

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-2551>
УДК 616.379-008.64-053.2/6:612.15:617.735-073.43

Контроль гликемии и ультразвуковые изменения ретробульбарного кровотока у детей и подростков с сахарным диабетом 1-го типа

Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Качанов Д.А., Кошмелева М.В.,
Трифонов Е.И., Зоркальцев М.А.

Сибирский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации (СибГМУ Минздрава России), 634050, Российская Федерация, Томск, Московский тракт, 2

Аннотация

Введение. Контроль гликемии считается первостепенной задачей в профилактике сосудистых осложнений при сахарном диабете (СД). Диабетическая ретинопатия (ДР) является часто встречаемым осложнением СД. Ультразвуковая диагностика позволяет безопасно оценивать изменения ретробульбарного кровотока при контроле гликемии у пациентов с СД 1-го типа в молодом возрасте.

Цель: оценить связь показателей гликемического контроля с гемодинамическими изменениями ретробульбарного кровотока у пациентов с СД 1-го типа в молодом возрасте.

Материал и методы. Исследование включало данные 161 ребенка в возрасте 7–17 лет с установленным диагнозом СД 1-го типа, уровнем гликозилированного гемоглобина более 7,5%. Всем пациентам было выполнено офтальмологическое ультразвуковое исследование (УЗИ). Контроль гликемии оценивался с использованием технологии флэш-мониторинга глюкозы (ФМГ).

Результаты. Исследование показало статистически значимое различие показателей контроля гликемии ($p < 0,05$) у пациентов со сниженным ретробульбарным кровотоком по сравнению с группой пациентов с неизменным кровотоком по ретробульбарным сосудам. Пациенты со сниженным ретробульбарным кровотоком характеризовались повышением процента гликемических событий выше и ниже целевого диапазона гликемии ($p = 0,000$), понижением процента гликемических событий в пределах целевого диапазона гликемии ($p = 0,000$). Была установлена корреляционная взаимозависимость ($p < 0,05$) изменений показателей контроля гликемии со снижением кровотока по ретробульбарным сосудам.

Выводы. Контроль вариабельности гликемии является важным инструментом профилактики сосудистых осложнений у пациентов с СД 1-го типа в молодом возрасте. Снижение количества эпизодов гипер- и гипогликемии способствует нормализации гемодинамики ретробульбарного кровотока и улучшает отдаленные прогнозы развития ДР. Ультразвуковая оценка гемодинамики ретробульбарных сосудов является перспективным диагностическим инструментом в детской практике мониторинга осложнений СД.

Ключевые слова:	сахарный диабет; диабетическая ретинопатия; показатели контроля гликемии; ретробульбарный кровоток; ультразвуковое исследование; дети; подростки.
Финансирование:	авторы заявляют об отсутствии финансирования.
Соответствие принципам этики:	исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, заключение № 9518 от 28.08.2023 г.
Для цитирования:	Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Качанов Д.А., Кошмелева М.В., Трифонов Е.И., Зоркальцев М.А. Контроль гликемии и ультразвуковые изменения ретробульбарного кровотока у детей и подростков с сахарным диабетом 1-го типа. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2025;40(3):85–93. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-2551

Glycemic control and ultrasound changes in retrobulbar blood flow in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus

Fomina S.V., Samoilova Iu.G., Kachanov D.A., Koshmeleva M.V.,
Trifonova E.I., Zorkaltsev M.A.

Siberian State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (SSMU), 2, Moskovsky tr., Tomsk, 634050, Russian Federation

Abstract

Introduction. Glycemic control is a primary goal in the prevention of vascular complications in diabetes mellitus. Diabetic retinopathy is a common complication of diabetes mellitus. Ultrasound diagnostics makes it possible to safely assess changes in retrobulbar blood flow during glycemic control in patients with type 1 diabetes mellitus at a young age.

Aim: To evaluate association between glycemic control parameters and hemodynamic changes in retrobulbar blood flow in patients with type 1 diabetes mellitus at a young age.

Material and Methods. The study included data from 161 children aged 7–17 years with type 1 diabetes mellitus and glycosylated hemoglobin level more than 7.5%. All patients underwent ophthalmic ultrasound examination. Glycemic control was assessed using flash glucose monitoring technology.

Results. The study showed a statistically significant difference in glycemic control ($p < 0.05$) in patients with reduced retrobulbar blood flow comparing with a group of patients with unchanged blood flow through the retrobulbar vessels. Patients with reduced retrobulbar blood flow were characterized by an increase in the percentage of glycemic events above and below the target glycemic range ($p = 0.000$) and a decrease in the percentage of glycemic events within the target glycemic range ($p = 0.000$). A correlation was established ($p < 0.05$) between changes in glycemic control indicators and a decrease in blood flow through the retrobulbar vessels.

Keywords:	diabetes mellitus; diabetic retinopathy; glycemic control indicators; retrobulbar blood flow; ultrasound; children; adolescents.
Funding:	the study was carried out without financial support from grants, public, non-profit, commercial organizations and structures.
Compliance with ethical standards:	the study was approved by the Ethics Committee of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, conclusion No. 9518 dated August 28, 2023.
For citation:	Fomina S.V., Samoilova Iu.G., Kachanov D.A., Koshmeleva M.V., Trifonova E.I., Zorkaltsev M.A. Glycemic control and ultrasound changes in retrobulbar blood flow in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus. <i>Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2025;40(3):85–93. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-2551

Введение

Сахарный диабет (СД) является хроническим заболеванием высокой социальной значимости, которое характеризуется прогрессирующим распространением в популяции. По данным федерального статистического наблюдения Российской Федерации, за последние 10 лет количество пациентов с данным заболеванием увеличилось на 43,9% [1]. Общее количество пациентов с СД, согласно данным реестров, в России к 2022 г. составило 5 168 896 человек (3,5% от населения страны), из них 5 112 668 взрослых (4,4% взрослого населения) [1]. Специалисты Эндокринологического научного центра утверждают, что реальные цифры по количеству пациентов с СД значительно превышают зарегистрированные случаи; более вероятно, что речь идет о 9 млн человек в Российской Федерации (6% от всего населения) [1]. Согласно эпидемиологическим данным, отмечен ежегодный прирост заболеваемости СД 1-го типа в детском возрасте на 4,9%

и относительная стабилизация, фиксируемая последние 3 года [2]. Всего к 2023 г. было выявлено 61 318 детей и подростков с СД 1-го типа [2]. В Томской области на 1 января 2023 г. зарегистрировано в реестрах 359 детей и подростков с СД 1-го типа [1].

Несмотря на современные подходы лечения СД, развитие диагностических методов, внедрение новых алгоритмов высокочувствительного мониторинга, активное привлечение цифровых технологий и искусственного интеллекта, вопрос прогностически неблагоприятного влияния хронической гипергликемии сохраняет свою важность и высокую актуальность. Именно хроническая гипергликемия является центральным пусковым звеном сосудистых изменений, приводящих к различным осложнениям органов и тканей. Осложнения СД являются ключевой причиной снижения качества жизни пациентов, в первую очередь пациентов детского и подросткового возраста [1–3]. Диабетическая ретинопатия (ДР) относится

к наиболее распространенным сосудистым осложнениям и занимает 2-е место по частоте встречаемости в Российской Федерации [3]. Гипергликемия занимает центральную позицию в патогенезе ее развития, приводя к развитию таких осложнений, как тракционная отслойка сетчатки, развитие диабетической ишемии, диабетического макулярного отека, гемофтальма, которые приводят к снижению зрения разной степени тяжести, вплоть до его полной потери [1]. К наиболее значимым факторам риска развития ДР относятся длительность СД, уровень гликемического контроля, гипергликемия, дислипидемия [4–6].

Профилактика осложнений СД является первостепенной задачей здравоохранения. Внедрение цифровых технологий неразрывно связано с развитием новых методов скрининга, диагностики и лечения. Одними из наиболее современных направлений являются сенсорные технологии мониторинга уровня глюкозы, включающие непрерывный мониторинг гликемии (НМГ), неинвазивный мониторинг, флеш-мониторинг глюкозы (ФМГ), сенсоры для имплантации [7]. Оценка вариабельности гликемии, по мнению многих ученых, является самым эффективным инструментом контроля СД [6, 8]. Непрерывный мониторинг гликемии (НМГ) с высокой точностью характеризует уровень глюкозы в течение суток. Он осуществляется путем вычисления таких стандартизированных показателей, как время нахождения в целевом диапазоне (ВЦД, %), время выше целевого диапазона (ВВД, %), время ниже целевого диапазона (ВНД, %). Данные параметры отражают закономерности, длительность и частоту изменений глюкозы, что имеет определяющее значение для корректировки инсулинотерапии, внесения изменений в физическую активность, образ жизни [8].

Оценка показателей гликемического контроля с помощью устройств ФМГ высокочувствительна и позволяет выявить связь с развитием сосудистых осложнений [6, 8]. В большом количестве исследований подтверждена связь высокой вариабельности гликемии с развитием ДР [9, 10]. Эпизоды гипер- и гипогликемии приводят к изменению проницаемости сосудистой стенки, развитию микрососудистых нарушений, активации процессов нейродегенерации, нарушению гематоретинального барьера, повреждению нейрососудистого аппарата, развитию ишемии ретинальных сосудов, включению пролиферативных изменений сетчатки с риском развития ее отслойки [11–13].

Своевременная диагностика ДР, согласно клиническим рекомендациям «Сахарный диабет 1-го типа у детей» (2022), предполагает ежегодные консультации и обследование у врача-офтальмолога детей с длительностью заболевания более 2 лет, а также детей старше 11 лет. Офтальмологическое обследование включает проведение визиометрии, биомикроскопии, офтальмоскопии, оптической когерентной томографии, флуоресцентной ангиографии глазного дна для оценки остроты зрения, глазного дна, ретинальных сосудов. Ультразвуковое исследование (УЗИ) в серошкальном режиме и режиме доплерографии используют для диагностики изменений передних, задних отделов глазного яблока и ретрокулярного пространства, включая оценку гемодинамики ретробульбарных сосудов, центральной артерии и вены

сетчатки, задних коротких цилиарных артерий, глазной артерии, верхней глазной вены (ВГВ) (рис. 1) ¹ [14].

Преимуществами использования УЗИ в офтальмологии являются безопасность, безболезненность и независимость получения высокоточного результата от прозрачности светопреломляющих сред (хрусталик, стекловидное тело) [15]. Результаты научных исследований указывают на выраженные изменения показателей кровотока по ретробульбарным сосудам у пациентов с СД. Большинство ученых сообщают о снижении скорости кровотока и повышении периферического сопротивления по центральной артерии сетчатки (ЦАС), задним коротким цилиарным артериям (ЗКЦА), глазной артерии (ГА) при развитии ДР [6, 13, 16, 17]. Определение закономерностей изменений гемодинамики ретробульбарного кровотока от вариабельности гликемии позволит лучше понять особенности васкуляризации сетчатки, что благоприятно отразится на мониторинге динамических изменений у пациентов с СД 1-го типа в молодом возрасте.

Цель: оценить связь показателей гликемического контроля с гемодинамическими изменениями ретробульбарного кровотока у пациентов с СД 1-го типа в молодом возрасте.

Материал и методы

Дизайн исследования

Исследование явилось одноцентровым, проспективным, когортным.

Критерии соответствия

Критерии включения пациентов в исследование:

1. Дети и подростки от 7 до 17 лет.
2. СД 1-го типа (диагноз впервые установлен не менее чем за 6 мес. до включения в исследование).
3. Уровень гликированного гемоглобина (HbA1c) $\geq 7,5\%$.
4. Подписанное информированное согласие, полученное от родителей пациента до проведения каких-либо процедур, связанных с исследованием.

5. Возможность принимать участие в процедурах исследования и следовать рекомендациям врача по диете, физической нагрузке и коррекции инсулинотерапии.

Критерии исключения пациентов из исследования:

1. СД не 1-го типа.
2. Пациенты, перенесшие в последние 4 нед. перед включением в исследование любое хирургическое вмешательство.

3. Наличие клинически значимых хронических, аллергических, острых заболеваний сердечно-сосудистой, нервной, мочеполовой систем, желудочно-кишечного тракта и заболеваний крови, которые, по мнению исследователя, могут повлиять на изучаемые параметры.

4. Наличие острых воспалительных заболеваний на момент включения в исследование и в последние 4 нед. перед включением в исследование.

5. Пациенты с активными заболеваниями печени, включая гепатиты, согласно данным анамнеза.

6. Пациенты с заболеваниями глаз (травма, воспалительный процесс) в анамнезе или имеющие установленный диагноз ретинопатии недиабетического характера (ретинопатия недоношенных).

¹ Ультразвуковое исследование в офтальмологии: Руководство для врачей / под ред. В.В. Нероева и Т.Н. Киселевой. 1-е изд. М: Издательство ИКАР, 2019:324.

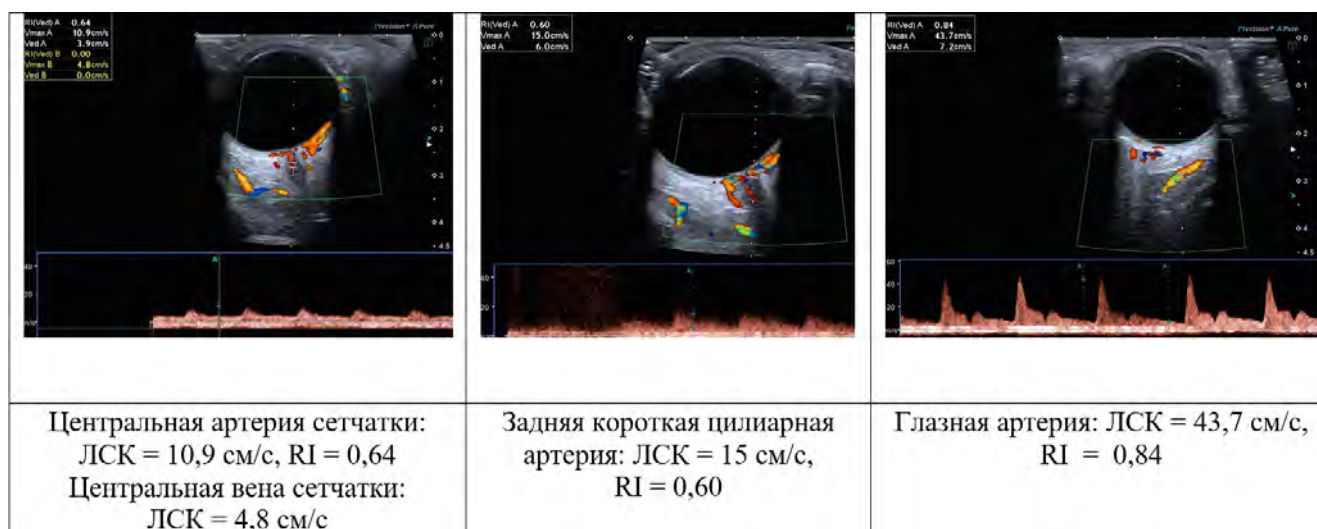


Рис. 1. Ультразвуковая доплерография ретробульбарных сосудов

Примечание: ЛСК – линейная скорость кровотока, RI – индекс периферического сопротивления.

Fig. 1. Ultrasound Dopplerography of retrobulbar vessels

Note: LBFV – linear blood flow velocity, RI – resistance index.

7. Больные с активной нефропатией, согласно данным анамнеза.

8. Лица с ВИЧ-инфекцией, по данным анамнеза.

9. Обследуемые со злокачественными новообразованиями (включая заболевания крови).

Исследование включало данные 161 ребенка (84 мальчика, 77 девочек) в возрасте от 7 до 17 лет с установленным диагнозом СД 1-го типа, с уровнем гликозилированного гемоглобина (HbA1c) более 7,5%. Исследование проведено с 2023 по 2024 гг. в клиниках Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России). Протокол исследования одобрен этическим комитетом ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России (заключение № 9518 от 28.08.2023 г.).

Все пациенты, включенные в исследование, наблюдались врачами-эндокринологами трехкратно в течение года (на момент включения в исследование / исходно – Визит 1, через 6 мес. – Визит 2, на момент завершения исследования – Визит 3). Проводилась оценка гликемических показателей, коррекция питания, инсулинотерапии и образа жизни детей. Гликемический контроль осуществлялся с помощью графических и числовых отчетов ФМГ на аппарате FreeStyle Libre, позволяющем проводить суточное мониторирование глюкозы. Основные показатели оценки: процент ВВД, процент ВЦД, процент ВНД. GMI – индикатор управления глюкозой.

Всем пациентам проведено УЗИ глазных яблок и орбит на аппарате Canon Aplio i 700 с помощью линейного датчика частотой 17 МГц, в горизонтальном положении пациента, через закрытое веко. Особое внимание при исследовании уделялось соблюдению рекомендации использования ультразвука в офтальмологии [15]. УЗИ включало использование нативного (серошкального) режима с оценкой структуры передних и задних отделов глазных яблок, зрительного нерва и режимов доплерографии (ЦДК, PW) с регистрацией гемодинамических показателей ретробульбарных сосудов. Исследования выполнялись одним врачом ультразвуковой диагностики, билатерально. Значения показателей гемодинамики и истинного повторяющегося значения регистрировались не менее 3 раз. Допплерография включала измерение линейной скорости кровотока, индекса периферического сопротивления (резистентности) по ГА, ЦАС, центральной вене сетчатки (ЦВС), ЗКЦА в соответствии с методикой измерения [13].

Измерение гемодинамических показателей вышеперечисленных ретробульбарных сосудов проводили в соответствии с руководством². ГА лоцировали в верхнемедиальном отделе орбиты как самую крупную артерию. Измерение скорости кровотока и периферического сопротивления осуществляли с коррекцией угла наклона 60 градусов относительно оси кровотока. Верхнюю глазную вену (ВГВ), крупный коллектор венозного оттока, регистрировали в верхнемедиальном отделе орбиты. Измерения скорости проводили с коррекцией угла наклона к оси кровотока, аналогично ГА. ЦАС визуализировали в структуре зрительного нерва вместе с ЦВС. Показатели доплерографии обоих сосудов измеряли строго на расстоянии 3–4 мм от вершины зрительного нерва одновременно при обязательной коррекции угла наклона относительно оси кровотока 60 градусов. ЗКЦА (медиальные, и латеральные) определяли по периметру зрительного нерва максимально близко к нему. Показатели гемодинамики измеряли без коррекции угла наклона, что соответствует анатомической особенности извитости сосудистого хода данных артерий.

Нативное исследование зрительного нерва выполняли в ретробульбарном пространстве на расстоянии 3 мм от его вершины, толщину измеряли с захватом оболочек. Результаты УЗИ заносили в интегральную ультразвуковую шкалу, сопоставляли с нормативными значениями, рассчитывали риск развития ишемии сетчатки [18] (табл. 1).

² Ультразвуковое исследование в офтальмологии: Руководство для врачей / под ред. В.В. Нероева и Т.Н. Киселевой. 1-е изд. М: Издательство ИКАР, 2019:324.

Таблица 1. Ультразвуковая интегральная шкала риска развития ишемии глазного дна у молодых пациентов с сахарным диабетом 1-го типа (Oph-RADS)

Table 1. Ultrasound integrated fundus ischemia risk scale in young patients with type 1 diabetes mellitus (Oph-RADS)

Показатели ретробульбарного кровотока зрительных нервов		Пороговые значения	Весовой коэффициент	
			Правый глаз	Левый глаз
ГА, см/с	Есть изменения	< 30 см/с	4	4
	Нет изменений	≥ 30 см/с	0	0
ГА, RI	Есть изменения	> 0,80	1	1
	Нет изменений	≤ 0,80	0	0
ЦАС, см/с	Есть изменения	< 10,3 см/с	2	2
	Нет изменений	≥ 10,3 см/с	0	0
ЗКЦА, см/с	Есть изменения	< 12 см/с	1	1
	Нет изменений	≥ 12 см/с	0	0
ЗКЦА, RI	Есть изменения	> 0,65	1	1
	Нет изменений	≤ 0,65	0	0
ЦВС, см/с	Есть изменения	< 4,5 см/с	1	1
	Нет изменений	≥ 4,5 см/с	0	0
Толщина зрительного нерва с оболочками, мм	Есть изменения	> 5 мм	1	1
	Нет изменений	≤ 5 мм	0	0
Сумма баллов Oph-RADS			Максимальное значение 22	

Примечание: ГА – глазная артерия, ЗКЦА – задние короткие цилиарные артерии, ЦАС – центральная артерия сетчатки, ЦВС – центральная вена сетчатки, RI – индекс резистентности.

Статистический анализ выполняли с помощью программного обеспечения STATISTICA, версия 13.3. Описание количественных показателей параметров контроля гликемии у пациентов с СД 1-го типа в группах со «Сниженным» и «Неизменным» кровотоком ретробульбарных артерий проводили с использованием непараметрических характеристик, медианы и квартилей (25; 75). При анализе учитывали длительность заболевания СД 1-го типа. Анализ различий количественных показателей параметров контроля гликемии в двух независимых группах выполняли с помощью непараметрического критерия Манна – Уитни. Для оценки взаимозависимостей показателей контроля гликемии со значениями интегральной ультразвуковой шкалы использовали корреляционный анализ Спирмена, вычисляли коэффициенты корреляции. Критический уровень значимости при проверке гипотезы о различиях составлял $p = 0,05$.

Результаты

На предшествующем этапе исследования было проведено сравнение и анализ изменений доплерографических показателей, линейной скорости кровотока и периферического сопротивления по ретробульбарным сосудам (ЦАС, ЦВС, ЗКЦА, ГА, ВГВ) у детей и подростков с СД 1-го типа и у контрольной группы здоровых участников исследования [15]. В результате сравнения были зарегистрированы изменения, включающие статистически значимое снижение скорости кровотока по сосудам малого калибра, ЦАС и ЗКЦА и повышение скорости кровотока по крупной ГА и ВГВ у пациентов с СД. В сравниваемых группах не выявлено устойчивых отличий в периферическом сопротивлении. Установленное снижение скорости кровотока в ЦАС и ЗКЦА свидетельствует о развитии ишемии внутреннего сегмента сетчатки, сосудистой оболочки и части зрительного нерва в ответ на хроническую

гипергликемию. Усиление кровотока по крупной глазной артерии и ВГВ, а также переменные изменения периферического сопротивления соответствуют высокой чувствительности сосудистой стенки к гликемии. Результаты предшествующего этапа согласуются с библиографическими данными об отрицательном влиянии гликемии на кровоснабжение глазных яблок [17].

Для анализа влияния показателей контроля гликемии на ретробульбарный кровоток детей и подростков с СД 1-го типа ($n = 161$) было выделено 2 подгруппы. Критерием отбора в подгруппы был выбран результат ультразвуковой интегральной шкалы. Данная шкала позволила комплексно характеризовать гемодинамические показатели кровотока ретробульбарных сосудов, изменения структуры зрительных нервов, оценить риски развития ишемии глазного дна. Подгруппа 1 («Сниженный кровоток», $n = 52$) включала пациентов со значениями ультразвуковой интегральной шкалы более 4, что свидетельствовало о признаках ишемии сетчатки. В подгруппу 2 («Неизменный кровоток», $n = 109$) входили пациенты со значениями шкалы, менее или равной 4, что соответствовало незначимым изменениям ретробульбарного кровотока.

Сравнение показателей контроля гликемии у пациентов с СД 1-го типа со «Сниженным» и «Неизменным» ретробульбарным кровотоком представлено в таблице 2.

При сравнении исследуемых групп установлено наличие значимых различий по показателям контроля гликемии на фоне отсутствия значимой разницы по GMI. Показатель «процент времени выше целевого диапазона глюкозы» (ВВД) характеризовался статистически значимым увеличением у пациентов группы «Сниженный кровоток», что соответствует преобладанию гипергликемии у данных пациентов. «Процент времени в пределах целевого диапазона глюкозы» (ВЦД) был статистически зна-

Таблица 2. Анализ показателей контроля гликемии у пациентов молодого возраста с сахарным диабетом 1-го типа в группах со «Сниженным кровотоком» и «Неизменным кровотоком» по ретробульбарным сосудам

Table 2. Analysis of glycemic control indicators in young patients with type 1 diabetes in the groups with "Reduced blood flow" and "Unchanged blood flow" in retinobulbar vessels

Показатели	«Сниженный кровоток» (n = 52)			«Неизменный кровоток» (n = 109)			p
	Медиана	Процентили		Медиана	Процентили		
		25	75		25	75	
GMI.1	8,20	7,30	9,00	8,00	7,20	8,50	0,149
ВВД.1	29,50	21,50	53,50	21,00	10,00	26,00	0,000
ВЦД.1	70,00	38,50	78,00	79,00	72,00	90,00	0,000
ВНД.1	1,50	0,00	4,00	0,00	0,00	1,00	0,000
GMI.2	8,00	7,15	8,65	7,70	7,20	8,20	0,409
ВВД.2	27,00	21,00	57,50	19,00	10,00	27,00	0,000
ВЦД.2	69,50	39,50	77,00	79,00	73,00	88,00	0,000
ВНД.2	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00	1,00	0,027
GMI.3	7,80	7,25	9,00	7,60	7,20	8,20	0,091
ВВД.3	29,50	20,50	59,50	17,00	9,00	23,00	0,000
ВЦД.3	68,50	37,50	79,00	82,00	75,00	89,00	0,000
ВНД.3	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	1,00	0,248

Примечание: ВВД – процент времени выше целевого диапазона глюкозы, ВЦД – процент времени в пределах целевого диапазона глюкозы, ВНД – процент времени ниже целевого диапазона глюкозы, GMI – индикатор управления глюкозой. 1 – исходный результат, 2 – промежуточный результат, 3 – заключительный результат.

чимо ниже у пациентов группы «Сниженный кровоток». «Процент времени ниже целевого диапазона глюкозы» (ВНД) имел более высокие значения у пациентов, входящих в группу «Сниженный кровоток», при двух измерениях (см. табл. 2).

Для определения сроков развития изменений гемодинамики ретробульбарных сосудов в ответ на изменения показателей контроля гликемии было проведено сравнение групп «Сниженный кровоток» и «Неизменный кровоток» по исследуемым показателям при разной длительности СД 1-го типа (см. рис. 1). Анализ выявил изменения показателей контроля гликемии в группах «Сниженный кровоток» и «Неизменный кровоток» ретробульбарных артерий уже в первые 5 лет заболевания. Наиболее выраженные изменения показатели гликемии имели при длительности СД 1-го типа более 10 лет (рис. 2).

Учитывая полученные результаты, было принято решение провести оценку взаимозависимости показателей контроля гликемии от значений интегральной ультразвуковой шкалы у пациентов с СД 1-го типа в молодом возрасте (табл. 3).

Корреляционный анализ показал наличие значимых связей изменений показателей контроля гликемии со значениями интегральной ультразвуковой шкалы кровотока ретробульбарных артерий. Повышение ВВД и ВНД увеличивает итоговое значение ультразвуковой шкалы, что соответствует нарастанию ишемии сетчатки. Повышение ВЦД снижает итоговое значение ультразвуковой шкалы и свидетельствует о нормализации ретробульбарного кровотока.

Нежелательные явления

Нежелательные явления в ходе исследования не возникали. Все пациенты прошли полный курс исследования, выбывших не было.

Обсуждение

Установленные более низкие скорости кровотока в ретробульбарных артериях малого калибра, ЦАС и ЗКЦА у пациентов с СД 1-го типа молодого возраста в сравнении с контрольной группой подтверждают общепризнанное

мнение о прямом влиянии уровня гликемии на развитие сосудистых осложнений [6–11, 13, 16, 17].

Полученные при сравнении групп «Сниженный кровоток» и «Неизменный кровоток» различия по показателям гликемического контроля при отсутствии различий по уровню индикатора управления глюкозой (GMI) свидетельствуют о ведущей роли эпизодов гипер- и гипогликемии в развитии гемодинамических изменений в ретробульбарных сосудах, а также о необходимости оценки вариабельности гликемии в патогенезе осложнений СД. Вариабельность показателей контроля гликемии усиливает патогенетические механизмы развития ДР, включающие накопление внеклеточного глутамата, развитие окислительного стресса, активацию нейронального апоптоза, развитие дисфункции глиальных клеток, приводящее к нарушению гематоретинального барьера с повреждением нейрососудистого аппарата сетчатки и поражением ретинальных капилляров, к развитию ишемии сетчатки [8, 12]. Данные литературы свидетельствуют о высокой чувствительности ультразвуковых доплерографических показателей сосудов орбиты к сосудистым и нейросенсорным изменениям сетчатки [12, 19]. Ученые многих исследовательских коллективов сообщают об изменениях кровотока в разных ретробульбарных сосудах как крупного, так и малого диаметра, зарегистрированных в ранние и более поздние фазы ДР, что подтверждает необходимость комплексной оценки сосудистых изменений при ДР. Кроме того, некоторые исследователи заявляют о более ранней регистрации снижения кровотока по ретробульбарным сосудам, чем о появлении признаков ишемии ретинальных сосудов глазного дна [9, 17].

Анализ изменения показателей контроля гликемии и ретробульбарного кровотока при разной длительности СД 1-го типа выявил их изменение в первые 5 лет заболевания. Наибольшая выраженность изменений отмечена при длительности заболевания более 10 лет, что свидетельствует о высокой чувствительности сосудов к вариабельности гликемии и отрицательном влиянии длительности СД 1-го типа. Данный вывод согласуется с мнением ученых о высоком влиянии вариабельности гликемии на развитие сосудистых осложнений независимо от значений гликированного гемоглобина [18].

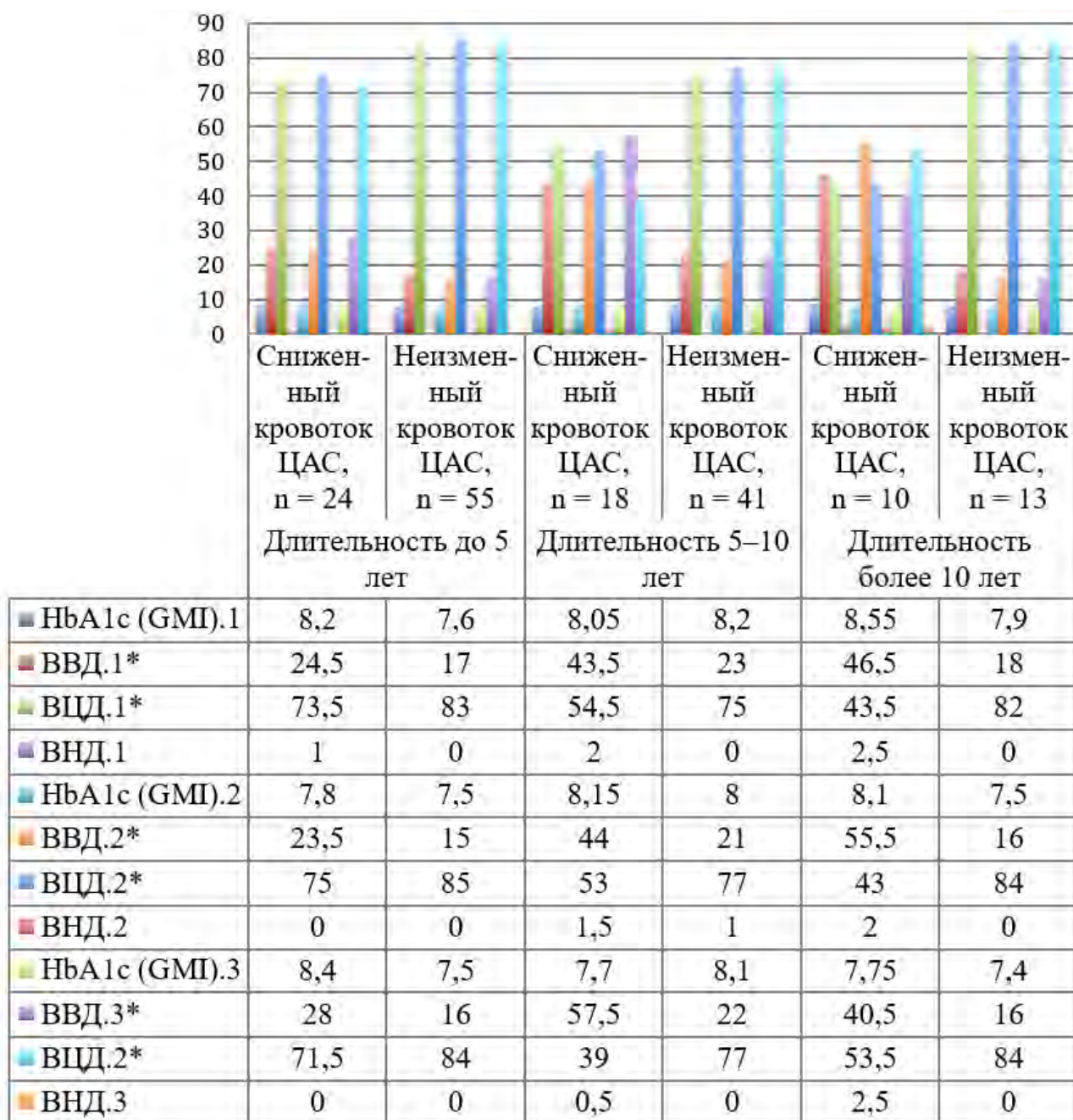


Рис. 2. Диаграмма изменений показателей контроля гликемии в группах «Сниженный кровоток» и «Неизменный кровоток» ретробульбарных артерий у детей и подростков при разной длительности сахарного диабета 1-го типа

Примечание: * – наличие статистически значимых отличий в сравниваемых группах ($p < 0,05$). ВВД – процент времени выше целевого диапазона глюкозы, ВЦД – процент времени в пределах целевого диапазона глюкозы, ВНД – процент времени ниже целевого диапазона глюкозы, GMI – индикатор управления глюкозой. 1 – исходный результат, 2 – промежуточный результат, 3 – заключительный результат.

Fig. 2. Diagram of changes in glycemic control indicators in the "Reduced blood flow" and "Unchanged blood flow" groups of retrobulbar arteries in children and adolescents with different durations of type 1 diabetes

Note: * – presence of statistically significant differences in the compared groups ($p < 0,05$). VVD – percentage of time above target glucose range, ICD – percentage of time within target glucose range, GNI – percentage of time below target glucose range, GMI – glucose management indicator. 1 – initial result, 2 – intermediate result, 3 – final result.

При оценке корреляционной взаимозависимости показателей контроля гликемии и интегральной ультразвуковой шкалы установлены устойчивые зависимости средней силы (коэффициент корреляции 0,3–0,4), что соответствует выраженному влиянию вариабельности гликемии на ретробульбарный кровоток в виде более высоких показателей процента ВВД и ВНД и более низких показателей процента ВЦД у пациентов с более высокими значениями интегральной ультразвуковой шкалы

(«Сниженный кровоток»), что соответствует повышению риска развития ишемии сетчатки при эпизодах гипер- и гипогликемии.

Более благоприятные значения показателей гликемического контроля у пациентов группы «Неизменный кровоток» при разной длительности СД 1-го типа свидетельствуют о высокой значимости контроля гликемии в профилактике развития сосудистых осложнений, включая ДР (см. табл. 2, рис. 2).

Таблица 3. Корреляционный анализ взаимозависимости показателей контроля гликемии и интегральной ультразвуковой шкалы ретробульбарного кровотока у детей и подростков с сахарным диабетом 1-го типа

Table 3. Correlation analysis of the interdependencies of glycemic control indicators and the integral ultrasound scale of retrobulbar blood flow in children and adolescents with type 1 diabetes

Показатели	Интегральная ультразвуковая шкала
HbA1c (GMI).1	0,019
ВВД.1	0,320*
ВЦД.1	-0,333*
ВНД.1	0,322*
HbA1c (GMI).2	0,050
ВВД.2	0,355*
ВЦД.2	-0,388*
ВНД.2	0,144
HbA1c (GMI).3	0,077
ВВД.3	0,403*
ВЦД.3	-0,408*
ВНД.3	0,188*

Примечание: * – наличие статистически значимых отличий в сравниваемых группах ($p < 0,05$). В таблице приведены коэффициенты корреляции. ВВД – процент времени выше целевого диапазона глюкозы, ВЦД – процент времени в пределах целевого диапазона глюкозы, ВНД – процент времени ниже целевого диапазона глюкозы, GMI – индикатор управления глюкозой. 1 – исходный результат, 2 – промежуточный результат, 3 – заключительный результат.

Заключение

Результаты исследования подтверждают связь надлежащего гликемического контроля с гемодинамическими параметрами ретробульбарного кровотока у пациентов с СД 1-го типа в молодом возрасте. Эпизоды гипер- и гипогликемии оказывают отрицательное влияние на кровоток ретробульбарных сосудов в детском и подростковом возрасте, повышают риски развития ДР. Контроль гликемии имеет первостепенное значение в профилактике развития ДР в разные сроки длительности СД 1-го типа. Повышение качества гликемического контроля значительно снижает риски развития сосудистых осложнений и улучшает отдаленный прогноз течения СД. УЗИ является надежным диагностическим инструментом оценки изменений ретробульбарного кровотока при СД 1-го типа в молодом возрасте. Метод применим как инструмент скрининга развития ишемии сетчатки, при выявлении снижения скорости кровотока в ЦАС.

Вторым практическим аспектом использования ультразвуковой доплерографии сосудов орбит является возможность мониторинга изменений кровотока глазных яблок при динамическом наблюдении пациентов с СД с вычислением значений интегральной ультразвуковой шкалы ретробульбарного кровотока. Безопасность, неинвазивность, отсутствие болезненных ощущений при исследовании глазных яблок и орбит создают предпосылки для применения ультразвука в клинической практике детского возраста.

Литература / References

1. Нероев В.В., Зайцева О.В., Михайлова Л.А. Распространенность диабетической ретинопатии в Российской Федерации, по данным федеральной статистики. *Российский офтальмологический журнал*. 2023;16(3):7–11. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-3-7-11>.
Neroev V.V., Zaitseva O.V., Mikhailova L.A. Prevalence of diabetic retinopathy in the Russian Federation, according to federal statistics. *Russian ophthalmological journal*. 2023;16(3):7–11. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-3-7-11>.
2. Лаптев Д.Н., Безлепкина О.Б., Шешко Е.Л., Александрова Г.А., Чумакова О.В., Крестовская Н.М. и др. Основные эпидемиологические показатели сахарного диабета 1-го типа у детей в Российской Федерации за 2014–2023 годы. *Проблемы эндокринологии*. 2024;70(5):76–83. <https://doi.org/10.14341/probl13515>.
Laptev D.N., Bezlepkina O.B., Sheshko E.L., Aleksandrova G.A., Chumakova O.V., Krestovskaya N.M. et al. Main epidemiological

- indicators of type 1 diabetes mellitus in children in the Russian Federation for 2014–2023. *Problems of endocrinology*. 2024;70(5):76–83. <https://doi.org/10.14341/probl13515>.
3. Демидова Т.Ю., Кожевников А.А. Диабетическая ретинопатия: история, современные подходы к ведению, перспективные взгляды на профилактику и лечение. *Сахарный диабет*. 2020;23(1):95–105. <https://doi.org/10.14341/DM10273>.
Demidova T.Yu., Kozhevnikov A.A. Diabetic retinopathy: history, modern approaches to management, promising views on prevention and treatment. *Diabetes mellitus*. 2020;23(1):95–105. <https://doi.org/10.14341/DM10273>.
4. Song P., Yu J., Chan K.Y., Theodoratou E., Rudan I. Prevalence, risk factors and burden of diabetic retinopathy in China: a systematic review and meta-analysis. *J. Glob. Health*. 2018;8(1):010803. <https://doi.org/10.7189/jogh.08.010803>.
5. Wang Q., Zeng N., Tang H., Yang X., Yao Q., Zhang L. et al. Diabetic retinopathy risk prediction in patients with type 2 diabetes mellitus using a nomogram model. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2022;13:993423. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.993423>.
6. Самойлова Ю.Г., Ротканк М.А., Жукова Н.Г., Матвеева М.В., Толмачев И.Б., Кудлай Д.А. Вариабельность гликемии у пациентов с сахарным диабетом 1-го типа: связь с когнитивной дисфункцией и данными магнитно-резонансных методов исследования. *Проблемы эндокринологии*. 2018;64(5):286–291. <https://doi.org/10.14341/probl9589>.
Samoilova Yu.G., Rotkank M.A., Zhukova N.G., Matveeva M.V., Tolmachev I.V., Kudlay D.A. Glycemia variability in patients with type 1 diabetes mellitus: relationship with cognitive dysfunction and magnetic resonance imaging data. *Problems of Endocrinology*. 2018;64(5):286–291. <https://doi.org/10.14341/probl9589>.
7. Климонтов В.В., Бериков В.Б., Сайк О.В., Корбут А.И., Семенова Ю.Ф., Кладов Д.Е. Цифровая диабетология / Под ред. проф. РАН В. В. Климонтова. Новосибирск: ИПЦ НГУ; 2022:260. ISBN 978-5-4437-1387-8.
Klimontov V.V., Berikov V.B., Sayk O.V., Korbut A.I., Semenova Yu.F., Kladov D.E.; prof. RAS Klimontov V.V. (ed.) Digital diabetesology. Novosibirsk: IPC NSU; 2022:260. ISBN 978-5-4437-1387-8.
8. Кошмелева М.В., Самойлова Ю.Г., Фомина С.В., Трифонова Е.И., Качанов Д.А., Юн В.Э. и др. Индексы вариабельности гликемии как основа построения прогностической модели развития диабетических осложнений. *Молекулярная медицина*. 2023;21(6):13–19. <https://doi.org/10.29296/24999490-2023-06-02>.
Koshmeleva M.V., Samoilova Yu.G., Fomina S.V., Trifonova E.I., Kachanov D.A., Yun V.E. et al. Glycemic variability indices as a basis for constructing a prognostic model for the development of diabetic complications. *Molecular medicine*. 2023;21(6):13–19. <https://doi.org/10.29296/24999490-2023-06-02>.
9. Pauk-Domańska M., Wilczewska A., Jaguś D., Kaczyński B., Jakubowski W. Doppler ultrasound-based evaluation of hemodynamic changes in the ophthalmic artery and central retinal artery in patients with type 1 diabetes mellitus without retinopathy and with mild non-

- proliferative retinopathy. *J. Ultrason.* 2024;24(96):20240009. <https://doi.org/10.15557/jou.2024.0009>.
10. Almutairi N.M., Alahmadi S., Alharbi M., Gotah S., Alharbi M. The association between HbA1c and other biomarkers with the prevalence and severity of diabetic retinopathy. *Cureus.* 2021;13(1):e12520. <https://doi.org/10.7759/cureus.12520>.
 11. Solomon S.D., Chew E., Duh E.J., Sobrin L., Sun J.K., VanderBeek B.L. et al. Diabetic retinopathy: a position statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care.* 2017;40(3):412–418. <https://doi.org/10.2337/dc16-2641>. [Erratum in: *Diabetes Care.* 2017;40(6):809. doi: 10.2337/dc17-er06e; *Diabetes Care.* 2017;40(9):1285. doi: 10.2337/dc17-er09].
 12. Сдобникова С.В., Кулыбшева В.С., Сидамонидзе А.Л. Состояние нейросенсорного аппарата глаза при сахарном диабете. *Вестник офтальмологии.* 2018;5(ч.2):263–269. <https://doi.org/10.17116/oftalma2018134051263>.
Sdobnikova S.V., Kulysheva V.S., Sidamonidze A.L. The state of the neurosensory apparatus of the eye in diabetes mellitus. *Bulletin of Ophthalmology.* 2018;5(part 2):263–269. <https://doi.org/10.17116/oftalma2018134051263>.
 13. Divya K., Kanagaraju V., Devanand B., Jeevamala C., Raghuram A., Sundar D. Evaluation of retrobulbar circulation in type 2 diabetic patients using color Doppler imaging. *Indian J. Ophthalmol.* 2020;68(6):1108–1114. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1398_19.
 14. Киселева Т.Н., Зайцев М.С., Рамазанова К.А., Луговкина К.В. Возможности цветового дуплексного сканирования в диагностике сосудистой патологии глаза. *Российский офтальмологический журнал.* 2018;11(3):84–94. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-3-84-94>.
Kiseleva T.N., Zaitsev M.S., Ramazanova K.A., Lugovkina K.V. Possibilities of color duplex scanning in the diagnosis of vascular pathology of the eye. *Russian ophthalmological journal.* 2018; 11 (3): 84–94. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-3-84-94>.
 15. Киселева Т.Н., Зайцев М.С., Луговкина К.В. Вопросы безопасности
 - диагностического ультразвука в офтальмологии. *Офтальмология.* 2018;15(4):447–454. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-4-447-454>.
 16. Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Кошмелева М.В., Завадовская В.Д., Трифонова Е.И., Качанов Д.А. и др. Вариативность ультразвуковых показателей ретробульбарного кровотока у детей с сахарным диабетом 1-го типа. *Медицинская визуализация.* 2024;28(3):117–126. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1426>.
Fomina S.V., Samoilova Yu.G., Koshmeleva M.V., Zavadvovskaya V.D., Trifonova E.I., Kachanov D.A. et al. Variability of ultrasound indicators of retrobulbar blood flow in children with type 1 diabetes mellitus. *Medical imaging.* 2024;28(3):117–126. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1426>.
 17. Peyser T.A., Balo A.K., Buckingham B.A., Hirsch I.B., Garcia A. Glycemic variability percentage: a novel method for assessing glycemic variability from continuous glucose monitor data. *Diabetes Technol. Ther.* 2018;20(1):6–16. <https://doi.org/10.1089/dia.2017.0187>.
 18. Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Завадовская В.Д., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И. и др. Интегральная ультразвуковая шкала оценки ретробульбарного кровотока при сахарном диабете 1-го типа в молодом возрасте. *Медицинская визуализация.* <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1498>.
Fomina S.V., Samoilova Yu.G., Zavadvovskaya V.D., Koshmeleva M.V., Kachanov D.A., Trifonova E.I. et al. Integral ultrasound scale for assessing retrobulbar blood flow in type 1 diabetes mellitus at a young age. *Medical imaging.* <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1498>.
 19. Ozates S., Derinkuyu B.E., Elgin U., Keskin M., Sahin N.M., Aycan Z. Early ophthalmic artery blood flow parameter changes in patients with type 1 diabetes mellitus. *Beyoglu Eye J.* 2020;5(1):17–21. <https://doi.org/10.14744/bej.2020.15238>.

Информация о вкладе авторов

Фомина С.В., Качанов Д.А. – написание статьи, сбор данных, анализ и интерпретация данных, оформление рукописи. Самойлова Ю.Г. – разработка концепции и дизайна публикации, проверка интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации. Кошмелева М.В., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А. – сбор данных, поиск литературы, проверка интеллектуального содержания.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах

Фомина Светлана Викторовна, канд. мед. наук, доцент, заведующий отделением ультразвуковой диагностики – врач ультразвуковой диагностики, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: stafom@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-7517-3393>.

Самойлова Юлия Геннадьевна, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой педиатрии с курсом эндокринологии, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: samoilova_y@inbox.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2667-4842>.

Качанов Дмитрий Андреевич, ассистент, кафедра педиатрии с курсом эндокринологии, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: doctorssmupf@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-6519-8906>.

Кошмелева Марина Владиславовна, канд. мед. наук, доцент, кафедра педиатрии с курсом эндокринологии, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: mybulavko@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8142-1226>.

Трифопова Екатерина Ивановна, ассистент, кафедра педиатрии с курсом эндокринологии, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: trifonova.18@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2825-5035>.

Зоркальцев Максим Александрович, д-р мед. наук, доцент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: zorkaltsev@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-0025-2147>.

Information on author contributions

Fomina S.V., Kachanov D.A. – article writing, data collection, analysis and interpretation, manuscript preparation. Samoilova Yu.G. – study concept and design, verification of intellectual content, final approval of the manuscript for publication. Koshmeleva M.V., Trifonova E.I., Zorkaltsev M.A. – data collection, literature search, intellectual content check.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Information about the authors

Svetlana V. Fomina, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Doctor of Ultrasound Diagnostics, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: stafom@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-7517-3393>.

Iuliia G. Samoilova, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Pediatrics with a course of Endocrinology, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: samoilova_y@inbox.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2667-4842>.

Dmitriy A. Kachanov, MD, Assistant, Department of Pediatrics with a course of Endocrinology, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: doctorssmupf@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-6519-8906>.

Marina V. Koshmeleva, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Pediatrics with a Course of Endocrinology, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: mybulavko@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8142-1226>.

Ekaterina I. Trifonova, MD, Assistant, Department of Pediatrics with a course of Endocrinology, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: trifonova.18@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2825-5035>.

Maxim A. Zorkaltsev, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: zorkaltsev@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-0025-2147>.

Received 22.01.2024;
review received 25.03.2025;
accepted for publication 11.04.2025.

Поступила 22.01.2024;
рецензия получена 25.03.2025;
принята к публикации 11.04.2025.