

Ж.Н. Алимбаева^{1,2}, Ж.С. Орынбай¹, А.Қ. Еркебай¹,

Д.Т. Ахмедова¹, Н.А. Баянбай¹

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: zhansilaa@gmail.com

ГЛИКЕМИЯ ДЕҢГЕЙІН АНЫҚТАУ ҮШІН ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛДАРДЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ӨНДЕУ

Аңдатпа. Қандағы глюкоза деңгейінің тұрақсыз болуы адамда қант диабеті, қатерлі ісік, бүйрек және жүрек ауруларын тудырады. Адам өмірі жүректің дұрыс жұмыс жасауымен, жүрек соғысының тұрақтылығымен тікелей байланысты. Ал жүрек қызметін тұрақты бақылау қатерлі аурулармен ауыратын адамдар үшін маңызды. Қандағы глюкоза деңгейі жүрек қызметінің бұзылуына әкелуіне байланысты глюкоза деңгейін тұрақты бақылап отыру қажет. Глюкоза деңгейін инвазивті түрде, саусаққа ине сұғу арқылы анықтау үздіксіз анықтауға мүмкіндік бермеуі, науқас үшін ауыр және инфекцияға ұшырату мүмкіндігінің болуына байланысты инвазивті емес анықтаудың тиімді әдісін жетілдіру маңызды. Бұл мақалада қандағы глюкозаның деңгейіне байланысты жүрек қызметінің өзгерістерін анықтау үшін инвазивті емес әдіс ЭКГ арқылы анықтау қолданылды. ЭКГ арқылы қандағы глюкоза деңгейін анықтауға байланысты әдістер мен зерттеулерге және нәтижелерге талдау жасалынды. Зерттеу барысында ЭКГ арқылы анықтау үшін 5 сау қатысушыға екі күн бойы эксперимент жүргізілді. Бірінші күні қатысушылар 75 г сусыз глюкоза ерітіндісін тұтынса, екінші күні қатысушылар сусыз глюкоза ерітіндісін тұтынған жоқ. Екі күн бойы жүргізілген зерттеулер нәтижесі бойынша сау адамдар сусыз глюкоза ерітіндісін тұтынған жағдайда қандағы глюкоза деңгейінің өзгеретіндігі және ЭКГ нәтижелеріне әсер ететіндігі анықталды. ЭКГ нәтижелері мен глюкометрмен алынған нәтижелердің ұқсастығы мен айырмашылығы салыстырмалы түрде зерттелді. Зерттеу нәтижесі бойынша қандағы глюкозаның деңгейіне байланысты өзгеріске ұшырайтын ЭКГ аралықтары анықталды.

Түйінді сөздер. Глюкоза деңгейі, инвазивті емес диагностика, электрокардиография, глюкометр, кардиоанализатор.

Кіріспе.

Қандағы глюкоза деңгейі тұрақсыздығы дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының мәліметтері бойынша психикалық мәртебенің өзгеруіне, физикалық денсаулықтың нашарлауына, шамадан тыс стресске, артық салмақ қосуға және артық салмақ жоғалтуға әкеледі. Статистика бойынша қандағы глюкоза деңгейінің тұрақсыздығынан 422 миллионға жуық адам зардап шегеді. Қандағы глюкоза деңгейінің тұрақсыздығынан жүрек аурулары, 1 және 2 типті қант диабеті, қатерлі ісік және бүйрек аурулары пайда болады. Қандағы глюкоза деңгейі гликемия терминімен, глюкоза деңгейінің 3,3-5,5 ммоль/л нормасының өзгеруіне байланысты гипергликемиялық, эугликемиялық және гипогликемиялық жағдайлары анықталады.

Қандағы глюкоза деңгейін анықтау үшін инвазивті әдістер кеңінен қолданылуда. Бұл әдіс бақыланушы үшін ауыр және санитарлық ережелердің сақталмауынан жұқпалы ауруларға ұшыратуы мүмкін. Мақалада қандағы глюкоза деңгейін анықтау үшін инвазивті емес әдіс ЭКГ арқылы анықтау ұсынылды.

Қандағы глюкоза деңгейінің төмендеуі гипогликемиялық жағдайда 1 типті қант диабетімен ауыратын науқастарда түнгі өлім көрсеткіштерінің көбейуіне байланысты ЭКГ арқылы бақылау тиімді әдіс ретінде қолданылған. ЭКГ нәтижесінде 1 типті қант диабетімен ауыратын адамдардың гипогликемиялық жағдайында RT интервалы ұзарып, T толқыны [1] тегістелуі анықталған. 2 типті қант диабетімен ауыратын науқастарда гликемияның көрсеткіштерін ЭКГ нәтижелері бойынша QTc интервалының өзгерістеріне байланысты бақылаған. Зерттеу нәтижесінде 2 типті қант диабетімен ауыратын науқастардың гипогликемиялық жағдайында QTc интервалының ұзаруы анықталған. QTc интервалын анықтаудың Базет формуласы [2] қолданылған.

ЭКГ бойынша гликемияны анықтау үшін сезімталдық, ерекшелік және геометриялық орташа мәндер қарастырылған. Гипергликемия жағдайында QTc, RTc, TrTc және HRV көрсеткіштерінің төмендеуі [3] анықталған. ЭКГ нәтижелерін статистикалық және спектрлік талдау арқылы ST, QT, PRQ, P-H, HRV көрсеткіштеріне қандағы глюкозаның деңгейі әсер ететіндігі [4] анықталған.

Қандағы глюкоза деңгейін реттеу үшін инсулинді шамадан тыс енгізу глюкозаның төмендеуіне әкелуі мүмкін (гипогликемия), ал инсулинді жеткіліксіз қабылдау қандағы глюкозаның жоғарылауына әкелуі [5] мүмкін (гипергликемия). Қандағы глюкоза деңгейін анықтау үшін саусақты тесуге инені қолдану тітіркенуді, ластануды және аурудың таралуын тудыруы мүмкін. Зерттеуде инвазивті емес әдіс глюкозаны бақылауға арналған тері арқылы анықтау тәсілі қарастырылған. Жүйе аспирациялық құрылғыдан және глюкозаның сенсорлық жүйесінен тұрады. Вакуум науқастың терісіне 400 мм сын.бағ абсолютті қысыммен қолданылады. Эффузиялық сұйықтықты жинауға арналған транзисторға негізделген миниатюралық ионға сезімтал глюкоза сенсоры терінің аз деңгейіндегі глюкоза деңгейін өлшеу үшін [6] қолданылған. Ұсынылған басқа әдістерге мыналар жатады: инфрақызыл спектроскопия, оптикалық зондтау, микротолқынды спектр, сыйымдылықты өлшеу әдісі және терінің электр өткізгіштігі. Осы әдістерді қолдану арқылы айтарлықтай нәтижелерге қол жеткізілген. Алайда, электрокардиограмма (ЭКГ) сияқты физиологиялық сигналды қолдану қандағы глюкоза деңгейін инвазивті емес түрде анықтау мүмкіндігіне қол жеткізудің балама әдісін ұсына алады.

Сонымен қатар, гипогликемия QT аралығының ұзаруы және жүрек соғу жиілігінің жоғарылауы сияқты ЭКГ сегменттеріне әсер етуі мүмкін екендігі туралы да [7] дәлелдер бар. ЭКГ-ның бес белгісін қолдана отырып, гипогликемияның көп деңгейлі перцептрондық классификациясы ұсынылған, атап айтқанда: RR, RT, T толқынының амплитудасы, T толқынының асимметриясы. Сонымен қатар [7] гипогликемияны бақылау үшін екі ЭКГ белгісі бар ережеге негізделген әдіс біріктірілген. Олар, T толқынының амплитудасы мен RT интервалы. Гипогликемияны анықтау үшін QT және жүрек соғу жиілігімен бірге түзетілген T аралығының комбинациясы қарастырылған. Талдаулар нәтижесінде гипергликемия жағдайында QT, QT дисперсиясы және PR аралығы айтарлықтай өзгертінді дәлелденген.

Зерттеу жұмыстары бойынша әдістер мен нәтижелерге талдау жүргізу арқылы қандағы глюкоза деңгейінің деңгейіне байланысты ЭКГ-ның нақты өзгеріске ұшырайтын толқындары туралы ақпараттың жеткіліксіздігі мәселесі бар екендігі анықталды.

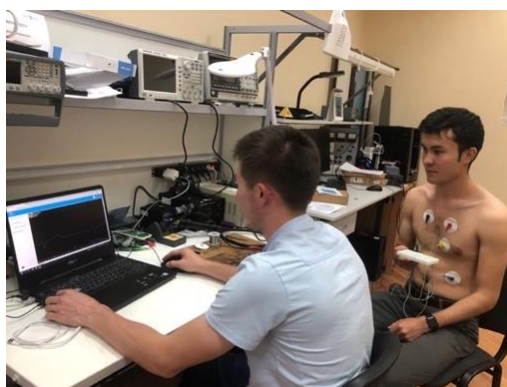
Материалдар мен тәсілдер.

Зерттеу жүргізу үшін, ЭКГ сигналдары бұрын Satbayev University-де профессор К.А. Ожикенов-тың зерттеу тобы әзірлеген 1 суреттегі портативті кардиоанализатор арқылы [8] тіркелді.



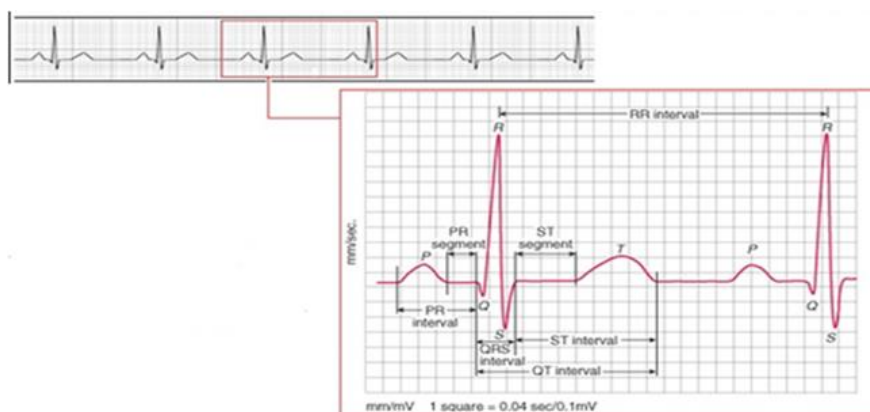
1 сурет – Экспериментте пайдаланылған портативті кардиоанализатор

Экспериментті жүргізу үшін, 2 суреттегі Роботты техника және техниканың автоматика құралдары кафедрасының (Satbayev University) зерттеу орталығында 5 сау қатысушының электрокардиосигналдары бір арналы электродтары бар электрокардиограмма арқылы алынды.



2 сурет – ЭКГ қосылған бір арналы электродтары бар экспериментке қатысушы

Сонымен қатар, экспериментке қатысушылардың ЭКГ сигналдарының қасиеттері мен күйін анықтау үшін 3 суреттегі қалыпты жағдайдағы ЭКГ көрсеткіші мен ЭКГ сигналдарының нүктелері арасында өлшеулер жүргізілді.



3 сурет – Жүрек циклі үшін толық ЭКГ қисығының құрамдас сегменттерінің сипаттамасы

Зерттеу барысында қандағы глюкоза деңгейін глюкометрмен анықтау кезінде экспериментке қатысушының күйін анықтау үшін 1, 2, және 3 кестелердегі дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы ұсынған қант деңгейінің қалыпты көрсеткіштері қолданылды.

1 кесте – Жас ерекшелігіне байланысты қандағы қант деңгейінің қалыпты көрсеткіштері

№	Жас ерекшелігі	Қандағы қант деңгейінің қалыпты көрсеткіші ммоль/л
1	18-20	3,2-5,3
2	20-30	3,3-5,5
3	30-40	3,3-5,6
4	40-50	3,3-5,7
5	50-60	3,5-6,5
6	60-70	3,8-6,8
7	70-80	3,9-6,9

2 кесте – Әйелдердің қандағы қант деңгейінің қалыпты жағдайы

Әйелдің жасы, жас	Көрсеткіштер, ммоль/л
50 - 60	3,8 - 5,9
60 - 90	4,2 - 6,4
90-нан үлкен	4,6 - 6,9

3 кесте – Ер адамдардың қандағы қант деңгейінің қалыпты жағдайы

Ер адамның жасы, жас	Көрсеткіштер, ммоль/л
15 - 50	4,1 - 5,9
50-ден кейін	4,4 - 6,2
60-тан кейін	4,6 - 6,4

Нәтижелер мен талқылаулар.

Зерттеу барысында глюкозаның электрокардиосигналға әсерін анықтау үшін эксперименттер жүргізілді. Эксперименттер 5 сау қатысушыға жүргізілді (Роботты техника және техниканың автоматика құралдары кафедрасының қызметкерлері, Satbayev University). Эксперименттің талабы бойынша қатысушылар 120 минут бойы ыңғайлы күйде отырды.

Экспериментке бір күн қалғанда қатысушылардан кешке кешкі ас, ал эксперимент күні таңғы ас ішпеуі сұралды. Эксперимент таңғы сағат 8:00 шамасында басталды және эксперименттің 30 минутынан кейін қатысушылар дайындалған 75 г сусыз глюкоза ерітіндісін қабылдады. Экспериментке 3 ер адам мен 2 әйел қатысты, жасы 24-тен 35 жасқа дейін, дене салмағы 58 кг-нан 76 кг-ға дейін. Олардың бойы 1,60 м-ден 1,80 м-ге дейін, олар эксперимент барысында тұрақты қалыпты дене температурасы мен тұрақты импульске ие болды.

Экспериментте ең алдымен, бір арналы ЭКГ электродтары қатысушының денесіне қосылды. Портативті жүрек анализаторы ЭКГ аналогтық сигналын компьютер үшін сандық мәнге түрлендірді. ЭКГ деректеріндегі өзгерістерді салыстыру үшін әрбір қатысушы экспериментке 2 күн қатарынан екі рет қатысты. Бірінші күні қатысушылар глюкоза ерітіндісін тұтынды, екінші күні эксперимент қайталанды, бірақ бірінші күні жасалған эксперимент нәтижелерімен салыстыру үшін қатысушыларға глюкоза ерітіндісі

берілмеді. Сондықтан, бірінші күн глюкоза эксперименті, ал екінші күн глюкозасыз эксперимент деп аталды. Эксперимент барысында екі күн ішінде 25 минуттық интервалмен қандағы глюкозаның деңгейі саусақты тесу арқылы глюкометрмен өлшеніп, нәтижелері 4 кестеде берілді.

4 кесте – Қандағы қант деңгейін глюкометрмен өлшегендегі нәтижелер

Экспериментке қатысушылар	Жынысы	Жасы	Глюкозамен 1 күн нәтижелері, ммоль/л	Глюкозасыз 2 күн нәтижелері, ммоль/л
I	Әйел	24	5,1	4,4
II	Әйел	32	5,3	4,8
III	Ер	28	5	4,6
IV	Ер	34	5,4	4,5
V	Ер	30	5,2	4,6

Толық дәйекті ЭКГ қисығында жүрек циклінің сипаттамалары болып табылатын тоғыз сегментті ЭКГ сигналы мен олардың сегменттерінің сипаттамасы бойынша ажыратуға болады. Анықтама мен сипаттама үшін маңызды сәттер "P", "Q", "R", "S", "T" және "U" әріптерімен белгіленеді. Сигналдың қасиеттері мен күйін анықтау үшін осы нүктелер арасында өлшеулер жүргізілді.

5 кесте – Қандағы глюкозаның деңгейіне байланысты ЭКГ сигналдарының өзгеруі (өзгеріске ұшырау жағдайында (+), өзгеріске ұшырамау жағдайында (-))

ЭКГ аралықтары	Глюкозамен 1 күн көрсеткіштері					Глюкозасыз 2 күн көрсеткіштері				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
HRV	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
HR	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
RH	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
QRS	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
PQ	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
QTc	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
QT	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
ST	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-

Глюкозаны тұтынуға қатысты өзгерістерді анықтау үшін біз талдаудағы барлық сегменттерді қарастырдық. 5 кестеде глюкозамен және глюкозасыз эксперимент кезінде ЭКГ-ның өзгеріске ұшыраған сигналдары анықталды.

Зерттеу нәтижесі бойынша қандағы глюкоза деңгейі жоғарылаған кезде ЭКГ-нің RR-I (HRV), HR, RH, RH, QRS, PQ, QT, QTc және ST аралықтарының (сегменттер мен интервалдар) өзгеріске ұшырауы анықталды.

Қорытынды.

Зерттеуде қандағы қант деңгейіне байланысты пайда болатын ауруларға шолу жасалынды. Қазіргі уақытта қандағы қант деңгейін өлшеу үшін қолданылатын әдістердің тиімді және тиімсіз тұстары қарастырылды. Сонымен қатар, қандағы қант деңгейіне байланысты ЭКГ сигналдарының өзгеріске ұшырауы туралы зерттелген әдістер мен нәтижелер талқыланды. Зерттеу барысында сау адамдарға бірінші күні сусыз глюкоза ерітіндісі тұтындырылды және екінші күні глюкозасыз эксперимент жүргізілді. Екі күн бойы экспериментке қатысушылардың қанындағы глюкоза деңгейі глюкометр арқылы өлшеніп, глюкоза деңгейіне байланысты өзгеріске ұшыраған ЭКГ аралықтары анықталды. Satbayev University-де бұрын әзірленген портативті кардиоанализатор арқылы глюкоза деңгейіне байланысты өзгертін сегменттерді зерттеу үшін электрокардиосигналға спектрлік талдау жүргізілді. Нәтижесінде PQ және ST сегменттеріне глюкоза әсер ететіні анықталды.

Нәтижелер «AP14969403- Машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану арқылы миокард инфарктісін болжау әдістерін зерттеу» тақырыбы бойынша ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің қаржыландыруымен алынған.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] C Alexakis, M Rodrigues, R Saatchi, HO Nyongesa, C Davies, RH Ireland, ND Harris, SR Heller. A Knowledge-Based Electrocardiogram-Monitoring System for Detection of the Onset of Nocturnal Hypoglycaemia in Type 1 Diabetic Patients // October 2006, *Computers in Cardiology* 33:5 – 8

[2] Pertseva N, Moshenets K. Definition of the dependence of QTc interval prolongation on glycemic control in patients with type 2 diabetes mellitus. *Med. perspekt.* [Internet]. 2022Mar.30 [cited 2022Oct.30];27(1):58-64.

[3] Nguyen, L.; Su, S.W.; Nguyen, H.T. Neural network approach for non-invasive detection of hyperglycemia using electrocardiographic signals. In Proceedings of the 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Chicago, IL, USA, 26–30 August 2014; pp. 4475–4478.

[4] Tobore, I., Li, J., Kandwal, A. *et al.* Statistical and spectral analysis of ECG signal towards achieving non-invasive blood glucose monitoring. *BMC Med Inform Decis Mak* 19 (Suppl 6), 266 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12911-019-0959-9>

[5] Bequette BW, Cameron F, Buckingham BA, Maahs DM, Lum J. Overnight hypoglycemia and hyperglycemia mitigation for individuals with type 1 diabetes: how risks can be reduced. *IEEE Control Syst Mag.* 2018

[6] Kayashima S, Arai T and etc. New noninvasive transcutaneous approach to blood glucose monitoring: successful glucose monitoring on human 75 g OGTT with novel sampling chamber. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1991

[7] Alexakis C, Rodrigues M, Saatchi R, Nyongesa HO, Davies C, Ireland RH, Harris ND, Heller SR. A knowledge-based electrocardiogram-monitoring system for detection of the onset of nocturnal hypoglycaemia in type 1 diabetic patients. In 2006 Computers in Cardiology, universidad politecnica de valencia. Spain: IEEE; 2006.

[8] Development of measuring system for determining life-threatening cardiac arrhythmias in a patient's free activity, Alimbayev Ch., Alimbayeva Zh., Ozhikenov K., Bodin O., Mukazhanov Y., Eastern-european journal of enterprise technologies, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.197079>

Zhadyra Alimbayeva, postdoctorat, senior lecturer, Satbayev University, Kazakh National Women's teacher training University, Almaty, Kazakhstan, zhadyralimbay@gmail.com

Zhansila Orynbay, doctoral student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, zhansilaa@gmail.com

Aidana Yerkebay, doctoral student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, 0106aidana@mail.ru

Dilfuza Akhmedova, doctoral student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, cm-dilya-kz@mail.ru

Nurlan Bayanbay, master, senior lecturer, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, bayanbay_nur@mail.ru

ANALYSIS AND PROCESSING OF ECG SIGNAL FOR DETERMINATION OF GLYCEMIA LEVEL

Abstract. An unstable level of glucose in the blood causes a person diabetes, cancer, kidney and heart disease. A person's life is directly related to the correct functioning of the heart, the stability of the heartbeat. And constant control of cardiac activity is important for people suffering from malignant diseases. The amount of glucose in the blood must be constantly monitored due to the fact that it causes heart failure. It is important to improve the effective method of non-invasive detection, since the invasive determination of the amount of glucose by introducing the needle into the finger does not allow to constantly detect what is difficult for the patient and can cause infection. This article used non-invasive detection using ECG to identify changes in heart activity associated with the amount of glucose in the blood. Methods and research were analyzed, as well as the results associated with determining the level of glucose in the blood using an ECG. During the study, 5 healthy participants were subjected to experiment for two days to detect using an ECG. On the first day, the participants consumed 75 g of anhydrous glucose solution, and on the second day the participants did not use anhydrous glucose solution. Studies conducted within two days showed that the amount of glucose in the blood changes and affects the results of the ECG if healthy people consume anhydrous glucose solution. The similarity and the difference between the ECG results and the results obtained using a glucometer were studied relatively. The study revealed ECG waves that undergo changes depending on the amount of glucose in the blood.

Keywords. Glucose level, non-invasive diagnostics, electrocardiography, glucometer, cardioanalyzer.

Жадыра Алимбаева, постдокторант, старший преподаватель, Satbayev University, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан, zhadyralimbay@gmail.com

Жансила Орынбай, докторант, Satbayev University, Алматы, Казахстан, zhansilaa@gmail.com

Айдана Еркебай, докторант, Satbayev University, Алматы, Казахстан, 0106aidana@mail.ru

Дилфуза Ахмедова, докторант, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, cm-dilya-kz@mail.ru

Нұрлан Баянбай, магистр, сениор-лектор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, bayanbay_nur@mail.ru

АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ГЛИКЕМИИ

Аннотация. Неустойчивый уровень глюкозы в крови вызывает у человека диабет, рак, заболевания почек и сердца. Жизнь человека напрямую связана с правильным функционированием сердца, стабильностью сердцебиения. А постоянный контроль сердечной деятельности важен для людей, страдающих злокачественными заболеваниями. Количество глюкозы в крови необходимо постоянно контролировать из-за того, что она вызывает сердечную недостаточность. Важно усовершенствовать эффективный метод неинвазивного обнаружения, поскольку инвазивное определение количества глюкозы путем введения иглы в палец не позволяет постоянно обнаруживать, что является тяжелым для пациента и может вызвать инфекцию. В этой статье использовалось неинвазивное обнаружение с помощью ЭКГ для выявления изменений сердечной деятельности, связанных с количеством глюкозы в крови. Были проанализированы методы и исследования, а также результаты, связанные с определением уровня глюкозы в крови с помощью ЭКГ. В ходе исследования 5 здоровых участников подвергались эксперименту в течение двух дней для обнаружения с помощью ЭКГ. В первый день участники потребляли 75 г безводного раствора глюкозы, а во второй день участники не употребляли безводный раствор глюкозы. Исследования, проведенные в течение двух дней, показали, что количество глюкозы в крови изменяется и влияет на результаты ЭКГ, если здоровые люди потребляют безводный раствор глюкозы. Сходство и различие между результатами ЭКГ и результатами, полученными с помощью глюкометра, были изучены относительно. Исследование выявило волны ЭКГ, которые претерпевают изменения в зависимости от количества глюкозы в крови.

Ключевые слова. Уровень глюкозы, неинвазивная диагностика, электрокардиография, глюкометр, кардиоанализатор.
