

ДИАГНОСТИКА ДИАБЕТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФАЗОВОГО ПОРТРЕТА СИСТЕМЫ

О. Н. Величко

(представил д.ф.- м.н., проф. Г.Ф. Кривуля)

В статье рассматривается возможность использования фазового портрета системы в диагностике диабета.

Несмотря на значительные достижения в области диабетологии, задача диагностики диабета остается нерешенной задачей.

В настоящее время диагностику этого заболевания проводят по результатам глюкозо-толерантного теста (табл. 1), анализируя тип кривой (рис. 1), характеризующей изменение гликемии, вызванной приемом глюкозы [1].

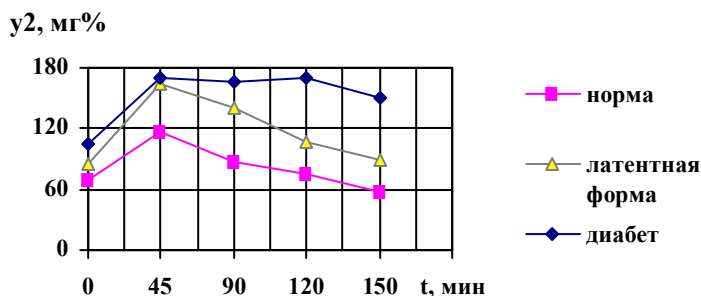


Рис. 1. Гликемические кривые в норме, при латентном и явном диабете

Таблица 1

Содержание глюкозы в капиллярной крови после приема глюкозы (ГТТ)

Тип кривой	Содержание глюкозы, мг%	
	max (через 60—90 мин)	Через 120 мин
Нормальный	<160	<120
Сомнительный	160 – 180	120 – 140
Диабетический	>180	>140

Такой подход требует неперемного участия врача и является неприемлемым при создании биотехнической системы управления гликемией замкнутого типа.

Рассматривая систему регулирования гликемии как динамическую, автором предлагается в качестве диагностического критерия использовать **фазовый портрет системы**.

Учитывая, что изменение гликемии определяется ее значением в текущий момент времени, изменение гликемии можно описать системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} + a_0 y_1 &= \begin{cases} kg, & 0 < t \leq \tau; \\ 0, & t > \tau; \end{cases} \\ \frac{dy_2}{dt} + a_2 y_2 &= a_1 y_1, \end{aligned} \quad (1)$$

где y_1 - концентрация глюкозы в воротной системе печени (при нагрузке системы глюкозой); y_2 - концентрация глюкозы в крови; g - скорость всасывания глюкозы из желудочно-кишечного тракта в воротную вену; τ - продолжительность процесса всасывания; a_0, a_1, a_2, k - константы.

Решение системы (1) имеет вид:

$$\begin{cases} y_1 = \frac{kg - c_0 e^{-a_0 t}}{a_0}, & 0 < t \leq \tau; \\ y_2 = c_2 e^{-a_2 t} - \frac{a_1 c_0 e^{-a_0 t}}{a_0(a_2 - a_0)} + \frac{a_1}{a_0(a_2 - a_0)} kg, & 0 < t \leq \tau; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} y_1 = \frac{c_1 e^{-a_0 t}}{a_0}, & t > \tau; \\ y_2 = c_3 e^{-a_2 t} - \frac{a_1 c_1}{a_2 - a_0} e^{-a_0 t}, & t > \tau, \end{cases} \quad (3)$$

где $c_0 = kg$, $c_1 = \frac{kg}{a_0 e^{-a_0 \tau}}$ определяются начальными условиями

$y_1(0) = 0$, $y_1(\tau) = kg/a_0$, а c_2 и c_3 - измеренными значением концентрации глюкозы в крови в моменты $t = 0$ и $t = \tau$ соответственно.

Уравнения (2), (3) позволяют построить фазовый портрет системы, который представляет собой функцию $y_2 = f_1(y_1)$. На рис. 2 представлены фазовые портреты в норме (а), при скрытом (б) и явном диабете (в).

Нетрудно заметить, что характер фазового портрета системы однозначно свидетельствует о состоянии объекта (качественный критерий).

Если состояние системы в норме легко определить по фазовому портрету (рис. 2а), то отличить одну патологию от другой (латентный диабет от явного диабета) по характеру фазового портрета является не-

сколько затруднительным. Поэтому, в качестве количественного критерия оценки состояния объекта автором предлагается использовать приведенный коэффициент, пропорциональный площади фигуры, которую описывает функция $y_2 = f_1(y_1)$ (рис. 2), и площадью под кривой функции $y_2 = f_2(t)$.

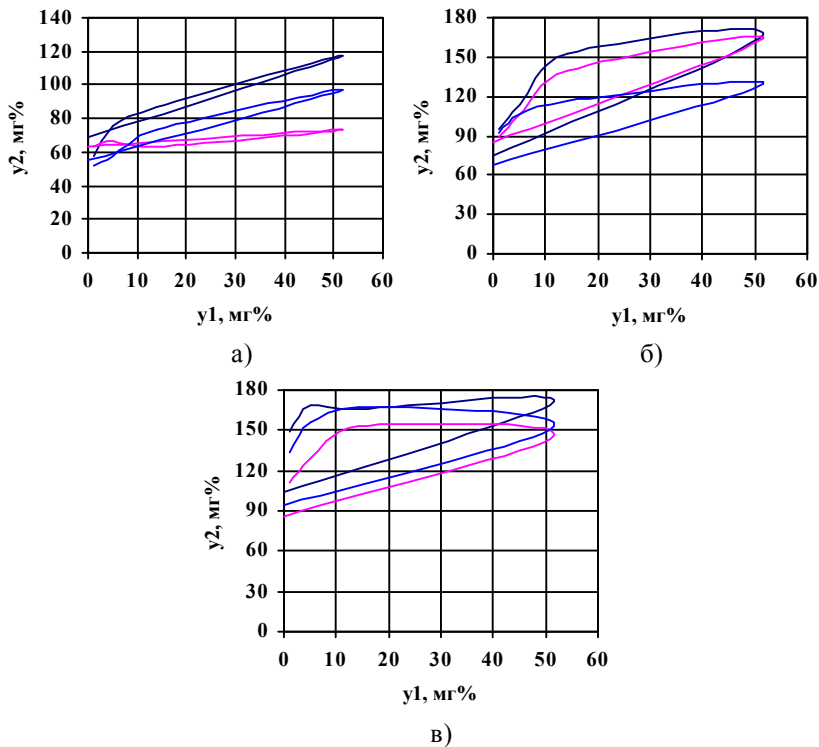


Рис. 2. Фазовые портреты системы:

- а) - в норме;
- б) - при латентной форме диабета;
- в) - при явном диабете

Введем обозначения:

$$S_1 = \int_0^{y_{1last}} y_2(y_1) dy_1; \quad (4)$$

$$S_2 = \int_0^{t_{last}} y_2(t) dt, \quad (5)$$

где S_1 , S_2 - площадь, которую описывает функция $y_2 = f_1(y_1)$ и площадь под кривой функции $y_2 = f_2(t)$ соответственно; y_{1last} - концентрация глюкозы в воротной вене в момент времени t_{last} , соответствующему конечному времени измерений.

Приведенный диагностический коэффициент будет иметь вид

$$DK = \frac{S_1}{S_2}. \quad (6)$$

Автором был проведен численный эксперимент, целью которого было определение адекватности приведенного коэффициента. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения приведенного коэффициента **DK**
для различных типов гликемических кривых

Тип кривой	Приведенный коэффициент DK
Нормальный	39,8115
	21,8825
	8,7741
	13,4152
Латентный диабет	4,8191
	5,9243
	5,9243
	4,2898
Явный диабет	3,0442
	3,3585
	3,0863
	3,5071

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование в качестве диагностического критерия фазового портрета является обоснованным. Данный критерий может быть при создании биотехнической системы управления гликемией замкнутого типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балаболкин М. И. *Диабетология*. – М.: Медицина, 2000. – 671 с.

Поступила 15.01.2002

ВЕЛИЧКО Ольга Николаевна, ассистент кафедры биомедицинских электронных аппаратов и систем Харьковского национального технического университета радиоэлектроники. В 1992 году закончила Харьковский институт радиоэлектроники. Область научных интересов – исследование биомедицинских электронных систем.