

УДК 616.98:579.841.93

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

© 2011 И.А. Чесноков<sup>1</sup>, Е.П. Ляпина<sup>2,3</sup>, Н.А. Бушуев<sup>1</sup>, Я.Е. Анисимов<sup>1</sup>, Ю.Ю. Елисеев<sup>2</sup><sup>1</sup> ФГУП «НПП» Алмаз», г. Саратов<sup>2</sup> Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского<sup>3</sup> Саратовский НИИ сельской гигиены Роспотребнадзора

Поступила в редакцию 05.10.2011

Рассматриваются вопросы, связанные с описанием математической модели взаимодействия энергетических меридианов человеческого организма и ее использования для построения биологической обратной связи в составе лечебно-диагностического комплекса. Описываемый подход позволяет применить для расчета вида и дозировки терапевтического воздействия с использованием низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокочастотного диапазона математические методы теории автоматического управления.

Ключевые слова: *лечебно-диагностический комплекс, биологическая обратная связь, биологически активная точка, электропроводность кожи, математическая модель*

Направленное на организм низкоинтенсивное электромагнитное излучение крайне высокочастотного (НИ ЭМИ КВЧ) диапазона можно интерпретировать как управляющие сигналы, воздействующие на биосистему в целом. Учитывая, что усиление слабых внешних электромагнитных полей имеет место непосредственно в кожном покрове [6], можно предполагать наличие терапевтического эффекта при целенаправленном воздействии НИ ЭМИ КВЧ диапазона на определенные участки кожи. Речь идет об участках кожного покрова, областях крупных суставов, соответствующих «проекции» органов и систем организма (зоны Захарьина-Геда, БАТ). Для повышения эффективности терапии с использованием НИ ЭМИ КВЧ диапазона в состав ЛДК вводится блок биологической обратной связи (БОС), работающий на принципе измерения электропроводности кожи (ЭПК) в биологически активных точках (БАТ) по методу Накатани. Отклонения от нормы ЭПК, выявляемые с помощью метода Накатани, позволяют определить

оптимальные БАТ для рефлексотерапевтического воздействия. Параметры НИ ЭМИ КВЧ выбираются в соответствии с клиническим опытом применения ЭМИ КВЧ при различной патологии [1, 2, 5, 6].

**Цель исследования:** разработка математической модели взаимодействия энергетических меридианов человеческого организма и ее использования для построения БОС в составе ЛДК.

При разработке математической модели использовали 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 [4]. При этом учитываются следующие основные положения:

- Взаимодействие меридианов описывается на основе древнекитайского учения У-СИН, а суточные циклы активности каждого из меридианов соответствуют так называемому Большому Кругу Циркуляции Энергии (БКЦЭ).
- БАТ являются узлами взаимодействия меридианов с внешней средой, а также друг с другом. Физические параметры БАТ 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

*Чесноков Игорь Алексеевич, кандидат биологических наук, главный конструктор. E-mail: ichesnokoff@rambler.ru*

*Ляпина Елена Павловна, доктор медицинских наук, профессор кафедры инфекционных болезней, старший научный сотрудник. E-mail: LMN\_SON@rambler.ru*

*Бушуев Николай Александрович, доктор экономических наук, генеральный директор*

*Анисимов Яков Евгеньевич, заместитель главного конструктора*

*Елисеев Юрий Юрьевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей гигиены и экологии*

физические особенности БАТ и меридианов (инерционность, цикличность активности, нелинейность и некоторую неопределенность параметров). В математической модели используются следующие обозначения:

$x_i (i = \overline{1, \dots, 12})$  - переменная состояния энергии  $i$ -го меридиана. При этом нумерация меридианов ведется в соответствие со схемой БКЦЭ:

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

$U_i (i = \overline{1, \dots, 12})$  - внешнее управляющее (регулирующее) воздействие;  $k_i$  - нелинейный коэффициент, учитывающий инерционность БАТ, соответствующую ее физической модели, суточную активность меридиана и его собственные колебания;  $\alpha_1$  - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «МАТЬ-СЫН» в соответствие с концепцией У-СИН;  $\alpha_2$  - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «СЫН-МАТЬ» в соответствие с концепцией У-СИН;  $\alpha_3$  - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «МУЖ-ЖЕНА» в соответствие с концепцией У-СИН;  $\alpha_4$  - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «противоугнетение» в соответствие с концепцией У-СИН;  $\alpha_5$  - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «наружный - внутренний» в соответствие с концепцией У-СИН;  $\alpha_6$  - коэффициент, учитывающий дополнительные взаимосвязи в соответствие с концепцией У-СИН;  $\alpha_7$  - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «МАТЬ-СЫН» в соответствие с концепцией БКЦЭ;  $\alpha_8$  - коэффициент, учитывающий взаимосвязь типа «полдень - полночь» в соответствие с концепцией БКЦЭ;  $\beta_1$  - коэффициент (в общем

случае нелинейный), учитывающий особенности аппаратуры, в т.ч. вид БОС, а также тип измерительного воздействия по Накатани и характер внешнего воздействия. При этом коэффициенты  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_6, \alpha_7, \alpha_8, k_1, \beta_1$  имеют интервальный характер, т.е. могут изменяться случайным образом в некоторых определенных пределах

$$(\alpha_i \in [\underline{\alpha}_i, \overline{\alpha}_i]; k_i \in [\underline{k}_i, \overline{k}_i]; \beta_i \in [\underline{\beta}_i, \overline{\beta}_i]).$$

Кроме того, коэффициенты  $\alpha_1, \alpha_7, \alpha_8, k_i$  являются функциями, отражающими цикличность активности меридианов. Период функций  $T = 2\pi/\omega = 24$  часам.  $f = \lambda(\sin(\omega t + \varphi))$ , где  $\lambda$  - весовой интервальный коэффициент. Применение интервальных коэффициентов позволяет несколько упростить математическую модель, т.к. интервалы изменения коэффициентов учитывают неопределенности и нелинейности, присущие любым физическим объектам и биологическим объектам в частности.

Рассмотрим математическую модель системы энергетических меридианов, основанную на описанных принципах, с учетом введенных обозначений.

$$(1) \quad \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -k_1 x_1 + \alpha_1 x_4 - \alpha_2 x_8 - \alpha_3 x_5 + \alpha_4 x_{12} - \alpha_6 x_9 - \alpha_5 x_2 + \alpha_6 x_{12} - \alpha_7 x_2 + \alpha_8 x_7 + \beta_1 u_1 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -k_2 x_2 + \alpha_1 x_3 - \alpha_2 x_7 - \alpha_3 x_6 + \alpha_4 x_{11} - \alpha_6 x_{10} - \alpha_5 x_1 + \alpha_6 x_1 - \alpha_7 x_3 + \alpha_8 x_8 + \beta_2 u_2 \\ \frac{dx_3}{dt} &= -k_3 x_3 + \alpha_1 x_6 - \alpha_2 x_2 - \alpha_3 x_{11} + \alpha_4 x_7 - \alpha_6 x_{10} - \alpha_5 x_4 + \alpha_6 x_2 - \alpha_7 x_4 + \alpha_8 x_9 + \beta_3 u_3 \\ \frac{dx_4}{dt} &= -k_4 x_4 + \alpha_1 x_5 - \alpha_2 x_1 - \alpha_3 x_{12} + \alpha_4 x_8 - \alpha_6 x_9 - \alpha_5 x_3 + \alpha_6 x_3 - \alpha_7 x_5 + \alpha_8 x_{10} + \beta_4 u_4 \\ \frac{dx_5}{dt} &= -k_5 x_5 + \alpha_1 x_{12} - \alpha_2 x_4 - \alpha_3 x_8 + \alpha_4 x_1 - \alpha_5 x_6 + \alpha_6 x_4 - \alpha_7 x_6 + \alpha_8 x_{11} + \beta_5 u_5 \\ \frac{dx_6}{dt} &= -k_6 x_6 + \alpha_1 x_{11} - \alpha_2 x_3 - \alpha_3 x_7 + \alpha_4 x_2 - \alpha_5 x_5 + \alpha_6 x_5 - \alpha_7 x_7 + \alpha_8 x_{12} + \beta_6 u_6 \\ \frac{dx_7}{dt} &= -k_7 x_7 + \alpha_1 x_2 - \alpha_2 x_{11} - \alpha_3 x_3 + \alpha_4 x_6 - \alpha_6 x_{10} - \alpha_5 x_8 + \alpha_6 x_6 - \alpha_7 x_8 + \alpha_8 x_1 + \beta_7 u_7 \\ \frac{dx_8}{dt} &= -k_8 x_8 + \alpha_1 x_1 - \alpha_2 x_{12} - \alpha_3 x_4 + \alpha_4 x_5 - \alpha_6 x_9 - \alpha_5 x_{10} + \alpha_6 x_7 - \alpha_7 x_9 + \alpha_8 x_2 + \beta_8 u_8 \\ \frac{dx_9}{dt} &= -k_9 x_9 + \alpha_1 x_{12} - \alpha_2 x_4 - \alpha_3 x_8 + \alpha_4 x_1 - \alpha_5 x_{10} + \alpha_6 x_8 - \alpha_7 x_{10} + \alpha_8 x_3 + \beta_9 u_9 \\ \frac{dx_{10}}{dt} &= -k_{10} x_{10} + \alpha_1 x_{11} - \alpha_2 x_3 - \alpha_3 x_7 + \alpha_4 x_2 - \alpha_5 x_9 + \alpha_6 x_9 - \alpha_7 x_{11} + \alpha_8 x_4 + \beta_{10} u_{10} \\ \frac{dx_{11}}{dt} &= -k_{11} x_{11} + \alpha_1 x_7 - \alpha_2 x_6 - \alpha_3 x_2 + \alpha_4 x_3 - \alpha_6 x_{10} - \alpha_5 x_{12} + \alpha_6 x_{10} - \alpha_7 x_{12} + \alpha_8 x_5 + \beta_{11} u_{11} \\ \frac{dx_{12}}{dt} &= -k_{12} x_{12} + \alpha_1 x_8 - \alpha_2 x_5 - \alpha_3 x_1 + \alpha_4 x_4 - \alpha_6 x_9 - \alpha_5 x_{11} + \alpha_6 x_{11} - \alpha_7 x_1 + \alpha_8 x_6 + \beta_{12} u_{12} \end{aligned}$$

Запись математической модели системы (1) в матричной форме с использованием функциональных матриц [3] позволяет применять при анализе и синтезе систем автоматического регулирования и управления общепринятые подходы:

$$\frac{dX}{dt} = A(X, t)X + B(X, t)U \quad (2)$$

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 системе (1) устойчивость и требуемое состояние может быть представлен в следующем виде:

$$U = C^T(X, t)X \quad (3)$$

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

$$\frac{dX}{dt} = [A(X, t) + B(X, t)C^T(X, t)] * X \quad (4)$$

В нашем случае с помощью закона управления (3) энергетические характеристики меридианов входят в т.н. «коридор нормы» при минимальных временных и энергетических затратах биообъекта, что позволяет считать воздействие, осуществляемое с помощью предлагаемого ЛДК с БОС, щадящим.

**Выводы:** можно представить БОС как следящую систему, в качестве целевой траектории для которой выбраны идеальные энергетические показатели здорового организма (4). Сигнал (3) управляет генераторами КВЧ-диапазона и может менять при необходимости форму и характер КВЧ-воздействия. При этом минимизируется количество БАТ и времени воздействия, что наряду с оптимизацией параметров НИ ЭМИ сигнала лежит в основе высокой эффективности работы предлагаемого ЛДК с БОС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Девятков, Н.Д.* Миллиметровые волны и их роль в процессе жизнедеятельности / *Н.Д. Девятков, М.Б. Голант, О.В. Бецкий.* – М.: Радио и связь, 1991. 168 с.
2. *Ляпина, Е.П.* Биологическая обратная связь как необходимый элемент эффективной терапии низкоинтенсивным электромагнитным излучением / *Е.П. Ляпина, И.А. Чесноков, Н.А. Бушуев* и др. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Сер. Биология. 2004. №1(7). С. 117-126.
3. *Подчукаев, В.А.* Устойчивость, качество и коррекция систем автоматического управления. – Саратов, Изд-во Саратовского политехнического института, 1989. 190 с.
4. *Портнов, Ф.Г.* Электропунктурная рефлексотерапия. – Рига, Изд. «Зинатие», 1987. 352 с.
5. *Чесноков, И.А.* Диагностические комплексы с использованием аппаратов КВЧ-терапии и биологической обратной связи / *И.А. Чесноков, Е.П. Ляпина, Ю.Ю. Елисеев* // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Сер. Биология. 2003. №1(6). С. 99-103.
6. *Бецкий, О.В.* Миллиметровые волны и живые системы / *О.В. Бецкий, В.В. Кислов, Н.Н. Лебедева.* – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004. 272 с.

## BIOLOGICAL FEEDBACK AND ITS MATHEMATICAL MODEL IN THE MEDICAL-DIAGNOSTIC COMPLEX

© 2011 I.A. Chesnokov<sup>1</sup>, E.P. Lyapina<sup>2,3</sup>, N.A. Bushuev<sup>1</sup>, Yu.E. Anisimov<sup>1</sup>, Yu.Yu. Yeliseev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NPP “Almaz”, Saratov

<sup>2</sup> Saratov State Medical University named after V.I. Razumovskiy

<sup>3</sup> Saratov Scientific Research Institute of Rural Hygiene of Rospotrebnadzor

The questions connected with the description of mathematical model of interaction the energetic meridians of human body and its usage for creation the biological feedback as a part of medical-diagnostic complex are considered. The described approach allows to apply the calculation of type and dosage of therapeutic influence with usage of low-intensity electromagnetic radiation of high-frequenciest range mathematical methods of automatic control theory.

Key words: *medical-diagnostic complex, biological feedback, biologically active point, skin electrical conductivity, mathematical model*

*Igor Chesnokov, Candidate of Biology, General Designer. E-mail: ichesnokoff@rambler.ru*

*Elena Lyapina, Doctor of Medicine, Professor at the Infectious Diseases Department, Senior Research Fellow. E-mail: LMN\_SON@rambler.ru*

*Nikolay Bushuev, Doctor of Economy, General Director*

*Yakov Anisimov, Deputy General Designer*

*Yuriy Yeliseev, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Common Hygiene and Ecology Department*