

Сравнительный фазовый портрет микроциркуляторного русла пародонта при сахарном диабете 2 типа по данным лазерной доплеровской флоуметрии

М.А. Лисина, И.И. Бородулина, В.С. Чирский, Л.В. Васильева

Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Заболевания пародонта являются одними из самых распространенных в полости рта. В большинстве случаев они приводят к потере зубов. Наличие фоновой патологии, в частности сахарного диабета (СД) 2 типа, влияет на состояние тканей пародонта, ухудшая микроциркуляцию.

Материалы и методы. Исследование посвящено оценке состояния тканей пародонта у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом как на фоне СД 2 типа, так и без него. С помощью лазерного доплера ЛАКК-М (РФ) изучено микрососудистое русло пародонта. Всего в исследовании приняло участие 106 пациентов, которые распределялись на четыре группы по принципу наличия или отсутствия СД 2 типа и хронического генерализованного пародонтита средней степени тяжести.

Результаты. Получены групповые различия показателей микроциркуляции пародонта с оценкой нелинейной динамики с наиболее выраженными изменениями у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом на фоне СД 2 типа. Составлен фазовый портрет и найдены различия, характеризующие каждую группу с учетом состояния микроциркуляторного русла.

Заключение. Состояние микроциркуляторного русла имело значительные отличия у групп пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом при СД 2 типа и при его отсутствии. Выявлены статистически значимые изменения, установленные при создании на основе нелинейной динамики фазового портрета.

Ключевые слова: пародонт, хронический пародонтит, сахарный диабет 2 типа, микроциркуляция, ЛДФ, нелинейная динамика, фазовый портрет.

Для цитирования: Лисина МА, Бородулина ИИ, Чирский ВС, Васильева ЛВ. Сравнительный фазовый портрет микроциркуляторного русла пародонта при сахарном диабете 2 типа по данным лазерной доплеровской флоуметрии. *Пародонтология*. 2024;29(1):67-75. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2024-864>.

Comparative analysis of LDF phase portraits in periodontal microcirculation among patient with type 2 diabetes mellitus

M.A. Lisina, I.I. Borodulina, V.S. Chirsky, L.V. Vasilyeva

Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Relevance. Periodontal diseases are among the most prevalent conditions affecting the oral cavity, often leading to tooth loss. Comorbid conditions, especially type 2 diabetes mellitus (DM2), can significantly influence the health of periodontal tissues by altering microcirculatory dynamics.

Materials and methods. This study aimed to evaluate periodontal tissue health in patients with chronic periodontitis, both with and without DM2 comorbidity. Periodontal microcirculation was examined using the Laser Doppler Flowmetry (LDF) technique, specifically with a LAKK-M device (Russia). A total of 106 patients were recruited and categorized into four groups based on their DM2 status and the severity of chronic periodontitis.

Results. The study revealed group-specific differences in periodontal microcirculation parameters, analyzed through nonlinear dynamics. Notably, patients with chronic periodontitis and comorbid DM2 exhibited the most significant alterations. A phase portrait analysis further delineated the microcirculation health disparities between groups.

Conclusion. There were marked differences in microcirculation health among chronic periodontitis patients with and without DM2 comorbidity, as evidenced by significant changes in the nonlinear dynamics-based phase portraits.

Keywords: periodontitis, chronic periodontitis, type 2 diabetes mellitus, microcirculation, LDF, nonlinear dynamics, phase portrait.

For citation: Lisina MA, Borodulina II, Chirsky VS, Vasilyeva LV. Comparative analysis of LDF phase portraits in periodontal microcirculation among patient with type 2 diabetes mellitus. *Parodontologiya*. 2024;29(1):67-75 (in Russ.). <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2024-864>.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Согласно данным мировой статистики за 2020 год, в 2000–2016 гг. сахарный диабет занял девятое место среди заболеваний, приведших к летальному исходу. За этот период число пациентов с данной эндокринной патологией увеличилось до 70% [1–5]. Риск развития заболевания с каждым годом продолжает повышаться [6–10].

Характерные для СД патоморфологические проявления в виде макро- и микроангиопатии носят генерализованный характер и проявляются в том числе и в тканях пародонта [11]. В ряде случаев с трудом поддающиеся лечению воспалительные заболевания пародонта при высоких показателях индекса гигиены полости рта заставляют стоматолога задуматься о наличии сопутствующей патологии системного характера. Дефицит инсулина и гипергликемия при СД 2 типа может выявиться гораздо позже и протекать на фоне слабо выраженных клинических проявлений пародонтита. Число лиц, страдающих заболеваниями пародонта, достигает 95%, что предполагает наличие у них какой-либо системной патологии, в том числе СД 2 типа [12]. Изменения в микроциркуляторном русле происходят гораздо раньше, чем в магистральных сосудах, поэтому так важна диагностика эндокринной патологии на ранней стадии [13].

Любая биологическая система определяется как динамическая, так как описывается по заданным величинам, меняющимся со временем. Микроциркуляторное русло не является исключением, что подтверждено фундаментальными исследованиями 70-х годов прошлого столетия [7]. Динамическую систему разделяют на линейную и нелинейную. Отличия между ними значительны. Любая система должна отреагировать на воздействие на нее независимой переменной. Линейная система отвечает растущими либо убывающими равномерными колебаниями. Нелинейная система реагирует по-разному, образуя различного рода колебания, что зависит от значения независимой переменной.

Оценка нелинейности, присущей биологическим системам, применяется в медико-биологических исследованиях с 80-х годов XX века [14–16].

Существует множество способов построения математической модели систем с помощью формул, графиков, уравнений. Наиболее показательными являются геометрические изображения в виде фазового портрета. Фазовая точка интерпретируется как система, которая перемещается с течением времени по траектории в фазовом пространстве. Выделяют аттракто-

ры – определенные точки фазового пространства, или совокупность условий, определяющих путь, ведущий к одной точке. В медицине представления о нелинейных формах функционирования систем человеческого организма, в том числе и микроциркуляторного звена кровотока, разрозненны и мало изучены.

Цель исследования: оценка нелинейно-динамического процесса в микроциркуляторном русле пародонта при СД 2 типа и хроническом генерализованном пародонтите средней степени тяжести путем анализа фазового портрета.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценка поведения нелинейной динамической системы микроциркуляторного русла тканей пародонта в фазовом пространстве проводилась на основании результатов лазерной доплеровской флоуметрии. Были обследованы 106 пациентов, которые разделены на группы: 1-я группа – 36 пациентов с СД 2 типа с клинически интактным пародонтом; 2-я группа – 25 человек с СД 2 типа с хроническим генерализованным пародонтитом средней степени тяжести (ХГП ССТ); 3-я группа – 30 пациентов без СД 2 типа с ХГП ССТ; 4-я группа (контрольная) – 15 здоровых лиц с клинически интактным пародонтом.

Клинические исследования включали внешний осмотр и осмотр полости рта, определение стоматологических индексов (гигиенических и пародонтологических). Определялись показатели: состояния твердых тканей зубов по индексу кариес – пломба – удаленный зуб (КПУ); индекс гигиены Грина – Вермиллиона (ОHI-s) по площади поверхности зуба, покрытой налетом и/или зубным камнем. Использованы пародонтальные индексы: РМА (оценка воспаления сосочка (Р), воспаления маргинального края (М), воспаление альвеолярной части десны (А)); индекс кровоточивости Мюллемана; пародонтальный индекс (ПИ) Рассела, характеризующие наличие и степень выраженности гингивита и пародонтита. У пациентов в группах 2 и 3 ХГП ССТ находился в стадии ремиссии.

При оценке микроциркуляции тканей пародонта все пациенты находились в стандартных условиях, исследования выполнялись при одинаковой температуре воздуха в помещении, в одно и то же время суток. Измерение показателей производили в положении сидя в течение 600 секунд с помощью зонда диаметром 3 мм в красном канале лазерного излучения (длина волны – 0,63 мкм). Позиционирование

светового зонда производилась с помощью гибкого фиксатора и разработанного нами устройства для фиксации головы. С помощью спектрального анализа записей ЛДФ (программа LDF 3.0.2.376 – ООО НПП «ЛАЗМА», Москва) осуществлялась оценка показателей нелинейной динамики поведения системы микроциркуляторного русла пародонта в фазовом пространстве с применением визуальной оценки основных типов фазового портрета.

Для характеристики микроциркуляции пародонта использовали аттракторную систему, состоящую из множества точек в фазовом пространстве, учитывали ее динамические стремления в течение определенного времени. Точка в фазовом пространстве (фазовая точка) представляет собой состояние системы в некоторый момент времени. Изменению состояния системы во времени отвечает движение фазовой точки по траектории в фазовом пространстве, которая называется фазовой траекторией. Множественное ее отображение позволило отобразить общую картину поведения системы, которая представлена странным аттрактором.

Критериями оценки фазового портрета являлись: занимаемый объем фазового пространства, располо-

жение аттракторов в фазовом пространстве по отношению к центру фазового пространства, расстояние между точками фазового пространства, количество аттракторов, форма фазового облака. К сожалению, общепринятая классификация фазовых портретов отсутствует.

Для статистической оценки фрактальной размерности с отражением динамики микрокровотока использовали следующие показатели: D_0 – фрактальная размерность, D_2 – корреляционная размерность, $D_{2\text{norm}}$ – нормированность колебательного процесса, H_0 – относительная энтропия ЛДФ – сигнала H_1 – энтропия – информация R/S – показатель Херста.

Статистический анализ проводился с помощью программного обеспечения Statistica 10.0. Для проведения множественного сравнения использовали критерий Крускала – Уоллиса, а также оценкой критерия Манна – Уитни с поправкой Бонферрони. Статистически значимый результат считали при $p < 0,05$. Расчет нормальности распределения признаков оценивали с помощью критерия Колмогорова – Смирнова. Результат оценивали в виде медианы (Me) с интерквартильным размахом (25-й и 75-й процентиля).

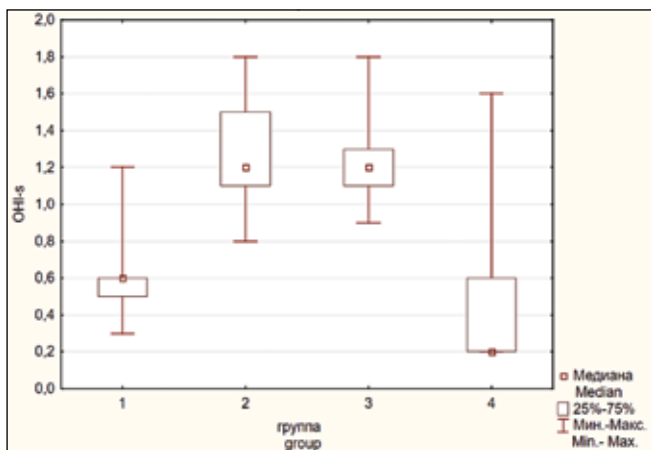


Рис. 1. Показатели индекса гигиены OHI-S у пациентов 1-4 групп

Fig. 1. OHI-S scores across Groups 1-4

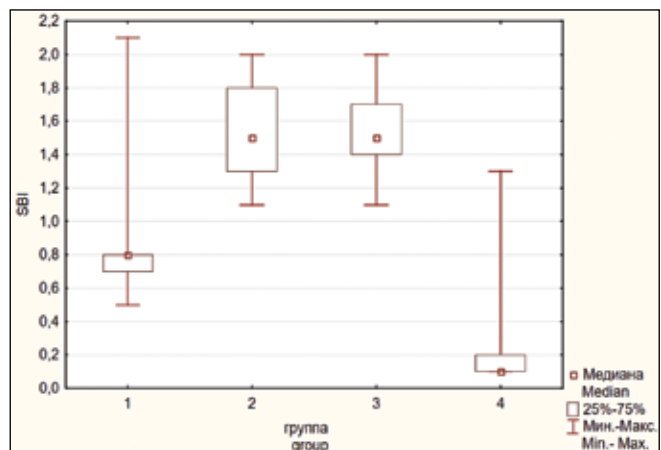


Рис. 2. Показатели индекса SBI у пациентов 1-4 групп

Fig. 2. SBI scores across Groups 1-4

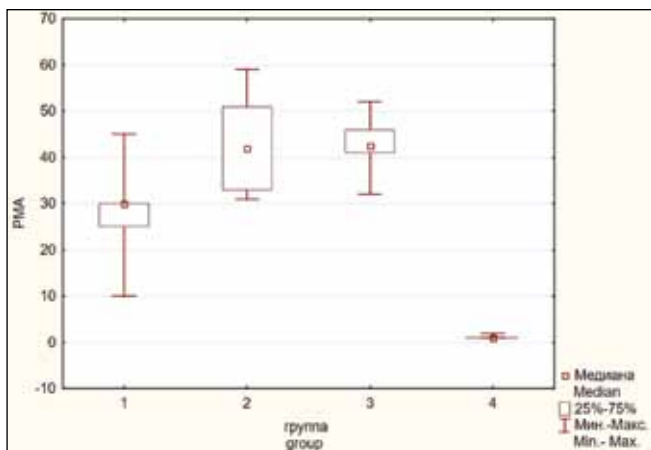


Рис. 3. Показатели индекса РМА у пациентов 1-4 групп

Fig. 3. PMA index scores across Groups 1-4

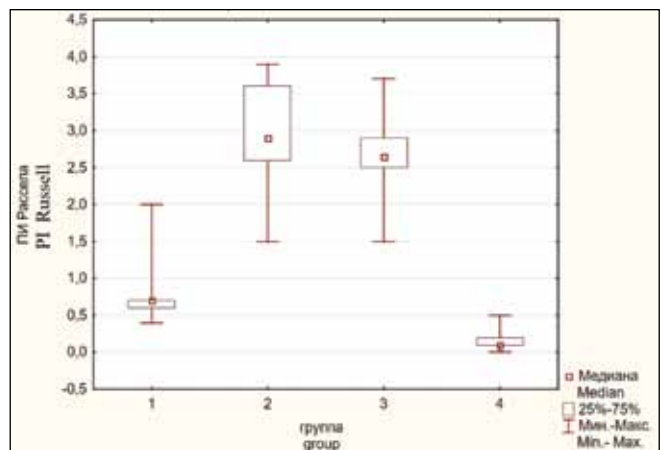


Рис. 4. Показатели индекса ПИ Рассела у пациентов 1-4 групп

Fig. 4. Russel's PI values scores across Groups 1-4

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе исследования мы изучили состояние полости рта у пациентов всех четырех групп, результаты которого отражены в рисунках 1-4. При анализе данных уровня гигиены полости рта, определяющихся индексом ОНІ-s, показатели были лучше у контрольной 4-й группы (n = 15) ОНІ-s = 0,6 и 1-й группы пациентов с СД 2 типа без заболеваний пародонта (n = 36) ОНІ-s = 0,2, статистически не различающихся между собой. Низкие значения наблюдались у пациентов с ХГП ССТ тяжести как на фоне СД 2 типа 2-й группы (n = 25) ОНІ-s = 1,2, так и без СД 2 типа у 3-й группы (n = 30) ОНІ-s = 1,2, также статистически не различающихся между собой (рис. 1). При оценке состояния тканей пародонта было

установлено достоверное статистическое различие у обследованных 1-й и 4-й групп (p < 0,05) (рис. 2), их индексы воспаления не превышали минимальные показатели (1-я группа: РМА = 30, SBI = 0,8, ПИ Рассела = 0,7) либо стремились к 0 у контрольной группы (1-я группа: РМА = 1,0, SBI = 0,1, ПИ Рассела = 0,1). Значения индексов групп 2 и 3 соответствовали ХГП ССТ в ремиссии (2-я группа: РМА = 42, SBI = 1,5, ПИ Рассела = 2,9; 3-я группа: РМА = 42,5, SBI = 1,5, ПИ Рассела = 2,7). Наличие фоновой соматической патологии в данном случае не влияло на тяжесть ХГП ССТ, поскольку группы 2 и 3 статистически не отличались между собой (p = 1,00) (рис. 3, 4). Для оценки влияния СД 2 типа были изучены данные микроциркуляции тканей пародонта, полученные методом ЛДФ.

Таблица 1. Показатели нелинейной динамики микроциркуляции пародонта у пациентов 1-4 групп (M ± m)
Table 1. Parameters of nonlinear dynamics in periodontal microcirculation for patients in Groups 1-4 (M ± m)

Показатели Parameters	Группа 1 (n = 36) Group 1 (n = 36)	Группа 2 (n = 25) Group 2 (n = 25)	Группа 3 (n = 30) Group 3 (n = 30)	Группа 4 (n = 15) Group 4 (n = 15)	p*
E ₀	33,19 ± 1,52	46,79 ± 1,86	51,59 ± 1,35	33,96 ± 1,60	p _{1,2} = 0,00001 p _{1,3} = 0,00001 p _{2,3} = 0,00378 p _{3,4} = 0,00001 p _{2,4} = 0,00003
D ₀	0,91 ± 0,39	0,71 ± 0,31	1,19 ± 0,06	1,29 ± 0,05	p _{1,2} = 0,004 p _{1,4} = 0,000 p _{1,3} = 0,002 p _{2,3} = 0,000 p _{3,4} = 0,00001 p _{2,4} = 0,000
R/S	0,64 ± 0,37	1,54 ± 0,43	0,77 ± 0,08	0,80 ± 0,11	p _{1,2} = 0,0000 p _{2,3} = 0,000 p _{2,4} = 0,00007
H ₀	0,34 ± 0,02	0,31 ± 0,02	0,33 ± 0,004	0,34 ± 0,003	p _{1,2} = 0,0000 p _{1,3} = 0,0003 p _{2,4} = 0,008

Таблица 2. Показатели нелинейной динамики микроциркуляции пародонта у пациентов 1-4 групп Me (Q25; Q75)
Table 2. Nonlinear dynamics of periodontal microcirculation in Groups 1-4 (Median [Q25; Q75])

Показатели Parameters	Группа 1 (n = 36) Group 1 (n = 36)	Группа 2 (n = 25) Group 2 (n = 25)	Группа 3 (n = 30) Group 3 (n = 30)	Группа 4 (n = 15) Group 4 (n = 15)	p*
H _i	0,17 [0,15;0,19]	0,07 [0,06;0,08]	0,06 [0,06;0,07]	0,28 [0,23;0,28]	p _{1,2} = 0,00001 p _{1,3} = 0,00001 p _{2,4} = 0,00001 p _{3,4} = 0,00001
D ₂	1,84 [1,44;1,92]	1,71 [1,52;1,78]	1,75 [1,46;1,85]	1,94 [1,94;1,98]	p _{1,4} = 0,02 p _{2,4} = 0,00001 p _{3,4} = 0,0004
D _{2 norm}	0,05 [0,04;0,07]	0,04 [0,03;0,04]	0,03 [0,03;0,04]	0,06 [0,06;0,07]	p _{1,2} = 0,0002 p _{1,3} = 0,0000 p _{2,4} = 0,0002 p _{3,4} = 0,00003

*достоверность отличий p₁₋₄ (p < 0,05) в сравнении с данными 1-4 группы
*indicates statistically significant differences p₁₋₄ (p < 0.05) between the groups 1-4

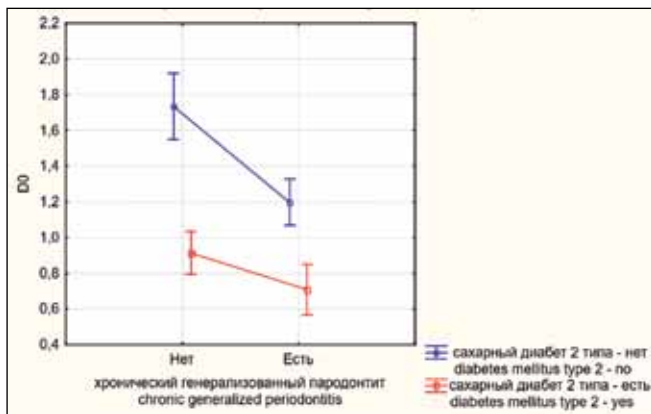


Рис. 5. Дисперсионная модель показателя D_0

(по оси абсцисс: 0 – пациенты без ХГП ССТ, 1 – пациенты с ХГП ССТ; по оси ординат: 0 – пациенты без СД 2 типа, 1 – пациенты с СД 2 типа)

Fig. 5. D_0 Dispersion Model for patient classification by MCP and DM2 status (X-axis: MCP status, 0 – absent, 1 – present; Y-axis: DM2 status, 0 – absent, 1 – present)

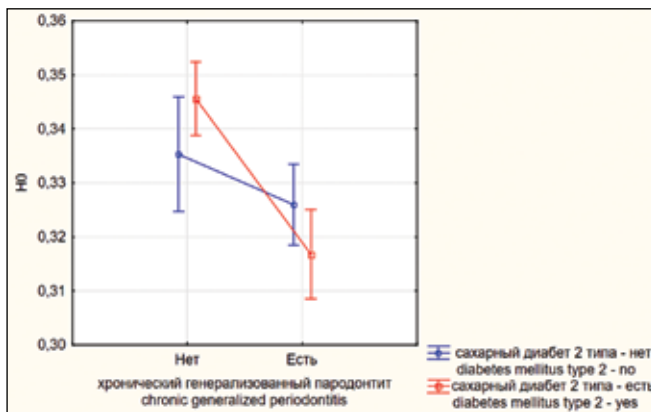


Рис. 7. Дисперсионная модель показателя H_0

(по оси абсцисс: 0 – пациенты без ХГП ССТ, 1 – пациенты с ХГП ССТ; по оси ординат: 0 – пациенты без СД 2 типа, 1 – пациенты с СД 2 типа)

Fig. 7. H_0 Dispersion Model for patient classification by MCP and DM2 status (X-axis: MCP status, 0 – absent, 1 – present; Y-axis: DM2 status, 0 – absent, 1 – present)

Результаты исследования базовых показателей нелинейной динамики состояния микроциркуляторного русла пародонта были приведены в таблицах 1, 2.

Полученные данные сформированных нами групп указывали на различия микроциркуляции тканей пародонта, что позволило нам составить характерный портрет функционального состояния микроциркуляторного русла как у пациентов с ХГП ССТ, осложненным СД 2 типа, так и у пациентов без эндокринной патологии.

Наиболее выраженные изменения были характерны для 2-й группы. Уменьшение активности регуляторной системы с высоким значением Херста (R/S) описывало микроциркуляторное русло как нерегулярную (без устойчивой регуляции) систему, делая ее слабой с точки зрения самоподобия. Свойство самоподобия наиболее интенсивно отражает нелинейную динамическую систему, которая «депрессива-

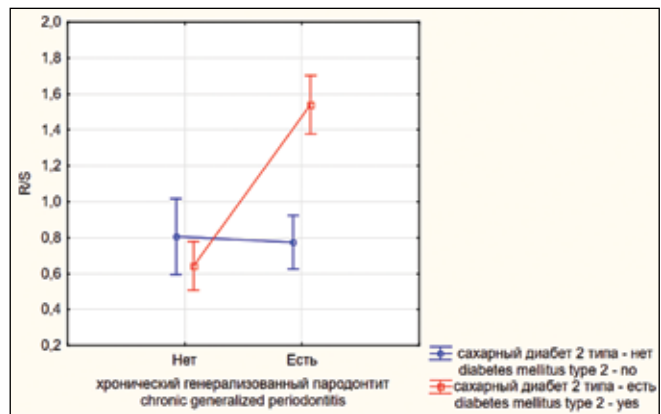


Рис. 6. Дисперсионная модель показателя R/S

(по оси абсцисс: 0 – пациенты без ХГП ССТ, 1 – пациенты с ХГП ССТ; по оси ординат: 0 – пациенты без СД 2 типа, 1 – пациенты с СД 2 типа)

Fig. 6. R/S Dispersion Model for patient classification by MCP and DM2 status (X-axis: MCP status, 0 – absent, 1 – present; Y-axis: DM2 status, 0 – absent, 1 – present)

ла» при возникновении патологических процессов. Высокий параметр относительной энергии (E_0) свидетельствовал о длительной гипоксии тканей, а низкая величина D_2 указывала на дефицит хаотичности, предполагающих наличие застойных явлений.

Энергия колебательного процесса 3-й группы так же, как у 2-й группы, была высокой по сравнению с контрольной группой, что указывало на активацию компенсаторных механизмов в ответ на характерные изменения тканей пародонта в виде наличия очагов воспаления с локальным спазмом артериол. Подтверждалась картина тенденцией к уменьшению хаотичности реологической системы и снижению ее разнообразия с изменением перфузии в сторону редукции за счет уменьшения параметров определения хаоса поведения фазового портрета (D_{2norm}), нормированного показателя хаоса (H_i) и фрактальной размерности (D_0).

Для подтверждения гипотезы влияния СД 2 типа на состояние микроциркуляторного русла пародонта был проведен дисперсионный анализ между пациентами с СД 2 типа групп 1 и 2 (61 человек), ХГП ССТ группы 3 (30 человек) и контрольной группы (15 человек), в результате чего показатели (рис. 5) и R/S (рис. 6) были значимо различимы по фактору СД 2 типа (D_0 $p = 0,000001$; R/S $p = 0,0005$; H_0 $p = 0,000002$) и по фактору ХГП ССТ (рис. 7) (D_0 $p = 0,000002$; R/S $p = 0,000001$). Также обнаружен эффект взаимодействия между СД 2 типа и ХГП ССТ (D_0 $p = 0,025377$; R/S $p = 0,000001$; H_0 $p = 0,024$).

Высокие показатели D_2 в контрольной группе (1,94) и в 1-й группе пациентов (1,84) говорили о сложности, хаотичности и разнообразии перфузии микроциркуляторного русла, что характерно для здорового пародонта или для тканей с высоким уровнем компенсаторных изменений, подтверждающихся выраженным ангиогенезом. Исходя из полученных данных можно предположить, что низкая величина показателя D_2 отражает возникновение застойных явления.

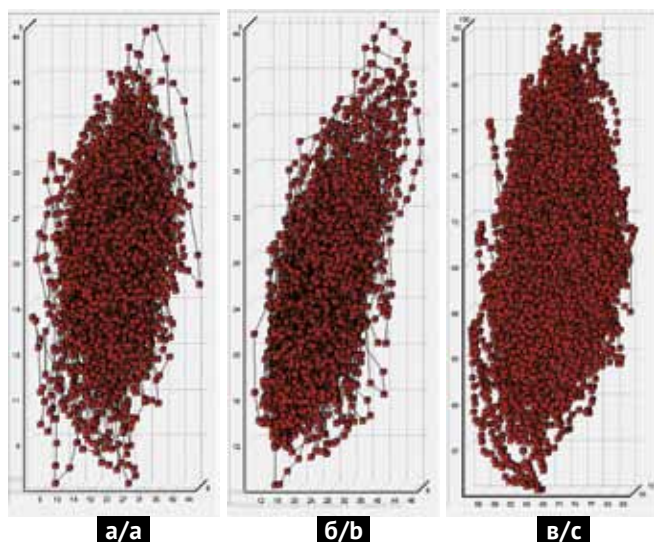


Рис. 8. Фазовый портрет пациентов контрольной 4-й группы (а – пациент О., 30 лет; б – пациент С., 44 года; в – пациент К., 28 лет)

Fig. 8. Phase portraits of control Group 4 patients (a – male O., age 30; b – male S., age 44; c – male K., age 28)

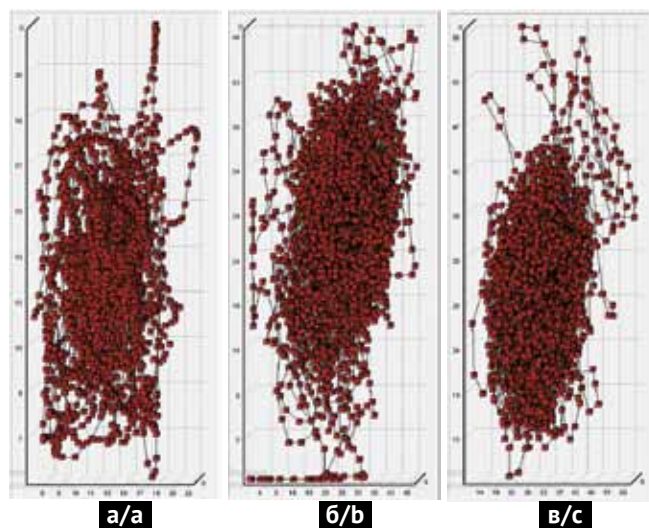


Рис. 9. Фазовый портрет пациентов с СД 2 типа и без ХГП ССТ 1-й группы (а – пациент С., 30 лет; б – пациент Т., 44 года; в – пациентка С., 39 лет)

Fig. 9. Phase portraits of Group 1 patients (DM2 without MCP) (a – male S., age 30; b – male T., age 44; c – female S., age 39)

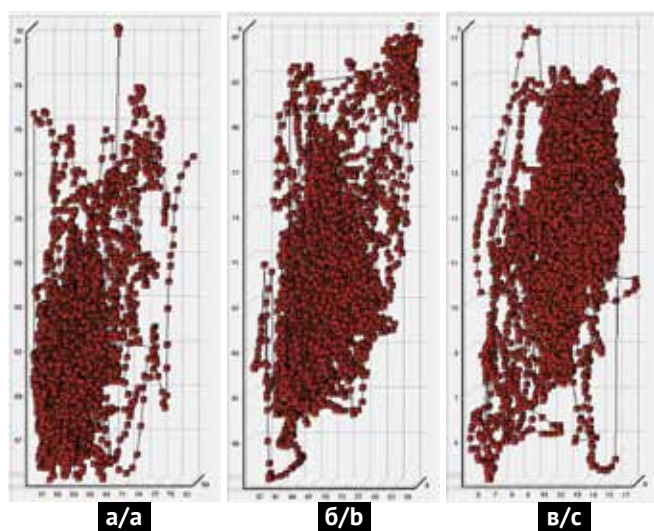


Рис. 10. Фазовый портрет пациентов без СД 2 типа и с ХГП ССТ 3-й группы (а – пациент М., 35 лет; б – пациент Р., 42 года; в – пациент Ц., 40 лет)

Fig. 10. Phase portraits of Group 3 patients (MCP without DM2) (a – male M., age 35; b – male R., age 42; c – male Ts., age 40)

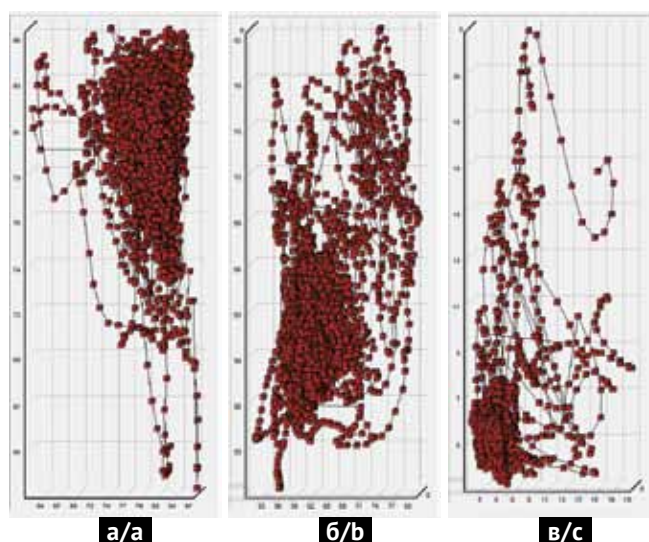


Рис. 11. Фазовый портрет пациентов с СД 2 типа и ХГП ССТ 2 группы (а – пациент К., 37 лет; б – пациент В., 38 лет; в – пациент М., 48 лет)

Fig. 11. Phase portraits of Group 2 patients (DM2 with MCP) (a – male K., age 37; b – male V., age 38; c – male M., age 48)

Результаты исследования пространственной конфигурации фазового портрета в группе 4 представлены на рисунке 8 (а – пациент О., 30 лет; б – пациент С., 44 года; в – пациент К., 28 лет). Они выявили стремление к однородности и равномерности расположения фазовых точек, притягиваемых к центру, а также заполнение большого объема фазового пространства, указывающего на признаки детерминированного хаотического процесса, свойственного здоровым людям.

Фазовый портрет пациентов с СД 2 типа без ХГП ССТ (рис. 9: а – пациент С., 30 лет; б – пациент Т., 44 года; в – пациентка С., 39 лет) характеризовался мень-

шей степенью упрощенности в отличие от контрольной группы. Большое количество пар и плотность фазовых точек была несколько ниже и растягивалась в фазовом пространстве, принимая овальную форму.

ХГП ССТ соответствовал фазовый портрет, изображенный на рисунке 10 (а – пациент М., 35 лет; б – пациент Р., 42 года; в – пациент Ц., 40 лет). Для данного заболевания характерен тип смешанного циклическо-хаотического фазового портрета.

Повышение сосудистого тонуса под влиянием симпатической нервной системы, приводящее к длительному спазму, а также повышение сосудистой проница-

емости приводят к процессам экссудации и нарушению реологических свойств крови микроциркуляторного русла пародонта. Дистрофия, возникшая на фоне длительной гипоксии, и уменьшение окислительно-восстановительных процессов в пародонте, приводящие к функциональным изменениям сосудистого русла пародонта, носят склеротический характер.

Вышеописанные и ранее полученные нами при патоморфологическом исследовании изменения проявились в фазовом пространстве, их результатом явилась неравномерная плотность фазовых точек в центре с разрозненным облаком по периферии. Расстояние между точками в значительной степени преобладали над плотностью фазовых точек в центре фазового пространства. Несмотря на незначительный объем циклического облака в центре фазового пространства, сохранялась тенденция к притяжению аттрактора к центру.

Предельно-циклический фазовый портрет был характерен для пациентов с ХГП ССТ на фоне СД 2 типа, изображенный на рисунке 11 (а – пациент К., 37 лет; б – пациент В., 38 лет; в – пациент М., 48 лет).

Сформированный геометрический цикл аттрактора был неустойчивым, образовывал незначительную хаотическую область, отдаленную от центра, периферическое облако фазовых точек распределялось неравномерно, циклы аттрактора без выраженного стремления к центру. Такие патологические процессы как сладж-феномен, полнокровие и дистрофические изменения стенок сосудов (плазматическое пропитывание и гиалиноз стенок артериол), расстройства проницаемости, характерные для СД, а также снижение васкуляризации, редукция и хаотичное распределение сосудов, могут приводить к выраженной дистрофии и гипоксии ткани, микрососудистой дисфункции, оказывающей отрицательное влияние на пародонт. Полученный фазовый портрет системы указывал на хроническое патологическое состояние в микроциркуляторном русле тканей пародонта, связанного с декомпенсированными (необратимыми) процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aoyama N, Suzuki JI, Kobayashi N, Hanatani T, Ashigaki N, Yoshida A, et al. Japanese Cardiovascular Disease Patients with Diabetes Mellitus Suffer Increased Tooth Loss in Comparison to Those without Diabetes Mellitus – A Cross-sectional Study. *Intern Med.* 2018;57(6):777-782. doi: 10.2169/internalmedicine.9578-17
2. Buse JB, Wexler DJ, Tsapas A, Rossing P, Mingrone G, Mathieu Ch, et al: 2019 Update to: Management of Hyperglycemia in Type 2 Diabetes, 2018. A Consensus Report by the American Diabetes Association (ADA) and the European Association for the Study of Diabetes (EASD). *Diabetes Care.* 2020;43(2):487-493. doi: 10.2337/dci19-0066
3. Oliver RC, Tervonen T. Diabetes – a risk factor for periodontitis in adults? *J Periodontol.* 1994;65(5 Suppl):530-8. doi: 10.1902/jop.1994.65.5s.530

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных данных определенные соотношения реологических структурных и функциональных изменений отразили основные тенденции, характерные для каждой из четырех групп.

Результаты исследования показали, что индексная оценка не указывала на наличие сопутствующей патологии, путем ухудшения индексной оценки, однако при изучении влияния СД 2 типа и ХГП ССТ на состояние микроциркуляции были получены статистически достоверные различия между 2 и 3 группами ($p = 1,00$), а также определялся эффект взаимодействия между СД 2 типа и ХГП ССТ ($D_0 p = 0,025377$; $R/S p = 0,000001$; $H_0 p = 0,024$).

Оценка всех параметров нелинейной динамики позволила охарактеризовать влияние моделирующих факторов на микроциркуляцию, а также графически оценить структурную сложность ЛДФ – сигнала и динамику поведения кровотока с последующим формированием фазового портрета.

Предельно-циклический фазовый портрет был характерен для пациентов с ХГП ССТ на фоне СД 2 типа, с выделяющей его неустойчивостью, хаотичностью, разобщенностью аттракторов. Группе с ХГП ССТ соответствовал фазовый портрет смешанного циклическо-хаотического характера с разрозненной неравномерной плотностью аттракторов по периферии и сохранением притяжения по центру. В отличие от предыдущих групп, пространственная конфигурация фазового портрета в контрольной группе была однородной и равномерной, с четким притяжением к центру. Более упрощенная картина с сохранением количества пар и плотности аттрактора выявилась у пациентов с СД 2 типа без ХГП ССТ.

Таким образом, получаемый рисунок способен сформировать у специалиста представление о наличии патологии кровотока даже без проведения углубленного цифрового анализа данных.

4. Oliver RC, Tervonen T. Periodontitis and tooth loss: comparing diabetics with the general population. *J Am Dent Assoc.* 1993;124(12):71-6. doi: 10.14219/jada.archive.1993.0247
5. Weijdijk LPM, Ziukaite L, Van der Weijden GAF, Bakker EWP, Slot DE. The risk of tooth loss in patients with diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Int J Dent Hyg.* 2022 Feb;20(1):145-166. doi: 10.1111/idh.12512
6. Мировая статистика здравоохранения, 2020 г.: мониторинг показателей здоровья в отношении ЦУР, целей в области устойчивого развития. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2020. Лицензия: CCBY-NC-SA 3.0IGO. Режим доступа: <https://whodc.mednet.ru/en/main-publications/epidemiologiya-i-statistika/3295.html>

7. Петрова ТГ, Бородин НБ, Рымар СД, Рымар ОД. Взаимодействие стоматолога с эндокринологом – командный подход в лечении воспалительных заболеваний пародонта у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа (обзор литературы). *Пародонтология*. 2019;24(2):140-144.

doi: 10.33925/1683-3759-2019-24-2-140-144

8. Суринов АЕ, редактор. Российский статистический ежегодник. Статистический сборник. Москва: Росстат. 2018:212-218. Режим доступа:

<https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/year18.pdf>

9. Сунцов ЮИ, Болотская ЛЛ, Маслова ОВ, Казаков ИВ. Эпидемиология сахарного диабета и прогноз его распространенности в Российской Федерации. *Сахарный диабет*. 2011;14(1):15-19.

doi: 10.14341/2072-0351-6245

10. Raju K, Taylor GW, Tahir P, Hyde S. Association of tooth loss with morbidity and mortality by diabetes status in older adults: a systematic review. *BMC Endocr Disord*. 2021;21(1):205.

doi: 10.1186/s12902-021-00830-6

11. Коцлова АА, Давыденко ВВ, Власов ТД. Локальные изменения в оценке состояния микроциркуляции при нейроишемической и нейропатической формах синдрома диабетической стопы. *Лазерная медицина*. 2016;20(2):5-12.

doi: 10.37895/2071-8004-2016-20-2-5-12

12. Коровкина АН, Коровкин ВВ. Оценка нелинейных динамических процессов в микрогемоциркуляторном русле тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии. *Лазерная медицина*. 2015;19(1):33-36.

doi: 10.37895/2071-8004-2015-19-1-33-36

13. Коровкин ВВ, Ипполитов ЮА, Коровкина АН. Лазерная доплеровская флоуметрия в диагностике воспалительных заболеваний пародонта. *Лазерная медицина*. 2016;20(2):44-49.

doi: 10.37895/2071-8004-2016-20-2-44-49

14. Климонтович ЮЛ. Энтропия и информация открытых систем. *Успехи физических наук*. 1999;169(4):443-452.

doi: 10.1070/PU1999v042n04ABEN000568

15. Крупаткин АИ, Сидоров ВВ, Кучерик АО, Троцкий ДП. Современные возможности анализа поведения микроциркуляции крови как нелинейной динамической системы. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2010;9(1):61-67.

doi: 10.24884/1682-6655-2010-9-1-61-67

16. Флейшман АН, Кораблина ТВ, Петровский СА, Мартынов ИД. Сложная структура и нелинейное поведение very low frequency variability ритма сердца: модели анализа и практические приложения. *Известия вузов ПНД*. 2014;22(1):55-70.

doi: 10.18500/0869-6632-2014-22-1-55-70

REFERENCES

1. Aoyama N, Suzuki JI, Kobayashi N, Hanatani T, Ashigaki N, Yoshida A, et al. Japanese Cardiovascular Disease Patients with Diabetes Mellitus Suffer Increased Tooth Loss in Comparison to Those without Diabetes Mellitus – A Cross-sectional Study. *Intern Med*. 2018;57(6):777-782.

doi: 10.2169/internalmedicine.9578-17.

2. Buse JB, Wexler DJ, Tsapas A, Rossing P, Mingrone G, Mathieu Ch, et al: 2019 Update to: Management of Hyperglycemia in Type 2 Diabetes, 2018. A Consensus Report by the American Diabetes Association (ADA) and the European Association for the Study of Diabetes (EASD). *Diabetes Care*. 2020;43(2):487-493.

doi: 10.2337/dci19-0066

3. Oliver RC, Tervonen T. Diabetes--a risk factor for periodontitis in adults? *J Periodontol*. 1994;65(5 Suppl):530-8.

doi: 10.1902/jop.1994.65.5s.530

4. Oliver RC, Tervonen T. Periodontitis and tooth loss: comparing diabetics with the general population. *J Am Dent Assoc*. 1993;124(12):71-6.

doi: 10.14219/jada.archive.1993.0247

5. Weijldijk LPM, Ziukaite L, Van der Weijden GAF, Bakker EWP, Slot DE. The risk of tooth loss in patients with diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Int J Dent Hyg*. 2022 Feb;20(1):145-166.

doi: 10.1111/idh.12512

6. World health statistics 2020: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization; 2020. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Available from:

<https://whodc.mednet.ru/en/main-publications/epidemiologiya-i-statistika/3295.html>

7. Petrova TG, Borodina NB, Rymar SD, Rymar OD. The interaction of the dentist with an endocrinologist – a team approach in the treatment of inflammatory periodontal diseases in patients with type 2 diabetes mellitus (literature review). *Parodontologiya*. 2019;24(2):140-144 (In Russ.).

doi: 10.33925/1683-3759-2019-24-2-140-144

8. Surinov AE, editor. Russian statistical Yearbook. Statistical handbook. *Rosstat*. 2018:212-218 (In Russ.). Available from:

<https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/year18.pdf>

9. Suntsov YuI, Bolotskaya LL, Maslova OV, Kazakov IV. Epidemiology of diabetes mellitus and prognosis of its prevalence in the Russian Federation. *Diabetes mellitus*. 2011;14(1):15-19 (In Russ.).

doi: 10.14341/2072-0351-6245

10. Raju K, Taylor GW, Tahir P, Hyde S. Association of tooth loss with morbidity and mortality by diabetes status in older adults: a systematic review. *BMC Endocr Disord*. 2021;21(1):205.

doi: 10.1186/s12902-021-00830-6

11. Kotslova AA, Davidenko VV, Vlasov TD. Local changes in microcirculation in patients with neuroischemic and neuropathic forms of the diabetic foot syndrome. *Laser Medicine*. 2016;20(2):5-12 (In Russ.).
doi: 10.37895/2071-8004-2016-20-2-5-12

12. Korovkina AN, Korovkin VV. Assessment of non-linear dynamic processes in the microhemocirculatory flow in the parodontal tissues using laser Doppler flowmetry technique. *Laser Medicine*. 2015;19(1):33-36 (In Russ.).
doi: 10.37895/2071-8004-2015-19-1-33-36

13. Korovkin VV, Ippolitov YuA, Korovkina AN. Method of laser doppler flowmetry in the diagnosis of inflammatory periodontal diseases. *Laser Medicine*. 2016;20(2):44-49 (In Russ.).
doi: 10.37895/2071-8004-2016-20-2-44-49

14. Klimontovich YuL. Entropy and information of open systems. *Advances in Physical Sciences*. 1999;169(4): 443-452 (In Russ.).
doi: 10.1070/PU1999v042n04ABEH000568

15. Krupatkin AI, Sidorov VV, Kucherik AO, Troitsky DP. Modern possibilities to analyze the behavior of blood microchemocirculation as a nonlinear dynamic system. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2010;9(1):61-67.
doi: 10.24884/1682-6655-2010-9-1-61-67

16. Fleishman AN, Korablina TV, Petrovsky SA, Martynov ID. Complex structure and nonlinear behavior of very low frequency of heart rate variability: model of analysis, and practical applications. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2014;22(1):55-70 (In Russ.).
doi: 10.18500/0869-6632-2014-22-1-55-70

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за связь с редакцией:

Лисина Марианна Андреевна, преподаватель кафедры оперативной хирургии (с топографической анатомией) Военной-медицинской академии имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация
Для переписки: lisina1212@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1049-6996>

Бородулина Ирина Ивановна, доктор медицинских наук, профессор кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для переписки: borodulina59@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1036-6455>

Чирский Вадим Семенович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой патологической анатомии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для переписки: v_chirsky@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3215-3901>

Васильева Людмила Васильевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для переписки: vasilevalud@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6660-6535>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Corresponding author:

Marianna A. Lisina, DDS, PhD Lecturer, Department of the Operative Surgery and Topographic Anatomy, Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russian Federation

For correspondence: lisina1212@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1049-6996>

Irina I. Borodulina, DDS, PhD, DSc, Professor, Department of Maxillofacial Surgery and Surgical Dentistry, Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russian Federation

For correspondence: borodulina59@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1036-6455>

Vadim S. Chirsky, MD, PhD, DDS, Professor, Head of the Department of the Pathological Anatomy, Department of Maxillofacial Surgery and Surgical Dentistry, Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russian Federation

For correspondence: v_chirsky@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3215-3901>

Ludmila V. Vasilyeva, MD, PhD, Associate Professor, Department of Maxillofacial Surgery and Surgical Dentistry, Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russian Federation

For correspondence: vasilevalud@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6660-6535>

Конфликт интересов:

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов / Conflict of interests:

The authors declare no conflict of interests

Поступила / Article received 26.11.2023

Поступила после рецензирования / Revised 30.01.2024

Принята к публикации / Accepted 11.02.2024