



УДК 616.379-008.64-06:616.5-076.584
<https://doi.org/10.20538/1682-0363-2025-2-83-90>

Изменение уровня аутофлуоресценции кожи детей и подростков с сахарным диабетом 1-го типа в зависимости от гликемических показателей

Проскурина М.В.¹, Киселёва Н.Г.¹, Салмин В.В.^{2,3,4}, Таранушенко Т.Е.¹

¹ Красноярский государственный медицинский университет (КрасГМУ) им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Россия, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1

² Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (МФТИ) Россия, 117303, г. Москва, ул. Керченская, 1а, корп. 1

³ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (МГТУ) Россия, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1

⁴ Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт» (НИЯУ МИФИ) Россия, 115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31

РЕЗЮМЕ

Цель: исследовать влияние уровня гликированного гемоглобина, среднесуточной гликемии и ее вариабельности на УФ-индуцированную аутофлуоресценцию кожи у детей и подростков, страдающих сахарным диабетом 1-го типа.

Материалы и методы. В исследование включены 47 детей и подростков с сахарным диабетом 1-го типа, проживающих на территории закрытого административно-территориального образования. Проведена регистрация спектров аутофлуоресценции кожи с внутренней поверхности плеча и ногтя пациентов с помощью оригинального компактного спектрофлуориметра на базе микроспектрометра STS-VIS OCEAN OPTICS © USA с UVA-возбуждением. Статистический анализ проводился с помощью программного обеспечения Statsoft Statistica 12.0. При выполнении анализа выполнялась нормировка спектров флуоресценции на среднее значение сигнала УФ светодиода и сглаживание методом скользящего среднего с окном 10 нм. Затем проводилась перенормировка спектров, минимизирующая разброс спектров от среднего спектра по выборке.

Результаты. В ходе исследования выявлены наиболее изменчивые области спектра УФ-индуцированной аутофлуоресценции кожи при вариации уровня гликированного гемоглобина, среднесуточной гликемии и вариабельности гликемии.

Заключение. Исследование подтверждает перспективность использования измерения аутофлуоресценции кожи в качестве неинвазивного инструмента оценки состояния углеводного обмена.

Ключевые слова: аутофлуоресценция кожи, сахарный диабет 1-го типа, дети, подростки, гликированный гемоглобин, среднесуточная гликемия, вариабельность гликемии

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

✉ Проскурина Маргарита Викторовна, prnmargov@rambler.ru

Соответствие принципам этики. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России (протокол № 114 от 05.10.2022).

Для цитирования: Проскурина М.В., Киселёва Н.Г., Салмин В.В., Таранушенко Т.Е. Изменение уровня аутофлуоресценции кожи детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа в зависимости от гликемических показателей. *Бюллетень сибирской медицины*. 2025;24(2):83–90. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2025-2-83-90>.

Glycemic-dependent changes of skin autofluorescence level in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus

Proskurina M.V.¹, Kiseleva N.G.¹, Salmin V.V.^{2, 3, 4}, Taranushenko T.E.¹

¹ Prof. V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University (KrasSMU)
1 Partizan Zheleznyak St., 660022 Krasnoyarsk, Russian Federation

² Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University, MIPT)
1A Bldg. 1 Kerchenskaya St., 117303 Moscow, Russian Federation

³ Bauman Moscow State Technical University (National Research University, BMSTU)
5 Bldg. 1 2-ya Baumanskaya St., 105005 Moscow, Russian Federation

⁴ National Research Nuclear University Moscow Engineering Physics Institute (MEPHI)
31 Kashirskoye Rd., 115409 Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Aim. To study the effect of glycated hemoglobin level, average daily glycemia and its variability on UV-induced skin autofluorescence in children and adolescents with type 1 diabetes.

Materials and methods. The study included 47 children and adolescents with type 1 diabetes living in a restricted-access administrative and territorial unit. The autofluorescence spectra of the skin from the inner surface of the shoulder and nails of patients were recorded using an original compact spectrofluorometer based on STS-VIS OCEAN OPTICS © USA microspectrometer with UVA excitation. The statistical analysis was performed using Statsoft Statistica 12.0 software. The fluorescence spectra were normalized to the average value of the UV LED signal and the moving average smoothed using a 10 nm window. Then, the renormalization of spectra was carried out, minimizing their spread from the average sample spectrum.

Results. The study revealed the most changeable regions of UV-induced skin autofluorescence spectrum with variations in the level of glycated hemoglobin, average daily glycemia, and glycemic variability.

Conclusion. The study confirms the prospects of using skin autofluorescence measurements as a non-invasive tool for assessing the state of carbohydrate metabolism.

Keywords: skin autofluorescence, type 1 diabetes mellitus, children, adolescents, glycated hemoglobin, average daily glycemia, glycemic variability

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Source of financing. The authors state that they received no funding for the study.

Conformity with the principles of ethics. All patients signed an informed consent to participate in the study. The study was approved by the Ethics Committee of Prof. V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University (Minutes No. 114 dated October 5, 2022).

For citation: Proskurina M.V., Kiseleva N.G., Salmin V.V., Taranushenko T.E. Glycemic-dependent changes of skin autofluorescence level in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2025;24(2):83–90. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2025-2-83-90>.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно определению клинических рекомендаций, сахарный диабет 1-го типа (СД1) — заболевание, возникающее в результате аутоиммунной деструкции инсулин-продуцирующих β -клеток поджелудочной железы, с последующим развитием абсолютной инсулиновой недостаточности. Актуальность изучения данного заболевания обусловлена ранним развитием необратимых сосудистых осложнений и инвалидизацией пациентов. Учитывая тяжесть манифестации и лабильность течения заболевания у детей и подростков, немаловажным является ранняя диагностика и динамическое наблюдение за развитием патологии.

Показатель гликированного гемоглобина (HbA1c) с 2011 г. рекомендован Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) [1], и уже более 25 лет используется как диагностический критерий нарушений углеводного обмена [2].

HbA1c показывает средний уровень сахара в крови за последние 90 сут, для более глубокого понимания изменений гликемического профиля потребовалось создание новых методов.

С внедрением в клиническую практику диабетологов методов непрерывного мониторинга гликемии (CGM) появился термин вариабельности гликемии, который показывает колебания среднего уровня гликемии, считается самостоятельным предиктором осложнений сахарного диабета вследствие влияния на органы-мишени через окислительный стресс, гликирование, хроническое воспаление низкой степени выраженности, эндотелиальную дисфункцию, активацию тромбоцитов, нарушение ангиогенеза и фиброз почек [3].

Современные системы CGM включают датчик, который измеряет уровни глюкозы в интерстициальной жидкости с интервалом от 1 до 5 мин, собирает и передает значения уровня глюкозы третьему компоненту (приемнику) в реальном времени. Применение технологии дает информацию о гликемии на момент исследования, тенденции уровня глюкозы, его текущем направлении и скорости изменения, что способствует своевременному принятию решения по коррекции гликемии [4]. Для упрощения интерпретации большого количества данных о гликемии, получаемых через CGM, были выделены показатели в процентных значениях:

1. Средний уровень глюкозы.

2. Показатель контроля уровня глюкозы (GMI). Из-за наблюдаемого расхождения между средним уровнем глюкозы по CGM и лабораторно измеренным HbA1c был разработан расчетный показатель,

называемый показателем контроля уровня глюкозы (GMI). GMI рассчитывается по формуле, которая была разработана и подтверждена на основе линии регрессии графика с концентрацией глюкозы по оси x и одновременным измерением HbA1c по оси y : $GMI (\%) = 3,31 + 0,02392 \times (\text{средняя глюкоза, мг/дл})$.

3. TIR – время нахождения в целевых диапазонах 70–180 мг/дл (в пределах нормы): цель $> 70\%$. TBR – время ниже диапазона < 70 мг/дл (гипогликемия 1-го уровня): цель < 4 . Время ниже диапазона (TBR) < 54 мг/л (гипогликемия 2-го уровня): цель $< 1\%$.

4. TAR – время выше целевого диапазона > 180 мг/дл: цель $< 25\%$.

5. CV – вариабельность уровня глюкозы рассчитывается как $s.d.$ глюкозы / среднее значение глюкозы $\times 100$ и включает продолжительность, частоту и амплитуду сдвигов уровня глюкозы в крови между низким и высоким уровнем, цель $\leq 36\%$ [5, 6].

Несмотря на неоспоримые достоинства существующих методов контроля гликемии, сохраняется инвазивность, что приводит к низкой приверженности и недостаточному контролю гликемии пациентов.

В этой связи поиск методов неинвазивной диагностики перечисленных параметров углеводного обмена является, несомненно, актуальной задачей. Большой интерес в этой связи имеют методы, основанные на оптической спектроскопии кожи пациента. В последние годы опубликовано много работ по этой теме, подтверждающих перспективность метода [7, 8]. Однако в каждом случае речь идет о решении только одной задачи диагностики. Идей по разработке мультизадачного метода неинвазивной диагностики биохимических параметров углеводного обмена у больных сахарным диабетом в настоящее время нет.

Целью нашей работы стало исследование УФ-индуцированных спектров аутофлуоресценции кожи у детей и подростков, страдающих СД1, и оценка наличия корреляций с гликированным гемоглобином, среднесуточной гликемией и вариабельностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе ФГБУЗ КБ № 51 ФМБА России, филиала ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России КБ № 42. Исследование аутофлуоресценции кожи проведено у 47 пациентов, страдающих СД1. Из них в группу детей вошло 29 человек (61,7%), а группа подростков включила 18 человек (38,3%). Большая часть группы исследуемых состояла из мальчиков – 57,4%. Средний стаж заболевания пациентов на момент обследования составил 4,47 лет, минимальный уровень HbA1c – 6,0; максимальный – 18,7%.

Все дети с момента выявления заболевания находились на постоянной заместительной инсулинотерапии: на непрерывной подкожной инфузии инсулина (НПИИ) 10 пациентов (21,2%) и 37 человек (78,7%) – на шприц-ручке. Все наблюдаемые на период исследования были на непрерывном мониторинге глюкозы (НМГ) с преобладанием флэш-мониторинга Либра. Из группы исследования были исключены пациенты с СД1, страдающие заболеваниями, влияющими на точность HbA1c. В ходе исследования мы разделили пациентов на группы, которые традиционно приняты для педиатрической практики. В зависимости от уровня гликированного гемоглобина: 1) $\leq 7,0\%$ ($n = 2$); 2) 7,1–10% ($n = 18$); 3) $\geq 10,1\%$ ($n = 27$). Учитывая малую численность, первая группа объединена со второй группой исследования. По значениям среднесуточной гликемии мы использовали следующие группы пациентов: 1) ≤ 10 ммоль/л ($n = 23$); 2) ≥ 10 ммоль/л ($n = 24$). Исходя из величины показателя вариабельности гликемии выделили две подгруппы пациентов: 1) $\leq 36\%$ ($n = 16$); 2) $\geq 36\%$ ($n = 41$).

Спектры аутофлуоресценции регистрировались с внутренней поверхности плеча пациентов в течение 30 с с помощью оригинального компактного спектрофлуориметра на базе микроспектрометра STS-VIS OCEAN OPTICS © USA с UVA-возбуждением, создаваемым светодиодом (375 нм) [9].

Полученные с помощью прибора спектры флуоресценции кожи состоят из двух широких контуров. Первый, в диапазоне 400–700 нм, представляет, собственно, аутофлуоресценцию кожи, а второй 700–820 нм, – спектр УФ светодиода возбуждения 375 нм, во втором порядке дифракции дифракционной решетки рис. 1.

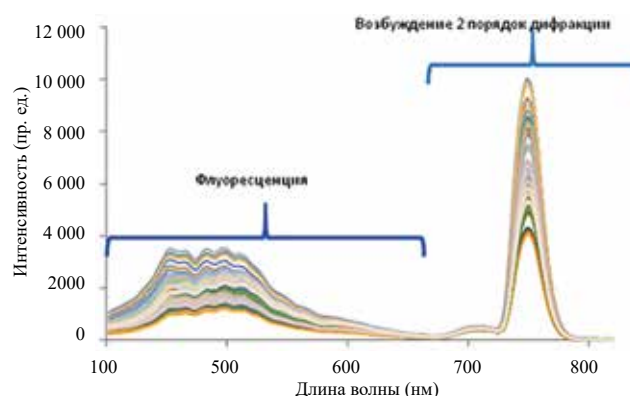
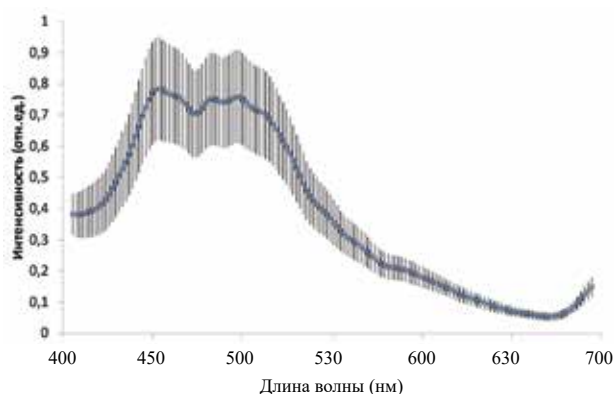


Рис. 1. Спектры флуоресценции кожи группы пациентов с СД1, полученные непосредственно с помощью спектрофлуориметра со светодиодным УФ-возбуждением (375 нм)

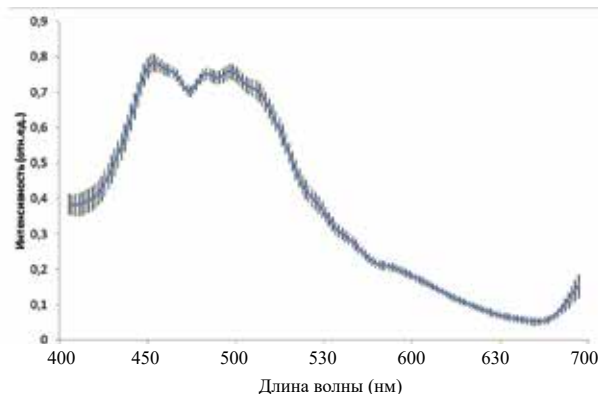
Для дальнейшего анализа проводилась нормировка спектров флуоресценции на среднее значение сигнала УФ светодиода и сглаживание методом скользящего среднего с окном 10 нм. Указанный способ нормировки спектров будет в дальнейшем называться D-нормировкой (рис. 2, а).

Для сравнения формы спектров мы применили дополнительную нормировку. Для этого вычислен средний спектр по всей группе пациентов $F(\lambda)$ и для каждого спектра $F_i(\lambda)$ определялись коэффициенты линейной регрессии a_i , b_i методом наименьших квадратов так, чтобы после последующей перенормировки указанные спектры были максимально приближены к среднему. Затем проводилась перенормировка спектров с учетом найденных коэффициентов:

$$f_i(\lambda) = \frac{F_i(\lambda) - b_i}{a_i}$$



а



б

Рис. 2. Спектры аутофлуоресценции кожи группы пациентов с СД1 при различных способах нормировки: а – D; б – I

Результатом применения дополнительной нормировки является уменьшение стандартного отклоне-

ния (рис. 2, б). Такая нормировка будет называться I-нормировкой.

Окончание табл. 1

Длина волны	Группы сравнения, Me [Q ₁ ; Q ₃]		p (по Манну – Уитни)
	HbA1c < 7,0	HbA1c = 7,1–10,0	
I592	0, 202 [0,194; 0,206]	0,194 [0,186; 0,199]	<10 ⁻³

Примечание. Различия статистически значимы при $p < 0,05$ (здесь и в табл. 2, 3).

На рис. 4 представлена D-нормировка, которая регистрирует значимые отличия в спектрах аутофлуоресценции при разных значениях среднесуточной гликемии.



Рис. 4. Спектры Z-оценок при сравнении уровня среднесуточной гликемии при различных способах нормировки

Таблица 2

Значимость различий интенсивности флуоресценции на указанных длинах волн для различных уровней гликированного гемоглобина			
Длина волны	Среднесуточная гликемия, Me [Q ₁ ; Q ₃]		p (по Манну – Уитни)
	<10 ммоль/л	≥ 10 ммоль/л	
D470	0,771 [0,656; 0,826]	0,701 [0,618; 0,764]	0,004
D652	0,073 [0,064; 0,081]	0,066 [0,058; 0,074]	0,002

Значимые области спектра, различающие группы вариабельности гликемии, присутствуют в обоих способах нормировки. Диаграмма спектра Z-оценок при сравнении уровня вариабельности гликемии представлена на рис. 5. Как следует из приведенной диаграммы, более тонкая структура спектра при использовании I-нормировки позволит, по-видимому, проанализировать изменения отдельных метаболитов при различных уровнях вариабельности гликемии. Наиболее значимые участки спектра представлены полосой Соре гемоглобина 427 нм ($p < 0,005$), пиком флуоресценции NADH 485 нм ($p < 0,005$), пиками β и α полосы оксигемоглобина, соответственно, 539 нм ($p < 0,01$) и 581 нм ($p < 0,001$), а также областью флуоресценции порфиринов 660 нм ($p < 0,01$).

Статистический анализ проводился с помощью пакета Statsoft Statistica 12.0. и Microsoft Excel. Использовались методы обработки спектров с помощью алгоритмов нормировки и сглаживания. Анализ данных проводился методами описательной и непараметрической статистики, парное сравнение спектров флуоресценции – с помощью метода Манна – Уитни (данные представлялись в виде спектра Z-оценок). Наиболее значимо отличные точки спектра представлялись также по медианному значению интенсивности флуоресценции и межквартильному разбросу Me [Q₁; Q₃].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты применения D- и I-нормировки с последующим сравнением спектров аутофлуоресценции в группах пациентов с СД1 в зависимости от уровня гликированного гемоглобина представлены на рис. 3. Достоверные отличия наблюдаются при обоих способах нормировки спектров. Однако I-нормировка дает более значимые отличия между группами 1 и 2. При этом наибольшее отличие в спектре наблюдается в области полосы Соре гемоглобина 433 нм ($p < 10^{-4}$) и области пика NADH 487 ($p < 0,005$) изобестической точки альфа полосы окси- и дезоксигемоглобина 592 нм ($p < 0,001$).



Рис. 3. Спектры попарных Z-оценок в зависимости от уровня гликированного гемоглобина

Таблица 1

Значимость различий интенсивности флуоресценции на указанных длинах волн по критерию Манна – Уитни для различных уровней гликированного гемоглобина			
Длина волны	Группы сравнения, Me [Q ₁ ; Q ₃]		p (по Манну – Уитни)
	HbA1c < 7,0	HbA1c = 7,1–10,0	
I433	0,540 [0,512; 0,551]	0,514 [0,498; 0,531]	<10 ⁻⁴
I487	0,740 [0,730; 0,750]	0,748 [0,739; 0,760]	0,002
I592	0,197 [0,191; 0,204]	0, 202 [0,194; 0,206]	0,014
	HbA1c = 7,1–10,0	HbA1c > 10,1	
I433	0,514 [0,498; 0,531]	0,534 [0,518; 0,557]	0,001



Рис. 5. Спектры Z-оценок при сравнении уровня вариабельности гликемии

Таблица 3

Значимость различий интенсивности флуоресценции на указанных длинах волн по вариабельности гликемии			
Длина волны	Вариабельность гликемии, Me [Q_1 ; Q_3]		p (по Манну – Уитни)
	<36%	≥ 36%	
1427	0,481 [0,468; 0,494]	0,460 [0,441; 0,481]	0,001
1485	0,748 [0,730; 0,750]	0,750 [0,742; 0,760]	0,004
1539	0,417 [0,397; 0,431]	0,430 [0,415; 0,440]	0,006
1581	0,203 [0,196; 0,217]	0,216 [0,210; 0,223]	<10 ⁻³
1661	0,063 [0,061; 0,069]	0,060 [0,053; 0,066]	0,01

ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то, что гликированный гемоглобин спектрально неотличим от иных дериватов гемоглобина, его наличие в системном кровотоке очевидно вызывает гипоксические изменения в периферических тканях, что и может быть зарегистрировано спектрофлуориметрическим методом. Основная часть работ, посвященных связи уровня аутофлуоресценции и HbA1c у пациентов, страдающих сахарным диабетом, говорит о корреляции этих показателей, притом как у детей, так и взрослых [10–12].

По результатам исследования общий уровень отражения (рассеяния) УФ-излучения от кожи является наиболее значимым параметром, зависящим от среднесуточной гликемии. Это в определенной степени согласуется с данными по изменению показателя преломления кожи при увеличении гликемии.

Как показывает исследование, увеличение среднесуточного гликирования приводит к снижению флуоресценции во всем спектральном диапазоне по отношению к отраженному излучению возбуждения. Указанное обстоятельство может быть обусловлено увеличением коэффициента отражения, а не изменением одновременно всех метаболитов. Увеличение коэффициента отражения, в свою очередь, связано с

изменением показателя преломления плазмы крови при нарастании концентрации в ней глюкозы. Это в определенной степени согласуется с данными по изменению показателя преломления кожи при увеличении гликемии [13, 14].

Кроме того, при оценке связи спектров аутофлуоресценции с показателями вариабельности гликемии отмечено, что более тонкая структура спектра при использовании I-нормировки позволит, по-видимому, проанализировать изменения отдельных метаболитов при различных уровнях вариабельности гликемии. Выполненное исследование показало статистическую связь между спектрами аутофлуоресценции кожи и значениями вариабельности гликемии. Причем сравнение спектров аутофлуоресценции выявило не только гипоксические сдвиги при высокой вариабельности, что ожидаемо при тяжелом течении сахарного диабета, но и по всей видимости увеличение пула порфиринов.

В 1949 г. Стерлинг и соавт. впервые сообщили о связи между развитием сахарного диабета и порфирии. В проводимых исследованиях наблюдалось заметное повышение уровней глюкозы и инсулина в сыворотке крови у пациентов с порфирией.

Однако, несмотря на множество исследований, точный механизм, благодаря которому у пациентов с порфирией, особенно у пациентов с бессимптомным течением, наблюдается повышенная инсулинемия, до сих пор неизвестен [15]. В настоящем исследовании причину повышения порфиринов можно связать предположительно со снижением реакции на инсулин в подростковом возрасте, когда наблюдаются гормональные изменения, в основном за счет уровня гормона роста и половых гормонов [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изменении лабораторных показателей уровня гликированного гемоглобина, среднесуточной гликемии и вариабельности гликемии обнаруживаются значимые изменения в спектре УФ-индуцированной флуоресценции кожи у детей с сахарным диабетом первого типа.

Выявлено, что значимые отличия в спектрах аутофлуоресценции кожи при УФ-возбуждении обнаруживаются как по общему уровню сигнала, так и на длинах волн, совпадающих с пиками поглощения гемоглобина в области полосы Core, альфа и бета полосы, изобестических точках окси- и дезоксигемоглобина, пике флуоресценции NADH и порфиринов. Малоизученным в этой связи является обнаруженная связь аутофлуоресценции кожи в области пика порфиринов 660 нм со степенью вариабельности гликемии у детей с сахарным диабетом 1-го типа.

Полученные в исследовании результаты позволяют сделать вывод о возможности создания неинвазивного метода мониторинга различных метаболических изменений при сахарном диабете, основанного на УФ-индуцированной аутофлуоресцентной спектроскопии кожи, позволяющего решать одновременно задачи таких методов диагностики, как определение уровня гликированного гемоглобина, среднесуточной гликемии и вариабельности гликемии. Указанная возможность реализуется посредством метаболических связей указанных клинических показателей с эндогенными хромофорами и флуорофорами кожи.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дедов И.И., Шестакова М.В., Майоров А.Ю. и др. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом, 11-й выпуск. *Сахарный диабет*. 2023;26(2):1–157. DOI: 10.14341/DM13042.
2. English E., Leters-Westra E. HbA1c method performance: The great success story of global standardization. *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.* 2018;55(6):408–419. DOI: 10.1080/10408363.2018.1480591.
3. Klimontov V.V., Saik O.V., Korbut A.I. Glucose variability: How does it work? *Int. J. Mol. Sci.* 2021;22(15):7783. DOI: 10.3390/ijms22157783.
4. Maiorino M.I., Signoriello S., Maio A., Chiadini P., Bellastella G., Scappaticcio L. et al. Effects of Continuous Glucose Monitoring on Metrics of Glycemic Control in Diabetes: A Systematic Review with Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Diabetes Care*. 2020;43(5):1146–1156. DOI: 10.2337/dc19-1459.
5. Danne T., Nimri R., Battelino T., Bergenstal R.M., Close K.L., DeVries J.H. et al. International consensus on use of continuous glucose monitoring. *Diabetes Care*. 2017;40(12):1631–1640. DOI: 10.2337/dc17-1600.
6. Friedman J.G., Coyne K., Aleppo G., Szmilowicz E.D. Beyond A1C: exploring continuous glucose monitoring metrics in managing diabetes. *Endocr. Connect.* 2023;12(7):e230085. DOI: 10.1530/EC-23-0085.
7. Hosseini M.S., Razavi Z., Ehsani A.H., Firooz A., Afazeli S. Clinical Significance of Non-invasive Skin Autofluorescence Measurement in Patients with Diabetes: A Systematic Review and Meta-analysis. *EClinical Medicine*. 2021;42:101194. DOI: 10.1016/j.eclinm.2021.101194.
8. Atzeni I.M., van de Zande S.C., Westra J., Zwerver J., Smit A.J., Mulder D.J. The AGE Reader: A non-invasive method to assess long-term tissue damage. *Methods*. 2022;203:533–541. DOI: 10.1016/j.ymeth.2021.02.016.
9. Topakova A.A., Salmin V.V., Gar'kavenko V.V., Levchenko J.S., Lazarenko V.I. Development of optoelectronic hardware: program complex for the analysis of hypoxia in the anterior eye camera in persons wearing contact lenses. Proc. SPIE 9917, Saratov Fall Meeting 2015: Third International Symposium on Optics and Biophotonics and Seventh Finnish-Russian Photonics and Laser Symposium (PALS), 991715 (21 April 2016). DOI: 10.1117/12.2229816.
10. Januszewski A.S., Xu D., Cho Y.H., Benitez-Aguirre P.Z., O'Neal D.N., Craig M.E. et al. Skin autofluorescence in people with type 1 diabetes and people without diabetes: An eight-decade cross-sectional study with evidence of accelerated aging and associations with complications. *Diabet. Med.* 2021;38(7):e14432. DOI: 10.1111/dme.14432.
11. Cho Y.H., Craig M.E., Januszewski A.S., Benitez-Aguirre P., Hing S., Jenkins A.J. et al. Higher skin autofluorescence in young people with Type 1 diabetes and microvascular complications. *Diabet. Med.* 2017;34(4):543–550. DOI: 10.1111/dme.13280.
12. Podolakova K., Barak L., Jancova E., Stanik J., Sebekova K., Podracka L. The Bright side of skin autofluorescence determination in children and adolescents with newly diagnosed type 1 diabetes mellitus: a potential predictor of remission? *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19(19):11950. DOI: 10.3390/ijerph191911950.
13. Tuchina, D.K., Tuchin V.V. Optical and structural properties of biological tissues under diabetes mellitus. *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*. 2018;4(2):4–25. DOI: 10.18287/JBPE18.04.020201.
14. Heinemann, L., Schmelzeisen-Redeker G., Non-invasive task force (NITF). Non-invasive continuous glucose monitoring in Type I diabetic patients with optical glucose sensors. *Diabetologia*. 1998;41:848–854.
15. Solares I., Jericó D., Córdoba K.M., Morales-Conejo M., Ena J., Enríquez de Salamanca R. et al. Understanding carbohydrate metabolism and insulin resistance in acute intermittent porphyria. *Int. J. Mol. Sci.* 2022;24(1):51. DOI: 10.3390/ijms24010051.
16. Wolosowicz M., Lukaszuk B., Chabowski A. The causes of insulin resistance in type 1 diabetes mellitus: Is there a place for quaternary prevention? *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020;17(22):8651. DOI: 10.3390/ijerph17228651.

Вклад авторов

Проскурина М.В. – разработка концепции и дизайна исследования (сбор клиничко-лабораторных данных, измерение уровня аутофлуоресценции кожи, создание базы данных), обоснование рукописи или проверка критически важного интеллектуального содержания. Киселёва Н.Г. – разработка концепции и дизайна. Салмин В.В. – разработка концепции и дизайна, анализ и интерпретация данных, окончательное утверждение для публикации рукописи. Таранушенко Т.Е. – разработка концепции и дизайна, окончательное утверждение для публикации рукописи.

Информация об авторах

Проскурина Маргарита Викторовна – аспирант кафедры педиатрии ИПО, КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, prmargov@rambler.ru, [http:// orcid.org/0000-0002-7360-6121](http://orcid.org/0000-0002-7360-6121)

Киселёва Наталья Геннадьевна – канд. мед. наук, доцент кафедры педиатрии ИПО, КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, kinatta@rambler.ru, [http:// orcid.org/0000-0001-6425-5086](http://orcid.org/0000-0001-6425-5086)

Салмин Владимир Валерьевич – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры общей физики, МФТИ; профессор кафедры фундаментальных наук-4, МГТУ; профессор кафедры лазерных микро-нано и биотехнологий, НИЯУ МИФИ, г. Москва, vsalmin@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-4441-9025>

Таранушенко Татьяна Евгеньевна – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой педиатрии ИПО, КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, tetar@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2500-8001>

(✉) **Проскурина Маргарита Викторовна**, prmargov@rambler.ru

Поступила в редакцию 22.04.2024;
одобрена после рецензирования 17.10.2024;
принята к публикации 24.10.2024