

**ОЦЕНКА НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА
МИКРОГЕМОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА ТКАНЕЙ ПАРОДОНТА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ
ДОПЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ**

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

*Воронежская государственная академия им. Н.Н. Бурденко,
ул. Студенческая, 10, Воронеж, Россия, 394036*

Аннотация. В статье рассматривается оценка уровня взаимосвязи нелинейных динамических и колебательных процессов в микроциркуляторном русле тканей пародонта – методом 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 пародонтитом легкой степени. Лазерную доплеровскую флоуметрию со спектральным непрерывным вейвлет-анализом колебаний кровотока проводилось аппаратом ЛАКК-02 (НПП «ЛАЗМА», Россия). В ходе проводимого исследования оценивали относительную энергию колебаний кровотока E_0 с помощью спектрального анализа записей ЛДФ (программа 2.2.509 – НПП «ЛАЗМА», Россия) и нормированных нелинейных динамических параметров микроциркуляции тканей пародонта, что позволило выявить их взаимосвязь с параметрами колебательного процесса, провести его анализ, понять состояние макроскопических характеристик поведения модулирующих факторов, как в норме, так и в патологических условиях. В итоге было получено, что изменения нормированных нелинейных параметров микроциркуляторного русла тканей пародонта при наличии воспалительного процесса (I и II – группа исследования) характеризовалось уменьшением хаотичности поведения системы микроциркуляции и ее упорядоченности на основании числовых параметров хаотичности.

Ключевые слова: микроциркуляция, пародонт, нелинейная динамика, лазерная доплеровская флоуметрия.

**ESTIMATION OF NON-LINEAR DYNAMIC PROCESSES AND OSCILLATING CIRCUIT
OF MICROCIRCULATION BED IN PERIODONTAL TISSUES BY LASER DOPPLER
FLOWMETRY**

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

Voronezh State N.N. Burdenko Medical Academy, st. Student, 10, Voronezh, Russia, 394036

Abstract. The article discusses the assessment of the level of interconnection of non-linear dynamic and oscillatory processes in the microvasculature of periodontal tissues by laser Doppler flowmetry. For this purpose an examination of 62 patients aged 18-36 years was carried out. The control group consisted of 20 healthy individuals without co-morbidities with intact periodontium. The 1st group was 20 patients with chronic catarrhal gingivitis mild; the 2nd group – 22 patients with chronic generalized periodontitis mild. The laser Doppler flowmetry with spectral continuous wavelet analysis of the blood flow oscillations was carried out by the apparatus LACC-02 (SPE "LAZMA", Russia). In the course of the study the authors evaluated the relative vibration energy of E_0 flow using spectral analysis of the records of the LDF (program 2.2.509 - SPE "LAZMA", Russia) and normalized nonlinear dynamic parameters of microcirculation of periodontal tissues. This allows to reveal their relationship to the parameters of the oscillatory process, to conduct its analysis, to understand the state of the macroscopic behaviour of the modulating factors, both in normal and in pathological conditions. As result of this study, it was found that the changes of the normalized nonlinear parameters microvasculature of periodontal tissues during the inflammatory process (I and II study group) were characterized by a decrease of the chaotic behavior of the system of microcirculation and its order on the basis of the numerical parameters of randomness (*, D2 N).

Key words: microcirculation, periodontium, non-linear dynamics, laser Doppler flowmetry.

Система микроциркуляции является основным звеном, обеспечивающим метаболический гомеостаз в органах и тканях. В последнее время при изучении патогенеза заболеваний пародонта все большее внимание уделяется состоянию микроциркуляции, которая играет ключевую роль в трофическом обеспечении тканей [3].

Библиографическая ссылка:

Коровкин В.В., Ипполитов Ю.А., Коровкина А.Н. Оценка нелинейных динамических процессов и колебательного контура микрогемодикуляторного русла тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-11. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5160.pdf> (дата обращения: 26.05.2015). DOI: 10.12737/11435

Слизистая маргинального и прикрепленного пародонта служит наиболее важным объектом выбора при изучении микроциркуляции, что связано с особенностями сложного строения микроциркуляторной сети пародонта, которая и определяет ее функцию.

На оральной и вестибулярной поверхностях десен существуют достаточно обособленные микрососудистые системы. Анастомозы между ними обнаружены только в области десневых межзубных сосочков. Микрососуды десен и костной ткани челюстей, в свою очередь, связаны между собой многочисленными перфорирующими микрососудами. Артериолы прикрепленной десны расположены вертикально по отношению к альвеолярным отросткам челюстей и между собой образуют аркадные анастомозы. На уровне десневых сосочков, в подслизистой основе свободной десны, большая часть артериол меняет вертикальную ориентацию на горизонтальную и проходит параллельно шейке зубов. В свободной десне формируются своеобразные сосудистые конструкции, подобные «шпилькам для волос», функционирующие как противоточные обменники [1]. Протяженность таких сосудистых конструкций варьирует от 150 до 1200 мкм. В области эпителиального прикрепления десны к зубу в микрососудистом русле постоянно выявляются артерио-венулярные анастомозы. На стыке прикрепленной десны и слизистой оболочки переходной складки определяются капилляры петлевидной формы. Артериолы и венулы следуют вдоль всей границы слизистой оболочки переходной складки и десны параллельными рядами. Между ними формируется артерио-артериальные и венуло-венулярные анастомозы. Эти структуры обеспечивают быструю разгрузку локальных участков десны в обход капиллярного русла [2, 18, 19]. В десне функционируют разнообразные типы внекапиллярных путей кровотока – это и типичные артериоло-венулярные анастомозы, и магистральные капилляры, и пре-посткапиллярные полушунты. Для сетчатого слоя десны характерно или равномерное сетевидное распределение капилляров, или их концентрация вблизи артериол и венул. Из сетчатого слоя капилляры направляются по ходу коллагеновых волокон вовнутрь соединительно-тканной стромы сосочков подэпителиального слоя прикрепленной десны. Отток крови из десны осуществляется в расположенные параллельно шейке зубов дугообразные венулы, а затем и вены прикрепленной десны. На вестибулярной и оральной поверхностях каждого межзубного десневого сосочка посткапиллярные венулы формируют две венулы небольшого диаметра. Они следуют в расходящихся направлениях, но объединяются между собой множественными анастомозами. У основания межсосочковой связки располагаются венулярные аркады и древовидной формы вены, принимающие кровь из венул межзубных сосочков. Причем одни фрагменты венозных аркад принимают вены прикрепленной десны, другие – вены пародонта. Плотность микрососудов в различных отделах десны верхней и нижней челюсти неоднородная. Так, в десневом аппарате дистальных отделов верхней и нижней челюсти сосудистое русло имеет наибольший объем, а в средних отделах – наименьший. Во фронтальном отделе обеих челюстей сосудистое русло занимает в среднем 11-13% объема всех тканей [14].

Кроме этого анатомические сложности в кровоснабжении тканей пародонта связаны с отсутствием в тканях пародонта активных структур изменяющих его функциональное состояние; прохождением верхнечелюстной и нижнечелюстной альвеолярной артерий в костных каналах; отхождением нижней альвеолярной артерии от верхнечелюстной под прямым углом и циркулирующей крови в ней в направлении, противоположном направлению циркуляции крови в основных ветвях наружной сонной артерии; отсутствием на значительном протяжении десен подслизистой основы; с развитием синдрома обкрадывания пародонта в период функциональной активности языка и функциональной гиперемии слизистой оболочки щек, мягкого неба, и малых слюнных желез [17].

Тем не менее, особенности структурной организации микрососудистого русла слизистой оболочки рта свидетельствует о том, что в ней существуют морфофункциональные механизмы регуляции, способствующие уменьшению влияния дефицитного кровотока на ткани. Это – сосудистые конструкции в виде «шпильки для волос» в слизистой оболочке щек, мягкого неба и в десневых сосочках [7, 13]. Они идентичны сосудистым конструкциям кишечных ворсинок и функционируют по принципу противоточных обменников [17]. Это также локальные активные регуляторные механизмы кровотока, активность которых проявляется в соответствующем спектре инфразвукового диапазона: сокращение эндотелия, связанного с NO-активностью (0.0095-0.02 Гц), нейрогенного симпатического (0.02-0.046 Гц), собственно миогенного или вазомотий (0.05-0.145 Гц), пассивных диапазонов (кардиального – 0.8-1.6 Гц и дыхательного – 0.2-0.4 Гц). Это и наличие внекапиллярных путей кровотока, таких как пре-посткапиллярные полушунты, магистральные капилляры и артерио-венулярные анастомозы [9].

Благодаря развитию методов спектрального анализа колебаний кровотока по частоте и амплитуде, в частности непрерывного вейвлет-преобразования записей *лазерной доплеровской флоуметрии* (ЛДФ), выделяют целый ряд частотных диапазонов, в каждом из которых проявляется активность со стороны определенных регуляторных механизмов.

В настоящее время выделяют два самостоятельных частотных диапазона связанных с эндотелиальной активностью – 0.005-0.0095 Гц связанный с активностью простагландинов и 0,0095-0,02 Гц – зависимый от NO-фактора. Эти колебания более медленные по сравнению с частотой нейрогенных и мио-

Библиографическая ссылка:

Коровкин В.В., Ипполитов Ю.А., Коровкина А.Н. Оценка нелинейных динамических процессов и колебательного контура микрогемодинамического русла тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-11. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5160.pdf> (дата обращения: 26.05.2015). DOI: 10.12737/11435

генных осцилляций, они обусловлены функционированием эндотелия и выбросов вазоактивных веществ (NO, простагландины) – это колебания эндотелиального геноза [12].

Для колебаний кровотока миогенного геноза границы общего диапазона миогенных колебаний достаточно широки 0,05-0,145 Гц, однако в связи с неоднозначной физиологической природой целесообразно выделять два поддиапазона общих миогенных осцилляций – 0,047-0,069 Гц и 0,07-0,145 Гц. В первом из них могут проявляться влияния сенсорных пептидергических волокон малых нейронов спинальных ганглиев, андидромно выделяющих нейропептиды-вазодилататоры (вещество P, нейрокинин A, кальцитонин-ген-родственный пептид (КГРП), а второй отражает собственной миогенные колебания или вазомоции активность которых зависит от локальных условий среды (температуры, обмена веществ, перфузионного давления) [10].

Колебания кровотока нейрогенного симпатического геноза. Нейрогенная симпатическая регуляция – один из основных механизмов поддержания тонуса периферических сосудов. Симпатическая импульсация генерируется постоянно и все иннервируемые сосуды находятся в состоянии определенного тонического сокращения, эти влияния включают отчетливый колебательный компонент. Амплитуда симпатической активности отражает число задействованных нервных волокон, а частота – активность центральной генерации или входов от рецепторов. Диагностическое значение данного частотного диапазона заключается в возможности оценивать осцилляторный компонент симпатической адренергической регуляции артериол и *артерио-венулярных анастомозов* (АВА), а также оценивать эрготропную направленность регуляции микрогемодициркуляторно-тканевых систем.

В микрососудах пульсовые колебания (кардиоритмы) регистрируются преимущественно в частотном диапазоне 0,8-1,6 Гц. В условиях нормотермии амплитуда пульсовых колебаний в капиллярах низкая и гемодинамически незначимая, так как доминирующим компонентом регуляции в капиллярах являются миогенные частоты. Амплитуда пульсовой волны, приносящейся в микроциркуляторное русло со стороны артерий, является параметром, на который влияет тонус резистивных сосудов. Очевидно, что при его снижении увеличивается объем притока артериальной крови в микроциркуляторное русло – модулированной пульсовой волной.

Осцилляции кровотока, синхронные с дыханием, распространяются в микрососуды со стороны путей оттока крови и определяется в венах, респираторная зависимость осцилляций микрососудистого кровотока регистрируется в диапазоне 0,2-0,4 Гц. Происхождение объясняется механической пассивной трансмиссией респираторных изменений внутригрудного давления, опосредуемая давлением в венах и респираторная модуляция симпатической вазомоторной активности [12].

Однако, наряду с ритмическими колебательными процессами, осуществляемыми с определенной частотой, процесс изменения перфузии ткани кровью содержит хаотический компонент, состояние которого может описываться с помощью другого методологического подхода – количественных параметров, методов нелинейной динамики и фрактальной геометрии [11].

Для оценки нелинейного динамического процесса используется комплекс нелинейных показателей оценивающих *энтропию* (H_0), *энтропию-информацию* (H_i).

Фрактальный анализ ЛДФ-граммы содержит комплекс параметров оценивающих *фрактальную размерность* (D_0), *(R/S анализ)*, *корреляционную размерность* (D_2), *корреляционную размерность нормированную по энергии колебания* (D_2H).

Фрактальный анализ позволяет охарактеризовать «изломанность», нерегулярность процесса. Фрактальность процесса характеризует иррегулярность или изрезанность, присущую ЛДФ-грамме. Фрактальность оценивается величиной фрактальной размерности, которая служит индикатором количества факторов, влияющих на систему микроциркуляции. В настоящее время предлагается определение фрактальной размерности ЛДФ-грамм методом Хаусдорфа с применением алгоритма Минковского (D_0) и способом нормированного размаха (R/S анализ) по показателю Херста [6, 8, 15, 16].

Энтропия (H_0) позволяет оценить «хаос» регуляции в системе микроциркуляции в зависимости от физиологического состояния биоткани. Организация движения микрокровотока в микроциркуляторном русле определяется регуляторными механизмами и энтропия есть мера разнообразия регуляции. *Энтропия-информация* (H_i) есть характеристика максимума вероятности состояния системы, которая нормирована по отношению к энергии и к числу элементов системы. Она определяется путем нормировки относительной *энтропии* на относительную «энергию» микроциркуляторного русла E_0 . Относительная энергия E_0 определяется отношением энергии, сообщаемой эритроцитам в результате работы активных и пассивных механизмов регуляции микрокровотока.

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. Расстояние между парами фазовых точек, является корреляционной размерностью (D_2) фазового портрета. Чем больше число таких пар, тем плотность

Библиографическая ссылка:

Коровкин В.В., Ипполитов Ю.А., Коровкина А.Н. Оценка нелинейных динамических процессов и колебательного контура микрогемодициркуляторного русла тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-11. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5160.pdf> (дата обращения: 26.05.2015). DOI: 10.12737/11435

фазовых точек в фазовом пространстве выше и изменения перфузии в микроциркуляторном русле будет более сложное, разнообразное, хаотичное. С учетом влияния энергетического фактора на значение (D_2) рассчитывается также его величину, нормированную по E_0 ($D_2 H$). Это позволяет оценивать хаотический компонент поведения системы и процесс самоорганизации (при снижении хаоса) в идентичных, не зависящих от энергии условиях [12].

В настоящее время спектральный вейвлет-анализ с оценкой взаимосвязи ритмических колебаний и нелинейных процессов микроциркуляторном русле тканей пародонта представляют большой практический интерес, так как процесс воспаления приводит к изменению режимов колебания локальных регуляторных механизмов, а также изменения нелинейных параметров поведения системы микроциркуляции [5].

Цель исследования – оценка уровня взаимосвязи нелинейных динамических и колебательных процессов в микроциркуляторном русле тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии и их клиническое применение.

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 согласно индексу Грина-Вермильона в области маргинального края десны. Измерения производили в течение 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. Оценивали относительную энергию колебаний кровотока E_0 . С помощью спектрального вейвлет-анализа записей ЛДФ (программа 2.2.509-НПП «ЛАЗМА», Россия) производили оценку амплитуды колебаний кровотока в активном тонус-формирующем диапазоне – сокращение эндотелия, связанного с NO-активностью (0.0095-0.02 Гц) (Аэ), нейрогенного симпатического (0.02-0.046 Гц) (Ан), собственно миогенного или вазомоций (0.05-0.145 Гц) – (Ам). Активность соответствующего фактора определяли по формуле $A\delta$, где А – усредненная максимальная амплитуда осцилляций в соответствующем частотном диапазоне вейвлет-спектра (п.е. – перфузионные единицы), δ – величина средне-квадратичного отклонения колебания кровотока (п.е) и нелинейных динамических параметров микроциркуляции тканей пародонта используя методы расчета фрактальной размерности ($D_0, R\backslash S$), H_0 , H_i , а также анализ фазового портрета и его количественных характеристик фрактальной размерности (D_2) нормированной по энергии колебательного процесса ($D_2 H$) [4].

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования колебательных процессов в микроциркуляторном русле тканей пародонта с оценкой нелинейных параметров поведения системы микроциркуляции в группах испытуемых представлены в табл. 1. Группы, сформированные в данной работе, отражали разное функциональное состояния микроциркуляторной системы тканей пародонта как в норме, так и при наличии патологических изменений. Для хронического катарального гингивита были характерны – артериальная гиперемия и венозный застой. Венозная гиперемия с переходным застойно-ишемическим состоянием была свойственна хроническому генерализованному пародонтиту легкой степени. Для каждого из состояний был характерен свой спектр колебаний кровотока и нелинейных параметров динамики поведения кровотока. Проведение исследований в одной и той же зоне исследования, и в одном и том же временном промежутке, позволила провести статистически значимый сравнительный анализ изучаемых показателей.

Таблица 1

Показатели нормированных амплитуд и параметров нелинейной динамики у здоровых испытуемых и при патологических условиях

группа	E_0	D_0	R/S	H_0	H_i	D_2	$D_2 H$	Аэ δ	Ан δ	Ам δ
I	29,35±4,4*	1,23±0,18*	0,68±0,10*	0,36±0,05*	0,012±0,001*	1,38±0,2*	0,047±0,007*	0,88±0,13	0,31±0,04	0,17±0,02
II	52,02±7,8*	1,10±0,16*	1,18±0,17*	0,38±0,05*	0,007±0,001*	1,41±0,21*	0,027±0,004*	0,31±0,04	0,23±0,03	0,12±0,018
контроль	20,45±3,0	1,26±0,18	0,62±0,09	0,38±0,05	0,019±0,002	1,60±0,24	0,078±0,011	0,61±0,09	0,56±0,08	0,37±0,05

Примечание: * – значимость отличий ($p < 0,05$) по сравнению с данными контрольной группы

Колебания кровотока в микрососудах тканей пародонта характеризовалось отчетливым доминированием эндотелиальных осцилляций, что было связано с морфо-функциональным состоянием тканей пародонта. Эта особенность закономерно наблюдалась как в случаях воспалительных проявлений, так и при их отсутствии в условиях нормы.

Библиографическая ссылка:

Коровкин В.В., Ипполитов Ю.А., Коровкина А.Н. Оценка нелинейных динамических процессов и колебательного контура микроциркуляторного русла тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-11. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5160.pdf> (дата обращения: 26.05.2015). DOI: 10.12737/11435

Наибольшие сдвиги нормированных амплитуд колебаний кровотока наблюдались во II группе исследования. В ней определялся избыток энергии колебательного процесса E_0 ($52,02 \pm 7,8$) по сравнению с контрольной группой в 2 раза, что свидетельствовало о включении активных механизмов компенсации венозной гиперемии и локальных очагов ишемии. На фоне избытка энергии колебательного процесса происходит снижение нормированных амплитуд $A_э$ на 50%, A_n –41 % и A_m –32% по сравнению с контрольной группой, что свидетельствовало о сниженном вкладе эндотелиальных вазоактивных компонентов артериол в поддержание тонуса микрососудов, а также снижении вклада симпатической нервной системы в поддержание тонуса артериол, влияния миогенного механизма в работе капиллярной сети. На фоне «депрессии» амплитуд активных диапазонов нормированные параметры хаотического поведения (H_i) и выраженность хаоса поведения фазового портрета ($D_2 H$) прямо пропорционально снижались, что показывало значимую связь между колебательным процессом в микроциркуляторном русле пародонта и нелинейными свойствами поведения системы микроциркуляции. Возрастание показателя $R\backslash S > 1$ по сравнению с контрольной группой свидетельствовало о нерегулярности и неустойчивости системы регуляции микроциркуляции и относительном снижении устойчивости структуры ЛДФ-сигнала (D_0). В I-группе исследуемых отмечался прирост величины E_0 , что было связано с увеличением активности компенсаторных механизмов направленных на разгрузку веноулярного русла, о чем свидетельствовала активация функции эндотелия, которая характеризовалась увеличением $A_э$ на 69% при сохраняющейся «депрессии» амплитуд, в нейрогенном диапазоне (A_n) на 55% и миогенном (A_m) на 45%. При этом регулярность осцилляций кровотока по показателю $R\backslash S < 1$ сохранялась, это также свидетельствовало об имеющихся относительной устойчивости системы микроциркуляции по показателю Хаусдорфа – D_0 . Несмотря на устойчивость системы, нормированные показатели хаоса сигнала (H_i) и выраженность хаоса поведения фазового портрета ($D_2 H$) сохраняли тенденцию к снижению, что было связано с депрессией амплитуды в нейрогенном и миогенном диапазоне, а в свою очередь, свидетельствовало о снижении вклада артериол, капилляров в перфузию тканей пародонта.

Корреляционная размерность фазового портрета (D_2) в обеих группах имела устойчивую тенденцию к снижению, это характеризовало изменение перфузии микроциркуляторного русла в сторону упрощения, снижения разнообразия и физиологической хаотичности. Относительная энтропия (H_0) ЛДФ-сигнала в I и II – группах сохранялась в пределах нормы, этот факт свидетельствовал о том, что исследуемая система микроциркуляции сохраняла условия нелинейной динамической системы.

Заключение. Таким образом, на основании полученных результатов, в ходе проводимого исследования нами подтверждена значимость оценки регистрации колебательного процесса с помощью спектрального вейвлет-анализа с выявлением значимой взаимосвязи колебательного процесса с регистрируемыми данными нелинейной динамики в выявлении нарушений микроциркуляции тканей пародонта, как при выраженности клинических симптомов, так и при их отсутствии. Эти нарушения характеризовались снижением нормированных амплитуд в активных тонус-формирующих диапазонах в среднем на 50%, а также связью депрессий амплитуд с нормированными показателями хаоса сигнала (H_i) и выраженностью хаоса поведения фазового портрета ($D_2 H$). Данные нелинейные параметры явились маркерами снижения уровня хаотичности системы микроциркуляции, так как взаимосвязаны с энергией колебательного режима. Снижение амплитуд также влияли на снижение устойчивости ЛДФ-сигнала по параметрам фрактальной размерности D_0 и $R\backslash S$: в I-группе исследования на фоне прироста энергии колебания увеличение нормированных амплитуд выявлялось только в эндотелиальном диапазоне на 69%, в остальных – тонус формирующих диапазонах депрессия нормированных амплитуд сохранялась, что приводило к снижению хаотичности системы по нормированным параметрам (H_i) и ($D_2 H$), при сохраняющейся устойчивости ЛДФ-сигнала (D_0), ($R\backslash S$). Величины нормированных амплитуд и нормированных параметров нелинейной динамики служат эффективными диагностическими показателями характеризующими функциональное состояние микроциркуляторного русла тканей пародонта как в норме так и условиях патологии. Комплексный анализ колебательных процессов с оценкой их нелинейности в тканях пародонта – может служить дополнительным объективным методом диагностики в клинической практике врача стоматолога.

Литература

1. Варшавский А.И. Структурная организация интраорганного кровеносного русла десны человека // Архив анатомии. 1978. №11. С. 62–66.
2. Варшавский А.И. Структурная организация микроциркуляторного русла периодонта человека // Стоматология. 1981. №3. С. 7–9.
3. Гемонов В.В. Пародонтит; под ред. Л.А. Дмитриевой. Москва: МЕДпресс-информ, 2007. 380 с.
4. Еськов В.М., Зилов В.Г., Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Веневцева Ю.Л., Громов М.В., Карташова Н.М., Кидалов В.Н., Филатова О.Е., Цогоев А.С., Борисова О.Н., Купеев В.Г., Мельников А.Х., Наумова Э.М., Бехтерева Т.Л., Валентинов Б.Г., Демушкина И.Г., Смирнова И.Е., Сясин Н.И., Терехов И.В.,

Библиографическая ссылка:

Коровкин В.В., Ипполитов Ю.А., Коровкина А.Н. Оценка нелинейных динамических процессов и колебательного контура микроциркуляторного русла тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-11. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5160.pdf> (дата обращения: 26.05.2015). DOI: 10.12737/11435

Хадарцева К.А., Хижняк Л.Н., Юсупов Г.А., Адырхаева Д.А., Бочкарев Б.Ф., Хижняк Е.П. Избранные технологии диагностики: Монография / Под ред. А.А. Хадарцева, В.Г. Зилова, Н.А. Фудина. Тула: ООО РИФ «ИНФРА», 2008. 296 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. Карташова Н.М., Кидалов В.Н., Филатова И.В., Хадарцев А.А., Митрофанов И.В. Лазерофорез биологически активных веществ и электромиостимуляция в восстановительной медицине при спортивных травмах // Актуальные вопросы восстановительной медицины. 2005. № 1. С. 24–27.

7. Микроциркуляция в тканях пародонта / Кречина Е.К. [и др.]. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2007. 126 с.

8. Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах: пер. с англ. Москва: Техносфера, 2006. 120 с.

9. Крупаткин А.И. Динамический колебательный контур регуляции капиллярной гемодинамики // Физиология человека. 2007. Т. 33, № 5. С. 93–101.

10. 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.

11. Крупаткин А.И. Современные возможности анализа поведения микроциркуляции крови как нелинейной динамической системы // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2010. Т. 9, № 1. С. 61–67.

12. 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.

13. Мюллер Х.П. Пародонтология: пер. с нем. Львов: ГалДент, 2004. 256 с.

14. Соловьев В.А. Особенности топографии и строения сосудов пародонта // Стоматология. 1969. №6. С. 16–18.

15. Федер Е. Фракталы: пер. с англ. Москва: Мир, 1991. 254 с.

16. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Винокуров Б.Л., Зилон В.Г., Морозов В.Н., Цогоев А.С., Михайлова А.А., Купеев В.Г., Гонгарев С.Н., Олейникова М.М., Дзасохова П.В., Крюкова С.В., Митюшкина О.А. Восстановительная медицина. Тула: Изд-во ТулГУ – Белгород: ЗАО «Белгородская областная типография», 2010. Т. II. 262 с.

17. Цымбалов Э.Е. Структурная организация микрососудистого русла слизистой оболочки полости рта человека (экспериментально-морфологическое исследование): дис. ...канд.мед.наук. Самара, 2008. 161 с.

18. Offenbacher S. Periodontal diseases: Pathogenesis // Ann. Periodontol. (World Workshop in Periodontics). 1996. N1. P. 821.

19. Microcirculation and micromorphology of healthy and inflamed gingival / Kerdvongbundit V. [et al.] // J.Odontology. 2003. Vol. 91, N 1. P.19–25.

References

1. Varshavskiy AI. Strukturnaya organizatsiya intraorgannogo krovenosnogo rusla desny cheloveka. Arkhiv anatomii. 1978;11:62-6. Russian.

2. Varshavskiy AI. Strukturnaya organizatsiya mikrotsirkulyatornogo rusla periodonta cheloveka. Stomatologiya. 1981;3:7-9. Russian.

3. Gemonov VV. Parodontit; pod red. L.A. Dmitrievoy. Moscow: MEDpress-inform; 2007. Russian.

4. Es'kov VM, Zilov VG, Fudin NA, Khadartsev AA, Venevtseva YuL, Gromov MV, Kartashova NM, Kidalov VN, Filatova OE, Tsogoev AS, Borisova ON, KupeeV VG, Mel'nikov AKh, Naumova EM, Bekhtereva TL, Valentinov BG, Demushkina IG, Smirnova IE, Syasin NI, Terekhov IV, Khadartseva KA, Khizhnyak LN, Yusupov GA, Adyrkhaeva DA, Bochkarev BF, Khizhnyak EP. Izbrannye tekhnologii diagnostiki. Tula: ООО РИФ «ИНФРА»; 2008. 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. Kartashova NM, Kidalov VN, Filatova IV, Khadartsev AA, Mitrofanov IV. Lazerofores biologicheskii aktivnykh veshchestv i elektromiostimulyatsiya v vosstanovitel'noy meditsine pri sportivnykh travmakh. Aktual'nye voprosy vosstanovitel'noy meditsiny. 2005;1:24-7. Russian.

Библиографическая ссылка:

Коровкин В.В., Ипполитов Ю.А., Коровкина А.Н. Оценка нелинейных динамических процессов и колебательного контура микроциркуляторного русла тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-11. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5160.pdf> (дата обращения: 26.05.2015). DOI: 10.12737/11435

7. Krechina EK, et al. Mikrotsirkulyatsiya v tkanyakh parodonta. Moscow: GEOTAR-Media; 2007. Russian.
8. Kronover R. Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh: per. s angl. Moscow: Tekhnosfera; 2006. Russian.
9. Krupatkin AI. Dinamicheskiy kolebatel'nyy kontur regulyatsii kapillyarnoy gemodinamiki. Fiziologiya cheloveka. 2007;33(5):93-101. Russian.
10. 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.
11. Krupatkin AI. Sovremennye vozmozhnosti analiza povedeniya mikrotsirkulyatsii krovi kak nelineynoy dinamicheskoy sistemy. Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya. 2010;9(1):61-7. Russian.
12. Krupatkin AI, Sidorov VV. Funktsional'naya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem: Kolebaniya, informatsiya, nelineynost': ruk-vo dlya vrachey. Moscow: Knizhnyy dom «LIBROKOM»; 2013. Russian.
13. Myuller KhP. Parodontologiya: per. s nem. L'vov: GalDent; 2004. Russian.
14. Solov'ev VA. Osobennosti topografii i stroeniya sudov parodonta. Stomatologiya. 1969;6:16-8. Russian.
15. Feder E. Fraktaly: per. s angl. Moscow: Mir; 1991. Russian.
16. Khadartsev AA, Es'kov VM, Vinokurov BL, Zilov VG, Morozov VN, Tsogoev AS, Mikhaylova AA, Kupeev VG, Gontarev SN, Oleynikova MM, Dzasokhova PV, Kryukova SV, Mityushkina OA. Vosstanovitel'naya meditsina. Tula: Izd-vo TulGU – Belgorod: ZAO «Belgorodskaya oblastnaya tipografiya»; 2010. T. II. Russian.
17. Tsymbalov EE. Strukturnaya organizatsiya mikrososudistogo rusla slizistoy obolochki polosti rta cheloveka (eksperimental'no-morfologicheskoe issledovanie) [dissertation]. Samara (Samara region); 2008. Russian.
18. Offenbacher S. Periodontal diseases: Pathogenesis. Ann. Periodontol. (World Workshop in Periodontics). 1996;1:821.
19. Kerdvongbundit V, et al. Microcirculation and micromorphology of healthy and inflamed gingival. J. Odontology. 2003;91(1):19-25.

Библиографическая ссылка:

Коровкин В.В., Ипполитов Ю.А., Коровкина А.Н. Оценка нелинейных динамических процессов и колебательного контура микрогемодикуляторного русла тканей пародонта методом лазерной доплеровской флоуметрии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №2. Публикация 2-11. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5160.pdf> (дата обращения: 26.05.2015). DOI: 10.12737/11435