

**ВЫБОР ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ  
ТРЕЩИН ЗУБНОЙ ЭМАЛИ**

**И. П. Коваленко<sup>1</sup>, И. К. Луцкая<sup>1</sup>, Т. А. Железнякова<sup>2</sup>,  
С. В. Солоневич<sup>3</sup>, А. Г. Смирнов<sup>3</sup>, А. А. Рыжевич<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> БелМАПО, ул. П.Бровки, 3 к.3, 220013, Минск, Беларусь; E-mail: kovalenko.stom@gmail.com

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет, пр. Независимости 4, 220030, Минск, Беларусь;  
E-mail: zhelez@bsu.by

<sup>3</sup> Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68, 220072, Минск, Беларусь;  
E-mail: tol@dragon.bas-net.by

**Abstract.** We investigated the influence of the spectral distribution of light to optical contrast of cracks in solid tissues of human teeth in photographic images and under visual inspection. We carried out a coloristic analysis of an object areas of a digital photos of several patients oral which made under the optimal conditions for photographing. We determined the average optical contrast of enamel cracks for each of RGB - components. We have shown that a blue color in the RGB color model gives a greatest contribution to the overall contrast of the crack on alive tooth enamel. With the light sources of different colors (light-emitting diodes with the distinct single maxima in their radiation spectra), we visually examined contrast of discolored crack on tooth enamel. We found that unpigmented cracks are most visible both with photographing and with the naked eye when their are illuminated by diffused green radiation. We proposed and made a compact device with exchangeable nozzles on the base of light diodes for visualization of non-coloured and imperceptible with usual illumination enamel cracks by transillumination and direct illumination.

В данной работе предметом исследования являются трещины зубной эмали, проходящие над эмалево-дентинной границей зубов. Даже неглубокие трещины зубной эмали игнорировать их не следует, т.к. они запускают механизм разрушения зуба, которое необходимо вовремя остановить или по меньшей мере не усугублять, дав пациенту адресные рекомендации в каждом конкретном случае. В связи с этим актуальным является вопрос визуализации трещин зубной эмали в процессе стоматологического осмотра. В [1] представлены различные оптические устройства, дающие возможность детализировать мелкие объекты в рабочем поле стоматолога посредством увеличения, однако не предложено способов, позволяющих численно оценивать заметность трещин зубной эмали. Широко используется метод диагностики зубных тканей посредством световодной (оптоволоконной) трансиллюминации (т.е. при просвечивании зуба по направлению с тыльной стороны зуба к наблюдателю светом, подведенным с помощью оптоволоконной), однако в подавляющем большинстве случаев речь идет об обнаружении глубоких трещин либо, гораздо чаще, кариеса с использованием так называемого «холодного» света, т.е. в коротковолновом диапазоне видимого излучения, без указания конкретных длин излучения для используемого диапазона (как, например, в работе [2]).

Мы предположили, что использование для освещения ротовой полости узкополосного по длине волны оптического излучения позволит сделать неглубокие неокрашенные трещины зубной эмали более заметными как при визуальном осмотре, так и при фотографировании, поэтому с помощью микроскопа МБС-10, фотокамеры Canon Digital IXUS 750 и набора диодных источников света различных длин волн провели исследование зависимости оптической контрастности трещин от параметров излучения при трансиллюминации и прямом освещении.

Цифровой фотоаппарат, оборудованный кольцевой вспышкой и макрообъективом [1], позволяет зарегистрировать увеличенное изображение ротовой полости пациента и провести его последующий анализ. Мы провели колористический анализ фотоизображения зуба с трещиной *in vivo*, разложив зарегистрированные значения яркости в каждом пикселе на RGB-составляющие, использующиеся в стандартной аддитивной модели цвета при формировании цветного изображения на черном фоне.

Для расчета оптической контрастности трещин мы использовали одинаковые прямоугольные участки трех выделенных компонент изображения зуба. Наибольшая точность в

определении контрастности достигается при перпендикулярном расположении нижней и верхней сторон участка относительно трещины, но, как показали наши расчеты, вполне допустимо отклонение в ориентации участка до 10 градусов от прямого угла. Можно также измерять локальный контраст трещины вдоль любой линии, пересекающей трещину под прямым углом. Подобным образом можно находить максимальную производилась по формуле:  $K = (V_{\phi} - V_{\tau})/V_{\phi}$ , где  $V_{\phi}$  – наибольшая яркость области эмали в непосредственной близости от трещины,  $V_{\tau}$  – наименьшая яркость в области трещины. Расчет контрастности позволяет перейти от субъективной оценки к объективному измерению.

Рассчитанные средние значения контрастности трещин для красной, зеленой и синей компонент изображения составляют соответственно: 0,029, 0,065 и 0,102. Максимальные значения контрастности для каждой из трех компонент незначительно превышают соответствующие средние значения. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в формирование изображения давно образовавшейся трещины наибольший вклад дает синяя компонента. Так происходит, вероятнее всего, потому, что пигменты, содержащиеся в трещине, сильнее поглощают синий свет. Подтверждением могут служить измеренные нами спектры поглощения черного чая и растворимого кофе – чем короче длина волны излучения, тем сильнее оно поглощается чаем и кофе. Оба спектра соответствуют воспринимаемому нами желто-коричневому цвету обеих жидкостей.

При обычном освещении пигментированные трещины благодаря своей окраске намного лучше заметны, чем непигментированные. Закономерно возник вопрос: свет какого цвета позволит сделать наиболее заметными непигментированные трещины?

Для определения оптического контраста непигментированной трещины зубной эмали в зависимости от цвета освещения мы использовали удаленный высушенный зуб с несколькими трещинами различной глубины. Зуб, горизонтально расположенный в фокальной плоскости микроскопа МБС-10, последовательно освещался различными источниками света под углами от 30 до 60 градусов к горизонтальной плоскости. Визуально выбиралось направление для излучения источника, при котором была наиболее хорошо заметна одна из неокрашенных трещин эмали, после чего зафиксированным на окуляре микроскопа фотоаппаратом Canon Digital IXUS 750 (7.1 мегапикселей) без вспышки при наилучшем установленном качестве снимка регистрировалось увеличенное цифровое изображение поверхности зуба с трещиной. Фокусировка и выбор выдержки производились автоматически. В качестве источников света мы вначале использовали несколько светодиодов, спектральные максимумы излучения которых соответствуют различным длинам волн и, соответственно, воспринимаемым человеческим зрением цветам: 457 нм (синий), 509 нм (зеленый), 589 нм (желтый), 610 нм (оранжевый), 628 нм (красный). Для прямого освещения нужно применять светодиоды с матовыми корпусами, дающие рассеянное излучение в телесном угле  $2\pi$ .

Максимальная контрастность трещины достигает значения: для красного света – 0,18, для оранжевого – 0,14, для желтого – 0,067, для зеленого – 0,29, для синего – 0,079. Таким образом, наилучшую контрастность трещины удалось зарегистрировать при освещении рассеянным зеленым излучением.

Для определения оптической контрастности непигментированных трещин зубной эмали при трансиллюминации мы использовали светодиоды, имеющие прозрачные корпуса с основным диаметром около 5 мм и дающие умеренно расходящееся нерассеянное излучение со спектральными максимумами на нескольких длинах волн: ARL2-5213UBC-3cd-12v (синий – 453 нм), ARL-5213PGC-10cd (зеленый – 523 нм), ARL-5213UOC-15cd (оранжевый – 610 нм), ARL-5013UEUGC/3L (зелено-желтый – 573 нм и красный – 655 нм). Все использованные диоды обеспечили оптическую контрастность трещины от 0,05 до 0,10. При этом наихудшая контрастность (0,054) наблюдалась при трансиллюминации синим излучением, а наилучшая была получена для зеленого (0,081), желто-

зеленого (0,104) и оранжевого (0,084) излучения. При трансиллюминации красным излучением контрастность падала до 0,075. Необходимо отметить, что мощность диодов при измерении контрастности на цифровых фотографиях, полученных при фотографировании без фонового освещения, практически не играет роли, если освещения достаточно, т.к. фотоаппарат автоматически выбирает длительность экспонирования в зависимости от среднего освещения фотографируемой области. Однако при визуальном осмотре методом трансиллюминации более яркие диоды должны были бы иметь преимущество перед менее яркими, т.к. свет при прохождении сквозь ткани зуба теряет много энергии, а для рассмотрения менее ярких объектов требуется более длительная адаптация глаза. Тем не менее, и при визуальном осмотре методом трансиллюминации довольно мощным синим светом (2,43 мВт) непигментированные трещины были видны хуже всего. Но зеленое (3,00 мВт) и оранжевое излучение (1,05 мВт) за счет гораздо большей мощности относительно желто-зеленого излучения (0,10 мВт) при трансиллюминации обеспечивают лучшую субъективную заметность непигментированной трещины. Это связано с тем, что опорно-двигательная и нервная системы экспериментатора не могут обеспечить полную неподвижность органов зрения экспериментатора относительно наблюдаемого освещенного участка, окруженного темной неосвещенной областью, и из-за этого изображение трещины на сетчатке глаза наблюдающего теряет четкость. Таким образом, можно рекомендовать для непосредственной визуализации непигментированных трещин методом трансиллюминации светодиоды в прозрачном корпусе, излучающие в области 520÷610 нм с мощностью излучения 1÷3 мВт).

С учетом изложенных выше закономерностей нами было изготовлено устройство, позволяющее визуализировать слабозаметные при обычном освещении неокрашенные трещины зубной эмали. Устройство представляет собой осветитель, состоящий из корпуса с блоком питания светодиода, выключателя, удлинительной штанги со светодиодом на конце (насадки). Блок питания обеспечивает необходимый ток через светодиод. Удлинительная штанга выполняется прямой для прямого освещения и изогнутой в виде крюка с радиусом окружности 10-15 мм для трансиллюминации. Прямая штанга оснащена диодом ARL-3314PGW-7cd (509 нм) в матовом диффузно рассеивающем корпусе, а изогнутая – диодом ARL-5213PGC-10cd (523 нм) в прозрачном корпусе, служащем линзой. Штанги могут быть как съёмными и взаимозаменяемыми, так и несъёмными. Для обеспечения взаимозаменяемости на штанги и корпус данного варианта устройства устанавливаются разъемы для прочного механического соединения штанги с корпусом и подачи на светодиод электропитания (полюсность проводов на светодиодах должна быть фиксированной). Штанги могут быть изготовлены из эластичных материалов с целью предохранения от неосторожного жесткого касания зубов, десен и неба пациента.

Пробные испытания изготовленных вариантов устройства подтвердили его работоспособность и хорошую применимость в стоматологической практике. Данный осветитель в сочетании с объективом для макросъемки позволяет производить фотографирование проблемных зубов пациента без вспышки в целях документирования и своевременного информирования пациента.

#### *Литература*

1. Использование оптических устройств в эстетической стоматологии: учебно-методическое пособие / И.К. Луцкая, О.А. Лопатин, Т.А. Запашник. Минск, 2012. – 29 с.
2. **Боровая М.Л.**, Гулько Е.М., Фролова Н.Л. Эффективность применения ФОТИ как метода дополнительной диагностики кариеса зубов у детей // Стоматологический журнал. – 2011, – Т. 12, – № 1, с.45 – 47.