

4. Durbin, J. Time Series Analysis by State Space Methods: Second Edition. / J. Durbin, S. J. Koopman. Oxford Scholarship Online: December 2013.

5. Журавский В.И., Костюк Д.А., Латий О.О., Маркина А.А., Поляков В.И. Измерение и анализ электрической активности кожи для задач мониторинга состояния пользователя // Вестник БрГТУ. – 2018. – №5(113): Физика, математика, информатика. – С. 74–76.

УДК 004.383::616-079

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕИНВАЗИВНОГО ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА ГЛЮКОМЕТРИИ

А.И. Дыдик, В.С. Разумейчик

Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, du-alig@yandex.ru

The article highlights the problem of diabetes. Existing methods for determining the level of glucose in blood are considered. Much attention is paid to non-invasive methods for determining blood glucose. The method of near infrared spectroscopy was applied in practice. Based on the results obtained, this method has a place to exist, and it is also necessary to be improved to create a universal non-invasive glucometer.

В мире сохраняется тенденция роста числа людей, страдающих сахарным диабетом. В среднем этот показатель за год составляет 5 %. Официальная статистика показала, что за период с 1980 г. по 2014 г. число людей, болеющих сахарным диабетом, увеличилось до 422 миллионов. За 20 лет в Беларуси количество больных с сахарным диабетом выросло в 3 раза. По состоянию на 1 января 2019 г. на учёте находилось 336 тысяч человек. К 2030 году сахарный диабет станет 7-й причиной смерти во всём мире [1].

Уход за больными и лечение диабета (DCCT) показали, что более частый контроль глюкозы и инсулина в крови может предотвратить многие из долгосрочных осложнений сахарного диабета [2].

Как высокий, так и низкий уровень сахара в крови негативно воздействуют на организм человека. Недостаточный контроль гипергликемии (уровень глюкозы в крови слишком высок) приводит к множеству осложнений, связанных главным образом с поражением мелких и/или крупных сосудов (микро- и макроангиопатии). Долгое нахождение человека в состоянии гипогликемии (снижение уровня глюкозы ниже 3,3 ммоль/л) в конечном итоге может привести к гипогликемической коме. Длительная гипогликемия приводит к отеку вещества головного мозга, появлению мелкоточечных геморрагий в мозговые ткани, что в конечном итоге является причиной структурных нарушений в клетках коры мозга, их гибели [3].

Метод определения уровня глюкозы в органических жидкостях (кровь, ликвор и т.п.) называется глюкометрия, а устройство – глюкометр.

На сегодняшний день существуют такие типы глюкометров:

– фотометрические – уровень глюкозы в крови человека определяется в зависимости от окраски тест-зоны. Технология этих приборов, разработанных до-

статочно давно, уже устарела.

– электромеханические – показатель уровня сахара измеряется величиной тока. Данная технология применяется во всех инвазивных глюкометрах. В ряду своих достоинств: быстрота измерения, точность, доступность, – он обладает и недостатками, важнейшим из которых является необходимость прокола пальца для получения капли крови. При таком способе измерения человек испытывает болезненные ощущения, а также есть возможность заразить себя болезнью, попадающей в организм с кровью. К тому же ежедневные проколы пальцев по 4-7 раз на день способствуют образованию мозолей, в следствие чего снижается чувствительность подушечек пальца и усложняется процесс кровообращения [4].

В последнее десятилетие по всему миру стали проводиться исследования по неинвазивным способам измерения уровня сахара в крови. Первые попытки сделали в области изучения человеческого пота. Для данного способа пациенту необходимо каждый раз вводить специальные препараты, которые усиливали потоотделение и выделяли на коже человека различные концентрации веществ, по которым и происходит определение уровня глюкозы в крови. Также были исследованы и другие биологические жидкости человека: слюна, моча, глазная жидкость. И в настоящее время уже разрабатываются контактные линзы, которые смогут определять уровень глюкозы по слезе человека. Причём, делать это они смогут постоянно, что позволит следить за динамикой изменения. Исследования слюны человека показали, что сахар в ней пропорционален уровню сахара в крови. Отличительной особенностью является то, что в слюне уровень сахара ниже, чем этот же уровень в крови (около 1000-2000 раз), что делает использование слюны в диагностике очень сложным и глюкометры для домашнего использования не обнаружат такую концентрации [5].

Широкий пласт исследований неинвазивных способов пришёлся на оптические методы. Они предполагают использование оптического (в том числе лазерного) излучения для зондирования тканей и органов пациента с целью получения по отраженному (рассеянному) или прошедшему ткань насквозь свету диагностической информации о биохимическом составе и морфологическом строении обследуемого участка мягких тканей тела пациента. В таблице 1 представлены оптические методы измерения глюкозы и их краткое описание [4].

Таблица 1 – Оптические методы измерения глюкозы

Метод	Краткое описание
Ближняя инфракрасная спектроскопия (NIR)	Поглощение или излучение данных в 0,7 до 2,5 мкм.
Спектроскопия комбинационного рассеяния Raman Spectroscopy	Лазерный свет используется, чтобы вызвать излучение переходов вблизи уровня колебания
Фотоакустическая спектроскопия Photoacoustic Spectroscopy	Лазерное колебание жидкости используется для генерации звукового отклика и настройки лазерного спектра
Изменения рассеивания Scatter Changes	Рассеивание света применяется для указания на изменение в материале
Поляризационные изменения Polarization Changes	Наличие глюкозы в жидкости вызывают поляризацию в проходящем свете
Mid-Infrared Spectroscopy Mid-Инфракрасная спектроскопия	Поглощение или излучение данных в области 2,5 мкм - 25 мкм

Метод ближней инфракрасной спектроскопии – один из самых простых для реализации в глюкометре. 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. Реализация остальных методов на сегодняшний день неэкономична в связи с дороговизной применяемых компонентов для проведения тех или иных измерений, а также размер подобных устройств слишком большой по сравнению с бытовыми глюкометрами, что не позволит их брать с собой в дорогу. И для проведения таких измерений необходимы лабораторные условия.

Рассмотрим подробнее метод ближней инфракрасной спектроскопии. На рисунке 1 представлен оптический спектр поглощения глюкозы в крови человека.

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. Для этой области существуют специальные оптические излучатели и оптические приёмники. Однако данный метод, как и большинство неинвазивных методов определения уровня глюкозы, обладает рядом проблем, связанных с необходимостью периодической калибровки с использованием эталонного инвазивного метода и сложностью индивидуальной калибровки прибора [6].

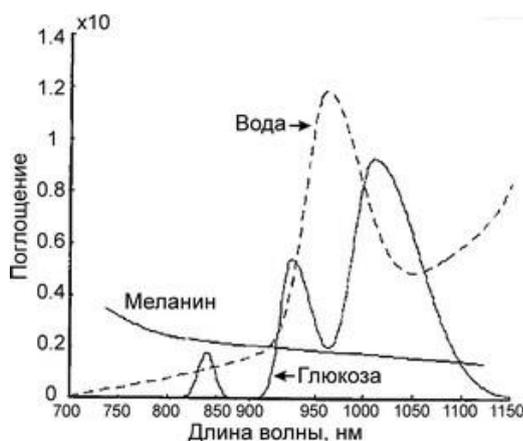


Рисунок 1 – Оптический спектр поглощения глюкозы в крови человека

Существующие недостатки не остановили нас в попытке создать экспериментальный образец неинвазивного глюкометра, использующий вышеописанный метод. В итоге прибор представляет собой аппаратно-программный комплекс. Аппаратная часть устройства состоит из датчика (инфракрасный излучатель – инфракрасный приёмник) в виде прищепки, чтобы лишний свет не попадал на приёмник, и микроконтроллера, обрабатывающего полученные данные.

В качестве оптического излучателя используется светодиод ВІR ВМ 1331 с параметрами: длина волны – 940 нм, ток потребления – 80 мА при напряжении 5 В. В качестве оптического приёмника – фотодиод типа ВL-L3522PD, имеющий параметры: длина волны – 940 нм, ток потребления – $I = 0,55$ мА при напряжении $U = 5$ В. Управление всей логикой представлено на микроконтроллере АТmega328, так как он наиболее популярен, имеет достаточно высокую производительность и низкое энергопотребление. Для управления функционалом применяются кнопки, отображение результатов происходит на ЖК-дисплее LCD1602.

Использование данного метода предполагает определение аналитической точности получаемых результатов и необходимость калибровки значений. Были проведены серии вычислительных экспериментов. В течение двух недель проводился контроль уровня сахара в крови инвазивным домашним глюкометром. Измерения проводились трижды: натощак, тридцать минут после еды и два часа после приёма пищи. Параллельно считывались девять значений, получаемых с датчика неинвазивного глюкометра. В таблице 2 представлены некоторые результаты, полученные в ходе данных двухнедельных измерений.

Таблица 2 – Результаты первой серии измерений

Инвазивный метод, ммоль/л	Неинвазивный метод, В								
	5,5	3,91	3,93	3,87	3,90	3,94	4,05	3,91	3,88
6,3	4,15	4,21	4,14	4,00	4,10	3,95	4,12	4,19	4,17
5,2	3,86	3,90	4,00	3,92	3,79	3,80	3,86	3,84	3,88
5,0	3,89	3,92	3,79	3,80	3,86	3,85	3,88	3,92	3,93
7,0	4,40	4,37	4,45	4,50	4,46	4,40	4,44	4,38	4,42
5,7	4,01	4,00	3,95	3,98	3,97	4,05	4,10	4,02	4,00
4,9	3,84	3,85	3,88	3,82	3,84	3,77	3,75	3,86	3,80
6,6	4,25	4,21	4,30	4,29	4,26	4,31	4,30	4,26	4,12
5,6	3,96	3,97	4,05	3,97	4,05	3,85	3,88	4,00	3,97
5,8	4,01	3,99	3,97	4,04	4,12	4,03	4,22	3,99	4,02
7,4	4,64	4,70	4,71	4,66	4,57	4,61	4,76	4,51	4,56
6,0	4,03	4,05	4,10	4,01	3,98	4,08	4,06	4,02	4,11

Обнаружено, что среди значений, полученных неинвазивным глюкометром, были те, которые значительно отличались от остальных. Для выяснения причины этих отклонений было проведено несколько дополнительных тестов.

В первую очередь мы определили влияние движения кисти человека на получаемые результаты. Если в состоянии покоя (кисть руки неподвижна) результат при уровне глюкозы в крови 5,5 ммоль/л составлял 3,93 В, то при движении – 4,2 В. Отклонения результатов измерений составили до 5 %.

Далее мы проверили влияние температуры рук исследуемого. Тёплые руки человека при уровне глюкозы 5,5 ммоль/л давали результат 3,91–3,94 В, холодные руки – 3,85–3,9 В. Отклонения составили до 5 %. Влажные руки человека характеризуются большим разбросом получаемых результатов: ± 1 В при нормальном значении в 3,93 В (сухие руки).

Следующим этапом стало проведение измерений неинвазивным глюкометром для другого испытуемого, полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты второй серии измерений

Инвазивный метод, ммоль/л	Неинвазивный метод, В								
	5,3	3,51	3,55	3,48	3,50	3,55	3,48	3,52	3,50
6,9	4,01	3,99	3,95	3,98	4,07	4,05	4,08	4,05	4,01
4,9	3,32	3,35	4,27	3,38	3,36	3,28	3,30	3,34	3,31
5,5	3,55	3,56	3,50	3,62	3,55	3,49	3,54	3,51	3,49
7,1	4,04	4,01	3,99	3,99	4,07	4,12	4,08	4,11	4,12
6,0	3,71	3,68	3,67	3,73	3,66	3,75	3,69	3,70	3,71

Для сравнения полученных результатов выполнена их статистическая обработка, результаты сведены в таблицы 4 и 5.

Таблица 4 – Обработанные данные первой серии измерений

Инвазивный метод, ммоль/л	Неинвазивный метод, В	
	Среднее арифметическое	Среднеквадратичное отклонение
5,5	3,92	0,055
6,3	4,11	0,087
5,2	3,87	0,064
5,0	3,87	0,051
7,0	4,42	0,042
5,7	4,01	0,045
4,9	3,82	0,043
6,6	4,26	0,060
5,6	3,97	0,067
5,8	4,04	0,079
7,4	4,64	0,081
6,0	4,05	0,043

Таблица 5 – Обработанные данные второй серии измерений

Инвазивный метод, ммоль/л	Неинвазивный метод, В	
	Среднее арифметическое	Среднеквадратичное отклонение
5,3	3,51	0,027
6,9	4,02	0,044
4,9	3,43	0,315
5,5	3,53	0,042
7,1	4,06	0,053
6,0	3,7	0,029

Для визуализации различий результатов измерений у двух испытуемых, полученные результаты представим в графическом виде. На рисунке 2 представлены графики зависимости значений неинвазивного метода от значений инвазивного.

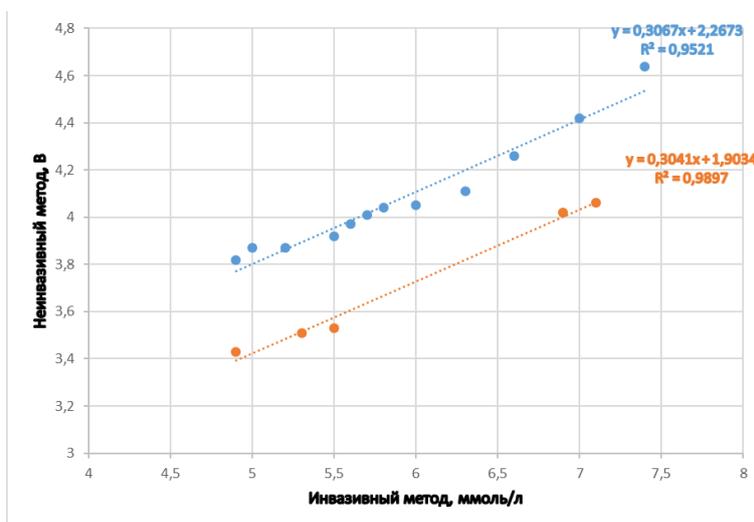


Рисунок 2 – Графики зависимостей показателей неинвазивного и инвазивного измерений

Несмотря на существенные различия значений в двух сериях проведенных экспериментов, корреляционный коэффициент при линейной аппроксимации зависимостей в обоих случаях стремится к 1. Таким образом, можно сделать вывод о линейном характере зависимости результатов, полученных классическим инвазивным методом и методом ближней инфракрасной спектроскопии.

Целью дальнейших исследований является выявление факторов, влияющих на показания неинвазивного глюкометра. В частности, при визуальном сравнении двух испытуемых наблюдались следующие различия: телосложение, цвет кожи, ее толщина (грубость). Так или иначе, применение неинвазивного глюкометра однозначно требует индивидуальной его калибровки.

Список использованных источников

1. МГБСМП [Электронный ресурс] / Сахарный диабет. Актуальность проблемы – Режим доступа: <https://www.mgbsmp.by/informatsiya/informatsiya-dlya-patsientov/543-sakharnyj-diabet-aktualnost-problemy> – Дата доступа: 25.10.2022.

2. ГУЗ «Городская поликлиника №3 г. Гродно» / Гипогликемия – истинная и ложная – Режим доступа: <http://www.3grp.by/hls/page-doctors/page-endocrinologist/727/> – Дата доступа: 25.10.2022.

3. Медицинский онлайн-справочник MSD Manuals [Электронный ресурс] / Diabetes Mellitus (DM) – Режим доступа: <https://www.msmanuals.com/en-sg/professional/endocrine-and-metabolic-disorders/diabetes-mellitus-and-disorders-of-carbohydrate-metabolism/diab-etes-mellitus-dm> – Дата доступа: 25.10.2022.

4. Томский политехнический университет, VI научно-практическая конференция [Электронный доступ] / Неинвазивные методы измерения сахара в крови – Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/53086006.pdf> – Дата доступа: 25.10.2022.

5. Мой диабет [Электронный доступ] / Определение уровня сахара в крови через слюну – Режим доступа: <https://moidiabet.ru/news/opredelenie-urovnja-sahara-v-krovi-cherez-sljunu> – Дата доступа: 25.10.2022.

6. БГУИР, 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов [Электронный доступ] / Метод неинвазивного определения уровня глюкозы в крови – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/32913/1/Krivosos_Metod.pdf – Дата доступа: 25.10.2022.

UDC 004.383::611.85

BALANCE THERAPY GAMIFICATION BASED ON STABILOTRAINER WITH MOBILE ACCESS

A.V. Lyutch

Brest State Technical University, Brest, Belarus

This article is devoted to the gamification of balance therapy based on stabilotrainer with mobile access, with the preservation of training results on a cloud server and the differentiation of access to a remote database. Variants of game training are considered.

The stabilotrainer is an electronic device that allows you to develop movement coordination, body sensitivity and concentration. Exercises on a Stabilotrainer help to improve the sensitivity of the feet and leg muscles, coordination of movements, reaction speed and physical dexterity.