

Особенности микроциркуляции в тканях пародонта у детей ключевых возрастных групп, страдающих сахарным диабетом 1-го типа. Часть II*

* Продолжение. Начало в Пародонтология.2019;24(1):4

Давыдов Б.Н.¹, д.м.н., профессор, член-корр. РАН, засл. деятель науки РФ

Доменюк Д.А.², д.м.н., доцент

Дмитриенко С.В.³, д.м.н., профессор, зав. кафедрой

¹Кафедра детской стоматологии и ортодонтии с курсом детской стоматологии
Факультет получения дополнительного образования Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Тверской государственный медицинский университет», Тверь, Россия

²Кафедра стоматологии общей практики и детской стоматологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ставропольский государственный медицинский университет», Ставрополь, Россия

³Кафедра стоматологии
Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Волгоградский государственный медицинский университет», Пятигорск, Россия

Резюме

Актуальность. Установленные при сахарном диабете 1-го типа морфофункциональные изменения в периферическом кровообращении коррелируют со сдвигами в центральной гемодинамике, позволяя применять показатели микроциркуляции в качестве диагностических и прогностических критериев для оценки степени функциональных сосудистых расстройств. Выявление особенностей микроциркуляции крови методом лазерной доплеровской флоуметрии у детей с различным стажем СД 1-го типа в ключевых возрастных категориях.

Материал и методы. В исследование включены 67 детей с сахарным диабетом 1-го типа в возрасте 12-15 лет со стажем заболевания от шести месяцев до десяти лет. Группу сравнения составили 38 здоровых детей. Оценка состояния микроциркуляторного русла проведена методом лазерной доплеровской флоуметрии с использованием лазерного анализатора капиллярного кровотока ЛАКК-ОП.

Результаты. У детей со стажем СД 1-го типа менее двух лет нарушения микроциркуляции в тканях пародонта соответствуют гиперемической форме, сопровождающейся повышением перфузии, снижением амплитуды низкочастотных колебаний, усилением сердечного ритма, высоким кровенаполнением, шунтированием кровотока. Для детей со стажем эндокринопатии более трех лет расстройства микроциркуляции соответствуют застойной форме, сочетающейся с понижением перфузии за счет застоя крови в веноулярном звене, доминированием эндотелиальных при подавлении нейрогенных и сердечных колебаний, низкой эффективностью и перераспределением кровотока в пользу нутритивного звена.

Заключение. С увеличением стажа, степени компенсации СД 1-го типа, прогрессирования диабетических микроангиопатий, целесообразно обозначить две стадии развития микроциркуляторных расстройств. Ранняя – компенсационная с активной адаптацией, включающая нейрогенные и эндотелиальные механизмы регуляции. Поздняя – декомпенсационная с пассивной адаптацией, поддерживающая эффективность микрокровоотока за счет миогенного контроля регуляции, шунтирования и увеличения скорости оттока крови.

Ключевые слова: лазерная доплеровская флоуметрия, микроциркуляторные расстройства, сахарный диабет 1-го типа, пародонт, микроангиопатия, дети, подростки.

Для цитирования: Давыдов Б.Н., Доменюк Д.А., Дмитриенко С.В. Особенности микроциркуляции в тканях пародонта у детей ключевых возрастных групп, страдающих сахарным диабетом 1-го типа. Пародонтология.2019;24(2):108-119. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2019-24-2-108-119>.

Peculiarities of microcirculation in periodont tissues in children of key age groups sufficient type 1 diabetes. Part II*

*Continuation. The beginning you can see in Parodontologiya.2019;24(1):4

B.N. Davydov¹, DMS, PhD, MD

D.A. Domenyuk², PhD, MD

S.V. Dmitrienko³, PhD, MD

¹Department of child dentistry and orthodontics with course in child dentistry
Tver State Medical University, Tver, Russia

²Department of general practice dentistry and child dentistry
Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia

³Department of Dentistry
Pyatigorsk Medical-Pharmaceutical Institute Branch of Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russia

Abstract

Relevance. Morpho-functional changes in peripheral circulation established in type 1 diabetes mellitus correlate with changes in central hemodynamics, allowing the use of microcirculation indicators as diagnostic and prognostic criteria for assessing the degree of functional vascular disorders. Identification of microcirculation features of the blood by the method of laser Doppler flowmetry in children with different experience of type 1 diabetes in key age categories.

Materials and methods. The study included 67 children with type 1 diabetes mellitus aged 12-15 years with an experience of the disease from six months to ten years. The comparison group consisted of 38 healthy children. The state of the microvasculature was assessed by laser Doppler flowmetry using a laser analyzer for capillary blood flow LAKK-OP.

Results. In children with an experience of type 1 diabetes of less than two years, microcirculation disorders in periodontal tissues correspond to the hyperemic form, accompanied by increased perfusion, a decrease in the amplitude of low-frequency oscillations, increased heart rate, high blood filling, and blood flow bypass. For children with an endocrinopathy experience of more than three years, microcirculation disorders correspond to a stagnant form, combined with a decrease in perfusion due to stagnation of blood in the venular link, endothelial domination with suppression of neurogenic and cardiac fluctuations, low efficiency and redistribution of blood flow in favor of the nutritive link.

Conclusions. With the increase in experience, the degree of compensation of type 1 diabetes, the progression of diabetic microangiopathy, it is advisable to designate two stages of development of microcirculatory disorders. Early – compensatory with active adaptation, including neurogenic and endothelial regulation mechanisms. Late – decompensation with passive adaptation, supporting the effectiveness of microcirculation due to myogenic control of regulation, shunting and increasing the rate of blood outflow.

Key words: laser Doppler flowmetry, microcirculatory disorders, type 1 diabetes, periodontal, microangiopathy, children, adolescents.

For citation: B.N. Davydov, D.A. Domenyuk, S.V. Dmitrienko. Peculiarities of microcirculation in periodontal tissues in children of key age groups sufficient type 1 diabetes. *Parodontologiya*.2019;24(2):108-119. (in Russ.) <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2019-24-2-108-119>.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Структура осложнений СД 1 типа у детей исследуемых групп представлена на рисунке 5.

При анализе осложнений СД 1 типа у детей со стажем заболевания до двух лет (усредненные показатели гликемии – $9,8 \pm 0,9$ ммоль/л; уровень HbA1c – $8,9 \pm 1,1\%$; доза инсулина – $0,5-0,8$ ЕД/кг/сут.) у одного ребенка (3,1%) выявлена диабетическая нефропатия в стадии микроальбуминурии, у двух детей (6,2%) – диабетическая ретинопатия (рис. 5а). В группе детей с длительностью эндокринопатии от трех до десяти лет (усредненные показатели гликемии – $13,8 \pm 1,3$ ммоль/л; уровень HbA1c – $10,7 \pm 2,4\%$; доза инсулина – $0,8-1,2$ ЕД/кг/сут.) у 16 (45,7%) пациентов отмечалась диабетическая нейропатия, у 9 (25,8%) детей – диабетическая нефропатия в стадии микроальбуминурии ($30-300$ мг/л), у 8 (22,9%) пациентов – диабетическая ретинопатия, а диабетическая хайропатия (ограничение подвижности суставов) зарегистрирована у 1 (2,8%) ребенка и синдром Мориака (увеличение печени, отставание в половом и физическом развитии) выявлен также у 1 (2,8%) ребенка (рис. 5б). Сочетанные осложнения во 2-й группе исследований диагностированы у 15 детей (42,8%).

Параметры микроциркуляции тканей пародонта и пальцевой показатель у детей I, II групп здоровья, представлены в таблице 1 и на рисунке 6.

Параметры микроциркуляции тканей пародонта и пальцевой показатель у детей с различным стажем СД 1 типа представлены в таблице 2 и на рисунке 7.

Анализ результатов свидетельствует, что у детей с различным стажем СД 1-го типа отмечается разнонаправленная динамика изменения параметров микроциркуляции по отношению к здоровым детям. Так, у детей со стажем заболевания до двух лет зафиксировано увеличение **ПМ** (**АД** – на $8,1 \pm 0,3\%$, **МД** – на $7,5 \pm 0,6\%$, **ПП** – на $6,6 \pm 0,4\%$), **σ** (**АД** – на $12,0 \pm 0,9\%$, **МД** – на $12,4 \pm 0,5\%$, **ПП** – на $7,2 \pm 0,3\%$) при уменьшении **Кv** (**АД** – на $11,8 \pm 0,6\%$, **МД** – на $2,6 \pm 0,2\%$, **ПП** – на $12,5 \pm 0,8\%$). Статистически недостоверный прирост **ПМ** указывает на незначительное усиление кровоснабжения в пародонте у детей 1-й группы, причем более активная микроциркуляция отмечается в альвеолярной, в сравнении с маргинальной частью десны. Повышение **σ** (временной изменчивости перфузии, определяющей среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах) у детей со стажем СД 1 типа менее двух лет обусловлено, с одной стороны, повышением дыхательных, сердечных ритмов, с другой – усилением функционирования активных

механизмов контроля микроциркуляции. Снижение Kv у детей 1-й группы, отражающего общую зависимость тканевого кровотока от модуляции кровотока, указывает на уменьшение вазомоторной активности, ослабление эндотелиальной секреции, а также миогенного и нейрогенного механизмов контроля в сравнении со здоровыми детьми, как в маргинальной, так и в альвеолярной части десны. У детей со стажем СД 1-го типа от трех до десяти лет, относительно детей I, II групп здоровья, регистрируется снижение PM (AD – на $16,1 \pm 1,1\%$, MD – на $11,5 \pm 0,7\%$, PP – на $16,6 \pm 0,9\%$), σ (AD – на $0,2 \pm 0,1\%$, MD – на $0,2 \pm 0,1\%$, PP – на $10,1 \pm 0,6\%$), Kv (AD – на $7,2 \pm 0,5\%$, MD – на $1,3 \pm 0,3\%$, PP – на $5,1 \pm 0,4\%$). Статистически значимое снижение PM у детей 2-й группы свидетельствует о нарушениях гемомикроциркуляции в тканях пародонта. Снижение перфузии связано с повышением артериолярного сосудистого тонуса, снижением объема циркулирующей крови в артериолах при увеличении объема крови в веноулярном звене. Реактивные изменения базального кровотока в пародонте у детей со стажем СД 1-го типа более трех лет, из-за образования конечных продуктов гликозилирования, сопровождаются уменьшением скорости локального кровотока (движения эритроцитов), сокращением численности функционирующих капилляров, понижением объемной фракции красных

клеток в цельной крови, снижением вазомоторной активности сосудов.

С целью анализа нейромикрососудистых связей проведено измерение нейрозависимых показателей при функциональных нагрузках, активирующих симпатико-адреналовую систему. Показатели микроциркуляции тканей пародонта и пальцевой показатель у детей I, II групп здоровья при проведении функциональных проб представлены в таблице 3 и на рисунке 8.

Показатели микроциркуляции тканей пародонта и пальцевой показатель у детей с различным стажем СД 1 типа при проведении функциональных проб представлены в таблице 4 и на рисунке 9.

При функциональных нагрузках величина PM , характеризующая общий микрососудистый кровоток, имеет наибольшие показатели у детей со стажем СД 1 типа до двух лет. Уровень перфузии эритроцитов у детей 1-й группы в маргинальной десне при проведении дыхательной пробы превышает аналогичный показатель здоровых детей на $11,3 \pm 0,8\%$ и детей 2-й группы – на $44,0 \pm 2,7\%$; холодовой пробы – на $10,1 \pm 0,7\%$ и $44,9 \pm 3,6\%$ соответственно; пальцевого показателя – на $13,8 \pm 0,9\%$ и $48,4 \pm 3,1\%$ соответственно. Наибольшая величина Kv отмечена у детей 2-й группы, которая при выполнении дыхательной пробы

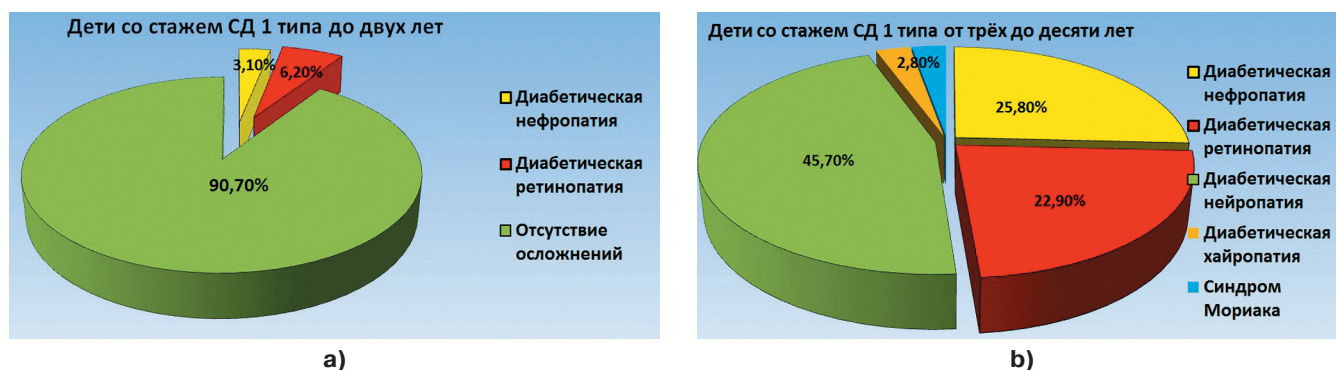


Рис. 5. Структура осложнений СД 1 типа у детей со стажем заболевания до двух (а) и от трех до десяти (б) лет

Fig. 5. The structure of the complications of type 1 diabetes in children with experience of the disease up to two (a) and from three to ten (b) years

Таблица 1. Параметры микроциркуляции у детей I, II групп здоровья ($M \pm m$; $p \leq 0,05$)

Показатели	Альвеолярная десна	Маргинальная десна	Пальцевой показатель
PM , (пф. ед.)	$13,19 \pm 1,87$	$11,28 \pm 1,46$	$8,83 \pm 1,17$
σ , (пф. ед.)	$1,08 \pm 0,13$	$0,97 \pm 0,09$	$0,69 \pm 0,07$
Kv , (%)	$7,91 \pm 1,26$	$6,81 \pm 2,18$	$7,58 \pm 1,04$

Table 1. Microcirculation parameters in children of I, II health groups ($M \pm m$; $p \leq 0.05$)

Indicators	Alveolar gum	Marginal gum	Finger figure
MI , (pf. un.)	13.19 ± 1.87	11.28 ± 1.46	8.83 ± 1.17
σ , (pf. un.)	1.08 ± 0.13	0.97 ± 0.09	0.69 ± 0.07
Kv , (%)	7.91 ± 1.26	6.81 ± 2.18	7.58 ± 1.04

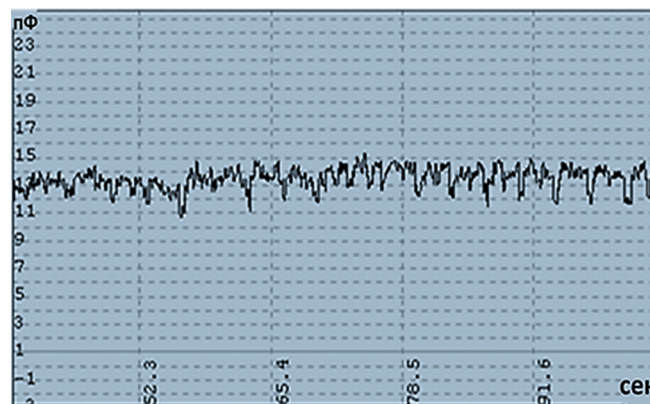


Рис. 6. ЛДФ-грамма тканей пародонта здорового ребенка

Fig. 6. LDF gram of periodontal tissue of a healthy child

выше аналогичного показателя детей 1-й группы на $45,6 \pm 2,6\%$ и здоровых детей на $58,0 \pm 3,4\%$; холодовой пробы – на $43,9 \pm 2,4\%$ и $91,4 \pm 4,1\%$ соответственно; пальцевого показателя – на $71,5 \pm 3,9\%$ и $85,2 \pm 3,6\%$ соответственно.

Величина снижения кровотока при активации адренергических волокон (нагрузочные тесты) отражает суммарный эффект процессов со стороны реактивности сосудистой стенки и симпатической иннервации. Оптимальная сосудистая реакция у здоровых детей на функциональные нагрузки обеспечивается рефлекторной регуляцией тонуса периферических сосудов (спазм приносящих артериол, прекапиллярных сфинктеров, сброс крови через артериоловенозные анастомозы), который препятствует замедлению (прекращению) кровотока в микроциркуляторном русле. Фиксируемая слабая реакция микроциркуляторного кровотока на задержку дыхания у детей со стажем СД 1-го типа от трех до десяти лет связана с венозным застоем при включении вено-артериолярных механизмов, исходном спазме (уменьшении просвета) приносящих микрососудов за счет их сужения и облитерации, а также снижения симпатических нейрогенных влияний (периваскулярной иннервации). По нашему мнению, для сосудистой системы тканей пародонтального комплекса у детей с длительным стажем СД 1-го типа, ввиду изменения качественных, количественных показателей капиллярного кровотока, характерен низкий резерв физиологических возможностей. В связи с этим целесообразность

проведения мероприятий, направленных на нормализацию микроциркуляции в тканях пародонта, очевидна.

Вследствие того что расчетные значения капиллярного кровотока ($ПМ$, σ , Kv) не обладают высокой информативностью в оценке состояния микроциркуляции тканей пародонта, нами проведена обработка ЛДФ-грамм базального кровотока с целью изучения структуры ритмов колебаний ангиоперфузии. Анализ функционирования механизмов

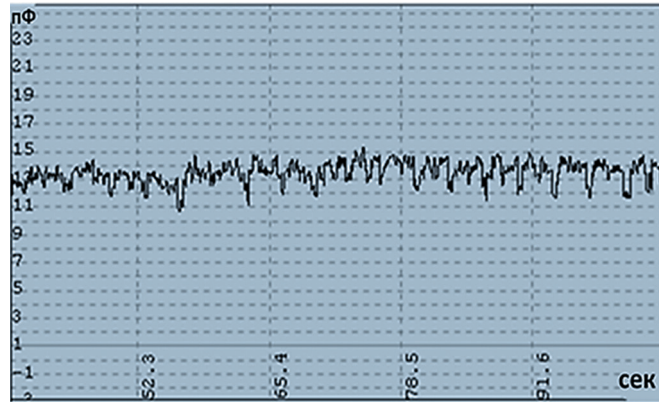


Рис. 7. ЛДФ-грамма тканей пародонта ребенка со стажем СД 1-го типа один год

Fig. 7. LDF-gram of periodontal tissues of a child with DM experience of the first type for one year

Таблица 2. Параметры микроциркуляции у детей с различным стажем СД 1-го типа ($M \pm m$)

Показатели	Группы исследований					
	Первая группа, n = 35			Вторая группа, n = 38		
	Альвеолярная десна	Маргинальная десна	Пальцевой показатель	Альвеолярная десна	Маргинальная десна	Пальцевой показатель
$ПМ$, (пф. ед.)	$14,26 \pm 2,04^*$	$12,13 \pm 1,37^*$	$9,41 \pm 1,53^*$	$11,07 \pm 1,52^*$	$9,98 \pm 1,14^*$	$7,36 \pm 0,85^*$
σ , (пф. ед.)	$1,21 \pm 0,17^*$	$1,09 \pm 0,14^*$	$0,74 \pm 0,08^*$	$1,06 \pm 0,09^*$	$0,95 \pm 0,06^*$	$0,62 \pm 0,09^*$
Kv , (%)	$6,98 \pm 2,31^*$	$6,29 \pm 2,72^*$	$6,63 \pm 1,86^*$	$7,74 \pm 1,98^*$	$6,72 \pm 2,81^*$	$7,19 \pm 1,32^*$

* $p \leq 0,05$ статистически достоверно в сравнении с показателями пациентов группы сравнения (Т-критерий Вилкоксона)

Table 2. Microcirculation parameters in children with different experience of DM of the first type ($M \pm m$)

Indicators	Research groups					
	First group, n = 35			Second group, n = 38		
	Alveolar gum	Marginal gum	Finger figure	Alveolar gum	Marginal gum	Finger figure
MI , (pf. un.)	$14.26 \pm 2.04^*$	$12.13 \pm 1.37^*$	$9.41 \pm 1.53^*$	$11.07 \pm 1.52^*$	$9.98 \pm 1.14^*$	$7.36 \pm 0.85^*$
σ , (pf. un.)	$1.21 \pm 0.17^*$	$1.09 \pm 0.14^*$	$0.74 \pm 0.08^*$	$1.06 \pm 0.09^*$	$0.95 \pm 0.06^*$	$0.62 \pm 0.09^*$
Kv , (%)	$6.98 \pm 2.31^*$	$6.29 \pm 2.72^*$	$6.63 \pm 1.86^*$	$7.74 \pm 1.98^*$	$6.72 \pm 2.81^*$	$7.19 \pm 1.32^*$

* $p \leq 0.05$ statistically significantly compared with the patients in the comparison group (Wilcoxon T-test)

Таблица 3. Параметры микроциркуляции у детей I, II групп здоровья при проведении функциональных проб ($M \pm m$; $p \leq 0,05$)

Показатели	Дыхательная проба	Холодовая проба	Пальцевой показатель
Усредненный $ПМ$, (пф. ед.)	$9,63 \pm 1,04$	$9,71 \pm 0,96$	$7,19 \pm 1,18$
Kv , (%)	$8,41 \pm 1,17$	$7,35 \pm 1,09$	$5,27 \pm 1,36$

Table 3. Microcirculation parameters in children of I, II health groups when performing functional tests ($M \pm m$; $p \leq 0.05$)

Indicators	Respiratory test	Cold test	Finger figure
Average MI , (pf. un.)	9.63 ± 1.04	9.71 ± 0.96	7.19 ± 1.18
Kv , (%)	8.41 ± 1.17	7.35 ± 1.09	5.27 ± 1.36

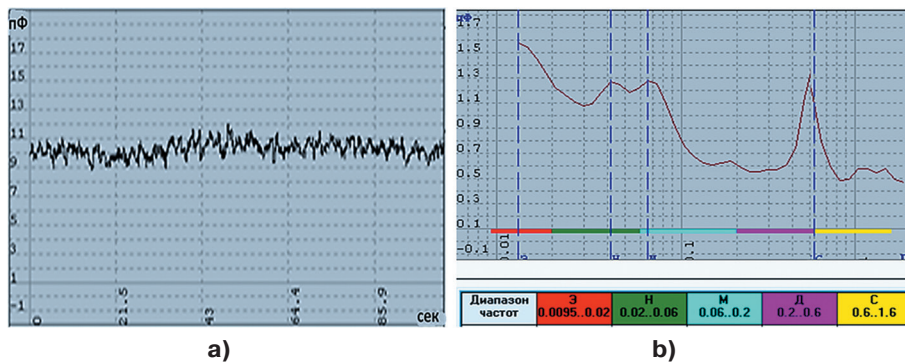


Рис. 8. ЛДФ-грамма (а) и Вейвлет-анализ дыхательной пробы (b) здорового ребенка

Fig. 8. LDF gram (a) and Wavelet analysis of a breathing test (b) of a healthy child

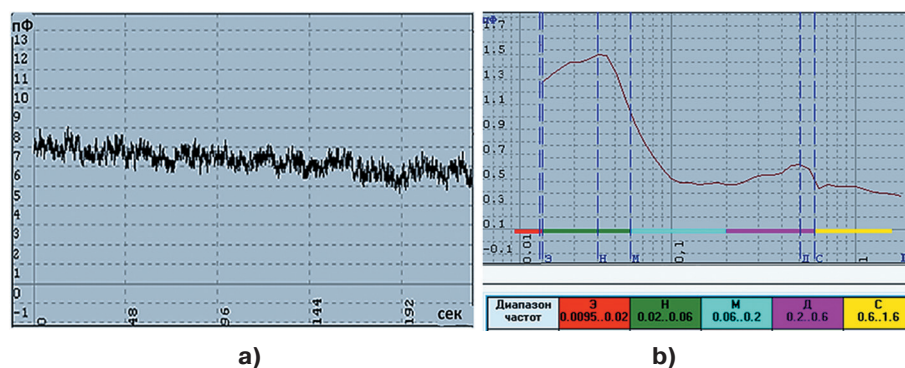


Рис. 9. ЛДФ-грамма (а) и Вейвлет-анализ дыхательной пробы (b) ребенка со стажем СД 1 типа шесть лет

Fig. 9. Fig. 9. LDF-gram (a) and Wavelet analysis of the respiratory test (b) of a child with DM experience of the first type for six years

контроля перфузии микроциркуляторного русла пародонта проведен методом Вейвлет-преобразования по параметрам амплитуд колебаний микрокровотока в определенных частотных диапазонах. Амплитудно-частотный спектр колебаний кровотока в микроциркуляторном русле тканей пародонта у детей I, II групп здоровья представлен в таблице 5.

Для исключения нестандартных условий проведения ЛДФ, оценки нормированных параметров ритмов колебаний кровотока у здоровых детей проводили с помощью установления $A_{max}/3\sigma$ – вклада амплитуды колебаний относительно средней модуляции кровотока. Выполненный с помощью Вейвлет-преобразования амплитудно-частотный спектр у детей группы сравнения свидетельствует, что колебания активных факторов, непосредственно воздействующих на систему микроциркуляции (VLF – 20%; LFH – 26%; LFM – 23%), преобладают над пассивными (HF – 16%; CF – 15%) (рис. 10).

Динамика изменения амплитудно-частотного спектра колебаний кровотока в микроциркуляторном русле тканей пародонта у детей с различным стажем СД 1 типа представлена в таблице 6 и на рисунках 11, 12.

Таблица 4. Параметры микроциркуляции при проведении функциональных проб у детей с различным стажем СД 1-го типа ($M \pm m$)

Показатели	Группы исследований					
	Первая группа, n = 35			Вторая группа, n = 38		
	Дыхательная проба	Холодовая проба	Пальцевой показатель	Дыхательная проба	Холодовая проба	Пальцевой показатель
Усредненный PM (пф. ед.)	10,86 $\pm$ 1,34*	10,69 $\pm$ 1,07*	8,18 $\pm$ 0,86*	7,54 $\pm$ 0,71*	7,38 $\pm$ 0,58*	5,51 $\pm$ 0,79*
Kv , (%)	9,13 $\pm$ 1,06*	9,78 $\pm$ 0,88*	5,69 $\pm$ 0,54*	13,29 $\pm$ 2,06*	14,07 $\pm$ 1,66*	9,76 $\pm$ 2,21*

* $p \leq 0,05$ статистически достоверно в сравнении с показателями пациентов группы сравнения (Т-критерий Вилкоксона)

Table 4. Microcirculation parameters during functional tests in children with different experience of type 1 diabetes ($M \pm m$)

Indicators	Research groups					
	First group, n = 35			Second group, n = 38		
	Respiratory test	Cold test	Finger figure	Respiratory test	Cold test	Finger figure
Average MI , (pf. un.)	10.86 $\pm$ 1.34*	10.69 $\pm$ 1.07*	8.18 $\pm$ 0.86*	7.54 $\pm$ 0.71*	7.38 $\pm$ 0.58*	5.51 $\pm$ 0.79*
Kv , (%)	9.13 $\pm$ 1.06*	9.78 $\pm$ 0.88*	5.69 $\pm$ 0.54*	13.29 $\pm$ 2.06*	14.07 $\pm$ 1.66*	9.76 $\pm$ 2.21*

* $p \leq 0.05$ statistically significantly compared with the patients in the comparison group (Wilcoxon T-test)

В результате исследования структуры активных (эндотелиальный, миогенный, нейрогенный) и пассивных (дыхательный, сердечный) факторов контроля регуляции просвета и тонуса сосудов микроциркуляторного русла у здоровых детей и детей с СД 1-го типа выявлены значительные различия. В сравнении с показателями амплитудно-частотного спектра детей I, II групп здоровья, где регулирование микроциркуляции сбалансированно реализуется всеми активными компонентами, у детей с СД 1-го типа среди активных факторов, непосредственно воздействующих на сосуды микроциркуляторного русла, преобладают эндотелиальные и нейрогенные механизмы.

У детей со стажем СД 1-го типа до двух лет, в сравнении со здоровыми детьми, установлено снижение амплитуды **VLF**-колебаний на $10,4 \pm 0,9\%$; **LFH**-колебаний – на $3,9 \pm 0,5\%$; **LFM**-колебаний – на $24,4 \pm 1,8\%$; **HF**-колебаний – на $24,4 \pm 1,8\%$. Амплитуда **CF**-колебаний у детей 1-й группы не имела статистически достоверных отличий от аналогичной группы сравнения. Тонус-формирующие (активные) факторы регуляции осуществляют модуляцию потока крови со стороны сосудистой стенки через реализацию мышечной составляющей. Воздействие активных компонентов на сосуды микроциркуляторного русла формирует поперечные колебания кровотока за счет циклического изменения сопротивления сосудов потоку крови посредством вазомоций. Вазомоции реализуются за счет низкочастотных симпатических адренергических влияний на миоциты артериол и артериоловеноулярных анастомозов (нейрогенный ритм), спонтанных синхронизированных осцилляций гладкомышечных прекапиллярных вазомоторов (миогенный ритм), а также эндотелий-зависимой регуляции (эндотелиальный ритм). Эндотелиальные колебания, являющиеся более медленными в сравнении с нейрогенными и миогенными, обусловлены работой микроваскулярного эндотелия за счет секреции изменяющихся концентраций вазодилатора оксида азота. К пассивным факторам регуляции относят механизмы, которые локализируются вне капиллярного русла: пульсовая волна, приходящая из терминальных артерий, и инициируемая перепадами систолического, диастолического давления (кардиальный ритм на «входе»); дыхательная волна, обусловленная динамикой венозного давления при легочной активности и присасывающим действием «дыхательного насоса» (веноулярный ритм на «выходе») со стороны вен. Патофизиологические механизмы нарушений в системе микроциркуляции, являющейся связующим компонентом между артериальным и венозным звеном, могут развиваться по типу нарушения оттока крови (венозный застой), нарушения притока крови

(артериальная гиперемия, артериальная ишемия), а также первичной капиллярной патологии. Важно отметить, что гемодинамические расстройства протекают с нарушением проницаемости стенки сосудов, гемореологическими сдвигами, приводя к усилению гипоксии и ишемии тканей.



Рис. 10. Распределение амплитуд ритмов кровотока у детей I, II групп здоровья

Fig. 10. Distribution of amplitudes of blood flow rhythms in children of I, II health groups

Таблица 5. Амплитудно-частотный спектр колебаний кровотока в микроциркуляторном русле тканей пародонта у детей I, II групп здоровья ($M \pm m$; $p \leq 0,05$)

Виды колебаний	Диапазон частот колебаний, (Гц)			
	Fmax	Amax	(Amax/3σ) × 100%	(Amax/M) × 100%
Эндотелиальные колебания, VLF	0,017 ± 0,005	0,219 ± 0,023	11,913 ± 2,336	4,187 ± 0,872
Нейрогенные колебания, LFH	0,037 ± 0,011	0,194 ± 0,017	14,981 ± 2,478	4,829 ± 1,491
Миогенные колебания, LFM	0,071 ± 0,014	0,183 ± 0,021	13,847 ± 3,102	3,364 ± 1,056
Дыхательные колебания, HF	0,268 ± 0,039	0,127 ± 0,018	9,338 ± 2,291	2,643 ± 0,264
Сердечные колебания, CF	0,764 ± 0,053	0,136 ± 0,019	9,183 ± 0,709	3,277 ± 0,228

Table 5. Amplitude-frequency spectrum of blood flow oscillations in the microvasculature of periodontal tissues in children of I, II health groups ($M \pm m$; $p \leq 0.05$)

Types of oscillations	Oscillation frequency range, (Hz)			
	Fmax	Amax	(Amax/3σ) × 100%	(Amax/M) × 100%
Endothelial oscillations, VLF	0.017 ± 0.005	0.219 ± 0.023	11.913 ± 2.336	4.187 ± 0.872
Neurogenic oscillations, LFH	0.037 ± 0.011	0.194 ± 0.017	14.981 ± 2.478	4.829 ± 1.491
Myogenic oscillations, LFM	0.071 ± 0.014	0.183 ± 0.021	13.847 ± 3.102	3.364 ± 1.056
Respiratory oscillations, HF	0.268 ± 0.039	0.127 ± 0.018	9.338 ± 2.291	2.643 ± 0.264
Heart oscillations, CF	0.764 ± 0.053	0.136 ± 0.019	9.183 ± 0.709	3.277 ± 0.228

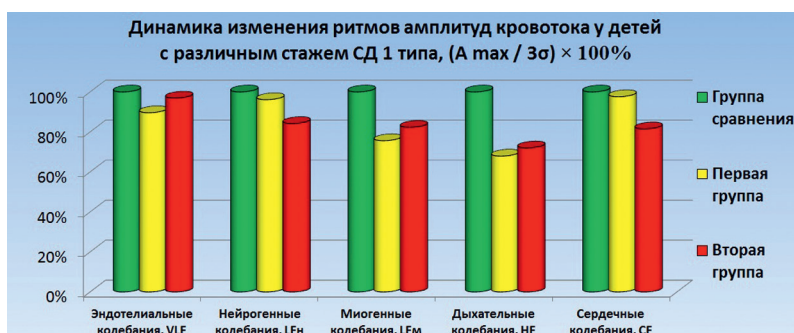


Рис. 11. Динамика изменения амплитудно-частотного спектра колебаний кровотока у детей с различным стажем СД 1-го типа

Fig. 11. Dynamics of changes in the amplitude-frequency spectrum of blood flow fluctuations in children with different experience of type 1 DM

Систематизируя полученные данные можно утверждать, что у детей со стажем СД 1 типа менее двух лет тенденции изменения параметров ЛДФ соответствуют «гиперемическому» гемодинамическому типу микроциркуляции (В.И. Козлов, 2006), при котором ранние признаки (предикторы) нарушений сочетаются со снижением периода полувосстановления и резерва капиллярного кровотока. Это подтверждается снижением мощности спектра **LF**-колебаний кровотока, определяющих состояние мышечного тонуса прекапилляров и регулирующих приток крови в нутритивное русло, уменьшением амплитуды дыхательной волны (**HF**-колебаний), устанавливающей динамику венозного давления при легочной механической активности при существенном влиянии пульсовых волн (**CF**-колебаний). Понижение вазомоторных амплитуд потенцирует

Таблица 6. Амплитудно-частотный спектр колебаний кровотока в микроциркуляторном русле тканей пародонта у детей с различным стажем СД 1-го типа ($M \pm m$)

Виды колебаний	Диапазон частот колебаний, (Гц)							
	Fmax		Amax		(Amax/3σ)×100%		(Amax/M)×100%	
	Первая группа	Вторая группа	Первая группа	Вторая группа	Первая группа	Вторая группа	Первая группа	Вторая группа
Эндотелиальные колебания, VLF	0,015 ± 0,003*	0,016 ± 0,006*	0,198 ± 0,027*	0,211 ± 0,019*	10,674 ± 1,808*	11,557 ± 2,014**	3,768 ± 0,613	4,061 ± 0,797**
Нейрогенные колебания, LFn	0,035 ± 0,007*	0,029 ± 0,008*	0,183 ± 0,019*	0,161 ± 0,012*	14,401 ± 2,146**	12,622 ± 1,761**	4,627 ± 1,208**	3,954 ± 1,099**
Миогенные колебания, LFm	0,053 ± 0,015*	0,058 ± 0,011*	0,139 ± 0,022*	0,154 ± 0,026*	10,464 ± 2,447**	11,391 ± 2,703**	2,548 ± 0,843**	2,809 ± 1,104**
Дыхательные колебания, HF	0,181 ± 0,027*	0,197 ± 0,023*	0,084 ± 0,015*	0,093 ± 0,012*	6,349 ± 1,864**	6,726 ± 2,051**	1,817 ± 0,216**	1,913 ± 0,202**
Сердечные колебания, CF	0,747 ± 0,059*	0,621 ± 0,037*	0,131 ± 0,017*	0,109 ± 0,012*	8,964 ± 0,628**	7,481 ± 0,566**	3,198 ± 0,241**	2,631 ± 0,179**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ – достоверность различий по сравнению с показателями пациентов группы сравнения по T-критерий Вилкоксона

Table 6. Amplitude-frequency spectrum of blood flow oscillations in the microvasculature of periodontal tissues in children with different experience of type 1 DM ($M \pm m$)

Types of oscillations	Oscillation frequency range, (Hz)							
	Fmax		Amax		(Amax/3σ)×100%		(Amax/M)×100%	
	First group	Second group	First group	Second group	First group	Second group	First group	Second group
Endothelial oscillations, VLF	0.015 ± 0.003*	0.016 ± 0.006*	0.198 ± 0.027*	0.211 ± 0.019*	10.674 ± 1.808*	11.557 ± 2.014**	3.768 ± 0.613	4.061 ± 0.797**
Neurogenic oscillations, LFn	0.035 ± 0.007*	0.029 ± 0.008*	0.183 ± 0.019*	0.161 ± 0.012*	14.401 ± 2.146**	12.622 ± 1.761**	4.627 ± 1.208**	3.954 ± 1.099**
Myogenic oscillations, LFm	0.053 ± 0.015*	0.058 ± 0.011*	0.139 ± 0.022*	0.154 ± 0.026*	10.464 ± 2.447**	11.391 ± 2.703**	2.548 ± 0.843**	2.809 ± 1.104**
Respiratory oscillations, HF	0.181 ± 0.027*	0.197 ± 0.023*	0.084 ± 0.015*	0.093 ± 0.012*	6.349 ± 1.864**	6.726 ± 2.051**	1.817 ± 0.216**	1.913 ± 0.202**
Heart oscillations, CF	0.747 ± 0.059*	0.621 ± 0.037*	0.131 ± 0.017*	0.109 ± 0.012*	8.964 ± 0.628**	7.481 ± 0.566**	3.198 ± 0.241**	2.631 ± 0.179**

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ – the significance of differences compared with the indicators of patients in the comparison group on the Wilcoxon T-test

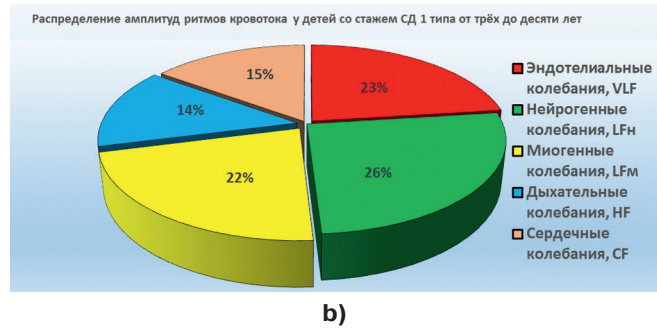
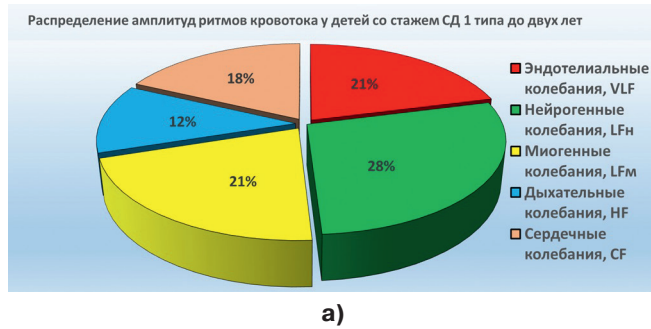


Рис. 12. Распределение амплитуд ритмов кровотока у детей первой (а), второй (б) групп

Fig. 12. The distribution of the amplitudes of the rhythms of blood flow in children of the first (a), second (b) groups

усиление мышечного тонуса, локальный спазм приносящих артериальных сосудов, сохранение притока крови в микроциркуляторном русле при незначительном увеличении **ПМ**, уменьшение интенсивности кровотока в нутритивном звене капиллярного русла, застойные явления в посткапиллярных венулярных сосудах, повышение секреции вазоактивных веществ, увеличение микроциркуляторного давления в тканях пародонта.

По мере усиления дисфункции инсулинпродуцирующих β -клеток островков Лангерганса поджелудочной железы и прогрессирования диабетических микроангиопатий у детей со стажем СД 1 типа более трех лет отмечается статистически значимое уменьшение потока крови (**ПМ**) в периферическом микроциркуляторном русле, как в сравнении с детьми I, II групп здоровья, так и в сравнении с детьми, имеющими малый стаж эндокринной патологии. Так, у детей, страдающих СД 1-го типа от трех до десяти лет, по отношению к детям со стажем заболевания менее двух лет, диагностировано повышение амплитуды **VLF**-колебаний на $8,3 \pm 0,6\%$; **LF_m**-колебаний – на $8,9 \pm 0,8\%$; **HF**-колебаний – на $5,9 \pm 0,9\%$ при снижении амплитуды **LF_n**-колебаний – на $14,1 \pm 1,2\%$; **CF**-колебаний – на $19,8 \pm 1,7\%$.

С нашей точки зрения, у детей с длительным стажем СД 1-го типа гемодинамический тип микроциркуляции периферического кровообращения соответствует «застойному» (В.И. Козлов, 2006), когда ультраструктурные (расстройства проницаемости, резистентности сосудов),

функциональные (ангиодистония) изменения сочетаются с нарушением реологических свойств крови, снижением диффузии и напряжения кислорода (кислородный баланс) в тканях, что проявляется сокращением резервных возможностей капиллярного кровообращения и временем его полувосстановления. Доказательством «застойной» формы нарушения микроциркуляции является то, что за счет подавления нейрогенного тонуса существенно снижается амплитуда **LF_n**-колебаний (на $15,7 \pm 1,4\%$ относительно детей I, II групп здоровья) при сохранении **VLF**-колебаний, резко затрудняется отток крови из микроциркуляторного русла, усиливается венозная гиперемия, венулярный застой. Регистрируемое на фоне падения **ПМ** одномоментное снижение **CF**-колебаний (на $18,5 \pm 1,2\%$ сравнительно с детьми I, II групп здоровья), отражающих состояние притока крови за счет работы сердца и приносящих сосудов, свидетельствует об уменьшении притока артериальной крови в сосуды микроциркуляторного русла, сокращения скорости локального кровотока и вазомоторной активности сосудов, а также понижении интенсивности метаболических процессов. Таким образом, происходящее у детей с длительным стажем СД 1-го типа понижение амплитуды активных ритмов модуляции (низкочастотный спектр: **VLF**, **LF_m**, **HF**), указывает на снижение способности структур микроциркуляторного русла пародонта к активным сокращениям, а связанное с ослаблением компенсаторно-приспособительных механизмов регуляции тканевого

Таблица 7. Среднестатистические фоновые показатели базального кровотока в микроциркуляторном русле тканей пародонта у детей с различным стажем СД 1-го типа ($M \pm m$)

Фоновые показатели	Группы исследований		
	Группа сравнения	Первая группа	Вторая группа
Нейрогенный тонус, НТ (отн. ед.)	$2,07 \pm 0,49$	$1,69 \pm 0,35^*$	$1,88 \pm 0,41^*$
Миогенный тонус, МТ (отн. ед.)	$2,58 \pm 0,69$	$2,91 \pm 0,94^*$	$2,47 \pm 0,58^*$
Показатель шунтирования, ПШ (ед.)	$1,26 \pm 0,18$	$1,73 \pm 0,31^*$	$1,31 \pm 0,26^*$

* $p \leq 0,05$ статистически достоверно в сравнении с показателями пациентов группы сравнения (Т-критерий Вилкоксона)

Table 7. The average background indicators of basal blood flow in the microvasculature of periodontal tissues in children with different experience of type 1 DM ($M \pm m$)

Background Indicators	Research groups		
	Comparison group	First group	Second group
Neurogenic tone, NT (rel. units)	2.07 ± 0.49	$1.69 \pm 0.35^*$	$1.88 \pm 0.41^*$
Myogenic tone, MT (rel. units)	2.58 ± 0.69	$2.91 \pm 0.94^*$	$2.47 \pm 0.58^*$
Shunting rate, PS (units)	1.26 ± 0.18	$1.73 \pm 0.31^*$	$1.31 \pm 0.26^*$

* $p \leq 0.05$ statistically significantly compared with the patients in the comparison group (Wilcoxon T-test)

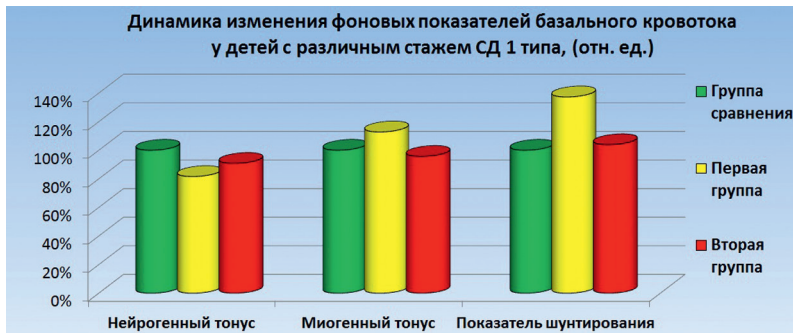


Рис. 13. Динамика изменения фоновых показателей базального кровотока у детей с различным стажем СД 1-го типа

Fig. 13. The dynamics of changes in the background indicators of basal blood flow in children with different experience of type 1 diabetes

кровотока уменьшение амплитуды пассивных ритмов модуляции (высокочастотный спектр: **HF**, **CF**) – к усилению спазма артериол и венозному застою.

Динамика изменения фоновых показателей базального кровотока в микроциркуляторном русле тканей пародонта у детей с различным стажем СД 1 типа представлена в таблице 7 и на рисунке 13.

Система микроциркуляции (артериолы, вены, кровеносные и лимфатические капилляры, интерстициальное пространство) – наименьшая функциональная единица сосудистой системы, где микрососуды снабжают нутриентами клетки тканей, удаляя продукты метаболизма. Многоуровневый контроль микроциркуляторного русла организован через систему с обратной связью. Эндотелиальная активность, миогенный и нейрогенные механизмы контроля, а также дыхательные и пульсовые колебания в процессе самоорганизации кровотока формируют обратные (положительные, отрицательные) связи. Локальные физиологические потребности тканей определяются работой активных механизмов контроля, а колебания амплитуд пассивных ритмов – результатом проявления функционирования активных механизмов контроля. В системе микроциркуляции состояние гемодинамики определяется метаболическими потребностями тканей и внутренними силами кровообращения. Артериовенозные анастомозы, образуясь между артериолами и венами, создают коллатерали в обход основной массы капилляров, обеспечивая условия для одномоментного включения микрососудов в периферический кровоток. Адаптационная роль артериовенозных анастомозов проявляется в усилении микроциркуляции в метаболически активных зонах, а также в сохранении целостности тканевого кровотока при патологии. Участие системы микроциркуляции в процессах метаболизма складывается из суммарной площади (диаметр, численность) обменных микрососудов и разницей давления на «входе» и «выходе». Специалистами доказано, что низкочастотные ритмы связаны с работой гладкомышечных клеток в прекапиллярном звене резистивных сосудов (вазомоторов). Образование конечных продуктов гликозилирования при СД приводит к варьированию миогенной активности регулирующего звена микроциркуляторного русла,

проявляясь изменением просвета артериол (прекапилляров), артериовенозных соотношений, численности функционирующих капилляров. Природа **НТ** обусловлена активностью α -адренорецепторов гладкомышечных клеток мышечного слоя стенок сосудов, возбуждение которых приводит к сужению (констрикции), природа **МТ** – сокращением пейсмерных сосудистых миоцитов, обладающих автоматией и способностью спонтанно генерировать нервные импульсы. Уменьшение амплитуды низкочастотных ритмов запускает работу адаптационно-компенсаторных механизмов, расширяющих влияние нейрогенного, миогенного компонентов в регуляции тонуса сосудов микроциркуляторного русла. По отношению к здоровым детям у детей со стажем СД 1 типа до двух лет определяется снижение **НТ** на $18,4 \pm 1,3\%$ при повышении **МТ** и **ПШ** на $12,8 \pm 0,7\%$ и $37,3 \pm 2,5\%$ соответственно, а у детей,

страдающих СД 1-го типа более трех лет, в сравнении с детьми I, II групп здоровья – снижение **НТ** и **МТ** на $9,2 \pm 0,6\%$ и $4,5 \pm 0,3\%$ при увеличении **ПШ** на $3,9 \pm 0,2\%$. Результатом сокращения (потери) активных вазомоторов у детей с малым стажем СД 1-го типа является «шунтирование» кровотока, когда значительная часть поступающей в микроциркуляторное русло крови направляется через артериовенозные анастомозы, существенно ограничивая активность метаболических процессов в прилегающих регионах. Развитие патофизиологических механизмов, обусловленных объемным дефицитом капиллярного кровотока, инициируют расстройства транскапиллярного массопереноса и обменных процессов. Усугубление микроциркуляторных расстройств у детей с длительным стажем СД 1-го типа приводит к микротромбозу, создавая местную гемическую и циркуляторную гипоксию (ишемию) тканей, активацию перекисного окисления липидов, сопровождающуюся повреждением цитоплазматических мембран эндотелиоцитов, к нарушению барьерной функции капилляров (трансмуральная миграция лейкоцитов), блокаде кровотока, диапедезным кровоизлиянием. Необходимо отметить, что нутритивное звено, в отличие от магистральных артериовенозных анастомозов и артериоловенозных сообщений, является наиболее чувствительным к расстройствам микроциркуляции. Уменьшение показателей **НТ** и **МТ** у детей со стажем СД 1-го типа более трех лет, вследствие возрастающей активности сенсорных нейропептидов вазодилататоров на синаптические механизмы, отражает сокращение активности симпатических адренергических влияний и уменьшение жесткости (барьерной функции) микрососудов. Колебания **ПШ** при увеличении стажа СД 1-го типа у детей свидетельствуют о следующей динамике: на ранних стадиях эндокринопатии отмечается усиление кровотока по артериоловенолярному шунту при снижении нейрогенного и повышении миогенного тонуса; на поздних стадиях – перераспределение кровотока в пользу нутритивного звена, обеспечивающего транскапиллярное поступление питательных веществ на фоне полного диффузионного обмена между кровью и тканями при нормализации **ПШ** и **МТ**.

Анализ полученных результатов, данные отечественных и зарубежных авторов свидетельствуют, что

инсулиновая недостаточность при длительном стаже СД 1-го типа инициирует развитие диабетических микроангиопатий, где патологические процессы, за счет нарушений межклеточных и клеточно-матриксных взаимодействий, распространяются на все элементы сосудистой стенки (базальная и эластическая мембраны, эндотелий, гладкомышечные клетки, волокнистые структуры, перicytes, адвентиции). Толчком в формировании микроангиопатий при СД 1-го типа являются нарушения углеводного обмена и обмена гликозаминов, определяющие структурно-функциональную целостность базальной мембраны микрососудов, а также реологические изменения крови (аккумуляция гликированного гемоглобина, увеличение диаметра эритроцитов). Особенностью васкулярных изменений при СД 1-го типа являются плазморрагии, проявляющиеся первичным плазматическим повреждением базальной мембраны без полной облитерации сосудов, с последующим развитием склероза и гиалиноза сосудистых стенок. Расстройства микроциркуляции в тканях пародонта, как локальные проявления диабетической микроангиопатии, имеют первичный характер на фоне существующей повышенной проницаемости соединительнотканых структур, трансапикалярного обмена, гипоксии, снижения резистентности к действию неблагоприятных факторов. Морфологические изменения в сосудах при СД 1-го типа, по мнению специалистов, определяют интенсивность процессов костной резорбции в околозубных тканях, а утолщение базальной мембраны в микрососудах ограничивает диффузию макроэлементов и кислорода в структуры пародонта, что на фоне имеющихся метаболических нарушений еще больше подавляет процессы регенерации в слизистой оболочке ротовой полости и альвеолярной кости. Таким образом, диабетическая микроангиопатия у детей специфично и значительно влияет на возникновение, развитие и течение заболеваний пародонта, вызывая обоснованную необходимость проведения коррекции микроциркуляторных нарушений, являющейся компонентом этиотропного лечения.

ВЫВОДЫ

1. Применение лазерной доплеровской флоуметрии со спектральным анализом колебаний кровотока, как высокочувствительного, неинвазивного, безопасного для ребенка диагностического метода, позволяет за короткий временной промежуток устанавливать механизмы регуляции (управления) кровотоком в микрососудах, определять функциональное состояние тканевой перфузии, выявлять ранние нарушения микрогемодинамики, мониторировать изменения микроциркуляции в тканях пародонта у детей с различным стажем и степенью компенсации СД 1-го типа.

2. Результаты исследования функционального состояния системы микроциркуляции тканей пародонта детей с СД 1-го типа свидетельствуют, что к ключевым пусковым факторам, инициирующим развитие патофизиологических механизмов, целесообразно отнести следующие: расстройство капиллярного кровотока за счет развития эндотелиальной дисфункции, сопровождающейся уменьшением амплитуды низкочастотных (*VLF*, *LFH*, *LFm*) и высокочастотных (*HF*) колебаний; понижение вазомоторной активности сосудов; сокращение интенсивности кровотока в нутритивном звене капиллярного русла.

3. У детей, страдающих СД 1-го типа менее двух лет, нарушения микроциркуляции в тканях пародонта соответствуют «гиперемической» форме. Незначительное усиление перфузии (*AD* – $8,1 \pm 0,3\%$, *MD* – $7,5 \pm 0,6\%$, *PP* – $6,6 \pm 0,4\%$), повышение уровня *flux* (*AD* – $12,0 \pm 0,9\%$, *MD* – $12,4 \pm 0,5\%$, *PP* – $7,2 \pm 0,3\%$) при уменьшении *Kv* (*AD* – $11,8 \pm 0,6\%$, *MD* – $2,6 \pm 0,2\%$, *PP* – $12,5 \pm 0,8\%$) свидетельствует о недостаточно высокой степени модуляции микрокровотока. Данные спектрального анализа ритмических составляющих кровотока указывают на снижение амплитуды низкочастотных (*VLF* – $10,4 \pm 0,9\%$; *LFH* – $3,9 \pm 0,5\%$; *LFm* – $24,4 \pm 1,8\%$) колебаний ввиду сокращения вазомоторного и усиления сердечного ритма (*CF*-колебаний) при ослаблении симпатических влияний. Увеличение *MT* ($12,8 \pm 0,7\%$) и *ПШ* ($37,3 \pm 2,5\%$) свидетельствует о высоком кровенаполнении, локальном спазме приносящих артериальных сосудов, повышении числа действующих капилляров, изменении соотношения в сторону шунтирующего кровотока при сокращении интенсивности и объема поступающей крови в нутритивное звено микроциркуляторной сети.

4. Для детей со стажем СД 1-го типа от трех до десяти лет характер расстройств периферического микрокровотока в пародонте соответствует «застойному» гемодинамическому типу. Статистически значимое уменьшение *PM* (*AD* – $16,1 \pm 1,1\%$, *MD* – $11,5 \pm 0,7\%$, *PP* – $16,6 \pm 0,9\%$) в покое, а также при проведении функциональных проб (*ДП* – $21,7 \pm 1,8\%$, *ХП* – $23,9 \pm 1,6\%$, *ПП* – $23,4 \pm 1,1\%$) по отношению к детям I, II групп здоровья, связано с понижением перфузии за счет увеличения объема и «застоя» крови в веноулярном звене микроциркуляторного русла, включения веноуло-артериолярных механизмов, сокращения объема циркулирующей крови в артериолах при подъеме артериолярного сосудистого тонуса, снижения периваскулярной иннервации. Результаты анализа амплитудно-частотного спектра указывают на доминирование в общей мощности регуляции тканевого кровотока эндотелиальных (*VLF*) при подавлении нейрогенных (*LFH*) и сердечных (*CF*) колебаний. Высокий уровень *ПШ* при уменьшенном *PM*, сочетающийся с относительной нормализацией *HT* и *MT*, подтверждает наличие низкой эффективности микрокровотока с изменением соотношения в пользу нутритивного звена.

5. На микроциркуляторном уровне у детей с СД 1-го типа при увеличении стажа заболевания направленность патологических изменений обусловлена прогрессирующей депрессией нейрогенных, миогенных ритмов колебаний кровотока, определяющих существенное сокращение тканевой перфузии и уменьшение вариативности микрогемодинамики, а также тенденцией к снижению уровня модуляции тканевого кровотока, свидетельствующей о переходе «гиперемической» через «спастическую» к «застойной» форме нарушений микроциркуляции.

6. С увеличением длительности, утяжелением степени компенсации СД 1-го типа, а также прогрессирования диабетических микроангиопатий целесообразно обозначить две стадии развития микроциркуляторных расстройств. Ранняя стадия – компенсационная с активной адаптацией, включающая нейрогенные (симпатическая нервная регуляция) и эндотелиальные (эндотелий-зависимая регуляция) механизмы. Поздняя стадия – декомпенсационная с



пассивной адаптацией, поддерживающая эффективность микрокровотока за счет миогенного (синхронизация осцилляций гладкомышечных клеток стенки сосудов) механизма регуляции, шунтирования и увеличения скорости оттока крови.

7. По результатам исследования функциональных показателей микроциркуляторного русла у детей с различной длительностью СД 1-го типа установлены статистически значимые различия при компенсированной и декомпенсированной форме. Улучшение микрогемодинамики при достижении адекватной компенсации углеводного обмена не сопровождается полным восстановлением периферического микрокровотока до параметров детей I, II групп здоровья, что предопределяет поиск дополнительных физиотерапевтических воздействий (магнитотерапия, УФО, ультразвуковая терапия, электрофорез, низкоинтенсивное лазерное излучение и т. д.) на периферический отдел кровообращения.

8. Усредненные показатели микроциркуляции и амплитудно-частотного спектра колебаний периферического кровообращения у детей с различным стажем СД 1-го типа целесообразно использовать в практике врачей-эндокринологов, педиатров и детских стоматологов на ежедневном приеме с целью раннего выявления расстройств микрокровотока и нарушения трофики в тканях.

9. В рамках расширения безопасных, информативных, экономически обоснованных, неинвазивных методов функциональных исследований, применение лазерной доплеровской флоуметрии, реализующей современные технологии, позволяет не только повысить эффективность диагностики сосудистых нарушений у детей (подростков) на начальных стадиях СД 1-го типа, но и открывает перспективы для дальнейших исследований при широком спектре заболеваний (патологических состояний).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Барер Г. М., Григорян К. Р. Пародонтит у больных сахарным диабетом первого типа (Обзор литературы). Пародонтология. 2006;2(39):6-10. [G. M. Barer, K. R. Grigoryan. Periodontitis in patients with type 1 diabetes mellitus (Review of literature). Parodontologiya. 2006;2(39):6-10. (In Russ.)].
2. Давыдов Б. Н., Быков И. М., Дмитриенко С. В. и др. Современные возможности клинко-лабораторных, рентгенологических исследований в до-клинической диагностике и прогнозировании риска развития заболеваний пародонта у детей с сахарным диабетом первого типа. Часть I. Пародонтология. 2018;3(88):4-11. [B. N. Davydov, I. M. Bykov, S. V. Dmitriyenko et al. Modern possibilities of clinical-laboratory and x-ray research in pre-clinical diagnostics and prediction of the risk of development of periodontal in children with sugar diabetes of the first type. Part I. Parodontologiya. 2018;3(88):4-11. (In Russ.)]. DOI: 10.25636/PMP.1.2018.3.1
3. Дедов И. И., Кураев Т. К., Петеркова В. А. Сахарный диабет у детей и подростков. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 2013. [I. I. Dedov, T. K. Kurayev, V. A. Peterkova. Diabetes in children and adolescents. Moscow: GEOTAR-Media. 2013. (In Russ.)].
4. M. E. Craig, A. Hattersley, K. C. Donaghue. Definition, epidemiology and classification of diabetes in children and adolescents. Pediatric Diabetes. 2009;10(12):3-12. DOI: 10.1111/j.1399-5448.2009.00568.x
5. C. M. Gordon, M. B. Leonard, B. S. Zemel. 2013 Pediatric Position Development Conference: executive summary and reflections. J. Clin. Densitom. 2014;17:219-224. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jocd.2014.01.007>
6. Быков И. М., Ивченко Л. Г., Костюкова Н. Ю. и др. Особенности свободнорадикального окисления и антиоксидантной защиты у детей с сахарным диабетом первого типа. Кубанский научный медицинский вестник. 2017;(4):27-38. [I. M. Bykov, L. G. Ivchenko, N. Yu. Kostyukova et al. Features of free radical oxidation and antioxidant protection in children with sugar diabetes of the first type. Kuban Scientific Medical Bulletin. 2017;(4):27-38. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2017-24-4-27-38>.
7. Гильмиярова Ф. Н., Давыдов Б. Н., Ивченко Л. Г. и др. Влияние тяжести течения сахарного диабета I типа у детей на стоматологический статус и иммунологические, биохимические показатели сыворотки крови и ротовой жидкости. Часть I. Пародонтология. 2017;2(83):53-60. [F. N. Gil'miyarova, B. N. Davydov, L. G. Ivchenko et al. The effect of the severity of type I diabetes in children on the dental status and immunological, biochemical parameters of blood serum and oral fluid. Part I. Parodontologiya. 2017;2(83):53-60. (In Russ.)].
8. Маслова О. В., Сунцов Ю. И. Эпидемиология сахарного диабета и микрососудистых осложнений. Сахарный диабет. 2011;14(3):6-11. [O. V. Maslova, Yu. I. Suntsov. Epidemiology of diabetes mellitus and microvascular complications. Diabetes. 2011;14(3):6-11. (In Russ.)].
9. Юшков П. В., Опапенков К. В. Морфогенез микроангиопатий при сахарном диабете. Сахарный диабет. 2001;4(1):53-56. [P. V. Yushkov, K. V. Opal-enkov. The morphogenesis of microangiopathy in diabetes mellitus. Diabetes. 2001;4(1):53-56. (In Russ.)].
10. E. Berger, E. B. Sochett, A. Peirone et al. Cardiac and vascular function in adolescents and young adults with type 1 diabetes. Diabetes Technol Ther. 2004;6(2):129-135. <https://dx.doi.org/10.1089/1520915047731311>
11. B. Florys, M. Urban, B. G. owiska. Association of lipid metabolism with sub-clinical diabetic cardiomyopathy in children and adolescents with type 1 diabetes. Med Sci Monit. 2000;6(2):342-347.
12. G. Kaminska-Winciorek, G. Deja, J. Polanska, P. Jarosz-Chobot. Diabetic microangiopathy in capillaroscopic examination of juveniles with diabetes type 1. Postepy Hig Med Dosw (Online). 2012;66:51-59.
13. Козлов В. И. Система микроциркуляции крови: клинко-морфологические аспекты изучения. Регионарн. кровообр. и микроцирк. 2006;1:84-101. [V. I. Kozlov. Blood microcirculation system: clinical and morphological aspects of the study. Regional blood circulation and microcircus. 2006;1:84-101. (In Russ.)].
14. Давыдов Б. Н., Гильмиярова Ф. Н., Ивченко Л. Г. и др. Клинико-диагностическое значение активности матриксных металлопротеиназ и их тканевых ингибиторов в оценке состояния тканей пародонта у детей с сахарным диабетом первого типа. Часть I. Стоматология детского возраста и профилактика. 2017;4(63):14-19. [B. N. Davydov, F. N. Gil'miyarova, L. G. Ivchenko et al. Clinical-diagnostic value of activity of matrix metal proteinases and their tissue inhibitors in assessment of the state of periodont tissue in children with sugar diabetes of the first type. Part I. Pediatric Dentistry and Prophylaxis. 2017;4(63):14-19. (In Russ.)].
15. Давыдов Б. Н., Гильмиярова Ф. Н., Ивченко Л. Г. и др. Клинико-диагностическое значение активности матриксных металлопротеиназ и их тканевых ингибиторов в оценке состояния тканей пародонта у детей с сахарным диабетом первого типа. Часть II. Стоматология детского возраста и профилактика. 2018;1(64):37-46. [B. N. Davydov, F. N. Gil'miyarova, L. G. Ivchenko et al. Clinical-diagnostic value of activity of matrix metal proteinases and their tissue inhibitors in assessment of the state of periodont tissue in children with sugar diabetes of the first type. Part II. Pediatric Dentistry and Prophylaxis. 2018;1(64):37-46. (In Russ.)].
16. Кречина Е. К., Козлов В. И., Маслова В. В. Микроциркуляция в тканях десны пародонта. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 2007. [E. K. Krechina, V. I. Kozlov, V. V. Maslova. Microcirculation in periodontal gingival tissues. Moscow: GEOTAR-Media. 2007. (In Russ.)].
17. D. Chan. Imaging evaluation of lower extremity infrainguinal disease: role of the noninvasive vascular laboratory, computed tomography angiography, and mag-

netic resonance angiography. Techniques in Vascular and Interventional Radiology. 2010;13(1):11-22. DOI: 10.1053/j.tvir.2009.10.003

18. V. L. Franklin, F. Khan, G. Kennedy. Intensive insulin therapy improves endothelial function and microvascular reactivity in young people with type 1 diabetes. *Diabetologia*. 2008;51(2):353-360. DOI: 10.1007/s00125-007-0870-2.

19. I. Pietrzak, A. Szadkowska, J. Kozowski et al. The influence of systemic blood pressure on renal function in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus. *Pol Merkuriusz Lekarski*. 2003;14(81):210-212.

20. Доменюк Д. А., Давыдов Б. Н., Ведешина Э. Г. Комплексная оценка архитектоники костной ткани и гемодинамики тканей пародонта у детей с зубочелюстными аномалиями. *Стоматология детского возраста и профилактика*. 2016;3(58):41-48. [D. A. Domenyuk, B. N. Davydov, E. G. Vedeshina. Comprehensive assessment of the architectonics of bone tissue and hemodynamics of periodontal tissues in children with dental anomalies. *Pediatric Dentistry and Prophylaxis*. 2016;3(58):41-48. (In Russ.)].

21. Персин Л. С., Елизарова В. М., Дьякова С. В. Стоматология детского возраста. Москва: Медицина. 2006. [L. S. Persin, V. M. Yelizarova, S. V. Dyakova. *Pediatric dentistry*. Moscow: Medicine. 2006. (In Russ.)].

22. Физиология роста и развития детей и подростков (теоретические и клинические вопросы): рук. для врачей в 2 т. / под ред. А.А. Баранова, Л.А. Щеплягиной. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 2006. [Physiology of growth and development of children and adolescents (theoretical and clinical issues): hands. for doctors in 2 tons / ed. A.A. Baranova, L.A. Shcheplyaginoy. Moscow: GEOTAR-Media. 2006. (In Russ.)].

23. Балаболкин М. И., Клебанова Е. М., Кремская В. М. Дифференциальная диагностика и лечение эндокринных заболеваний. Москва: Медицина. 2002. [M. I. Balabolkin, E. M. Klebanova, V. M. Kreminskaya. *Differential diagnosis and treatment of endocrine diseases*. Moscow: Medicine. 2002. (In Russ.)].

24. Дедов И. И. Инновационные технологии в лечении и профилактике сахарного диабета и его осложнений. Сахарный диабет. 2013;3:4-10. [I. I. Dedov. Novel technologies for the treatment and prevention of diabetes mellitus and its complications. *Diabetes*. 2013;3:4-10. (In Russ.)]. DOI: 10.14341/2072-0351-811.

25. Эндокринология и метаболизм. Т. 2 / пер. с англ. под ред. Ф. Флеминга, Дж. Д. Бакстера, А. Е. Бродуса, Л. А. Фромана. Москва: Медицина. 1985. [Endocrinology and metabolism. T. 2 / Per. from English by ed. F. Fleming, J. D. Baxter, A. E. Broadus, L. A. Fromen. Moscow: Medicine. 1985. (In Russ.)].

26. American Diabetes Association's Standards of Medical Care in Diabetes – 2018. *Diabetes Care*. 2018;41(1):1-159. <https://doi.org/10.2337/dc18-Sint01>

27. Гильмиярова Ф. Н., Давыдов Б. Н., Ивченко Л. Г. и др. Влияние тяжести течения сахарного диабета I типа у детей на стоматологический статус и иммунологические, биохимические показатели сыворотки крови и ротовой жидкости. Часть II. Пародонтология. 2017;3(84):36-41. [F. N. Gil'miyarova, B. N. Davydov, L. G. Ivchenko et al. The effect of the severity of type I diabetes in children on the dental status and immunological, biochemical parameters of blood serum and oral fluid. Part II. *Parodontologiya*. 2017;3(84):36-41. (In Russ.)].

28. Давыдов Б. Н., Доменюк Д. А., Гильмиярова Ф. Н. и др. Оптимизация диагностики сахарного диабета I типа у детей по результатам цитоморфологических исследований букального эпителия и процессов окислительного стресса в ротовой полости. Стоматология детского возраста и профилактика. 2017;3(62):9-18. [B. N. Davydov, D. A. Domenyuk, F. N. Gil'miyarova et al. Optimization of the diagnosis of diabetes mellitus type I in children the results of cytological studies of buccal epithelium and processes of oxidative stress in the oral cavity. *Pediatric Dentistry and Prophylaxis*. 2017;3(62):9-18. (In Russ.)].

29. Доменюк Д. А., Давыдов Б. Н., Гильмиярова Ф. Н. и др. Особенности цитокинового профиля ротовой жидкости у детей с сахарным диабетом I типа на различных стадиях компенсации заболевания. Стоматология детского возраста и профилактика. 2017;1(60):68-76. [D. A. Domenyuk, B. N. Davydov, F. N. Gil'miyarova et al. Features of the cytokine profile of the oral fluid in children with diabetes type I at different stages of disease compensation. *Pediatric Dentistry and Prophylaxis*. 2017;1(60):68-76. (In Russ.)].

30. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. Москва: Медицина. 2005. [A. I. Krupatkin, V. V. Sidorov. *Laser Doppler flowmetry of microcirculation of blood*. Moscow: Medicine. 2005. (In Russ.)].

31. C. Alves, M. Brandao, J. Andion, R. Menezes. Oral health knowledge and habits in children with type 1 diabetes mellitus. *Braz Dent J*. 2009;20(1):70-73. DOI: 10.1590/S0103-64402009000100012

32. D. W. Cooke, L. Plotnick. Type 1 diabetes mellitus in pediatrics. *Pediatr Rev*. 2008;29(11):374-384.

33. C.I. Wright, C.I. Kroner, R. Draijer. Non-invasive methods and stimuli for evaluating the skin's microcirculation. *J. Pharmacol Toxicol Methods*. 2006;54(1):1-25. DOI: 10.1016/j.vascn.2005.09.004.

34. M. Roustit, J.L. Cracowski. Non-invasive assessment of skin microvascular function in humans: an insight into methods. *Microcirculation*. 2012;19(1):47-64. DOI: 10.1111/j.1549-8719.2011.00129.x

35. Доменюк Д. А., Давыдов Б. Н., Дмитриенко С. В. и др. Изменения морфологического состояния тканей пародонтального комплекса в динамике ортодонтического перемещения зубов (экспериментальное исследование). Пародонтология. 2018;1(86):69-78. [D. A. Domenyuk, B. N. Davydov, S. V. Dmitrienko et al. Changes of the morphological state of tissue of the parodontal complex in the dynamics of orthodontic transfer of teeth (experimental study). *Parodontologiya*. 2018;1(86):69-78. (In Russ.)]. DOI: 10.25636/PMP.1.2018.1.15

36. Y. Kimura, M. Goma, A. Onoe. Integrated laser Doppler blood flowmeter designed to enable wafer-level packaging. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2010;57(8):2026-2033. DOI: 10.1109/TBME.2010.2043842

37. M.F. Swintkowski. Laser Doppler Flowmetry – Development and Clinical Application. *Iowa Orthop J*. 1991;11:119-126.

38. G.E. Nilsson, E.G. Sallerud, N. O. T. Stromberg. Laser Doppler Perfusion Monitoring and Imaging. In: Vo-Dinh T, editor. *Biomedical photonics handbook*. Boca Raton, Florida: CRC Press. 2003.

39. H. Chung, T. Dai, S. K. Sharma. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. *Ann Biomed Eng*. 2012;40(2):516-533.

40. R. Emshoff. Outcomes of dental fracture injury as related to laser Doppler flow measurements of pulpal blood-flow level. *Dent. Traumatol*. 2008;24(1):32-37.

41. E. Lalla, C. Bin, L. Shantanu et al. Periodontal changes in children and adolescents with diabetes: a case-control study. *Diabetes Care*. 2006;29(2):295-299.

42. C. P. Andersen, A. Flyvbjerg, K. Buschard et al. Relationship between periodontitis and diabetes: lessons from rodent studies. *Journal of Periodontology*. 2007;78(7):1264-1275.

43. H. Strobl. Assessing revascularization of avulsed permanent maxillary incisors by laser Doppler flowmetry. *J. Am. Dent. Assoc*. 2003; 134(12):1597-1603.

44. A. Szadkowska, I. Pietrzak, B. Mianowska et al. Prehypertension in type 1 diabetic children and adolescents. *Endokrynol Diabetol Chor Przemiany Materii Wieku Rozw*. 2006;12(4):286-291.

Конфликт интересов:

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов/

Conflict of interests:

The authors declare no conflict of interests

Поступила/Article received 17. 12.2018

Координаты для связи с авторами/

Coordinates for communication with the authors:

Давыдов Б.Н./B. N. Davydov,

E-mail: info@tvergma.ru;

Доменюк Д.А./D. A. Domenyuk,

E-mail: domeniyukda@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4022-5020>;

Дмитриенко С.В./S. V. Dmitrienko,

E-mail: s.v.dmitrienko@pmedpharm.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6955-2872>.