

УДК 616.379-008.64:612.352.121
EDN: PDWGPE
<https://doi.org/10.15275/ssmj2002171>

Оригинальная статья

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НОЧНЫХ ГИПОГЛИКЕМИЙ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГЛЮКОЗЫ

А. Н. Русанов, Т. И. Родионова

ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, Саратов, Россия

PREDICTIVE MODEL OF NOCTURNAL HYPOGLYCEMIA BASED ON THE DATA FROM MOBILE APPLICATION FOR GLUCOSE MONITORING

A. N. Rusanov, T. I. Rodionova

Saratov State Medical University, Saratov, Russia

Для цитирования: Русанов А. Н., Родионова Т. И. Прогностическая модель ночных гипогликемий на основании данных мобильного приложения для мониторинга глюкозы. Саратовский научно-медицинский журнал. 2024; 20 (2): 171–176. EDN: PDWGPE. <https://doi.org/10.15275/ssmj2002171>

Аннотация. Цель: разработать прогностический алгоритм ночных гипогликемий (НГ) на основании данных мобильного приложения для мониторинга глюкозы. *Материал и методы.* Произведен ретроспективный анализ 524 профилей непрерывного мониторинга глюкозы (НМГ) пациентов с сахарным диабетом 1-го типа. НМГ выполнен с помощью системы Medtronic iPro2 в течение 6–7 суток, проведен анализ ночных периодов НМГ для выявления систематических НГ. В исследование включены 239 пациентов, из которых у 65 (27,1%) выявлены систематические НГ. Построены модели 7-точечных гликемических профилей, данные которых загружались в мобильное приложение DiaLog GM для расчета стандартизованных показателей мониторинга глюкозы. Прогностическая модель НГ разработана на основании метода логистической регрессии. *Результаты.* Согласно регрессионному анализу наиболее значимыми предикторами НГ, вошедшими в прогностическую модель, являлись гликированный гемоглобин ($p=0,001$), применение помповой инсулинотерапии ($p=0,001$), время ниже целевого диапазона 1-го уровня ($p<0,001$), коэффициент вариации глюкозы ($p=0,02$). Площадь под ROC-кривой для модели прогноза — 0,917; оптимальная точка отсечки для предсказанной вероятности НГ — 0,317, при которой чувствительность модели составила 86%, специфичность — 90%. *Заключение.* Разработанная модель прогноза на основании данных специализированного мобильного приложения позволяет усовершенствовать существующие подходы к оценке риска НГ за счет более высокой предсказательной способности.

Ключевые слова: сахарный диабет, ночная гипогликемия, мониторинг глюкозы, мобильное здравоохранение

For citation: Rusanov AN, Rodionova TI. Predictive model of nocturnal hypoglycemia based on the data from mobile application for glucose monitoring. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2024; 20 (2): 171–176. EDN: PDWGPE. <https://doi.org/10.15275/ssmj2002171> (In Russ.)

Abstract. *Objective:* to develop a prognostic algorithm of nocturnal hypoglycemia (NH) based on the glucose monitoring mobile application data. *Material and methods.* The retrospective analysis of 524 continuous glucose monitoring (CGM) profiles of patients with type 1 diabetes mellitus was performed. CGM was performed using the Medtronic iPro2 system for 6–7 days, overnight periods of CGM were analyzed to identify systematic NH. There were 239 patients included in the study, among them 65 (27.1%) were identified as having systematic NH. Models of 7-point glycemic profiles were built and their data were uploaded to the DiaLog GM mobile application to calculate standardized glucose monitoring parameters. The prognostic model of NH was developed based on the logistic regression method. *Results.* According to the results of regression analysis the most significant predictors of NH included in the prognostic model were: glycated hemoglobin ($p=0.001$), using of insulin pump therapy ($p=0.001$), time below target range level 1 ($p<0.001$), coefficient of variation for glucose ($p=0.02$). The area under the ROC curve for the prediction model was 0.917; the optimal cut-off point for the predicted probability of NH was 0.317, with model sensitivity of 85% and specificity of 90%. *Conclusions.* The developed prediction model based on data from a specialized mobile application allows to improve the existing approaches to NH risk assessment due to higher predictive ability.

Keywords: diabetes mellitus, nocturnal hypoglycemia, glucose monitoring, mobile health

Введение. Гипогликемия у пациентов с сахарным диабетом (СД), находящихся на инсулинотерапии, — жизнеугрожающее состояние,

ассоциированное со значимым снижением качества жизни, риском развития гипогликемической комы, тяжелых сосудистых осложнений СД [1]. Ночные гипогликемии (НГ) являются значимой диагностической проблемой при самостоятельном мониторинге глюкозы крови (СМГК) с помощью глюкометра, особенно

Ответственный автор — Арсений Николаевич Русанов
Corresponding author — Arseniy N. Rusanov
E-mail: arseniyrusanov91@gmail.com

в сочетании с феноменом нарушенного распознавания гипогликемий [2]. Более современный метод самоконтроля — непрерывный мониторинг глюкозы (НМГ) имеет значительные преимущества в диагностике НГ ввиду измерения глюкозы интерстициальной жидкости каждые 1–5 мин с целью исследования суточных тенденций ГК [3].

Несмотря на то, что системы НМГ внедрены в клиническую практику более 20 лет назад, большинство пациентов с СД по-прежнему используют СМГК в качестве основного метода самоконтроля [4]. Основными ограничениями к массовому применению систем НМГ являются высокая стоимость сенсоров, необходимость обучения пациентов и медицинского персонала принципам НМГ, различие между значениями глюкозы крови и интерстициальной жидкости, что может влиять на точность НМГ [5, 6]. Таким образом, недостаточная чувствительность СМГК к НГ остается актуальной проблемой, требующей совершенствования стандартного метода мониторинга гликемии при СД. Наиболее перспективные разработки в этой области — прогностические алгоритмы НГ на основании показателей гликемического контроля [7–9]. Другим направлением в развитии СМГК является внедрение в клиническую практику информационных технологий мониторинга глюкозы: применение специализированных мобильных приложений и компьютерных программ для глюкометров [10]. Подобное программное обеспечение позволяет рассчитывать показатели средних значений ГК, вариабельности гликемии, времени нахождения в целевых и нецелевых диапазонах ГК, вести учет доз введенного инсулина [11]. Тем не менее при анализе актуальной литературы нами не обнаружено информации о мобильных приложениях для СМГК, позволяющих на основании данных самоконтроля прогнозировать риски эпизодов НГ.

Цель — разработать прогностический алгоритм НГ на основании данных мобильного приложения для мониторинга глюкозы.

Материал и методы. Выполнен ретроспективный анализ базы данных, состоявшей из 524 профилей НМГ, проведенного на базе ГУЗ «Саратовская ГKB №9» с сентября 2016 г. по август 2023 г. Исследование проведено в соответствии с принципами «Надлежащей клинической практики» (Good Clinical Practice), одобрено комитетом по этике ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России (протокол №4 от 07.11.2023). Клинико-эпидемиологические показатели пациентов изучались на основании электронных медицинских карт пациентов. В исследование включены результаты НМГ пациентов с СД 1-го типа, соответствующие следующим критериям: возраст пациента — 18–45 лет; устройство НМГ — Medtronic iPro2; сенсор НМГ — Enlite MMT-7008; продолжительность исследования — 6–7 сут; калибровка сенсора НМГ — не менее 4 раза в сутки с помощью глюкометра или биохимического анализатора. Критериями исключения являлись: наличие беременности, тяжелых соматических, инфекционных заболеваний, терапия глюкокортикостероидами на момент проведения НМГ. Для описания результатов НМГ использовались отчеты с официальной веб-платформы Medtronic CareLink Professional.

В исследование включено 239 пациентов с СД 1-го типа; общее число измерений сенсора НМГ, включенных в анализ, составило 425908. Проведен анализ 1321 ночного периода, при котором у 65 человек (27,1% от общего числа пациентов) выявлена

систематическая НГ (1-я группа). Остальные пациенты (174 человека), без систематических НГ, составили контрольную группу исследования (2-я группа). Факт наличия систематических НГ устанавливался при снижении глюкозы по данным сенсора НМГ менее 3,9 ммоль/л в период с 00:00 по 06:00 в течение 2 сут или более за период наблюдения за пациентом.

Для разработки модели прогноза были смоделированы 7-точечные профили СМГК с использованием данных НМГ о глюкозе интерстициальной жидкости в определенный момент времени, откалиброванных по уровню ГК. Отбор измерений для моделей СМГК проводился согласно данным журнала пациента: за 5 мин до начала приема пищи, через 2 ч после него, перед сном. При отсутствии данных журнала за момент начала приема пищи принималось стандартное время завтрака, обеда, ужина в эндокринологическом отделении Саратовской ГKB №9: 9:00; 13:30; 18:30; за время отхода ко сну — 23:00. Общее число измерений в созданных моделях СМГК составило 10936.

Для каждого профиля СМГК выполнен расчет средней ГК ($G_{\text{ср}}$); индикатора контроля уровня глюкозы (glucose management indicator — GMI); времени в целевом диапазоне глюкозы (time in range — TIR); общего времени выше целевого диапазона глюкозы (time above range — $TAR_{\text{общ}}$); времени выше целевого диапазона 1-го и 2-го уровней ($TAR-1$, $TAR-2$); общего времени ниже целевого диапазона глюкозы (Time Below Range — $TBR_{\text{общ}}$); времени ниже целевого диапазона 1-го и 2-го уровней ($TBR-1$, $TBR-2$); стандартного отклонения глюкозы (standard deviation — SD), коэффициента вариации глюкозы (coefficient of variation — C_V), средней амплитуды гликемических экскурсий (mean amplitude of glycemic excursions — MAGE). Расчет указанных показателей выполнен с помощью специализированного мобильного приложения DiaLog GM (А. Н. Русанов, Т. И. Родионова, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ — 2022665169, 11.08.2022), разработанного в соответствии с отечественными и международными рекомендациями по мониторингу гликемии [12, 13]. Диапазон TIR — 3,9–10,0 ммоль/л; $TAR-1$ — 10,0–13,9 ммоль/л; $TAR-2$ — >13,9 ммоль/л; $TBR-1$ — 3,0–3,9 ммоль/л; $TBR-2$ — <3,0 ммоль/л. C_V рассчитан по формуле

$$C_V = \frac{SD}{G_{\text{ср}}} \times 100\%.$$

Показатель MAGE рассчитан на основании авторского алгоритма, о котором сообщалось в предыдущих публикациях [14]. Пользовательский интерфейс приложения Dialog GM с примером анализа одного из 7-точечных профилей СМГК представлены на рис. 1.

Статистическая обработка данных проведена с использованием пакетов программ SPSS Statistics 25.0; Microsoft Office Excel 2019. Данные представлены как медиана, 1-й и 3-й квартили — $Me [Q_1; Q_3]$. Нормальность распределения оценивали с помощью критерия Колмогорова — Смирнова, значимость различий — посредством U -критерия Манна — Уитни; различия считали значимыми при уровне $p < 0,05$. При разработке и оценке эффективности прогностической модели использовали метод логистической регрессии с пошаговым включением предикторов, ROC-анализ.

Результаты. Клинико-эпидемиологическая характеристика, данные НМГ, СМГК пациентов, включенных в исследование, представлены в табл. 1.



Рис. 1. Интерфейс разработанного мобильного приложения для мониторинга глюкозы Dialog GM

Таблица 1

Общая характеристика групп исследования и результаты мониторинга глюкозы

Параметры	Группа		p
	1-я (НГ+), n=65	Группа 2 (НГ-), n=174	
Клинико-эпидемиологические показатели			
Возраст, лет	26 [22; 33]	25 [21; 29]	0,475
Женский пол, %	62	52	0,176
Длительность СД, лет	15 [10; 20]	15 [11; 20]	0,752
ИМТ, кг/м ²	22,2 [20,5; 24,8]	24,6 [21,3; 28,5]	<0,001
Hb _{A1c} , %	7,7 [6,9; 8,2]	8,6 [8,2; 9,2]	<0,001
Доля пациентов на НППИ, %	31	42	<0,001
Суточная доза инсулина, МЕ	50 [40; 83]	65 [48; 83]	0,631
Результаты НМГ			
Число измерений сенсора (НМГ)	1797 [1566; 1924]	1795 [1645; 1934]	0,623
Число дней НМГ	6 [6; 7]	6 [6; 7]	0,178
Глюкоза средняя (НМГ), ммоль/л	8,9 [7,9; 10,5]	12,1 [10,7; 13,4]	<0,001
GMI (НМГ), %	7,2 [6,7; 7,9]	8,5 [7,9; 9,1]	<0,001
TIR (НМГ), %	51 [43; 62]	34 [24,46]	<0,001
TAR _{общ} (НМГ), %	37 [25; 48]	64 [51; 75]	<0,001
TBR _{общ} (НМГ), %	9 [5; 16]	1 [0; 2]	<0,001
SD (НМГ), ммоль/л	4,3 [3,5; 5,0]	4,3 [3,7; 5,0]	0,334
C _v (НМГ), %	46 [40; 51]	36 [32; 40]	<0,001
MAGE (НМГ), ммоль/л	10,0 [8,4; 11,4]	9,6 [8,4; 11,6]	0,815
Результаты СМГК			
Число измерений ГК (СМГК)	46 [42; 48]	46 [43; 48]	0,889
ГК средняя (СМГК), ммоль/л	9,0 [7,4; 10,5]	11,5 [10,4; 12,8]	<0,001
GMI (СМГК), %	7,2 [6,5; 7,9]	8,3 [7,8; 8,8]	<0,001
TIR (СМГК), %	53 [43; 65]	38 [28; 50]	<0,001
TAR _{общ} (СМГК), %	33 [20; 51]	61 [47; 70]	<0,001
TAR-1 (СМГК), %	18 [13; 25]	27 [21; 32]	<0,001
TAR-2 (СМГК), %	13 [4; 23]	61 [47; 70]	<0,001
TBR _{общ} (СМГК), %	11 [5; 17]	0 [0; 2]	<0,001

Параметры	Группа		p
	1-я (НГ+), n=65	Группа 2 (НГ-), n=174	
TBR-1 (СМГК), %	7 [4; 11]	0 [0; 2]	<0,001
TBR-2 (СМГК), %	2 [0; 8]	0 [0; 0]	<0,001
SD (СМГК), ммоль/л	4,2 [3,5; 4,9]	4,4 [3,8; 5,1]	0,036
C _v (СМГК), %	47 [42; 52]	38 [34; 43]	<0,001
MAGE (СМГК), ммоль/л	8,0 [6,2; 9,3]	8,6 [7,1; 9,9]	0,024

Между 1-й и 2-й группами не выявлено статистически значимых различий по возрасту, полу, длительности СД ($p > 0,05$). Уровень гликированного гемоглобина (Hb_{A1c}) был значимо ниже в 1-й группе — 7,7 [6,9; 8,2] % против 8,6 [8,2; 9,2] % во 2-й группе ($p < 0,001$). Пациенты с систематическими НГ имели более низкий индекс массы тела (ИМТ), реже использовали помповую инсулинотерапию (непрерывную подкожную инфузию инсулина — НПИИ) по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$).

Большинство показателей, полученных в результате мониторинга гликемии с помощью обоих методов (НМГ и СМГК), значимо различались между группами исследования: в 1-й группе наблюдались более высокие показатели TIR, TBR_{общ}, TBR-1, TBR-2, C_v ($p < 0,001$); более низкие значения параметров TAR_{общ}, TAR-1, TAR-2 ($p < 0,001$). При сопоставлении одноименных параметров, рассчитанных на основании различных методов мониторинга ГК (НМГ или СМГК), получены следующие результаты: в 1-й группе выявлены значимые различия по параметру MAGE (НМГ — 10,0 [8,4; 11,4] ммоль/л; СМГК — 8,0 [6,2; 9,3] ммоль/л; $p < 0,001$); во 2-й группе наблюдались различия по показателям средней ГК ($p = 0,032$), GMI ($p = 0,035$), TAR_{общ} ($p = 0,031$), TIR ($p = 0,027$), CV ($p = 0,001$), MAGE ($p < 0,001$); статистически значимых различий в вычислении остальных параметров не выявлено ($p > 0,05$).

Исходно в процедуру прямого пошагового отбора предикторов для модели бинарной логистической регрессии включены следующие параметры: ИМТ, Hb_{A1c} , применение НПИИ, показатели гликемического контроля на основании СМГК (ГК_{ср}, GMI, TIR, TAR_{общ}, TAR-1, TAR-2, TBR_{общ}, TBR-1, TBR-2, C_v, MAGE). Результаты регрессионного анализа представлены в табл. 2. Для окончательной модели прогноза программным алгоритмом отобрано четыре параметра в качестве предикторов НГ: Hb_{A1c} , применение НПИИ, TBR-1, C_v. При анализе мультиколлинеарности фактор инфляции дисперсии (VIF) для предикторов составил: Hb_{A1c} — 1,33; применение НПИИ — 1,02; TBR-1 — 1,89; C_v — 1,51.

Таким образом, окончательное уравнение логистической регрессии для определения вероятности НГ будет иметь следующий вид:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

$$z = 2,294 - 0,924 \times Hb_{A1c} - 1,52 \times CSII + 0,357 \times TBR1 + 0,087 \times C_{v1},$$

где: P — вероятность систематической НГ; e — основание натурального логарифма ($\approx 2,718$); Hb_{A1c} — уровень гликированного гемоглобина, %; CSII — применение непрерывной подкожной инфузии инсулина (при наличии — 1, при отсутствии — 0);

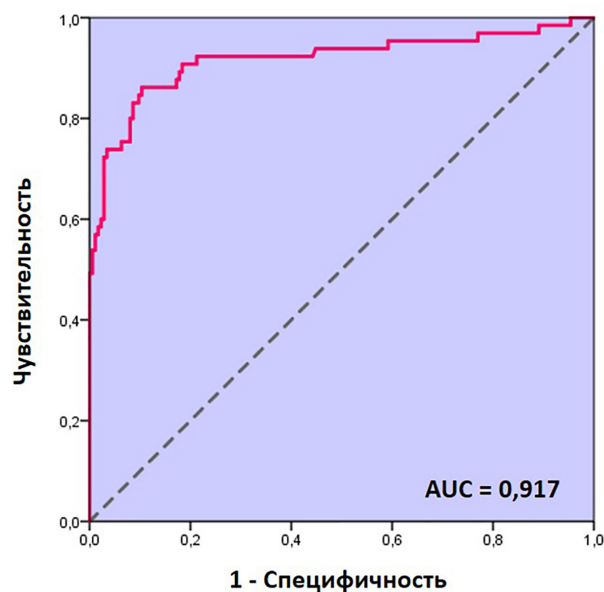


Рис. 2. ROC-кривая предсказанной вероятности ночных гипогликемий для разработанной модели прогноза

TBR1 — процент значений ГК ниже целевого диапазона 1-го уровня, %; C_v — коэффициент вариации ГК, %.

ROC-кривая для разработанной прогностической модели представлена на рис. 2. Площадь под кривой составила 0,917 (95% доверительный интервал — ДИ 0,866–0,967). Оптимальная точка отсечки для предсказанной вероятности НГ составила 0,317, для которой чувствительность модели прогноза составила 86%, специфичность — 90%.

Обсуждение. К настоящему моменту разработано несколько моделей прогноза НГ, среди которых наиболее эффективными являются модели, основанные на большом объеме данных, полученных с помощью НМГ [7, 15, 16]. Прогностические модели НГ, основанные на СМГК, разработаны в меньшей степени. К. Sakurai и соавт. предлагают формулу для оценки риска НГ, включающую в качестве предикторов возраст, среднюю ГК натошак, суточную дозу базального инсулина, однако, согласно проанализированной литературе, крайне мало данных о валидации этого подхода к прогнозу НГ [8]. В исследовании S. Wang и соавт. предлагается использовать параметр наибольшей амплитуды колебаний гликемии (largest amplitude of glycemc excursions — LAGE), оцененный на основании 4-точечного СМГК. Показателем LAGE, указывающим на высокий риск НГ, предложено считать значение больше 3,48 ммоль/л; площадь под кривой — 0,587 (95% ДИ 0,509–0,665);

Таблица 2

Результаты регрессионного анализа при разработке модели прогноза ночных гипогликемий

Предикторы	β -коэффициент	Стандартная ошибка β	Критерий Вальда	p	Отношение шансов (95% ДИ)
Шаг 1					
TBR-1 (СМГК)	0,514	0,07	54,53	<0,001	1,67 (1,46–1,92)
Константа	-2,781	0,311	80,02		—
Шаг 2					
НПИИ	-1,554	0,454	11,73	0,001	0,21 (0,87–0,52)
TBR-1 (СМГК)	0,535	0,072	54,66	<0,001	1,71 (1,48–1,97)
Константа	-2,232	0,331	45,43		—
Шаг 3					
Hb _{A1c}	-0,791	0,258	9,39	0,002	0,45 (0,27–0,752)
НПИИ	-1,611	0,463	12,12	<0,001	0,2 (0,08–0,49)
TBR-1 (СМГК)	0,468	0,075	39,26		1,6 (1,34–1,85)
Константа	4,559	2,186	4,35	0,037	—
Шаг 4					
Hb _{A1c}	-0,924	0,28	10,91	0,001	0,4 (0,23–0,69)
НПИИ	-1,52	0,467	10,61		0,22 (0,09–0,55)
TBR-1 (СМГК)	0,357	0,084	17,98	<0,001	1,43 (1,21–1,69)
CV	0,087	0,037	5,43	0,02	1,09 (1,01–1,17)
Константа	2,294	2,413	0,9	0,342	—

чувствительность — 66,7%, специфичность — 50% [9]. Следует отметить, что перспективным методом прогноза гипогликемий является применение технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, однако данный подход используется преимущественно в сочетании с НМГ [17].

Особенностью проведенного нами исследования является применение специализированного мобильного приложения, с помощью которого при стандартном самоконтроле ГК используются принципы анализа данных, стандартные для НМГ [12,13]. Клиническими предикторами НГ в разработанной модели прогноза являлись Hb_{A1c}, применение НПИИ, что согласуется с результатами ранее проведенных исследований в этой области [17]. Предикторами НГ, непосредственно рассчитанными с помощью мобильного приложения, являлись C_v и TBR-1. К настоящему моменту известно, что C_v, рассчитанный на основании данных НМГ, — наиболее значимый параметр вариабельности гликемии, ассоциированный с риском гипогликемий (в том числе НГ) [18]. Результаты проведенного нами исследования указывают на возможность использования СМГК в расчете C_v с целью прогноза НГ. По результатам регрессионного анализа высокий уровень TBR-1 оказался наиболее значимым (при этом качественно новым по сравнению с ранее опубликованными данными) предиктором НГ. Таким образом, высокий процент значений гликемии в диапазоне от 3,0 до 3,9 ммоль/л в дневные часы по данным СМГК может оказаться существенным фактором риска НГ.

Разработанная прогностическая модель предвзительно показала достаточно высокую степень эффективности при выявлении НГ. Ограничениями настоящего исследования являлись выборка пациентов, обследование которых проводилась преимущественно в стационарных условиях, использование

гипотетических моделей СМГК для расчета показателей мониторинга гликемии. Требуются дополнительные исследования предложенной прогностической модели с целью внутренней и внешней валидации.

Разработанная формула для прогноза систематических НГ при СД 1-го типа может применяться в клинической практике при наличии информации об уровне Hb_{A1c}, данных 7-точечного СМГК за 6–7 дней. Представленное нами мобильное приложение существенно упрощает процесс сбора данных, расчет параметров гликемического контроля, передачу результатов лечащему врачу. Тем не менее стандартизированные методы расчета показателей C_v и TBR-1 позволяют использовать разработанную прогностическую модель без обязательного применения указанного приложения. При предсказанной вероятности НГ \geq 0,317% у пациентов с СД 1-го типа мы рекомендуем усилить мероприятия по проводимому самоконтролю: использовать НМГ или дополнительные измерения ГК в ночные часы при СМГК. В рамках дальнейшего развития мобильного приложения Dialog GM нами планируется интеграция разработанного алгоритма прогноза НГ в данное программное обеспечение, а также исследования в области применения машинного обучения для решения аналогичных задач.

Заключение. Несмотря на активное использование в клинической практике современных препаратов инсулина, помповой инсулинотерапии, НГ остаются достаточно распространенной проблемой среди лиц с СД. Специализированные мобильные приложения для мониторинга глюкозы, дополненные алгоритмами прогноза, могут существенно упростить выявление НГ, что особенно важно для пациентов с нарушенным распознаванием гипогликемий. Применение подобных технологий в перспективе может уменьшить риск тяжелых

гипогликемий, хронических осложнений СД, улучшить качество жизни пациента.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов.

References (Список источников)

1. Yeh JS, Sung SH, Huang HM, et al. Hypoglycemia and risk of vascular events and mortality: a systematic review and meta-analysis. *Acta Diabetol.* 2016; 53 (3): 377–92. DOI: 10.1007/s00592-015-0803-3
2. Klimontov VV. Impaired hypoglycemia awareness in diabetes: epidemiology, mechanisms and therapeutic approaches. *Diabetes Mellitus.* 2018; 21 (6): 513–23. (In Russ.). Климонтов В. В. Нарушение распознавания гипогликемии при сахарном диабете: эпидемиология, механизмы развития, терапевтические подходы. *Сахарный диабет.* 2018. 21 (6): 513–23. DOI: 10.14341/DM9597
3. Olafsdóttir AF, Polonsky W, Bolinder J, et al. A randomized clinical trial of the effect of continuous glucose monitoring on nocturnal hypoglycemia, daytime hypoglycemia, glycemic variability, and hypoglycemia confidence in persons with type 1 diabetes treated with multiple daily insulin injections (GOLD-3). *Diabetes Technol Ther.* 2018; 20 (4): 274–84. DOI: 10.1089/dia.2017.0363
4. Divan V, Greenfield M, Morley CP, Weinstock RS. Perceived burdens and benefits associated with continuous glucose monitor use in type 1 diabetes across the lifespan. *J Diabetes Sci Technol.* 2022; 16 (1): 88–96. DOI: 10.1177/1932296820978769
5. Kompala T, Wong J, Neinstein A. Diabetes specialists value continuous glucose monitoring despite challenges in prescribing and data review process. *J Diabetes Sci Technol.* 2023; 17 (5): 1265–73. DOI: 10.1177/19322968221088267
6. Schrangl P, Reiterer F, Heinemann L, et al. Limits to the evaluation of the accuracy of continuous glucose monitoring systems by clinical trials. *Biosensors (Basel).* 2018; 8 (2): 50. DOI: 10.3390/bios8020050
7. Klimontov VV, Myakina NE. Glucose variability indices predict the episodes of nocturnal hypoglycemia in elderly type 2 diabetic patients treated with insulin. *Diabetes Metab Syndr.* 2017; 11 (2): 119–24. DOI: 10.1016/j.dsx.2016.08.023
8. Sakurai K, Kawai Y, Yamazaki M, Komatsu M. Prediction of lowest nocturnal blood glucose level based on self-monitoring of blood glucose in Japanese patients with type 2 diabetes. *J Diabetes Complications.* 2018; 32 (12): 1118–23. DOI: 10.1016/j.jdiacomp.2018.09.007
9. Wang S, Tan Z, Wu T, et al. Largest amplitude of glycemic excursion calculating from self-monitoring blood glucose predicted the episodes of nocturnal asymptomatic hypoglycemia detected by continuous glucose monitoring in outpatients with type 2 diabetes. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2022; 13: 858912. DOI: 10.3389/fendo.2022.858912
10. Fleming GA, Petrie JR, Bergenstal RM, et al. Diabetes digital app technology: Benefits, challenges, and recommendations. A consensus report by the European Association for the Study of Diabetes (EASD) and the American Diabetes Association (ADA) Diabetes Technology Working Group. *Diabetologia.* 2020; 63 (2): 229–41. DOI: 10.1007/s00125-019-05034-1
11. Doupis J, Festas G, Tsilivigos C, et al. Smartphone-based technology in diabetes management. *Diabetes Ther.* 2020; 11 (3): 607–19. DOI: 10.1007/s13300-020-00768-3
12. Dedov II, Shestakova MV, Mayorov AYU, et al. Standards of Specialized Diabetes Care. Ed. by I.I. Dedov, Shestakova M.V., Mayorov A.Yu. 11th Edition. *Diabetes mellitus.* 2023; 26 (2S): 1–157. (In Russ.). Дедов И. И., Шестакова М. В., Майоров А. Ю. и др. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом. Под ред. И. И. Дедова, М. В. Шестаковой, А. Ю. Майорова. 11-й вып. *Сахарный диабет.* 2023; 26 (2S): 1–157. DOI: 10.14341/DM13042
13. American Diabetes Association Professional Practice Committee. 6. Glycemic Goals and Hypoglycemia: Standards of Care in Diabetes-2024. *Diabetes Care.* 2024; 47 (Suppl. 1): 111–25. DOI: 10.2337/dc24-S006
14. Rusanov AN, Rodionova TI. A new computer algorithm for calculating the mean amplitude of glycemic excursions using self-monitoring blood glucose data. *Modern Problems of Science and Education.* 2020; (3): 132. (In Russ.) Русанов А. Н., Родионова Т. И. Новый компьютерный алгоритм расчета средней амплитуды гликемических экскурсий с использованием данных самостоятельного мониторинга глюкозы крови. *Современные проблемы науки и образования.* 2020; (3): 132. DOI: 10.17513/spno.29909
15. Vu L, Kefayati S, Idé T, et al. Predicting nocturnal hypoglycemia from continuous glucose monitoring data with extended prediction horizon. *AMIA Annu Symp Proc.* 2020; (2019): 874–82. PMID: 32308884
16. Mosquera-Lopez C, Dodier R, Tyler NS, et al. Predicting and preventing nocturnal hypoglycemia in type 1 diabetes using big data analytics and decision theoretic analysis. *Diabetes Technol Ther.* 2020; 22 (11): 801–11. DOI: 10.1089/dia.2019.0458
17. Zhang L, Yang L, Zhou Z. Data-based modeling for hypoglycemia prediction: Importance, trends, and implications for clinical practice. *Front Public Health.* 2023; (11): 1044059. DOI: 10.3389/fpubh.2023.1044059
18. Rodbard D. Glucose variability: A review of clinical applications and research developments. *Diabetes Technol Ther.* 2018; 20 (S2): S25–215. DOI: 10.1089/dia.2018.0092

Статья поступила в редакцию 21.02.2024; одобрена после рецензирования 04.04.2024; принята к публикации 25.05.2024. The article was submitted 21.02.2024; approved after reviewing 04.04.2024; accepted for publication 25.05.2024.

Информация об авторах:

Арсений Николаевич Русанов — ассистент кафедры эндокринологии, arseniyrusanov91@gmail.com, ORCID 0000-0002-2234-407X; **Татьяна Игоревна Родионова** — заведующая кафедрой эндокринологии, профессор, доктор медицинских наук, rodionova777@mail.ru, ORCID 0000-0003-4280-6945.

Information about the authors:

Arseniy N. Rusanov — Instructor of the Department of Endocrinology, arseniyrusanov91@gmail.com, ORCID 0000-0002-2234-407X; **Tatiana I. Rodionova** — Head of the Department of Endocrinology, Professor, DSc, rodionova777@mail.ru, ORCID 0000-0003-4280-6945.