

МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СПЕКЛ-КАРТИНЫ ПРИ МОНИТОРИНГЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ПУЛЬПЫ ЗУБА

Дик С.К.¹, Хлудеев И.И.^{1,2}, Чистякова Г.Г.³, Завацкий Д.А.¹,
Меженная М.М.¹, Гордейчук Т.В.¹

¹ *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь*

² *Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

³ *Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь*

Оптические неинвазивные методы диагностики внутреннего состояния зуба, витальности пульпы зуба, обладают рядом преимуществ перед рентгенографией: отсутствие ионизирующего излучения, малые размеры и стоимость оборудования, скорость получения результата, возможность представления диагностической информации в динамике, в качестве видеоряда. В то же время пульпа зуба содержит большое количество кровеносных и лимфатических сосудов, нервных окончаний. Травма либо инфекция могут привести к некрозу пульпы, что способствует проникновению микроорганизмов, токсинов, биогенных аминов в периодонт и развитию периодонтита. Таким образом, существует необходимость в быстром, недорогом и удобном методе диагностики витальности пульпы зуба.

Человеческий зуб представляет собой оптически неоднородную среду. При попадании на него когерентного фотоизлучения наряду с поглощением и отражением, происходит рассеяние света [1], что при наличии большого количества микронеровностей формирует спекл-картину – результат когерентного сложения элементарных волн. При наличии движения рассеивающих центров спекл-картина непрерывно перестраивается, изменяется. Оптические свойства пульпы и активность микроциркуляции зависят от множества патологических факторов, таких как гиперемия, отёк, тромбоз, эмболия сосудов, ишемия пульпы и др. В связи с этим регистрация спекл-картины, промодулированной в пульпе зуба, является перспективным направлением экспресс-диагностики. Данная работа описывает разработанный нами метод видео-регистрации спекл-картины и обработки полученных кадров, а также результаты модельных экспериментов, проведённых с использованием данного метода и подтверждающих его работоспособность.

Разработанный метод заключается в подаче пучка света от источника лазерного излучения на оральную поверхность зуба и регистрации видеокамерой спекл-картины с обратной, вестибулярной, стороны. Далее оцифрованные данные передаются на ПК для дальнейшей обработки и визуализации диагностической информации.

По данной методике были проведены эксперименты по регистрации спекл-поля, прошедшего через зубной фантом с контролируемым «кровоотком». Фантом представляет собой удалённый моляр человека, в котором направлению от корня к коронке сделано сквозное отверстие. В полученный канал вводили микротрубку, через которую прокачивали раствор белков для имитации кровотока. Источником лазерного излучения служил маломощный полупроводниковый лазер с длиной волны 660 нм. Регистрировали спекл-картину в VGA-разрешении с частотой 120 кадров в секунду при помощи промышленной камеры Basler. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

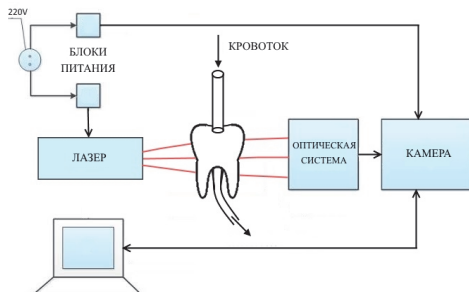


Рисунок 1 – Схема используемой установки

В качестве контролируемых параметров регистрируемого спекл-поля были выбраны: уровень сигнала АЦП камеры (соответствует яркости) и среднеквадратическая контрастность [2] спекл-картины, обработанной в соответствии с классическим алгоритмом LASCA [3], которую рассчитывали по следующей формуле:

$$C = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I_{ij} - \bar{I})^2}$$

где C – среднеквадратическая контрастность спекл-картины; M и N – размеры сторон прямоугольника, внутри которого производится расчёт, в пикселях; I_{ij} – значение пикселя с координатами i и j ;

Для оценки степени изменения параметров в зависимости от скорости движения рассеивающих центров измерения проводили при следующих условиях: в отсутствие кровотока, при низкой, средней и высокой скорости кровотока в фантоме для двух значений времени интегрирования 50 мс и 10 мс. Полученные видеоизображения (кадры) подвергали математической обработке и рассчитывали контролируемые параметры для интересующих областей размером 100 на 100 пикселей в центре фантома. Для каждой из зон провели расчёт среднего арифметического яркости и контрастности для спекл-фотографии и матрицы контрастности соответственно. Результаты расчётов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты регистрации спекл-картины зубного фантома

| Условия съёмки, выдержка, мс | Среднее значение окна 100×100 | |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | Яркость | Контрастность, 10 ⁻³ |
| Статика, 50 | 120 | 533 |
| Низкая скорость, 50 | 117 | 386 |
| Средняя скорость, 50 | 121 | 153 |
| Высокая скорость, 50 | 119 | 166 |
| Статика, 10 | 82 | 526 |
| Низкая скорость, 10 | 85 | 451 |
| Средняя скорость, 10 | 82 | 333 |
| Высокая скорость, 10 | 83 | 285 |

Таким образом, продемонстрирована эффективность метода регистрации спекл-картины внутри зубного фантома. Полученные значения контрастности спекл-поля коррелируют со скоростью кровотока пульпы зуба: чем выше скорость движения центров, рассеивающих лазерный луч, тем быстрее меняется спекл-картина, что при неизменном времени интегрирования приёмника излучения приводит к снижению контрастности.

Литература

1. Никоненко, Н.А. Оптические свойства кожи, тканей зуба и стоматологических материалов : учеб.-метод. пособие / Н. А. Никоненко. – 2-е изд., испр. – Минск : БГМУ, 2015. – 35 с.
2. Peli, E. Contrast in complex images. / E. Peli // J. Opt. Soc. Am. – 1990. – P. 2032-2040.
3. Briers, J. D. Laser speckle contrast analysis (LASCA): a non-scanning, full-field technique for monitoring capillary blood flow. / J. D. Briers, S. Webster // J. Biomed. Opt. – 1996. – P. 174-179.