

УДК 616.314.17-002:[612.313.1:616.311-008.811.4]-07(045)

## ДЕГИДРАТАЦИОННАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ФАЦИЙ ЖИДКОСТИ ДЕСНЕВОЙ БОРОЗДЫ ИЛИ ПАРОДОНТАЛЬНЫХ КАРМАНОВ В НОРМЕ И ПРИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ПАРОДОНТА

<sup>1</sup>Булкина Н.В., <sup>1</sup>Брилль Г.Е., <sup>2</sup>Постнов Д.Э., <sup>1</sup>Поделинская В.Т.

<sup>1</sup>ГБОУ ВПО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации, Саратов, e-mail: podelinskaya14@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», Саратов, e-mail: rector@sgu.ru

Процесс дегидратации и кристаллизации жидкости десневой борозды или пародонтальных карманов рассмотрен с позиции теории самоорганизации биологических систем. Проведен качественный и количественный анализ изображений фаций (структурного следа), образующихся при высушивании этих биологических жидкостей. Установлено, что фации жидкости десневой борозды или пародонтальных карманов в норме и при патологии имели общий принцип организации, характеризующийся расположением кристаллических структур в трех зонах. Качественные изменения заключались в появлении дополнительных элементов (маркеров патологии), специфичных для различной степени тяжести воспалительных заболеваний пародонта. Количественные характеристики изменялись на фоне качественных и непосредственно зависели от них. В каждой из трех зон с помощью специальной компьютерной программы были определены количественные характеристики (площадь каждой из зон (SR), фрактальная размерность (Dcorr), коэффициент неоднородности поля яркости (Entr)), позволяющие оценить характер процессов, происходящих в ходе кристаллизации при дегидратации воды. Проведено сопоставление качественных и количественных характеристик с результатами клинического обследования. Для нормы и различной степени тяжести воспалительных заболеваний пародонта определены средние значения количественных характеристик.

**Ключевые слова:** самоорганизация, жидкость десневой борозды или пародонтальных карманов, кристаллографическая картина, воспалительные заболевания пародонта

## SELF-ORGANIZING OF A GINGIVAL CREVICULAR AND PERIODONTAL POCKET FLUID IN NORM AND AT INFLAMMATORY PERIODONTAL DISEASES

<sup>1</sup>Bulkina N.V., <sup>1</sup>Brill G.E., <sup>2</sup>Postnov D.E., <sup>1</sup>Podelinskaya V.T.

<sup>1</sup>Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky, Saratov, e-mail: podelinskaya14@mail.ru;

<sup>2</sup>Saratov State University n.a. N.G. Chernyshevsky, Saratov, e-mail: rector@sgu.ru

Process of dehydration and crystallization of a gingival crevicular and periodontal pockets fluid is considered from a position of the theory of self-organizing of biological systems. The qualitative and quantitative image analysis of facies (structural trace), resulting in drying of biological fluids. Found that the facies of a gingival crevicular and periodontal pockets in health and disease have a common principle of organization, characterized by the location of the crystal structures of the three zones. Qualitative changes included the appearance of additional elements (markers of disease) that are specific to varying degrees of severity of inflammatory periodontal diseases. Quantitative characteristics have changed in the background and the quality is directly dependent on them. In each of the three zones using a special computer program identified the quantitative characteristics (area of each zone (SR), the fractal dimension (Dcorr), the coefficient of inhomogeneity of the field intensity (Entr)), to assess the nature of the processes occurring during the crystallization process in the dehydration of water. A comparison of qualitative and quantitative characteristics of the results of clinical examination. For rules and varying degrees of severity of inflammatory periodontal diseases are determined average values of quantitative characteristics.

**Keywords:** self-organizing, gingival crevicular and periodontal pockets fluid, crystallographic structure, inflammatory periodontal diseases

Сложный состав и свойства биологических жидкостей организма, их изменения, возникающие даже при незначительных сдвигах физико-химических процессов, с одной стороны, имеют высокую диагностическую ценность, но, с другой – создают необходимость в разработке новых подходов к их изучению. В настоящее время в различных областях медицины широко применяется исследование особенностей кристаллизации биологических жидкостей организма с целью выявления патологических процессов [1, 3, 7, 8]. Сегодня нет до-

статочно убедительной теории, позволяющей описать процессы, происходящие при дегидратации жидкостей организма, неизвестно, какие именно факторы приводят к образованию тех, или иных кристаллических структур [5, 6].

Свойства, присущие сложным биологическим системам, проявляются и на уровне биологических жидкостей организма. Их можно рассматривать как термодинамически открытые, сложные, сильно неравновесные системы, процессы взаимодействия которых с внешними факторами,

как и внутрисистемные взаимодействия их собственных элементов между собой носят нелинейный характер [2]. Временная и пространственная эволюция жидкостей организма при испарении воды и кристаллизации является проявлением способности сложных открытых систем к самоорганизации. Особенностью этого процесса является то, что по мере образования пространственной структуры система теряет динамические свойства. Таким образом, получается «замороженный» слепок, отражающий уже произошедшие процессы, анализ кристаллического рисунка которого может нести диагностическую информацию.

При этом должны учитываться фрактальные свойства кристаллических структур, имеющих дробную размерность [4]. Образующиеся при дегидратации биологических жидкостей кристаллы менее точно следуют принципу самоподобия, являясь случайными квазифракталами. Данный подход дает возможность разрабатывать новые методы анализа структур фаций жидкостей организма, образующихся при их дегидратации, используя соответствующие характеристики.

**Целью** данной работы явилось исследование кристаллографической картины фаций жидкости десневой борозды или пародонтальных карманов в норме и при воспалительных заболеваниях пародонта с использованием специальной компьютерной программы, позволяющей получить объективные количественные параметры изображения, и сопоставление полученных данных с клинической картиной.

### Материалы и методы исследования

При проведении работы были обследованы 85 пациентов: лица со здоровым пародонтом (20 человек), с диагнозом хронический генерализованный катаральный гингивит (ХГКГ) (20 человек), хронический генерализованный пародонтит (ХГП) легкой (15 человек), средней (15 человек) и тяжелой (15 человек) степени тяжести. Клиническое обследование пациентов помимо сбора анамнеза и осмотра включало в себя определение глубины пародонтального кармана, степени патологической подвижности зубов, рентгенологическое исследование (ортопантограмма). Оценку стоматологического статуса производили по пародонтологическим индексам (индекс гигиены полости рта по J.C. Green, J. Vermillion (1969), индекс ПМА, пародонтальный индекс по A. Russel (1956)). Забор материала проводили через 3–5 часов после чистки зубов, при условии, что обследуемые не употребляли пищу в указанный промежуток времени. Для забора материала использовали бумажные штифты № 30. Штифты помещали в десневую борозду или пародонтальный карман. Жидкость десневой борозды при здоровом пародонте собирали в области зубов 16, 11, 26, 31 – вестибулярные поверхности, 36, 46 – язычные поверхности. При воспалительных заболеваниях пародонта забор материала проводи-

ли в области участков зубной дуги с наиболее выраженными патологическими изменениями. После забора штифты помещали в 100 мкл дистиллированной воды. После этого материал центрифугировали при 3000 об/мин 10 минут. Надосадочную жидкость (2 мкл) наносили на чистое, сухое, обезжиренное предметное стекло в строго горизонтальном расположении полуавтоматическим дозатором по шесть капель каждого образца. Стекла помещали в термостат на 30 мин при температуре 37°C. При завершении дегидратации получали фации, которые подвергали микроскопическому исследованию: микроскоп (Carl Zeiss, Jena) с видеоокуляр DCM 510 (5 Мп) при конечном увеличении от 34 до 164 раз. Полученные изображения сохраняли в виде графических файлов в памяти компьютера. После этого проводили общее описание изображений кристаллографической картины фаций в норме и при воспалительных заболеваниях пародонта. Для обработки изображений применялась специальная компьютерная программа.

Для анализа изображения компьютерная программа использует некоторые особенности фации. Форма фации обычно приближается к кругу и в ее структуре достаточно четко можно выделить три зоны: «периферическая зона», «промежуточная зона» и «центральная зона». Учитывая это, проводили аппроксимацию указанных областей с помощью трех окружностей, которые располагали соответственно: по внешней кромке, на границе между периферической и промежуточной зонами, и на границе между промежуточной и центральной зонами. При этом программа рассчитывала относительную площадь периферической (SR1), промежуточной (SR2) и центральной (SR3) зон, нормированную на общую площадь фации.

Для анализа структурных особенностей фации в определенной зоне использовался типичный фрагмент, представляющий собой прямоугольный маркер. При проведении всех исследований он имел фиксированный размер. Расположение его определялось произвольно, при этом визуально выбирался наиболее структурированный участок фации. В данной работе использовались такие параметры программы, как коэффициент неоднородности поля яркости (Entr) и фрактальная размерность (D<sub>cont</sub>).

Вычисление коэффициента неоднородности поля яркости (Entr) основано на представлении поля яркости фрагмента фации  $I$  (цветовая информация игнорируется) в виде функции от двух пространственных координат  $X$  и  $Y$ . Распределение яркости  $I(X, Y)$  в пределах выбранного образца нормировалось на единицу, и к нему применялась формула К. Шеннона (1963), обычно используемая для вычисления энтропии:  $E = -\sum I(X, Y) \ln(I(X, Y))$ , где суммирование проводилось по всем пикселям фрагмента. Величина  $E$ , вычисленная таким образом, отражает неравномерность распределения  $I(X, Y)$  по полю фрагмента. Она принимает максимальное значение  $E_{\max}$  при одинаковой яркости всех пикселей фрагмента и равна нулю при засветке только одного пикселя. Таким образом, показатель неоднородности поля  $I(X, Y)$  может быть определен как:  $K = (1 - E/E_{\max}) \cdot 100\%$ .

Фрактальная размерность (D<sub>cont</sub>) применялась для характеристики поля яркости фрагмента фации после его преобразования в черно-белое представление. При этом устанавливалось пороговое значение яркости, и всем пикселям с яркостью выше и ниже порогового присваивался соответственно белый

и черный цвет. Фрактальная размерность оценивалась для характеристики структуры полученного изображения с помощью алгоритма покрытия (*box counting*) (Б. Мандельброт, 2002). При этом полностью белый фрагмент изображения имеет размерность 2,0 (размерность плоскости), линия шириной в один пиксель имеет размерность 1,0, а единственная точка – 0.

Расчет статистических показателей проводился с использованием пакетов прикладных программ Statistica 8.0 for Windows и Microsoft Office Excel 2008.

### Результаты исследования и их обсуждение

Согласно результатам исследования, фации в норме или при патологии тканей пародонта сохраняли одинаковый принцип организации. Они включали три четко разграниченные зоны: периферическую, промежуточную и центральную. Кристаллографическая картина в норме характеризовалась бедностью элементов. При воспалительных заболеваниях пародонта, увеличении степени тяжести и длительности существования патологии морфологическая картина становилась более насыщенной, сложной, разнообразной.

Периферическая зона, представленная структурами преимущественно органического происхождения, при нормальном состоянии тканей пародонта имела исчерченный вид и содержала не более пяти концентрических полос. Не характерно было наличие дополнительных элементов. При воспалительных заболеваниях пародонта в периферической зоне появлялись маркеры патологии: увеличение количества концентрических полос; появление прямых, аркообразных трещин и трещин, исходящих из элементов; колбовидных элементов, которые в норме отсутствовали. Эти дополнительные структуры придавали периферической зоне более исчерченный вид и имели достаточно правильное расположение. Так, колбовидные элементы могли иметь меньший или больший размер, но всегда были строго упорядочены.

При проведении компьютерного анализа при воспалительных заболеваниях тканей пародонта происходило увеличение относительной площади периферической зоны (SR1), по сравнению с нормой. Фрактальная размерность периферии (Dcorr1) так же возрастала при ХГКГ, а при различной степени ХГП сохраняла высокие значения приблизительно одного уровня. Коэффициент неоднородности поля яркости периферии (Entr1) возрастал плавно от нормы и достигал максимального значения при средней степени тяжести ХГП, после чего, при тяжелой степени, снижался.

Изменения в промежуточной зоне фации в основном касались характера кристаллов. В норме кристаллические образования были расположены в двух субзонах: более узкой (ближе к периферической), представленной мелкими кристаллическими структурами, и широкой, образованной крупными правильными кристаллами. Наличие кристаллических образований с центральной симметрией больше характерно для ХГП. Сочетание с черепацеобразными кристаллическими образованиями появляется при средней и тяжелой степени тяжести пародонтита.

Относительная площадь промежуточной зоны (SR2) при компьютерной обработке изображения увеличивалась при ХГКГ, а при различной степени тяжести ХГП принимала близкие значения. Фрактальная размерность (Dcorr2) при воспалительных заболеваниях пародонта становилась больше нормы, сохраняясь при всех воспалительных заболеваниях пародонта на относительно близком уровне. Коэффициент поля яркости (Entr2), так же как в периферической зоне плавно возрастал от нормы, достигал максимального значения при средней степени тяжести ХГП и снижался при тяжелой степени.

Центральная зона в норме и при патологии пародонта была представлена множеством однообразных мелких кристаллических образований, рисунок которых при наличии патологии и увеличении степени тяжести становился более выраженным.

При анализе центральной зоны фации с помощью компьютерной программы происходило постепенное уменьшение ее относительной площади (SR3) от нормы до тяжелой степени тяжести ХГП, за счет расширения периферической и промежуточной зон. Изменения фрактальной размерности и коэффициента поля яркости в центральной зоне имели тот же характер, что и в периферической и промежуточной зонах. Фрактальная размерность (Dcorr3), увеличиваясь при ХГКГ, сохраняла высокие и близкие значения при всех воспалительных заболеваниях пародонта. Возрастание коэффициента поля яркости (Entr3) происходило постепенно от нормы до средней степени тяжести ХГП, при тяжелой степени он снижался. Характеристики компьютерной обработки фаций в норме и при воспалительных заболеваниях пародонта представлены в таблице.

На рис. 1, 2 и 3 показаны примеры изображений фрагментов фаций в интерфейсе используемой программы в норме, при ХГКГ и средней степени тяжести ХГП соответственно.

Характеристики компьютерной обработки фаций жидкости десневой борозды и пародонтальных карманов в норме и при воспалительных заболеваниях пародонта ( $M \pm m$ )

Характеристики	Нормальное состояние тканей пародонта	ХГКГ	ХГП		
			Легкая степень тяжести	Средняя степень тяжести	Тяжелая степень тяжести
Периферическая зона					
Площадь периферической зоны (SR1)	0,182 ± 0,002	0,233 ± 0,002*	0,248 ± 0,002**	0,252 ± 0,002	0,253 ± 0,002
Фрактальная размерность периферической зоны (D <sub>сog1</sub> )	1,58 ± 0,022	1,80 ± 0,008*	1,84 ± 0,011**	1,86 ± 0,013	1,80 ± 0,011****
Коэффициент неоднородности поля яркости периферической зоны (Entr1)	0,470 ± 0,015	0,506 ± 0,013	0,569 ± 0,017**	1,290 ± 0,06***	0,687 ± 0,008****
Промежуточная зона					
Площадь промежуточной зоны (SR2)	0,306 ± 0,003	0,410 ± 0,002*	0,448 ± 0,006**	0,454 ± 0,007	0,471 ± 0,003****
Фрактальная размерность промежуточной зоны (D <sub>сog2</sub> )	1,54 ± 0,013	1,77 ± 0,009*	1,78 ± 0,009	1,81 ± 0,011***	1,79 ± 0,007
Коэффициент неоднородности поля яркости промежуточной зоны (Entr2)	0,080 ± 0,003	0,137 ± 0,003*	0,221 ± 0,005**	0,644 ± 0,021***	0,290 ± 0,004****
Центральная зона					
Площадь центральной зоны (SR3)	0,511 ± 0,003	0,355 ± 0,002*	0,303 ± 0,007**	0,292 ± 0,006	0,276 ± 0,003****
Фрактальная размерность центральной зоны (D <sub>сog3</sub> )	1,57 ± 0,015	1,81 ± 0,011*	1,84 ± 0,011	1,85 ± 0,01	1,81 ± 0,012****
Коэффициент неоднородности поля яркости центральной зоны (Entr3)	0,006 ± 0,0005	0,076 ± 0,002*	0,101 ± 0,002**	0,235 ± 0,005***	0,222 ± 0,004

Примечание: \* – показатели имеют достоверные различия по сравнению со значениями в группе практически здоровых лиц ( $p < 0,01$ ); \*\* – показатели в группе с легкой степенью ХГП имеют достоверные различия по сравнению со значениями в группе с ХГКГ ( $p < 0,01$ ); \*\*\* – показатели в группе со средней степенью тяжести ХГП имеют достоверные различия по сравнению со значениями в группе с легкой степенью тяжести ХГП ( $p < 0,01$ ); \*\*# – показатели в группе с средней степенью тяжести ХГП имеют достоверные различия по сравнению со значениями в группе с легкой степенью тяжести ХГП ( $p < 0,05$ ); \*\*\*\* – показатели с тяжелой степенью тяжести ХГП имеют достоверные различия по сравнению со значениями в группе со средней степенью тяжести ХГП ( $p < 0,01$ ); \*\*\*\*# – показатели с тяжелой степенью тяжести ХГП имеют достоверные различия по сравнению со значениями в группе со средней степенью тяжести ХГП ( $p < 0,01$ ).

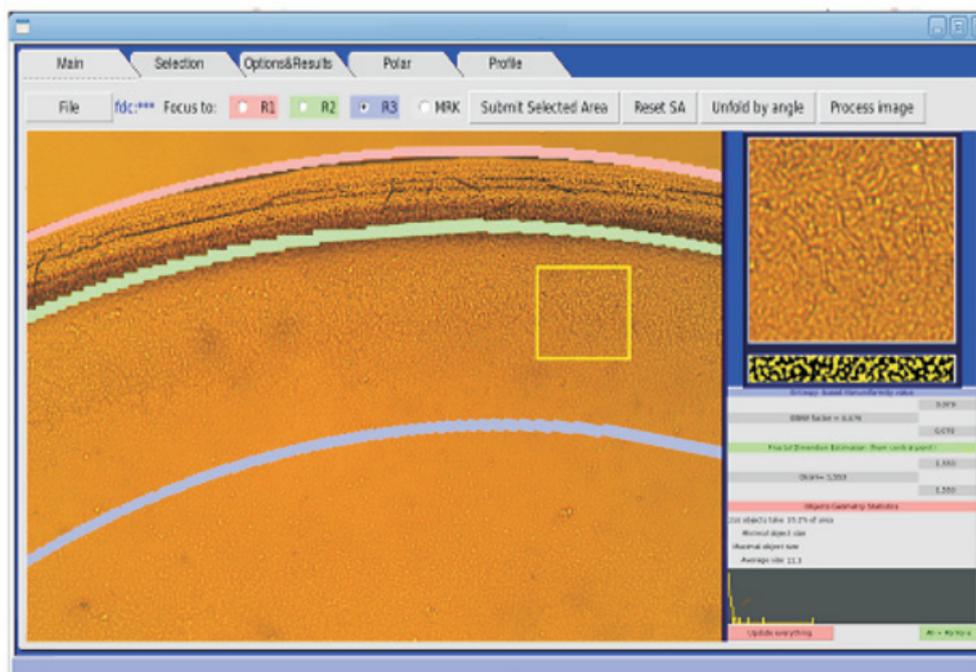
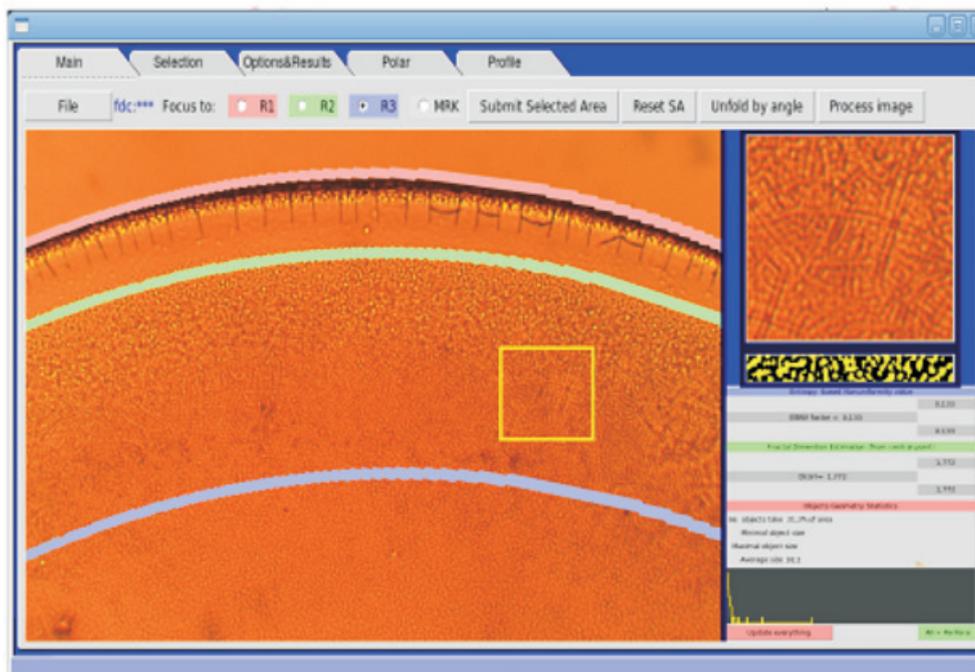
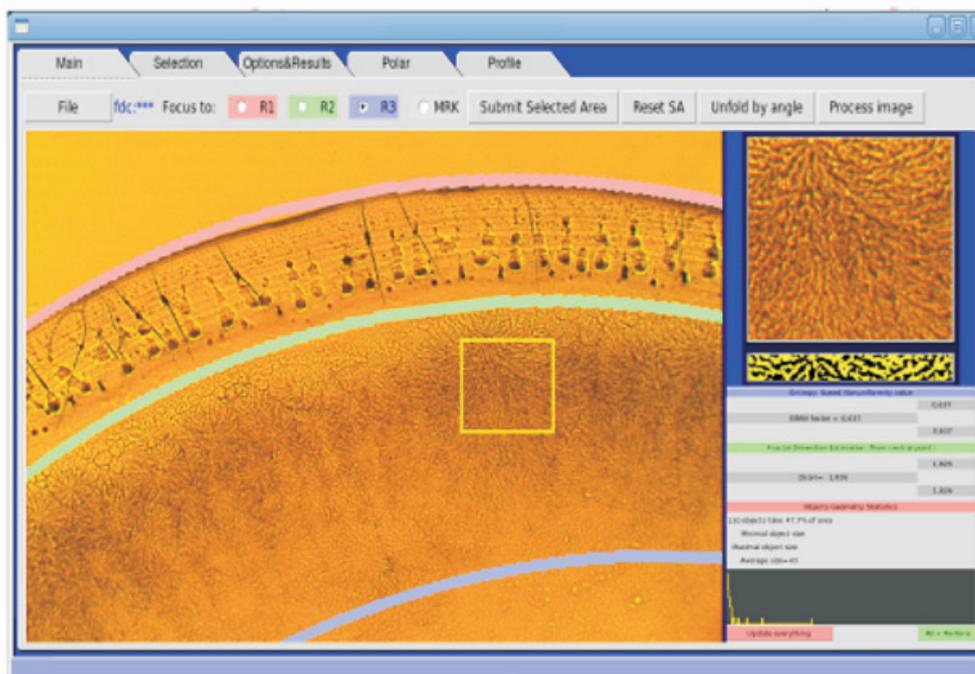


Рис. 1. Фрагмент фации жидкости десневой борозды при нормальном состоянии тканей пародонта в интерфейсе используемой программы



*Рис. 2. Фрагмент фации жидкости десневой борозды при ХГКГ в интерфейсе используемой программы*



*Рис. 3. Фрагмент фации жидкости пародонтальных карманов при средней степени тяжести ХГП в интерфейсе используемой программы*

### **Заключение**

Таким образом, кристаллографическая картина каждой структурной зоны имела особенности общей организации, которые соответствовали данным клинического обследования и характеризовались определенными параметрами компьютерной об-

работки. В целом, относительная площадь периферической зоны возростала от нормы до тяжелой степени ХГП за счет увеличения белкового компонента жидкости десневой борозды или пародонтального кармана при воспалительных заболеваниях пародонта. Появлением новых компонентов в со-

стае жидкости пародонтальных карманов можно объяснить усложнение структуры промежуточной зоны фации, появление различных форм кристаллов и связанным с этим возрастанием относительной площади промежуточной зоны и уменьшением относительной площади центральной зоны. В кристаллографической картине при средней степени тяжести ХГП наблюдались наибольшее разнообразие и самая высокая упорядоченность структурных элементов фации. Концентрические полосы и колбовидные элементы периферической зоны имели строгое расположение.

Наиболее часто при средней степени тяжести в промежуточной зоне встречались кристаллические образования с выраженной правильной центральной симметрией. Этим объясняется тот факт, что коэффициент поля яркости, характеризующий степень неоднородности поля яркости изображения, достигал наибольшего значения при средней степени тяжести ХГП во всех зонах фации. При тяжелой степени тяжести ХГП при четком разделении на три зоны происходило некоторое смазывание кристаллографической картины: меньшая степень упорядоченности элементов, преобладание черепицеобразных кристаллов промежуточной зоны. Поэтому коэффициент неоднородности поля яркости снижался во всех зонах фации. При воспалительных заболеваниях пародонта происходило увеличение фрактальной размерности по сравнению с нормой, а при различной степени тяжести ХГП она сохранялась на относительно близком уровне.

Еще одна особенность показателей компьютерной обработки изображений состояла в том, что средние значения фрактальной размерности в каждой серии исследований (для нормы, ХГКГ или различной степени тяжести ХГП) были несколько меньше в промежуточной зоне, а в периферической и центральной имели близкие значения. А коэффициент неоднородности поля яркости уменьшался от периферической зоны к центральной независимо норма это или патология.

Так как клиническая норма характеризуется морфологической целостностью и полноценным функционированием тканей пародонта, то кристаллографическую картину фации в норме можно рассматривать как некий «эталон» структуры, имеющий определенные характеристики компьютерной обработки. Поведение биологических жидкостей при дегидратации определяется совокупностью внешних и внутренних условий системы, но в первую очередь спонтанными перестройками самой системы. Поэтому при проведении всех исследований в стандартных условиях

характер кристаллографической картины будет определяться особенностями состава и свойств жидкости десневой борозды или пародонтальных карманов в норме или при воспалительных заболеваниях пародонта.

### Список литературы

1. Денисов А.Б. Алгоритм оценки кристаллических фигур, полученных при высушивании смешанной слюны // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2004. – Т. 138, № 7. – С. 37–40.
2. Нелинейная динамика (синергетика) в химических, биологических и биотехнологических системах / Б.М. Кершенгольц, Т.В. Чернобровкина, А.А. Шейн, Е.С. Хлебный, В.В. Аньшакова. – Якутск: Якутский государственный университет им. М.К. Аммосова, 2009. – 206 с.
3. Постоянство непостоянного в тизограммах препаратов крови (к стандартизации исследований кристаллизации биологических жидкостей) / В.Н. Кидалов, А.А. Хадарцев, Ш.М. Багаутдинов, А.В. Четкин // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – Т. VI, № 4. – С. 7–13.
4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
5. Тарасевич Ю.Ю., Аюпова А.К. Влияние диффузии на разделение компонентов биологической жидкости при клиновидной дегидратации // Журнал технической физики. – 2003. – Т. 73, № 5. – С. 13–18.
6. Тарасевич Ю.Ю. Механизмы и модели дегидрационной самоорганизации биологических жидкостей // Успехи физических наук. – 2004. – Т. 174, № 7. – С. 779–790.
7. Шабалин В.Н., Шатохина С.Н. Морфология биологических жидкостей человека. – М.: Хризостом, 2001. – 303 с.
8. Шатохина С.Н., Разумова С.Н., Шабалин В.Н. Морфологическая картина ротовой жидкости: диагностические возможности // Стоматология. – 2006. – № 4. – С. 14–17.

### References

1. Denisov A.B. *Bjulleten' jeksperimental'noj biologii i mediciny*, 2004, Vol. 138, no. 7, pp. 37–40.
2. Kershengol'c B.M. *Nelinejnaja dinamika (sinergetika) v himicheskikh, biologicheskikh i biotehnologicheskikh sistemah* [Nonlinear Dynamics (Synergetics) in the chemical, biological and biotechnological systems]. Yakutsk, 2009. 206 p.
3. Kidalov V.N., Hadarcev A.A., Bagautdinov Sh.M., Chechetkin A.V. *Vestnik novyh medicinskih tehnologij*, 2008, Vol. VI, no. 4, pp. 7–13.
4. Mandel'brot B. *Fraktal'naja geometrija prirody* [The Fractal Geometry of Nature]. Moscow, Institut komp'juternyh issledovanij, 2002. 656 p.
5. Tarasevich Ju.Ju., Ajupova A.K. *Zhurnal tehnicheckoj fiziki*, 2003, Vol. 73, no. 5, pp. 13–18.
6. Tarasevich Ju.Ju. *Uspehi fizicheskikh nauk*, 2004, Vol. 174, no. 7, pp. 779–790.
7. Shabalin V.N., Shatohina S.N. *Morfologija biologicheskikh zhidkostej cheloveka* [Morphology of the human biological fluids]. Moscow, «Hrizostom», 2001. 303 p.
8. Shatohina S.N., Razumova S.N., Shabalin V.N. *Stomatologija*, 2006, no. 4, pp. 14–17.

### Рецензенты:

Гильмияров Э.М., д.м.н., профессор, зав. кафедрой терапевтической стоматологии ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации, г. Самара;

Коннов В.В., д.м.н., зав. кафедрой ортопедической стоматологии ГБОУ ВПО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава РФ, г. Саратов.

Работа поступила в редакцию 21.12.2012.