

- біологічна. 2002. Вип.31. С.249-255. – <http://www.franko.lviv.ua/faculty/biologh/wis/31/08-Human%20and%20animal%20physiology/10/10.pdf>
6. Диетический Калькулятор, Процент жира в организме, Индекс Массы Тела (ИМТ), <http://www.scientificpsychic.com/fitness/diet-calculator-ru.html>.
7. О соотношении роста и веса, [http://kouzma.ru/carcas\\_propotion.php](http://kouzma.ru/carcas_propotion.php).

УДК 535.41, 535.39.01

ТРИКИЛО А.И., к.т.н., доцент  
ДУБОВИК И.С., магистр

Днепродзержинский государственный технический университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ НЕИНВАЗИВНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ САХАРА В КРОВИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Введение.** Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) утверждает, что в настоящее время на земном шаре проживает более 180 миллионов больных диабетом, а к 2030 году ожидается удвоение этой цифры. В 2005 году от осложнений сахарного диабета умерло более миллиона человек, что вполне соответствует проценту заболеваемости, но ВОЗ прогнозирует неумолимый рост и этой цифры, особенно в странах с низким и средним доходом населения.

Основной причиной смерти больных сахарным диабетом служат осложнения. Около половины больных диабетом умирает от сердечно-сосудистых осложнений, 10-20% – от почечной недостаточности (следствия нефропатии, поражения почек). Поражение сетчатки глаза при диабете – распространенная причина потери зрения. Около 2% больных диабетом слепнут, а 10% сталкиваются с серьезными проблемами со зрением. Периферические нервы поражаются более чем у половины больных, что является ведущим фактором развития синдрома диабетической стопы. Ампутация нижних конечностей у больных сахарным диабетом проводится в 15 раз чаще, чем у людей, не страдающих этим заболеванием [1].

Различают заболевание диабетом первого и второго типа. Основную роль в вероятности развития диабетом первого типа играют наследственные факторы – 5% в случае болезни матери и 6%, если болен отец. Диабет второго типа передается с вероятностью около 50%.

Симптомы диабета 2-го типа менее выражены, и поэтому часто этот тип диабета считается «более легким», чем диабет 1-го типа. Однако именно поэтому серьезность диабета 2-го типа недооценивается, и больные долгое время живут, не подозревая о наличии у них этого коварного заболевания.

**Постановка задачи.** Задача работы состоит в выборе и обосновании неинвазивного метода определения сахара в крови человека.

Известно, что своевременный контроль уровня сахара в крови помогает замедлить развитие так называемых «поздних осложнений» диабета, и в большинстве случаев каждый человек в силах предупредить развитие заболевания [2].

Для уточнения диагноза часто назначается тест на толерантность к глюкозе. Диагностическая ценность теста заключается в том, что с его помощью можно диагностировать не только сахарный диабет, но и нарушение толерантности к глюкозе (латентный диабет), при котором сахар в крови не повышается натощак, нет глюкозы в моче, и отсутствуют клинические проявления. В таком случае уровень сахара измеряется дважды: натощак и после приема 75 грамм глюкозы (1,75 мг/кг для детей). Критерии диагностики заболевания диабетом представлены в табл.1 [1].

Таблиця 1 – Критерии диагностики диабета по содержанию сахара в крови

Время	В норме	НТГ	Сахарный диабет
ГК натощак	< 5.55 ммоль/л	< 6.7 ммоль/л	> 6.7 ммоль/л
ГК через 2 часа	< 7.8 ммоль/л	> 7.8 < 11.1 ммоль/л	> 11.1 ммоль/л

Повышенный уровень сахара в крови – единственный диагностический критерий для сахарного диабета, поэтому ему уделяют первостепенное внимание.

Известно, что своевременный контроль уровня сахара в крови помогает замедлить развитие диабета 2-го типа и так называемых его «поздних осложнений». Знание содержания сахара в крови в большинстве случаев позволяет предупредить развитие заболевания [1].

Для измерения уровня глюкозы в крови человека используются различные способы, наиболее распространенные – инвазивные: глюкозооксидазный, фотометрический, электрохимический.

Неинвазивный способ не требует забора крови и использования тест-полосок. Согласно материалам статьи [2] «Известно, что спектр оптического поглощения глюкозы в крови человека сложный: он имеет ряд полос поглощения в видимой и инфракрасной областях спектра, по интенсивности которых можно измерять концентрацию глюкозы» (рис.1) [3].

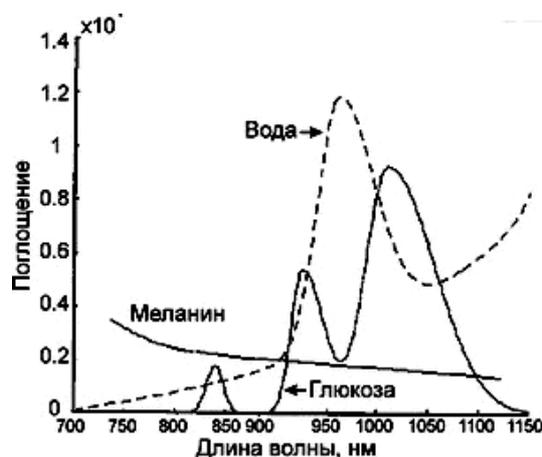


Рисунок 1 – Оптический спектр поглощения глюкозы в крови человека [3]

В оптическом диапазоне спектра поглощения глюкозы характерны три максимума: 840, 940 и 1045 нм. В то же время максимум в спектре поглощения воды составляет 960 нм. Наиболее приемлемый максимум поглощения глюкозы 940 нм. Этому максимуму не мешает поглощение кожи человека, поглощение воды, содержащейся в разных слоях кожи, наличие других компонентов, входящих в ее состав. Поглощение света на определенной длине волны подчиняется экспоненциальному закону Ламберта-Бэра:

$$I = I_0 \cdot \exp(-k \cdot C \cdot d), \quad (1)$$

где  $I$  и  $I_0$  – интенсивность света до и после прохождения через объект исследования (например, через мочку уха или палец руки);

$k$  – коэффициент, отвечающий поглощению объекта;

$C$  – концентрация глюкозы в крови человека;

$d$  – толщина биологического объекта.

**Результаты работы.** Нами предлагается использовать в качестве датчика для неинвазивного метода определения глюкозы в крови устройство излучения и приемник в диапазоне 940 нм, вмонтированных в ушную клипсу.

Ушная клипса содержит в себе источник питания, светодиод, фототранзистор, микропроцессор и устройство передачи. Периодически просвечивая мочку уха, она измеряет силу тока и передает полученные значения в карманный компьютер, мобильный телефон или ноутбук. Программное обеспечение по полученной зависимости связи силы тока и концентрации глюкозы выполняет расчёты, сохраняет их в базе данных и отображает результаты на дисплее устройства. Результаты измерения могут быть представлены в виде графика, который позволяет отслеживать динамику изменения сахара в крови.

Полученные нами экспериментальные и расчетные данные приведены в табл.2.

Таблица 2 – Экспериментальные и расчетные значения содержания сахара

№	I, мА	G, ммоль/л	Gp1	dG1	%G1	Gp2	dG2	%G2	Gp3	dG3	%G3
1	0,01	8,10	7,19	0,91	11,17	7,39	-0,71	8,73	7,67	0,43	5,24
2	0,03	7,05	7,02	0,03	0,45	7,16	0,11	1,56	7,31	-0,26	3,75
3	0,05	6,93	6,85	0,08	1,20	6,94	0,01	0,07	6,98	-0,05	0,68
4	0,09	6,10	6,52	-0,42	6,81	6,50	0,40	6,60	6,37	-0,27	4,44
5	0,16	5,44	5,97	-0,53	9,81	5,81	0,37	6,76	5,51	-0,07	1,31
6	0,21	5,22	5,61	-0,39	7,56	5,36	0,14	2,69	5,04	0,19	3,54
7	0,39	4,18	4,49	-0,31	7,45	4,08	-0,10	2,33	4,04	0,14	3,30
8	0,60	3,55	3,46	0,09	2,49	3,25	-0,30	8,39	3,64	-0,09	2,42
9	0,72	3,33	2,98	0,35	10,42	3,10	-0,23	7,01	3,39	-0,06	1,77
10	0,85	2,88	2,54	0,34	11,84	3,19	0,31	10,77	2,83	0,05	1,76
Относительная погрешность, %					6,92			5,49			2,82

В табл.2 приняты следующие обозначения:

*I* – ток в цепи фототранзистора;

*G* – показания электрохимического глюкометра;

*Gp1* – рассчитанное значение по уравнению Ламберта-Бэра:

$$Gp1 = 7,28463 \cdot \exp(-1,23999 \cdot I); \quad (2)$$

*dG1* – абсолютное отклонение, %*G1* – относительная погрешность;

*Gp2* – рассчитанное значение по уравнению регрессии второго порядка:

$$Gp2 = 7,5111 - 11,9341 \cdot I + 8,0595 \cdot I^2; \quad (3)$$

*dG2* – абсолютное отклонение, %*G2* – относительная погрешность;

*Gp3* – рассчитанное значение по уравнению регрессии третьего порядка:

$$Gp3 = 7,8651 - 19,9271 \cdot I + 31,6477 \cdot I^2 - 18,7238 \cdot I^3; \quad (4)$$

*dG3* абсолютное отклонение, %*G3* – относительная погрешность.

Значения коэффициентов уравнений регрессии, полученные по данным *I*, *G*, приведёнными в табл.2, соответствуют 95,0% уровня значимости (альфа=0.050).

Анализ полученных уравнений показал, что уравнение  $Gr3$  наиболее точно описывает экспериментальные данные – с относительной погрешностью меньше 3%.

Для наглядности анализа полученных уравнений регрессии на рис.2 приведены графики относительных погрешностей.

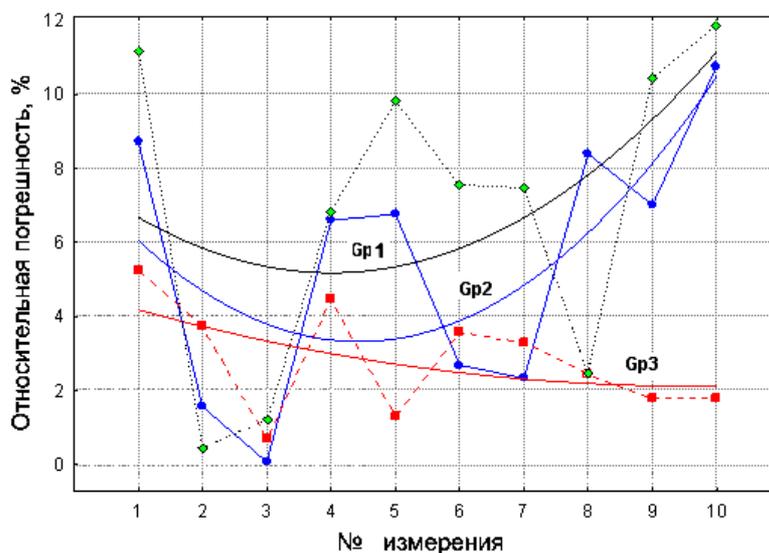


Рисунок 2 – Сводный график относительных погрешностей.

Как видно из табл.2 и рис.2, уравнение регрессии третьего порядка  $Gr3$  даёт почти в 2 раза меньшую ошибку по сравнению с уравнением Ламберта-Бэра и уравнением регрессии второго порядка, именно поэтому  $Gr3$  может быть использовано в косвенном методе измерения глюкозы в крови.

**Выводы.** 1. Приведенные данные показывают возможность оперативного, неинвазивного мониторинга содержания глюкозы в крови без обращения к лабораторным методам.

2. Отображение динамики изменения содержания глюкозы в крови на мобильном телефоне (либо ином личном переносном устройстве) позволит оперативно учитывать факторы риска, способствующие развитию диабета второго типа: избыточный вес и ожирение, малоподвижный образ жизни, неправильное питание, пожилой возраст, перенесенный диабет беременных, повышенное артериальное давление и повышенный уровень холестерина в крови. Контроль этих факторов может предупредить развитие сахарного диабета.

3. Очевидно, использовать предлагаемый метод можно и для измерения других показателей крови человека.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Медицинский портал «Здоровье Украины» 2006-2010. Анализ крови на сахар – ключевой фактор диагностики сахарного диабета, <http://www.health-ua.org/faq/art/77/>.
2. Семейный медицинский центр «Пангея» 2003-2011. Школа диабета – что такое диабет? Диабет. Типы диабета – диабет 1 типа, диабет 2 типа. Сахарный диабет – лечение диабета, признаки и диета, <http://www.pangea-center.ru/?/diabetschool/>.
3. Бобонич П.П. Неинвазивный монитор глюкозы крови / П.П.Бобонич, Э.П.Бобонич // Научно-популярный журнал «Радіоаматор». – 2009. – №10. – С.26. – Режим доступу до журналу: <http://www.Ra-publish.com/ua/>.