05.11.13

МИКРОСКОПИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ИНТАКТНОЙ ЗУБНОЙ ЭМАЛИ

И.Л. Шестель¹, В.В. Педдер², В.К. Леонтьев³, Р.Н. Голых⁴, Г.Г. Иванова⁵, А.С. Лосев⁶,
Е.А. Розачёв⁶

¹ ГБОУ ВПО «Омский государственный медицинский университет», г. Омск

² ООО «Научно-производственное предприятие «Метромед», г. Омск

³ ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, г. Москва

⁴ Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Бийск

⁵ ЧОУ ДПО «Санкт-Петербургский институт стоматологии последипломного образования, г. Санкт-Петербург

⁶ ГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», г. Омск

В нарушении нормального течения обменных процессов, протекающих с участием эмали существенную роль, играют особенности ее структурной неоднородности. Подробная морфологическая микроскопическая характеристика этих структур в литературе отсутствует, что привело к необходимости установления наличия полостей и микрокапиллярной компоненты в системе структурной неоднородности интактной зубной эмали между ее поверхностью и дентином путём применения оптической инвертированной и атомно-силовой микроскопии. Проведено исследование 180 препаратов зубов. Для изучения микро- и ультраструктурного строения эмали предложена методика приготовления препаратов продольного шлифа интактной эмали зуба, включающая финишную ультразвуковую очистку образца. Дана морфологическая оценка структурной неоднородности интактной зубной эмали, обнаруженной при ее оптической инвертированной и атомно-силовой микроскопии, которая может быть применена в стоматологии для разработки инновационных методов диагностики, лечения и профилактики заболеваний зубов. Выявленные неоднородности в структуре ткани интактной эмали зуба представлены пустотами (полостями) в твердой фазе вещества эмали, позволяющими характеризовать эмаль как микрокапиллярно-пористую систему. Визуализировалась твердая фаза эмали и система иерархически организованных полостей, протяженных и взаимосвязанных между собой, упорядоченно и равномерно распределённых по всему объёму эмали зуба от ее поверхности до эмалево-дентинного соединения. Наличие таких сообщений указывает на возможность прямого обмена вещества в ткани эмали зуба как с поверхности, так и из корневого канала. Полученные при оптическом инвертированном и атомно-силовом микроскопировании данные создают представление о наличии между поверхностью эмали зуба и границей эмалево-дентинного соединения в эмали полых пространств – пор, сопряжённых с микрокапиллярами, значительно преобладающих над твердой фазой объема эмали. Система полостей в эмали зуба может быть выявлена при рутинном исследовании с использованием оптического инвертированного и атомно-силового микроскопов, что делает доступным изучение объектов, не требующего значительных временных и финансовых затрат.

Ключевые слова: интактная эмаль зуба, система полостей эмали, поры, микрокапилляры, микроскопия, ультразвук.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно современным представлениям медицинской науки, от структурной организации интактной зубной эмали (далее - зубной эмали или эмали зуба) существенно зависит характер деструктивных изменений при патологических процессах, протекающих с ее вовлечением, например, при кариесе и некариесогенных поражениях, которые связывают с нарушением минерального обмена в эмали [1-4, 7-12]. В нарушении нормального течения обменных процессов в эмали существенную роль, играют особенности ее структурной неоднородности, изучение которых является актуальной проблемой стоматологии.

Так, И.Л. Горбуновой при изучении структуры зубной эмали показано [2, 3], что эмаль зуба представляет собой мезопористое пространство, в то время как рядом других авторов [4, 8, 9], структурная неоднородность эмали представляется им в виде «тоннелей», «мостиков», трещин и микрополостей.

Обращают на себя внимание разночтения в определении видов указанных несплошностей в ткани эмали зуба как в норме, так и при патологии, имеющих место в работах разных исследователей, посвящённых данной теме. В то же время, в разных отраслях науки, изучающих капиллярно-пористые системы, имеются выверенные понятия, термины и определения, характеризующие структуру разных по природе материалов со структурной

неоднородностью в виде кристаллической, капиллярно-пористой и иными структурами макро- и микрообъектов.

В ранее выполненных поисковых исследованиях с применением атомно-силовой микроскопии [5, 6, 13], связанных с изучением микроскопической характеристики жевательной поверхности зубной эмали, при сканировании поверхности эмали, были обнаружены неоднородности ее поверхности в виде углублений различной геометрии, внутри головок эмалевых призм (рис.1).

Указанные углубления представлялись нам частью системы полых пространств эмали зуба, описанных авторами [2, 3, 4, 8, 9], участвующих, по-видимому, в минеральном обмене и массообмене компонентов биологической жидкости в интактной эмали зуба. Однако подробная морфологическая микроскопическая характеристика этих структур в доступных литературных источниках нами не обнаружена, что вызвало необходимость более точной морфологической аргументации наличия в структуре интактной эмали зуба полостей и микрокапиллярной компоненты с применением доступных современных методов микроскопирования.

Рис.1. Рельеф поверхности интактной зубной эмали. Углубления внутри головок эмалевых призм. Атомно-силовая микроскопия в полуконтактном режиме сканирования. Разрешение 26 мкм и 20 мкм.

Цель исследования: установить наличие полостей и микрокапиллярной компоненты в системе структурной неоднородности в интактной зубной эмали, между ее поверхностью и дентином с применением оптической инвертированной и атомно-силовой микроскопии.

Для этого необходимо было:

1. Разработать методику приготовления препаратов продольного шлифа эмали зуба для оптического инвертируемого и атомно-силового микроскопирования.
2. Дать морфологическую оценку структурной неоднородности эмали зуба, обнаруженной при ее

оптической инвертируемой и атомно-силовой микроскопии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для реализации изложенных задач, нами проведено исследование 180 препаратов, подготовленных из при-жизненно сохраненных интактных премоляров верх-них и нижних челюстей, верхних и нижних первых моляров лиц, удаленных по хирургическим, ортодон-тическим и ортопедическим показаниям в медицинс-ких организациях г. Омска, у лиц в возрастной катего-рии 18-32 года (126 мужчин, 54 женщины). При отборе объектов исследования анализировались медицинс-кие документы лиц, которым принадлежали зубы, для исключения у них признаков системных заболеваний соединительной ткани и грубых нарушений обмена веществ. Все объекты исследования были взяты от практически здоровых лиц.

Для изучения микро- и ультраструктурного строения эмали изготавливались препараты продольного шлифа эмали зуба с использованием методики, изложенной в работе [15], согласно которой осуществляют шлифование и последовательное полирование поверхности шлифа зуба алмазной суспензией разной степени зернистости. Последовательность подготовки препарата эмали зуба для оптического инвертированного и атомно-силового микроскопирования осуществлялась следующим образом:

1. Прижизненно сохраненный зуб помещали в 40% раствор формальдегида (формалин) на 24 часа;
2. Зуб разрезали по вертикальной продольной оси от коронковой до корневой его частей стандартным сепарационным диском с двусторонним алмазным покрытием, диаметром 22 мм, толщиной 0,35 мм («ВладМи-Ва», Россия), закрепленным в прямом наконечнике стоматологической установки («OMS», Италия) с по-лучением двух исходных заготовок блока препарата эмали зуба;
3. Заготовку блока препарата эмали зуба дегитрати-ровали и фиксировали в плотном компаунде эпоксидной смолы, для чего ее помещали в смесь эпоксидной смолы ЭД-20 и отвердителя полиэтиленполиамиона (ФКП Завод им. Свердлова, Россия) в соотношении 10:1 с последующей полимеризацией в течение 24 часов;
4. Шлифование заготовки блока препарата эмали зуба осуществляли на шлифовально-полировальном станке «Нерис» 3E881 (Каунасский завод шлифовальных станков, Литва) с использованием водостойкой шлифовальной ткани «Hermes» RB 535X, F 230, F400, F500 (HERMES, Германия). Шлифование проводили последовательным уменьшением среднего размера абразивного зерна в ряду: 53 мкм, 17,3 мкм, 12,8 мкм. После каждого этапа шлифования, полученный шлиф

блока препарата эмали зуба промывали дистиллированной водой в течение 10 мин;

5. Полирование шлифа блока препарата эмали зуба осуществляли на шлифовально-полировальном станке «Нерис» 3E881 с использованием полировального кру-га Mag-Plaran и алмазной суспензии Akasel DiaUltra («AKASEL», Дания), с последовательным уменьшении-ем размера алмазного зерна в ряду: 15 мкм, 6 мкм, 3 мкм, 1 мкм. После каждого этапа полирования, полу-ченный препарат эмали зуба промывали дистиллиро-ванной водой в течение 10 мин;

6. Для удаления с поверхности полированного шли-фа препарата эмали зуба возможных микроскопичес-ких загрязнений, могущих служить артефактами при микроскопировании поверхности полированного шли-фа препарата эмали зуба, его обрабатывали в поле низ-кочастотного ультразвука с применением поверхност-но-активного вещества (ПАВ) «Неонол» («Нижне-камскнефтехим», Россия). Препарат эмали зуба погру-жали в водный раствор «Неонола» в соотношении 1:100 и осуществляли финишную ультразвуковую очистку поверхности полированного шлифа. Волно-вод-инструмент с дискообразным излучающим торцом от ультразвукового аппарата «Кавитон-ММ» («НПП «Метромед», Россия) подводили к поверхности полированного шлифа препарата эмали зуба и озвучивали его в течение 30-60 секунд с расстояния 2-3 мм, определяемого областью пограничного акустического слоя, на частоте 26,5 кГц при амплитуде колебаний волновода-инструмента порядка 50-60 мкм.

7. После финишной ультразвуковой очистки препа-рат эмали зуба, высушивали в установке WiseTherm FHP-05 (Daihan, Южная Корея) при температуре 35° С в течение 60 минут.

8. Фиксировали шлиф препарата эмали зуба на предметном столе оптического инвертированного мик-роскопа ZEISS Axio Observer.A1m (ZEISS, Германия) или на предметном столе атомно-силового микроскопа «N-TEGRA» (НТ МДТ, Россия).

Исследование шлифов препарата эмали зуба про-водили на оптическом инвертированном микроскопе ZEISS Axio Observer.A1m при увеличении 50, 200, 500, 1000 крат в темнопольном режиме, а исследование образцов с применением атомно-силового микроскопа «N-TEGRA» проводили в полуконтактом режиме ска-нирования, при этом неоднородность свойств поверх-ности контролировалась методом отображения фаз.

Методология выявления неоднородностей структу-ры эмали зуба состояла в регистрации визуализируе-мых объектов, определении и классифицировании их как отдельных модулей в организации строения эмали зуба. Определение уровней организации визуализи-руемых элементов неоднородностей эмали зуба

произ-водили на основе количественной оценки различий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведения оптического инвертированного и атомно-силового микроскопирования исследуемых шлифов препарата эмали зуба возникла необходи-мость поименовывания обнаруженных компонентов неоднородностей в зубной эмали, поскольку встречаю-щаяся в литературе терминология оказалась не всегда применима, из-за отсутствия в ней терминологическо-го единства [2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 13]. Известно, что ритмическая активность чередовании твердой фазы вещества и пустот в ней, является фундаментальным свойством материи и наблюдается на всех уровнях, например, в организации и росте эмалевых призм [14].

Известный математик и конструктор середины XIX века Ле-Реколе пришел к выводу о том, что секрет вы-сокой прочности многих конструкций заключается в расположении соединенных, определенным способом, между собой пустотных пространств. Этот принцип был взят за основу великими инженерами - Г. Эйфелем (Франция) и В. Шуховым (Россия), создавших, соот-ветственно, решетчатую и гиперболоидную конструк-ции высоконагруженных башен, в структуре которых пустоты, сообщаясь конструкционно, обеспечивали им высокую прочность и легкость [14]. Примером ука-занного выше, по нашему мнению, может служить и структура пустот эмали зуба.

Данные по архитектонике ткани эмали зуба, раск-рывающие особенности взаимоотношений между пус-тотами и твердой фазой вещества эмали, в доступной литературе практически отсутствуют. Выявленный, при микроскопировании, характер и соотношения пус-тот и твердой фазы эмали зуба, позволит дополнить су-ществующие в стоматологии представления об эмали как анатомическом субстрате, обладающего высокой прочностью, а также уточнить сведения об особен-ностях системы пространственных полостей в твердой фазе объема эмали, позволяющих массообмен и транспорт веществ в ткани эмали зуба как с поверх-ности, так и из корневого канала зуба [1, 2, 8, 11].

В ходе исследования образцов на оптическом ин-вертированном микроскопе ZEISS Axio Observer. A1m при увеличении 50, 200, 500, 1000 крат в темнополь-ном режиме, и исследовании образцов с применением атомно-силового микроскопа «N-TEGRA», в полукон-тактом режиме сканирования, выявлены неоднород-ности в структуре ткани эмали зуба, которые были представлены пустотами (полостями) в твердой фазе вещества эмали, позволяющими характеризовать эмаль как макро- и микрокапиллярно-пористую систему.

Во всех исследуемых образцах, система пустот эмали зуба была представлена двумя модулями полостных образований:

Модуль А. Полости практически вертикально протяженные от поверхности эмали до эмалево-дентинного соединения, условно цилиндрической формы с переменным поперечным размером (от 10 до 28 мкм), сообщающимися между собой посредством полостей модуля В;

Модуль В. Полости разных диаметров (от 200 нм до 17 мкм), условно цилиндрической и конической формы с переменным поперечным размером, ориентированными разнонаправленно, и сообщающимися между собой и полостями модуля А.

В эмали зуба, модули А и В сопряжены между собой и иерархически организованы в сообщающуюся систему посредством ветвлений полостей и условно по-разделены нами на порядки I, II, III и IV:

I - тоннельные полости размером в поперечнике от 10 до 17 мкм, соединяющие поверхность эмали и дентин, расположенные практически параллельно вертикальной оси зуба. Полости условно цилиндрической формы с переменным диаметром: имеют расширение (до 2 диаметров в поперечнике) в средней части полости на поверхности эмали и на границе эмалево-дентинного соединения;

II - аркадные полости эмали зуба, размером в поперечнике от 3 до 10 мкм, сообщающие полости I порядка и располагающиеся под разными углами к ним. Полости условно цилиндрической формы с практически постоянным диаметром поперечника по всей длине;

III - аркадные полости интактной эмали зуба, размером менее 3 мкм в поперечнике, ответвляющиеся в виде «рукавов» от полостей I и II порядка под разными углами. Полости условно цилиндрической формы, с постоянным диаметром в поперечнике, по всей длине;

IV - конические «вытянутые» полости эмали зуба, размером от 300 до 20 нм в поперечнике, ответвляющиеся в виде «рукавов» от полостей I, II, III порядков под разными углами.

Система полостей регулярно охватывает всю толщу эмали от ее поверхности до эмалево-дентинного соединения, что при соблюдении оптимальных режимов подготовки шлифа препарата эмали зуба, создает условия для детального изучения ее тополого-геометрического многообразия.

В эмали эти структуры, вероятно, играют роль транспортных каналов, участвующих в переносе вещества. Наличие сообщения между поверхностью эмали и дентином указывает на возможность прямого обмена вещества в ткани эмали зуба, как с ее поверхности, так и из корневого канала.

При оптическом инвертированном микрокопировании, во всех образцах и всех полях зрения при увеличении 500 и 1000 крат визуализировались

полости I порядка, ориентированные параллельно вертикальной оси зуба, т.е. перпендикулярно поверхности эмали, направленные от поверхности эмали к дентину. Полости имели расширения диаметра «устья» на поверхности эмали (рис.2). Расстояние между полостями I порядка варьировало от 9 до 19 мкм. Все полости I порядка имели расширение поперечного размера на границе эмалево-дентинного соединения (рис.3).

Стрелками показаны стенки полости I порядка

Рис.2. Расширения «устья» полостей эмали зуба I порядка (диаметр в поперечнике до 17 мкм). Увеличение 1000 крат.

Горизонтальными стрелками показаны стенки полости I порядка. Вертикальными стрелками показаны дентинные каналы.

Рис.3. Полости эмали зуба I порядка на границе эмалево-дентинного соединения. Увеличение 1000 крат.

Все полости эмали зуба II порядка имели разную ориентацию по отношению к вертикальной оси зуба (рис.4 и рис.5). Полости эмали зуба, по видимому,

играют важную роль в обменных процессах между ротовой жидкостью и корневым каналом, посредством эмали зуба, участвуя в процессах минерализации и проницаемости эмали для крупных молекулярных субстанций и микроорганизмов, что соответствует данным, полученным рядом исследователей [1, 3, 4, 11].

Рис.4. Ориентация сообщающихся полостей эмали зуба I и II порядка в толще эмали. Увеличение 1000 крат.

Рис.5. Ориентация сообщающихся полостей эмали зуба I и II порядка у поверхности эмали. Увеличение 1000 крат.

Рис.6. Ритмичный порядок полостей II порядка, соединяющих полости эмали зуба I порядка. Увеличение 500 крат.

Полости эмали зуба имеют распространение по всей ткани эмали зуба от поверхности до эмалево-дентинного соединения (Рис. 1-6).

При исследовании эмали зуба с применением атомно-силового микроскопа «N-TEGRA» в полуконтактном режиме сканирования визуализируется архитектура тоннелей эмали I, II, III и IV порядка (Рис.7 и Рис 8).

Участок цилиндрической полости, размером в поперечнике до 5 мкм с «рукавными» коническими ответвлениями, размером в поперечнике до 1 мкм.

Рис.7. Поперечное АСМ-сканирование с применением атомно-силового микроскопа «N-TEGRA» поверхности полированного шлифа эмали зуба с разрешением 30х30 мкм.

Участки поверхности с коническими полостями, размером в поперечнике до 0,3 мкм с расширениями в виде «устьев», размером в поперечнике до 1,5 мкм.

Рис.8. Поперечное АСМ-сканирование с применением атомно-силового микроскопа «N-TEGRA» поверхности полированного шлифа эмали зуба с разрешением 5х5 мкм.

Таким образом, в ходе исследования эмали зуба ви-зуализировали твердую фазу эмали и систему иерархи-чески организованных полостей, протяженных и взаи-мосвязанных между собой, упорядоченно и равном-ерно распределённых по всему объему эмали от ее по-верхности до эмалево-дентинного соединения.

Учитывая возможность транспорта веществ по сис-теме полостей эмали, возникает необходимость даль-нейших деталь-ных исследований морфологических, биохимических, физических и иных показателей свой-ств указанной системы для понимания процессов мас-сообмена, протекающих в проницаемой микрокапил-лярно-пористой системе эмали зуба, позволяющих соз-дание перспективных средств и методов диагностики, лечения и профилактики заболеваний зубочелюстной системы пациентов стоматологического профиля.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика приготовления препарата эмали зуба для оптического инвертированного и атомно-силового микроскопирования, с применением финишной ультразвуковой обработки (очистки) полированного продольного шлифа препарата эмали зуба в растворе поверхностно-активного вещества, позволяющей получение необходимой для визуализации степени чистоты шлифа эмали зуба и реализацию воз-можности выявления, при увеличении в 500 и 1000 крат, микроскопической структуры эмали зуба, ее на-тивной неоднородности в виде регулярной и перио-дичной системы полостей.

Применение методики приготовления препаратов эмали зуба, позволяет четко визуализировать пустоты в эмали, представляющих собой иерархически органи-зованные I, II, III и IV уровневые системы регулярных полых структур в ткани эмали зуба, выявляемых на площади сканирования 30х30 мкм и 5х5 мкм.

2. При оптическом инвертированном темнопольном микроскопировании препаратов эмали зуба, изготов-ленных с применением разработанной методики, в твердой фазе вещества эмали, в полях обзора, визуали-зируется система регулярных ритмически распо-ложенных пустот, имеющих форму вытянутых цилинд-ров переменного диаметра, разнонаправленных, сооб-щающихся между собой и иерархически организованных, что согласуется с данными, полученными при исследовании этих же препаратов эмали зуба при атомно-силовом микроскопировании (АСМ).

Во всех исследуемых препаратах эмали зуба опре-деляется наличие регулярных до 9 на 10 мкм² округ-лых полостей разного размера от 0,3-17 мкм, соеди-няющих поверхность эмали с дентином. Полости в эмали от ее поверхности к дентину располагаются под разными углами от 30° до 90 ° по отношению к

вертикальной оси зуба (рис. 4, рис.6). Регулярность полостей и их концентрация у поверхности шлифа, носит системный характер, что позволяет оценить их, как структуру, характерную для интактной эмали зуба.

При атомно-силовом микрокопировании на площади сканирования от 30х30 мкм до 2х2 мкм на сканируемой поверхности препарата эмали зуба, визуализируются вертикальные полые структуры, напоминающие «шахтные» тоннели с «аркадными» тоннельными сообщениями между ними, имеющих размеры в поперечнике от 50 нм до 17 мкм и представляющих собой сложные иерархические ветвления организованные в уровневые системы I, II, III и IV порядков. Эти данные согласуются с результатами проведенного оптического инвертированного микрокопирования в диапазоне от 50 до 1000 крат и уточняют представление о характере ветвления полых структур при сканировании препаратов эмали зуба при атомно-силовом микрокопировании (АСМ).

Полученные, при оптическом инвертированном и атомно-силовом микрокопировании данные, создают представление о наличии в эмали зуба полых (пористых) пространств (макро- и микрокапилляров), объем которых, по-видимому, преобладает над объемом твердой фазы эмали, между ее поверхностью и границей эмалево-дентинного соединения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования позволяют полагать, что наблюдаемые характеристики пустот в ткани эмали зуба и их параметры могут определять характер переноса вещества в ней [1, 2, 3, 4, 7, 9, 11]. Поперечный размер пустот в эмали варьировал от 50 нм до 17 мкм, что позволяет определить значительную их часть, как макро- и микропоры. Пространство полостей зубной эмали имеет сложную геометрическую форму, которую возможно аппроксимировать геометрическими формами в виде вытянутого цилиндра переменного диаметра, конусообразные элементы переменного диаметра и пр.).

Система полостей в эмали зуба может быть выявлена при рутинном исследовании при оптическом инвертированном и атомно-силовом микрокопировании, что делает его доступным для изучения таких объектов как эмаль зуба, не требующих значительных временных и финансовых затрат, ни в процессе пробо-подготовки образцов шлифа эмали зуба, ни при использовании дорогостоящей исследовательской аппаратуры.

Установление в результате проведенного исследования регулярности системы полостей эмали зуба, позволяет высказать мнение о наличии существования фи-зиологического, коммуникационного и транспортного пространства в

эмали зуба человека. Наличие во всех препаратах эмали зуба сообщений между поверхностью эмали зуба и дентином, требует проведения дальнейшего изучения функции и организации данных коммуникаций и их роли в обменных процессах, протекающих в зубе, а также их участия в образовании кариеса и некариесогенных заболеваний зубов. Этот аспект проблемы структурной организации эмали мы планируем раскрыть в последующих публикациях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Боровский, Е.В. Биология полости рта [Текст] / Е.В. Боровский, В.К. Леонтьев. – М.: Медицинская книга, Н. Новгород: Изд-во НГМА, 2001. – 304 с.
2. Горбунова, И.Л., Михайкина Н.И., Дроздов В.А. Особенности морфологического строения интактной зубной эмали кариесподверженных и кариесрезистентных лиц / И.Л. Горбунова, Н.И. Михайкина, В.А. Дроздов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. С. 1024.
3. Горбунова И.Л. Исследование структуры апатита эмали зубов пациентов с различными уровнями устойчивости к кариесу [Текст] / И.Л. Горбунова // Институт стоматологии. – 2007. – №1. – С. 96–97.
4. Значение микроструктуры и химического состава эмали зубов для качественного пломбирования / А.А. Кунин [и др.] // Актуальные вопросы стоматологии: сборник материалов 16-ой областной и городской научно-практических конференций. Воронеж. – 1999. – ч.1. – С. 40-42.
5. Клинические рекомендации Российского научного медицинского общества терапевтов по диагностике, лечению и реабилитации пациентов с дисплазией соединительной ткани (первый пересмотр). Утверждены на XII Национальном конгрессе терапевтов 22–24 ноября 2017 года. С.144.
6. Взаимоотношение органического матрикса и минерального компонента в костях и эмали зубов при дисплазии соединительной ткани / В.П. Конев [и др.] // Сибирский медицинский журнал. – 2011. – № 2. – С. 77–80.
7. Костиленко, Ю.П. Структура зубной эмали и ее связь с дентином [Текст] / Ю.П. Костиленко, И.В. Бойко // Стоматология. – 2005. – № 5. – С. 10–13.
8. Кунин, А.А. Микро- и ультраструктура эмали зуба и ее значение для профилактики кариеса // А.А. Кунин, Н.С. Моисеева, Д.А. Кунин // Стоматология детского возраста и профилактика. – 2017. – №2. – С. 4.
9. Кунин, А.А. Электронно-микрокопическое исследование особенностей микроструктуры и обменных процессов эмали и дентина // А.А. Кунин, Р.А. Шабанов, Б.Л. Агапов // Сборник материалов XXIII Российской конференции по электронной микроскопии, 31 мая–4 июня. Черноголовка. – 2010. – С. 380.
10. Леонтьев, В.К. О качественных различиях состава белковой матрицы дентина человека и животных [Текст] // В.К. Леонтьев // В кн.: Механизм адаптации и компенсации физиологических функций в экстремальных условиях. – 1977. – С.72–75.
11. Леонтьев, В.К. Эмаль зубов, как биокристаллическая система [Текст] / В.К. Леонтьев. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 72 с.
12. Ломиапшвили, Л.М. Клинико-морфологическая характеристика зубочелюстной системы у лиц с различным уровнем резистентности к кариесу [Текст]: дис. канд. мед. наук: 14.00.21: защищена 22.01.93: утв. 15.07.93 / Ломиапшвили Лариса Михайловна. – Омск, 1993. – 274 с. – Библиогр.: с. 243-276.
13. Использование атомно-силовой микроскопии в изучении плотных тканей орофациальной области / В.П. Конев [и др.] // Казанский медицинский журнал. – 2012. № 6. – С. 887-891.
14. Постолаки А.И. Общие принципы архитектоники живых систем // Международный научно-исследовательский журнал. 2013 г. № 7-5 (14). С. 58

15. Пат. 2458675 Российская Федерация. МПК А61К6/00, G01N1/32. Способ изготовления препаратов зубов для морфологических исследований эмалевых призм в атомно-силовом (АСМ) и инвертированном микроскопах [Текст] / Шестель И.Л. ; заявитель и патентообладатель Омская государственная медицинская академия Министерства здравоохранения и социального развития РФ. заявл. 04.05.2011; опубл. 20.08.2012

Шестель Игорь Леонидович – к.м.н., доцент кафедры судебной медицины, правоведения ГБОУ ВПО «Омский государственный медицинский университет», г. Омск, тел.: (904)58600301, e-mail: igor_shestel@bk.ru

Педрер Валерий Викторович – к.т.н., генеральный директор ООО «Научно-производственное предприятие «Метромед», г. Омск, e-mail: metromed@mail.ru.

Леонтьев Валерий Константинович – академик РАН, профессор ФПДО МГМСУ (Московского государственного медико-стоматологического университета) им. Евдокимова (советник ректора), г. Москва.

Гольх Роман Николаевич – д.т.н., старший научный сотрудник Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Бийск. Тел.: (923) 1629327

Г.Г. Иванова – д.м.н., профессор, проректор по научной работе ЧОУ ДПО «Санкт-Петербургский институт стоматологии последипломного образования, г. Санкт-Петербург.

А.С. Лосев – ассистент кафедры «Оборудования и технология сварочного производства» ГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет».

Е.А. Рогачёв – к.т.н., доцент кафедры «Физика» ГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет».

MICROSCOPIC CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL HETEROGENEITY OF INTACT TOOTH ENAMEL

I.L. Shestel¹, V.V. Pedder², V.K. Leontyev³, R.N. Golykh⁴,
G.G. Ivanova⁵, A.S. Losev⁶, E.A. Rogachev⁶

¹*Omsk State Medical University, Omsk*

²*Scientific and Production Enterprise "Metromed", Omsk*

³*Moscow State Medical and Dental*

University named after A.I. Evdokimov, Moscow

⁴*Biysk Technological Institute(branch) of the Altai State*

Technical University named after I.I. Polzunov, Biysk

⁵*St. Petersburg Institute of Dentistry of Postgraduate Education,
St. Petersburg*

⁶*Omsk State Technical University, Omsk*

Abstract – In violation of the normal course of metabolic processes occurring with the participation of enamel, the features of its structural heterogeneity play an essential role. Detailed morphological microscopic characteristics of these structures are not available in the literature, which led to the need to establish the presence of cavities and microcapillary components in the system of structural heterogeneity of intact tooth enamel between its surface and dentin by using optical inverted and atomic force microscopy. A study of 180 dental preparations was conducted. To study the micro- and ultrastructural structure of enamel, a method for preparing preparations of the longitudinal section of intact tooth enamel, including the final ultrasonic cleaning of the sample, is proposed. A morphological assessment of the structural heterogeneity of intact tooth enamel detected by its optical inverted and atomic force microscopy is given, which can be used in dentistry to develop innovative methods for the diagnosis, treatment and prevention of dental diseases. The revealed inhomogeneities in the structure of the intact tooth enamel tissue are represented by voids (cavities) in the solid phase of the enamel substance, which make it possible to characterize the enamel as a microcapillary-porous system. The solid phase of the enamel and a system of hierarchically organized cavities, extended and interconnected, orderly and evenly distributed over the entire volume of tooth enamel from its surface to the enamel-dentine junction were visualized. The presence of such messages indicates the possibility of direct exchange of substances in the tooth enamel tissue both from the surface and from the root canal. The data obtained by optical inverted and atomic force microscopy give an idea of the presence of hollow spaces - pores conjugated with microcapillaries in the enamel between the surface of the tooth enamel and the border of the enamel-dentine junction, significantly prevailing over the solid phase of the enamel volume. The system of cavities in the tooth enamel can be detected during routine examination using optical inverted and atomic force microscopes, which makes it possible to study objects that do not require significant time and financial costs.

Index terms intact tooth enamel, enamel cavity system, pores, microcapillaries, microscopy, ultrasound.

REFERENCES

1. Borovsky, E.V. Biology of the oral cavity [Text] / E.V. Borovsky, V.K. Leontyev. - M.: Medical book, N. Novgorod: Publishing House of NGMA, 2001. - 304 p.
2. Gorbunova, I.L., Mikheikina N.I., Drozdov V.A. Features of the morphological structure of intact tooth enamel of caries-infected and caries-resistant persons / I.L. Gorbunova, N.I. Mikheikina, V.A. Drozdov // Modern problems of science and education. - 2014. - No. 6. p. 1024.
3. Gorbunova I.L. Investigation of the structure of tooth enamel apatite in patients with different levels of resistance to caries [Text] / I.L. Gorbunova // Institute of Dentistry. - 2007. - No. 1. - pp. 96-97.
4. The significance of the microstructure and chemical composition of tooth enamel for high-quality filling / A.A. Kunin [et al.] // Topical issues of dentistry: collection of materials of the 16th regional and city scientific and practical conferences. Voronezh. - 1999. - part 1. - pp. 40-42.
5. Clinical recommendations of the Russian Scientific Medical Society of Therapists on the diagnosis, treatment and rehabilitation of patients with connective tissue dysplasia (first revision). Approved at the XII National Congress of Therapists on November 22-24, 2017. P.144.
6. The relationship of the organic matrix and the mineral component in the bones and enamel of teeth with connective tissue dysplasia / V.P. Konev [et al.] // Siberian Medical Journal. - 2011. - No. 2. - pp. 77-80.
7. Kostilenko, Yu.P. The structure of tooth enamel and its connection with dentin [Text] / Yu.P. Kostilenko, I.V. Boyko // Dentistry. - 2005. - No. 5. - pp. 10-13.
8. Kunin, A.A. Micro- and ultrastructure of tooth enamel and its significance for the prevention of caries // A.A. Kunin, N.S. Moiseeva, D.A. Kunin // Dentistry of childhood and prevention. - 2017. - No. 2. - p. 4.
9. Kunin, A.A. Electron microscopic study of microstructure features and metabolic processes of enamel and dentin // A.A. Kunin, R.A. Shabanov, B.L. Agapov // Proceedings of the XXIII Russian Conference on Electron Microscopy, May 31-June 4. Chernogolovka. - 2010. - p. 380.
10. Leontyev, B.K. On qualitative differences in the composition of the protein matrix of human and animal dentin [Text] // B.K. Leontyev // In the book: The mechanism of adaptation and compensation of physiological functions in extreme conditions. - 1977. - p.72-75.
11. Leontyev, V. K. the enamel of the teeth, as biocybernetics system [Text] / V. K. Leontyev. - M.: GEOTAR-Media, 2016. - 72 p.
12. Lomiashvili, L. M. Clinical and morphological characteristics of the dentition in individuals with different levels of resistance to dental caries [Text]: dis. Cand. med. science: 14.00.21: protected 22.01.93: approved. 15.07.93 / Lomiashvili Of Larisa Mikhailovna. - Omsk, 1993. - 274 p. - Bibliogr.: pp. 243-276.

13. The use of atomic force microscopy in the study of dense tissues of the orofacial region / V.P. Konev [et al.] // Kazan Medical Journal. - 2012. No. 6. - pp. 887-891.

14. Postolaki A.I. General principles of architectonics of living systems // International Research Journal. 2013 No. 7-5 (14). p. 58

15. Pat. 2458675 Russian Federation. IPC A61K6/00, G01N1/32. A method of manufacturing dental preparations for morphological studies of enamel prisms in atomic force (AFM) and inverted microscopes [Text] / Shestel I.L. ; applicant and patent holder Omsk State Medical Academy of the Ministry of Health and Social Development of the Russian Federation. application 04.05.2011; publ. 20.08.2012

Shestel Igor Leonidovich – candidate of medical sciences, associate Professor of the Department of forensic medicine, law, Omsk state medical university, Omsk, phone: (904)58600301, e-mail: igor_shestel@bk.ru

Pedder Valery Victorovich – candidate of technical Sciences, General Director of Scientific-production enterprise “Metromed”, Omsk, e-mail: metromed@mail.ru.

Leont'ev Valery Konstantinovich – academician of RAS, Professor of the Moscow state university of medicine (Moscow state medico-stomatological University) Evdokimova (advisor to the rector), Moscow.

Golykh Roman Nikolaevich – Ph. D., senior researcher of Biysk Technological Institute (branch) of Altai State Technical University named after I. I. Polzunov, Biysk, Phone:(923) 1629327

G. G. Ivanova – doctor of medical Sciences, Professor, Pro-rector on scientific work of CHOU DPO "Saint-Petersburg Institute of dentistry postgraduate education, St. Petersburg.

A. S. Losev – assistant of the Department Equipment and technology of welding production, Omsk State Technical University.

E.A. Rogachev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, Omsk State Technical University.