (БКЦЭ) [7]. При этом РСМ – узлы взаимодействия меридианов с внешней средой, а также друг с другом. Физические параметры РСМ отражают энергетическое состояние соответствующих меридианов и органов. Воздействуя на них, можно корректировать нарушения энергетического состояния системы меридианов.

Таким образом, модель должна отражать принципы взаимодействия меридианов в соответствии с концепцией У-син и БКЦЭ и учитывать физические особенности РСМ и меридианов (инерционность, цикличность активности, нелинейность и некоторую неопределенность параметров) [8]. В математической модели используются следующие обозначения: $x_i (i = 1, \dots, 12)$ – переменная состояния энергии i -го меридиана; $U_i (i = 1, \dots, 12)$ – внешнее управляющее (регулирующее) воздействие; k_i – нелинейный коэффициент, учитывающий инерционность РСМ, соответствующую ее физической модели, суточную активность меридиана и его собственные колебания; a_1, \dots, a_{12} – коэффициенты, учитывающие взаимосвязи в противоположных состояниях органов в соответствии с концепцией У-син; β_1 – нелинейный коэффициент, учитывающий особенности аппаратуры, в том числе вид БОС, а также тип измерительного воздействия по Накатани и характер внешнего воздействия. При этом нумерация меридианов ведется в соответствии со схемой БКЦЭ [8]:

Меридиан	<i>P</i>	<i>GI</i>	<i>E</i>	<i>RP</i>	<i>C</i>	<i>IG</i>	<i>V</i>	<i>R</i>	<i>MC</i>	<i>TR</i>	<i>VB</i>	<i>F</i>
Номер (<i>i</i>)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Коэффициенты $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, k_i, \beta_1$ имеют интервальный характер, т.е. могут изменяться случайным образом в некоторых определенных пределах [8]:

$$(a_i \in [a_i, \bar{a}_i] k_i \in [k_i, \bar{k}_i] \beta_i \in [\beta_i, \bar{\beta}_i]). \quad (8)$$

Кроме того, коэффициенты a_1, a_7, a_8, k_i – функции, отражающие цикличность активности меридианов:

$$f = \lambda (\sin (\omega t + \varphi)), \quad (9)$$

где λ – весовой интервальный коэффициент.

Период функций $T = 2\pi/\omega = 24$ часа. Применение интервальных коэффициентов позволяет несколько упростить математическую модель, так как интервалы изменения коэффициентов учитывают неопределенности и нелинейности, присущие любым физическим объектам и биологическим объектам в частности.

Рассмотрим математическую модель системы энергетических меридианов от первого до 12-го, основанную на описанных принципах, с учетом введенных обозначений [8]:

$$\frac{dx_1}{dt} = -k_1x_1 + a_1x_4 - a_2x_8 - a_3x_5 + a_4x_{12} + a_d x_9 - a_5x_2 + a_6x_{12} - a_7x_2 + a_8x_7 + \beta_1u_1; \quad (10)$$

$$\frac{dx_{12}}{dt} = -k_{12}x_{12} + a_1x_8 - a_2x_5 - a_3x_1 + a_4x_4 + a_d x_9 - a_5x_{11} + a_6x_{11} - a_7x_1 + a_8x_6 + \beta_{12}u_{12}.$$

Запись математической модели системы (10) в матричной форме с использованием функциональных матриц [8] состояний всех 12-ти меридианов позволяет применять при анализе и синтезе систем автоматического регулирования и управления общепринятые подходы:

$$dX/dt = A(X,t)X + B(X,t)U, \quad (11)$$

где $X \in R^n$ – вектор состояний системы; $U \in R^m$ – вектор внешних управляющих воздействий; $A(X, t)$ и $B(X, t)$ – функциональные интервальные матрицы соответствующих размеров.

Закон управления, обеспечивающий систему (10) устойчивостью и требуемое состояние, может быть представлен в следующем виде:

$$U = C^T(X, t)X, \quad (12)$$

где $C^T(X, t)$ – транспонированная матрица параметров управления, задающая замкнутой системе желаемое динамическое поведение:

$$dX/dt = [A(X,t) + B(X,t)C^T(X,t)]X. \quad (13)$$

В нашем случае с помощью закона управления (12) энергетические характеристики меридианов входят в так называемый *коридор нормы* при минимальных временных и энергетических затратах биообъекта, что позволяет считать воздействие, осуществляемое с помощью предла-

гаемого лечебно-диагностического комплекса (ЛДК) с БОС, достаточно эффективным.

Заключение. Для диагностики состояния здоровья человека выбрана концепция естественных технологий организма как целостной совокупности физиологических систем. Построенная математическая модель позволяет использовать приведенные подходы для создания лечебно-диагностической системы. Подсистему БОС можно представить как следящую систему, в качестве целевой траектории, для которой выбраны идеальные энергетические показатели здорового организма. Такая концепция позволяет оптимизировать количество РСМ и время воздействия в рамках предлагаемых ЛДК с БОС.

1. Уголев А.М. Естественные технологии биологических систем. – Л.: – Наука, 1987. – 317 с.
2. Новосельцев В.Н. Естественные технологии организма в задачах управления // Фундаментальные исследования. – 2008. – № 6. – С. 71–73.
3. Междисциплинарное моделирование системных механизмов управления репродукцией и старением / В. Новосельцев, Р. Аркинг, Ж. Новосельцева и др. // Проблемы управления. – 2004. – № 4. – С. 27–40.
4. Особенности влияния биоизлучений на онтогенез биологических объектов / А.Б. Бурлаков, Г.В. Чернова, А.С. Бурцеви др. // Технологии живых систем. – 2012. – Т. 9, № 1. – С. 3–12.
5. Биологическая обратная связь как необходимый элемент эффективной терапии низкоинтенсивным электромагнитным излучением / Е.П. Ляпина, И.А. Чесноков, Н.А. Бушуев и др. // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. Сер. Биология. 2004. – № 1(7). – С. 117–126.
6. Подчукаев В.А. Устойчивость, качество и коррекция систем автоматического управления. – Саратов: Изд-во Саратов. политехн. ин-та, 1989. – 190 с.
7. Портнов Ф.Г. Электростимуляция рефлексотерапия. – Рига: Зинатне, 1987. – 352 с.
8. Чесноков И.А., Ляпина Е.П., Елисеев Ю.Ю. Диагностические комплексы с использованием аппаратов КВЧ-терапии и биологической обратной связи // Вестн. Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. Сер. Биология. – 2003. – № 1(6). – С. 99–103.

Поступила 25.06.2014

Тел. для справок: +38 044 526-0678, 067 500-8737 (Киев)

E-mail: nhodak@ukr.net

© Н.И. Ходаковский, Б.В. Кузьменко, 2014