

**ОЦЕНКА ПОВЕДЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА ТКАНЕЙ ПАРОДОНТА В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ
ПРИ ДИАГНОСТИКЕ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ДОППЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ**

Ю.А. ИПОЛИТОВ, В.В. КОРОВКИН, А.Н. КОРОВКИНА

*ГБОУ ВПО Воронежская государственная академия им. Н.Н. Бурденко Министерства здравоохранения
Российской Федерации, ул. Студенческая, 10, Воронеж, Россия, 394036, тел.: +7 (473)2555753*

Аннотация. В статье проводится оценка поведения нелинейной динамической системы микроциркуляторного русла тканей пародонта в фазовом пространстве на основании лазерной доплеровской флоуметрии. Для этого было проведено обследование 62 пациентов в возрасте 18-36 лет. Контрольную группу составили 20 практически здоровых лиц без сопутствующих заболеваний с интактным пародонтом. I группа – 20 больных с хроническим катаральным гингивитом легкой степени; II группа – 22 больных с хроническим генерализованным пародонитом легкой степени. Оценку состояния нелинейной динамической системы тканей пародонта проводили с помощью лазерной доплеровской флоуметрии – аппаратом ЛАКК-02 (НПП «ЛАЗМА», Россия) и программы 2.2.50 (НПП «ЛАЗМА», Россия). В зависимости от функционального состояния системы микроциркуляции тканей пародонта строились фазовые портреты отражающие динамическое состояние нелинейной системы. При проведении анализа фазовых портретов ЛДФ-грамм, были выявлены дисфункциональные типы характеризующие наличие воспалительного процесса, что позволяет использовать предложенный анализ в клинической практике в целях функционального контроля и прогнозирования у пациентов после проводимого лечения.

Ключевые слова: гингивит, пародонтит, лазерная доплеровская флоуметрия, аттрактор, фазовый портрет, нелинейная динамика.

**THE ASSESSMENT OF THE BEHAVIOR OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEM OF THE
MICROVASCULAR CHANNEL OF PERIODONTAL TISSUES IN THE PHASE SPACE
AT DIAGNOSIS BY LASER DOPPLER FLOWMETRY**

Yu.A. IPPOLITOV, V.V. KOROVKIN, A.N. KOROVKINA

*Voronezh State N.N. Burdenko Medical Academy, st. Student, 10, Voronezh, Russia, 394036,
tel. : +7 (473) 2555753*

Abstract. The article presents the assessment the behavior of a nonlinear dynamic system of a microvascular channel of periodontal tissues in phase space by laser Doppler flowmetry. For this purpose, 62 patients aged 18-36 years were examined. The control group consisted of 20 healthy individuals without co-morbidities with intact periodontium. The 1st group was 20 patients with chronic catarrhal gingivitis of mild degree; the 2nd group consisted of 22 patients with chronic generalized periodontitis of mild degree. Assessment of the state of a nonlinear dynamic system of periodontal tissues was performed by laser Doppler flowmetry, the device LACC-02 (SPE "LAZMA", Russia) and program 2.2.50 (SPE "LAZMA", Russia). Depending on the functional state of the microcirculation in periodontal tissues, phase portraits, reflecting the dynamic state of the nonlinear system were built. The analysis of phase portraits LDF – grams revealed the dysfunctional types characterizing an inflammatory process. It can be used in clinical practice as a method of functional monitoring and forecasting in patients after treatment.

Key words: gingivitis, periodontitis, laser Doppler flowmetry, attractor, the phase portrait of the nonlinear dynamics.

Определение характера течения и исхода воспалительных заболеваний пародонта относятся к числу важнейших задач современной стоматологии. Медицинская и социальная значимость лечения воспалительных заболеваний пародонта определяется их высокой частотой распространения во всем мире, в том числе и в России.

Основным воспалительными заболеваниями пародонта являются гингивит и пародонтит. В возникновении этих форм заболевания предлагалось множество теорий, которые в основном строятся на механизмах развития патологического процесса тканей пародонта. Это объясняется тем, что в основе патологии воспалительного процесса лежат метаболические и гемодинамические изменения [1, 3, 4, 5, 10, 11, 15, 16]. Наиболее перспективным методом оценки состояния системы гемомикроциркуляции тка-

Библиографическая ссылка:

Ипполитов Ю.А., Коровкин В.В., Коровкина А.Н. Оценка поведения нелинейной динамической системы микроциркуляторного русла тканей пародонта в фазовом пространстве при диагностике методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-19. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5180.pdf> (дата обращения: 30.06.2015). DOI: 10.12737/ 11908

ней пародонта является *лазерная доплеровская флоуметрия* (ЛДФ). Метод ЛДФ позволяет исследовать параметры колебаний кровотока не только в амплитудно-частотном спектре, но и оценивать «хаотический компонент» поведения микроциркуляции как нелинейной динамической системы [9].

В настоящее время признана практическая необходимость изучения нелинейности физиологических систем, потому что «болезнь» приводит к изменению их нелинейных параметров и способности к адаптации. Получение количественных характеристик «хаотического процесса» может указывать на наличие патологии, которая не обнаруживается другими методами диагностики. Для математического описания параметров «хаоса» применяют разнообразные приемы – дифференциальные уравнения, дискретные отображения, теории графов и другие. Кроме математических моделей для представления нелинейных динамических систем широко применяется геометрическое изображение в виде фазового портрета. В соответствии с теорией математического «хаоса» микроциркуляторное русло кровообращения представляет нелинейную динамическую систему, которая характеризуется сильной чувствительностью поведения к начальным условиям [5-8].

Для характеристики динамической системы определяют ее фазовое пространство. 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. Если множество фазовых траекторий изобразить в фазовом пространстве, то возникает общая картина поведения системы. Такую картину называют фазовым портретом, он позволяет проиллюстрировать динамику системы [12, 13]. Синонимом фазового портрета является «аттрактор» (происходит от английского слова «*attract*» – привлекать, притягивать) – множество состояний точек фазового пространства динамической системы к которому она стремится с течением времени. Фазовый портрет микроциркуляторного русла – это странный аттрактор; название «странный» принадлежит аттрактору у которого прогнозирование фазовых траекторий невозможно из-за зависимости от начальных условий. Фазовый портрет микроциркуляторного русла строится согласно теореме Такенса по координатным данным ЛДФ-граммы [5].

Общепринятой классификации фазовых портретов не существует. При анализе нелинейной динамики поведения сердечно-сосудистой системы в фазовом пространстве различные авторы выделяют: хаотический, предельно-циклический, упрощенно-геометрический и смешанные типы (хаос-циклический, упрощенно-хаотический, упрощенно-циклический) [2, 14].

Хаотический фазовый портрет характеризуется равномерной плотностью фазовых точек в центре с менее плотным облаком по периферии притянутым к центру без резких разбросов фазовых точек. Характеризуется значительной сложностью.

Предельно циклический фазовый портрет характеризуется выраженностью циклических структур фазовых циклов, что связано с сохраняющейся более или менее правильной периодичностью (регулярностью) ЛДФ-сигнала.

Упрощенно-геометрический фазовый портрет отражает снижение сложности осцилляций микрокровотока, что приводит к снижению сложности ЛДФ-сигнала. При этом формируется фазовый портрет в виде простых геометрических фигур (кругов, овалов, треугольников, ромбов).

Смешанные виды фазовых портретов являются переходными, отражающими геометрические характеристики присущие всем видам фазовых портретов.

В настоящее время нелинейные процессы микроциркуляторного русла при заболеваниях пародонта систематически не изучены, поэтому нелинейное динамическое поведение микроциркуляции тканей пародонта в норме и патологии в фазовом пространстве представляет большой практический интерес для прогнозирования течения и исхода воспалительного процесса.

Цель исследования – оценка диагностической значимости нелинейного динамического поведения системы микроциркуляторного русла тканей пародонта в фазовом пространстве при диагностике заболеваний пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии.

Материалы и методы исследования. Обследование проводилось у 62 пациентов в возрасте 18-36 лет. Контрольную группу составили 20 практически здоровых лиц без сопутствующих заболеваний с интактным пародонтом. I группа – 20 больных с хроническим катаральным гингивитом легкой степени; II группа – 22 больных с хроническим генерализованным пародонтитом легкой степени.

ЛДФ со спектральным вейвлет-анализом колебаний кровотока проводили аппаратом ЛАКК-02 (НПП «ЛАЗМА», Россия). Регистрацию ЛДФ проводили в областях согласно индексу Грина-Вермильона. Измерения производили в течении 300 секунд с помощью зонда диаметром 3 мм в красном канале лазерного излучения (длина волны – 0,63 мкм). Для анализа выделялись фрагменты записей длительностью 300 сек. С помощью спектрального анализа записей ЛДФ (программа 2.2.509-НПП «ЛАЗМА», Россия) производили оценку нелинейной динамики поведения системы микроциркуляторного русла в фазовом пространстве с визуальной оценкой типов фазового портрета – хаотического, упрощенного и предельного цикла, а также смешанных вариантов.

Библиографическая ссылка:

Ипполитов Ю.А., Коровкин В.В., Коровкина А.Н. Оценка поведения нелинейной динамической системы микроциркуляторного русла тканей пародонта в фазовом пространстве при диагностике методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-19. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5180.pdf> (дата обращения: 30.06.2015). DOI: 10.12737/11908

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования нелинейного динамического поведения системы микроциркуляции тканей пародонта в фазовом пространстве групп испытуемых представлены на рисунках 1,2,3. Группы, сформированные в данной работе, отражают разные функциональные состояния микроциркуляторной системы тканей пародонта как в норме, так и при наличии патологических изменений. Для каждого из состояний характерны свои особенности динамики поведения «аттрактора». Проведение исследований в одной и той же зоне исследования, в одном и том же временном промежутке, позволила провести статистически значимый сравнительный анализ изучаемых показателей.

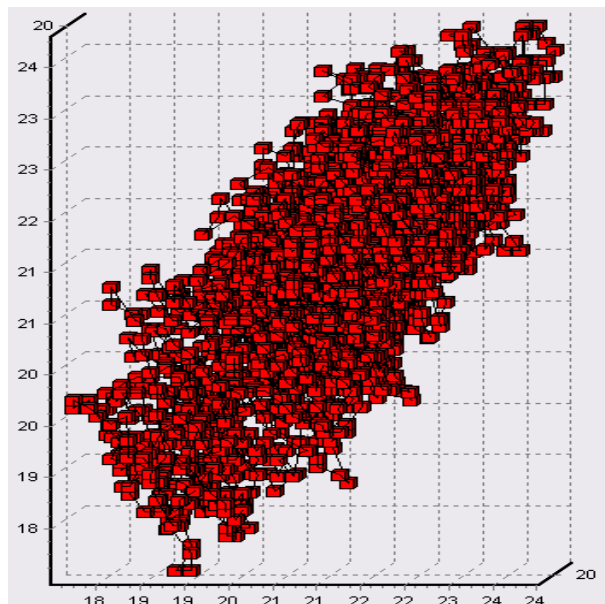


Рис.1. Фазовый портрет здорового пародонта

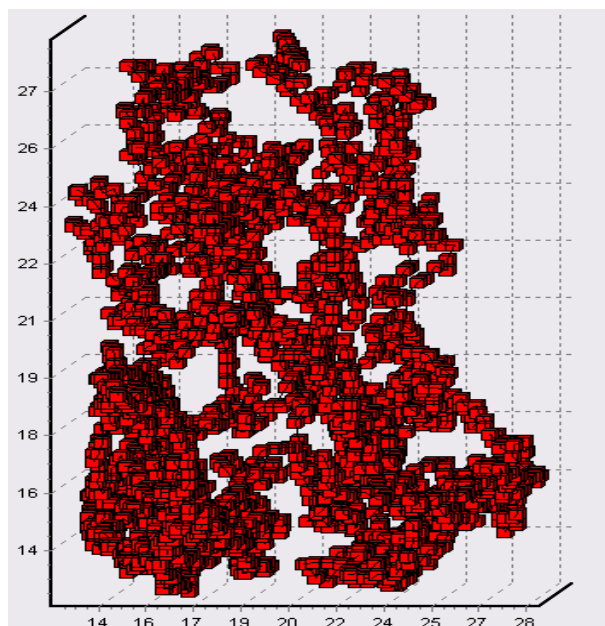


Рис.2. Фазовый портрет при хроническом генерализованном катаральном гингивите

Библиографическая ссылка:

Ипполитов Ю.А., Коровкин В.В., Коровкина А.Н. Оценка поведения нелинейной динамической системы микроциркуляторного русла тканей пародонта в фазовом пространстве при диагностике методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-19. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5180.pdf> (дата обращения: 30.06.2015). DOI: 10.12737/ 11908

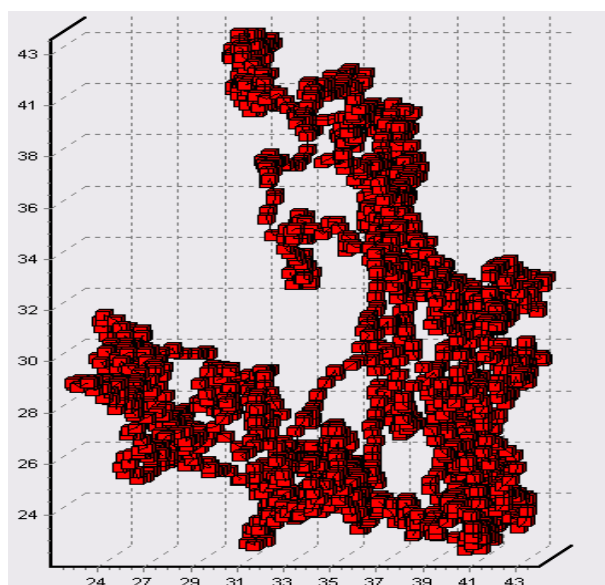


Рис. 3. Фазовый портрет при хроническом генерализованном пародонтите легкой степени

Результаты исследования фрактальной структуры ЛДФ-граммы у здоровых лиц на рис. 1 показали, что все геометрические циклы аттрактора формируют равномерную плотность фазовых точек в центре фазового пространства с менее плотным облаком по периферии, притянутым к центру без резких разбросов фазовых точек. Это наглядным образом характеризует значительную сложность осцилляций микроциркуляции тканей пародонта в норме.

Фазовый портрет при хроническом катаральном гингивите представленный на рис. 2 показал наличие смешанного циклическо-хаотического фазового портрета, геометрические циклы аттрактора формируют ацентричную плотность фазовых точек с плотным облаком по периферии, размеры которого в значительной степени преобладают над плотностью фазовых точек в центре фазового пространства. Несмотря на наличие значительного объема циклического облака по периферии фазового пространства, аттрактор сохраняет притяжение к центру. Данный тип аттрактора является переходным вариантом поведения системы микроциркуляции и характеризует определенный тип течения воспалительного процесса с обратимыми свойствами.

Поведение системы микроциркуляции при хроническом генерализованном пародонтите легкой степени изображенное на рис. 3, формирует предельно-циклический фазовый портрет. Геометрический цикл аттрактора формирует незначительную хаотическую область отдаленную от центра фазовой плоскости, периферическое облако фазовых точек имеют вид циклов различной площади, циклы аттрактора не имеют выраженного стремления к центру. Данный тип поведения системы микроциркуляции также отражает определенный вид течения патологического процесса связанного с декомпенсированными (необратимыми) процессами в микроциркуляторном русле тканей пародонта.

Выводы. Таким образом, на основании полученных результатов, в ходе проводимого исследования нами подтверждена диагностическая значимость оценки нелинейного динамического поведения системы микроциркуляции пародонта методом ЛДФ. Методика геометрического анализа фазовых портретов ЛДФ-грамм позволила выявить дисфункциональные типы фазовых портретов микроциркуляторного русла тканей пародонта при наличии воспалительного процесса (I и II – группа исследования), которые характеризовались формированием переходного типа аттрактора, формирующего смешанный циклическо-хаотический тип геометрического образа в фазовом пространстве (I группа исследования) и предельно-циклический образ в фазовом пространстве (II – группа исследования). В I группе исследования, несмотря на наличие значительного объема циклического облака по периферии фазового пространства, аттрактор сохраняет притяжение к центру, чего нельзя сказать о II – группе исследования, где циклы аттрактора не имели выраженного стремления к центру. По нашему мнению, представленные дисфункциональные виды фазового портрета в полной мере отражали типы течения воспалительного процесса, которые были обратимы при хроническом катаральном гингивите и необратимы при хроническом генерализованном пародонтите легкой степени. Методика анализа фазовых портретов при различных патологических состояниях протекающих в тканях пародонта является дополнительным методом к стандартной диагностике заболеваний пародонта, может быть использована в клинической практике, как метод функционального контроля и прогнозирования у пациентов после проводимого лечения.

Библиографическая ссылка:

Ипполитов Ю.А., Коровкин В.В., Коровкина А.Н. Оценка поведения нелинейной динамической системы микроциркуляторного русла тканей пародонта в фазовом пространстве при диагностике методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-19. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5180.pdf> (дата обращения: 30.06.2015). DOI: 10.12737/11908

Литература

1. Барер Г.М., Лемецкая Т.И. Болезни пародонта. Клиника, диагностика и лечение: учебное пособие. Москва: ВУНМЦ, 1996. 86 с.
2. Гаврилушкин А.П., Киселев С.В., Маслюк А.П. Нелинейная динамика ритма сердца у кардиохирургических больных // Медленные колебательные процессы в организме человека. Теоретические и прикладные аспекты нелинейной динамики в физиологии: сб. материалов III симпозиума. Новокузнецк: Изд-во НИИ КППЗ СО РАМН, 2001. С.190–196.
3. Гемонов В.В. Пародонтит; под ред. Л.А. Дмитриевой. Москва: МЕДпресс-информ, 2007. 380 с.
4. Грудянов А.И., Фоменко Е.В. Этиология и патогенез воспалительных заболеваний пародонта. Москва: МИА, 2010. 96 с.
5. Ипполитов Ю.А., Коровкина А.Н., Коровкин В.В. Оценка колебательных процессов микроциркуляторного русла тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии // Фундаментальные и прикладные проблемы стоматологии: тез. конф., 11-13 дек. 2014 г. Санкт-Петербург, 2014. С. 64–66.
6. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: Колебания, информация, нелинейность: рук-во для врачей. Москва: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 496 с.
7. Крупаткин А.И. Динамический колебательный контур регуляции капиллярной гемодинамики // Физиология человека. 2007. Т. 33, № 5. С. 93–101.
8. Крупаткин А.И. Исследование информационных процессов в микрососудистых сетях с помощью вейвлет-анализа колебательных структур кровотока // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2009. Т. 8, № 3. С. 21–31.
9. Крупаткин А.И. Современные возможности анализа поведения микроциркуляции крови как нелинейной динамической системы // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2010. Т. 9, № 1. С. 61–67.
10. Микроциркуляция в тканях пародонта / Кречина Е.К. [и др.]. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2007. 126 с.
11. Мюллер Х.П. Пародонтология: пер. с нем. Х.П. Мюллер. Львов: ГалДент, 2004. 256 с.
12. Федер Е. Фракталы: пер. с англ. Е. Федер. Москва: Мир, 1991. 254 с.
13. Фракталы и хаос в динамических системах: пер. с англ. Москва: Техносфера, 2006. 120 с.
14. Флейшман А.Н. Вариабельность ритма сердца и медленные колебания гемодинамики: нелинейные феномены в клинической практике. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 194 с.
15. Microcirculation and micromorphology of healthy and inflamed gingival / Kerdvongbundit V. [et al.] // J. Odontology. 2003. Vol. 91, N 1. P. 19–25.
16. Offenbacher S. Periodontal diseases: Pathogenesis // Ann. Periodontol. (World Workshop in Periodontics). 1996. N 1. P. 821.

References

1. Barer GM, Lemetskaya TI. Bolezni parodonta. Klinika, diagnostika i lechenie: uchebnoe posobie. Moscow: VUNMTs; 1996. Russian.
2. Gavrilushkin AP, Kiselev SV, Maslyuk AP. Nelineynaya dinamika ritma serdtsa u kardiokhirurgicheskikh bol'nykh. Medlennye kolebatel'nye protsessy v organizme cheloveka. Teoreticheskie i prikladnye aspekty nelineynoy dinamiki v fiziologii: sb. materialov III simpoziuma. Novokuznetsk: Izd-vo NII KPGPZ SO RAMN; 2001. Russian.
3. Gemonov VV. Parodontit; pod red. L.A. Dmitrievoy. Moscow: MEDpress-inform; 2007. Russian.
4. Grudyanov AI, Fomenko EV. Etiologiya i patogenez vospalitel'nykh zabolovaniy parodonta. Moscow: MIA; 2010. Russian.
5. Ippolitov YuA, Korovkina AN, Korovkin VV. Otsenka kolebatel'nykh protsessov mikrotsirkulyatornogo rusla tkaney parodonta metodom lazernoy dopplerovskoy floumetrii. Fundamental'nye i prikladnye problemy stomatologii: tez. konf., 11-13 dek. 2014 g. Sankt-Peterburg; 2014. Russian.
6. Krupatkin AI, Sidorov VV. Funktsional'naya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem: Kolebaniya, informatsiya, nelineynost': ruk-vo dlya vrachey. Moscow: Knizhnyy dom «LIBROKOM»; 2013. Russian.
7. Krupatkin AI. Dinamicheskii kolebatel'nyy kontur regulyatsii kapillyarnoy gemodinamiki. Fiziologiya cheloveka. 2007;33(5):93-101. Russian.
8. Krupatkin AI. Issledovanie informatsionnykh protsessov v mikrososudistykh setyakh s pomoshch'yu veyvlet-analiza kolebatel'nykh struktur krovotoka. Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya. 2009;8(3):21-31. Russian.

Библиографическая ссылка:

Ипполитов Ю.А., Коровкин В.В., Коровкина А.Н. Оценка поведения нелинейной динамической системы микроциркуляторного русла тканей пародонта в фазовом пространстве при диагностике методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-19. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5180.pdf> (дата обращения: 30.06.2015). DOI: 10.12737/ 11908

9. Krupatkin AI. Sovremennye vozmozhnosti analiza povedeniya mikrotsirkulyatsii krovi kak nelineynoy dinamicheskoy sistemy. Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya. 2010;9(1):61-7. Russian.
10. Krechina EK, et al. Mikrotsirkulyatsiya v tkanyakh parodonta. Moscow: GEOTAR-Media; 2007. Russian.
11. Myuller KhP. Parodontologiya: per. s nem. Kh.P. Myuller. L'vov: GalDent; 2004. Russian.
12. Feder E. Fraktaly: per. s angl. E. Feder. Moscow: Mir; 1991. Russian.
13. Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh: per. s angl. Moscow: Tekhnosfera; 2006. Russian.
14. Fleyshman AN. Variabel'nost' ritma serdtsa i medlennye kolebaniya gemodinamiki: nelineynye fenomeny v klinicheskoy praktike. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN; 2009. Russian.
15. Kerdvongbundit V, et al. Microcirculation and micromorphology of healthy and inflamed gingival. J. Odontology. 2003;91(1):19-25.
16. Offenbacher S. Periodontal diseases: Pathogenesis. Ann. Periodontol. (World Workshop in Periodontics). 1996;1:821.

Библиографическая ссылка:

Ипполитов Ю.А., Коровкин В.В., Коровкина А.Н. Оценка поведения нелинейной динамической системы микроциркуляторного русла тканей пародонта в фазовом пространстве при диагностике методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-19. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5180.pdf> (дата обращения: 30.06.2015). DOI: 10.12737/ 11908