

Структура зубной эмали и ее связь с дентином

Ю.П. КОСТИЛЕНКО, И.В. БОЙКО

Dental enamel structure and its relation to dentine

YU.P. KOSTILENKO, I.V. BOYKO

Кафедра анатомии человека Украинской медицинской стоматологической академии, Полтава

Получена новая информация об особенностях микроскопической и ультраструктурной архитектоники зубной эмали человека и ее связи с дентином. Консолидация эмали с дентином опосредована пограничной пластинкой кальцифицированного вещества, имеющего волокнистое строение.

New information on microscopic and ultrastructural architectonics of human dental enamel and its relation to dentin is presented. Enamel consolidation with dentin is mediated by borderline layer of calcificated substance having fibrous structure.

Stomatologija (Mosk) 2005;5:10—13

Известно, что физические свойства эмали зависят не только от более высокой доли в ней минеральных веществ. Главенствующую роль играет особая пространственная форма трассирования в эмали кристаллов гидроксиапатита, предопределенная соответствующей формой отложения анамелобластами волокнистого органического матрикса [1—3]. Согласно общепринятой концепции, элементарными структурами эмали, определяющими данную форму трассирования минеральных кристаллов, являются так называемые эмалевые призмы [5, 6], характер пространственной упорядоченности которых окончательно не раскрыт в связи с отсутствием в настоящее время адекватных методов исследования. Кроме того, мало изучены особенности структурной связи эмали с дентином.

В связи с этим мы поставили перед собой задачу, во-первых, разработать способ, позволяющий исследовать внутреннюю структуру эмали, и, во-вторых, получить визуальную картину этой структуры и определить особенности связи эмали с дентином.

Материал и методы

Разработанный нами способ заключается в изготовлении тотальных препаратов коронковой части прижизненно сохранных зубов. Способ представляет собой модифицированную комбинацию методов фиксации тканей и заключения их в плотный компаунд эпоксидной смолы (заимствован из практики подготовки образцов для трансмиссионной электронной микроскопии) с известными техническими приемами изготовления шлифов зубов [4].

Сразу после экстракции зубы (нами использованы интактные третьи коренные зубы, удаленные по

ортодонтическим и ортопедическим показаниям на кафедре пропедевтики хирургической стоматологии с реконструктивной хирургией Украинской медицинской стоматологической академии, Полтава) промывали в физиологическом растворе, а затем отсекали по половине корней в целях оптимального диффузирования в пульпу и дентин фиксирующего раствора (4% раствор глутарового альдегида на фосфатном буфере).

Дегидратация и пропитка зуба эпоксидной смолой эпон-812 осуществлялись методом подготовки образцов для трансмиссионной электронной микроскопии, но с увеличением вдвое длительности каждого этапа.

Пропитанный таким образом препарат помещали в чистую смесь эпоксидной смолы. Для получения более твердого компаунда к ней добавляли несколько больше отвердителя. Полимеризацию проводили в кювете, соответствующей размеру зуба.

После полимеризации, полученный блок разрезали сепаровочным диском пополам. Затем торцевые поверхности с обнаженными тканями зуба подвергали шпательной шлифовке до получения ровного шлифа. На данном этапе препарат пригоден для окраски соответствующими красителями и предварительного изучения в световом микроскопе в отраженном свете.

Следующий этап — частичное травление эмали в хелатообразующем агенте (трилон-Б). После нанесения на препараты слоя электропроводящего вещества их изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа РЭММА-102.

После этого с изучаемых поверхностей с помощью нитроцеллюлозы снимали отпечатки, с которых затем готовили угольные реплики путем напыления в вакууме спектрально чистого графита. Полученные реплики наносили на предметные сетки и исследовали в трансмиссионном электронном микроскопе ЭМВ-100 Л.

Результаты и обсуждение

При обзорном изучении в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) эпоксидных шлифов коронки зубов с частично протравленной эмалью привлекает внимание чрезвычайно сложный рельеф внутренней структуры эмали, которая только в отдельных местах соответствует общепринятым представлениям. На полученных сканограммах отчетливо видно, что основная часть боковых поверхностей эмали до уровня бугорковой области коронки представлена периодически чередующимися радиально ориентированными волнистыми узловыми цепями волокнистых структур, метрические показатели и форма их периодической чередуемости абсолютно совпадают с таковыми у полос или линий Гунтера—Шрегера (рис. 1, 2).

Совсем иной характер имеет внутренний рельеф эмали в толще бугорковой части коронки, где изгибы волнистых узловых цепей волокнистых структур соответствуют кривизне внешней поверхности коронки зуба и приобретают аркадную форму (рис. 3). Отчетливо видно, что аркадные узловые цепи бугорковой части коронки образуются в результате переплетения встречно направленных волокнистых узловых цепей боковых частей эмали.

Особо примечателен довольно тонкий поверхностный слой эмали, составленный выходящими на поверхность из толщи волнистых узловых цепей эмали прямо торчащими короткими пучками волокнистых структур. Данная особенность позволяет нам выделить поверхностную зону эмали — *щеточно-каемчатый слой* (см. рис. 3). Следует отметить, что наибольшей толщины он достигает в области бугорков коронки. Переходя на боковые поверхности, он, постепенно истончаясь, сходит на нет в области шейки зуба. Отчетливо видно, что данный слой образован тесно сплоченными волокнистыми структурами, которые по формальным признакам соответствуют общепринятому представлению об эмалевых призмах. По-видимому, изучение именно этого поверхностного слоя эмали дало исследователям основание присвоить элементарным структурам эмали это, на наш взгляд, неудачное название, ибо с геометрической точки зрения они не имеют ничего общего с призмами, что станет очевидным при дальнейшем их рассмотрении.

При больших увеличениях СЭМ легко удается визуализировать форму элементарных структур эмали на достаточно значительном их протяжении. Самыми подходящими для изучения оказываются те из них, которые находятся недалеко от дентина, так как здесь эмаль более рыхлая и ее элементы разобщены в результате травления (см. рис. 2). Каждый элемент структуры эмали представляет собой сильно извитое по всем направлениям волокнистое образование, являющееся матрицей упорядоченного расположения в толще эмали кристаллов апатита. Последние выявляются на сканограммах в виде угловатых зерен, придающих внешнему очертанию волокна зубчатую форму. Там, где кристаллические волокна переплетаются, заметно, что зубцы одного волокна находятся в конформном сцеплении с зубчатой поверхностью смежных волокон.

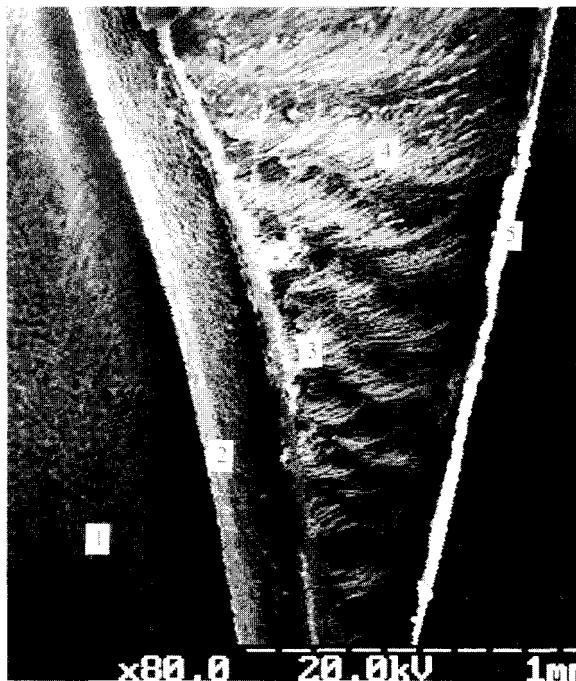


Рис. 1. Боковая часть коронки третьего моляра (эпоксидный шлиф зуба с частично протравленной эмалью); сканограмма. 1 — дентин; 2 — разграничительная дентинно-эмалевая пластинка; 3 — базальный слой эмали; 4 — срединная толщина эмали; 5 — пелликула.

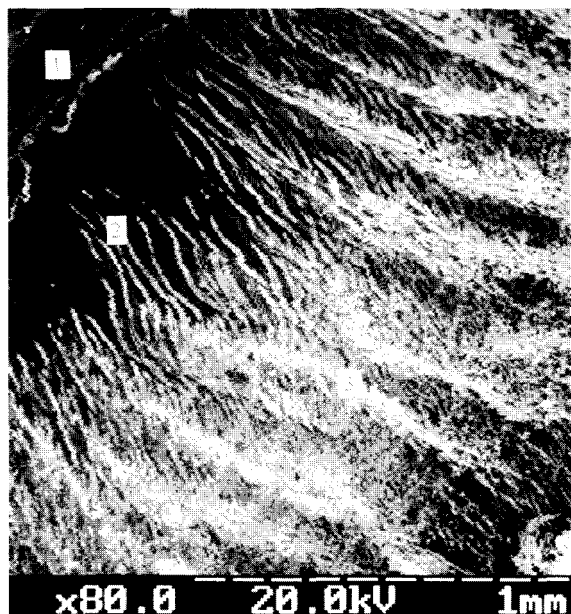


Рис. 2. Внутренняя структура эмали (эпоксидный шлиф зуба с частично протравленной эмалью); сканограмма.

1 — разграничительная дентинно-эмалевая пластинка; 2 — кристаллические волокна в базальном слое эмали; 3 — узловые цепи волокнистых структур эмали.

Изучение угольных реплик протравленной эмали в трансмиссионном электронном микроскопе позволило получить общее представление о внутренней структуре отдельных кристаллических волокон эмали (рис. 4). Прежде всего обращает на себя внимание то, что они имеют слоисто-сланцевую структуру, слага-

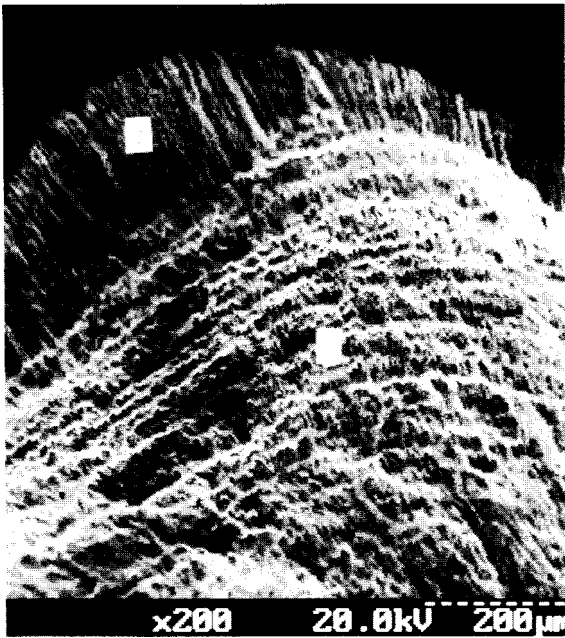


Рис. 3. Область возвышения жевательного бугорка третьего моляра (эпоксидный шлиф зуба с частично протравленной эмалью); сканограмма.

1 — аркадные узловые цепи волокнистых структур эмали; 2 — поверхностный слой волокнистых структур эмали.

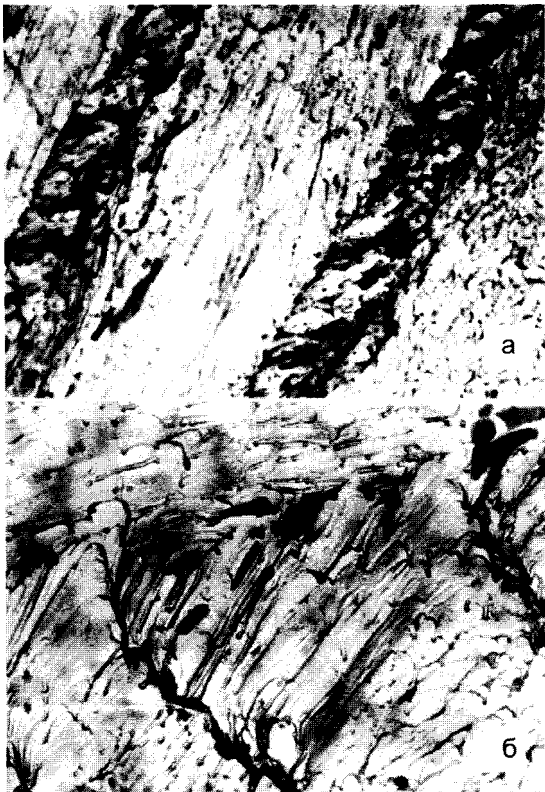


Рис. 4. Ультраструктура кристаллического волокна эмали. Трансмиссионная электронограмма, $\times 7000$; а — волокна срединной толщи эмали; б — волокна поверхностного слоя эмали.

ющими которой являются кристаллы удлиненной формы, отделенные друг от друга тонкими прожилками, по-видимому, органического вещества. По их внешнему очертанию на отдельно взятых репликах трудно говорить об истинной трехмерной форме и характере ориентации этих кристаллов в эмалевом волокне. Однако тщательный анализ многочисленных электронограмм позволяет думать, что они имеют удлиненную призматическую форму и косую ориентацию по отношению к продольной оси волокна. Сопоставление результатов изучения трансмиссионных электронограмм со сканограммами, полученными при больших увеличениях, дает основание считать, что в поверхностном слое эмали кристаллы апатита расположены почти поперек к продольной оси волокон, вследствие чего последние приобретают вид поперечно исчерченных.

Благодаря частичному травлению эмали зубов, заключенных totally в эпоксидную смолу, нам представилась возможность впервые получить морфологические данные о том, что представляет собой дентинно-эмалевая граница. Оказывается, между эмалью и дентином имеется тонкая (толщиной около 30 мкм) пластинка кальцифицированного вещества, имеющего волокнистое строение (см. рис. 1). На сканограммах видно, что с одной стороны к ней подходят и слепо заканчиваются дентинные каналцы, а с другой — пучки эмалевых кристаллических волокон. Тщательное изучение пластинки не дает оснований говорить о наличии структур, которые бы переходили через нее в эмаль (например, пресловутые эмалевые веретена) или в обратном направлении. Являясь барьерным образованием между дентином и эмалью, пластинка все же проницаема для мелкодисперсных растворов, о чем свидетельствует тот факт, что ее матрикс пронизан по всем направлениям микроскопическими каналцами, которые с одной стороны открываются в плащевой слой дентина, а с другой связаны с мелкими углублениями в поверхности эмали.

При рассмотрении данной обнаженной (в результате травления эмали) поверхности обращает на себя внимание ее отчетливый рельеф в виде ветвящихся и анастомозирующих между собой складок, которыми ограничены небольшие поля неправильной полигональной формы, являющиеся местом фиксации и начала отдельных пучков кристаллических волокон (рис. 5). Вместе с тем в этой зоне часто обнаруживаются пучки соединительнотканых волокнистых структур, которые внедряются в промежутки между пучками кристаллических волокон, за счет чего пограничная с дентином эмаль приобретает волокнисто-пористую структуру, способствующую процессу диффузии мелкодисперсных растворов из дентина через пограничную пластинку в эмаль. Принимая во внимание то, что в эмбриогенезе данная зона является инициальной в процессе энамелогенеза, правомерно было бы расценивать ее в качестве базального слоя дефинитивной эмали.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Элементарными структурами эмали являются кристаллические волокна, изогнутые в толще эмали и выпрямляющиеся в ее поверхностном слое. Дан-



Рис. 5. Микрорельеф эмалевой поверхности разграничительной дентинно-эмалевой пластинки в области возвышения жевательного бугорка третьего моляра (эпоксидный шлиф зуба с частично протравленной эмалью); сканограмма.

ные образования называют эмалевыми призмами, что не соответствует их форме.

2. Предельная компактизация эмали достигается вследствие последовательного перехода тесно пере-

витых между собой кристаллических волокон из одного ряда в другой, в результате чего в толще эмали образуются радиальные, периодически чередующиеся волокнистые узловые цепи, которые на обычных шлифах зубов имеют вид светлых и темных полос, известных под названием линий Гунтера—Шрегера.

3. В области бугорков зуба данные образования превращаются в аркадные цепи в результате переплетения встречно направленных с боковых сторон коронки кристаллических волокон, из толщи которых выходят выпрямленные кристаллические волокна, образующие поверхностный слой, названный нами шеточно-каемчатым. Поскольку наибольшей толщины он достигает на возвышениях бугорков, подверженных самому сильному механическому воздействию при жевании, его следует рассматривать в качестве защитного слоя эмали. Данное положение заслуживает внимания в контексте проблемы повышенной стираемости эмали и ее резистентности к действию различных неблагоприятных экзогенных факторов.

4. С морфологической точки зрения в эмали можно выделить 3 зоны:

— базальную, которая рассматривается в единстве с разграничительной дентинно-эмалевой пластинкой; этот слой благодаря наличию связующих соединительнотканых волокон обладает микропористыми свойствами;

— срединную, в которой волокнистые узловые цепи образуют «аркады»; эта зона должна обладать ультрапористыми свойствами;

— шеточно-каемчатый слой — самый плотный слой жевательной поверхности зуба; возможность ультрапористых свойств не исключается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луцик О.Д., Максеев В.Ф., Яценко А.М. и др. Атлас мікроанатомії органів ротової порожнини. Львів: Видавничий дім Наутилус 1999; 208.
2. Быков В.Л. Гистология и эмбриология органов полости рта человека: Учебное пособие. 2-е изд., испр. Ст-Петербург: Специальная литература 1998; 247.
3. Марченко А.И., Зелинская Н.А., Даченко В.Я. и др. Изучение ультраструктуры поверхности эмали зубов человека с помощью растровой электронной микроскопии. Стоматология 1990; 3: 6—8.
4. Костиленко Ю.П., Бойко И.В. Метод изготовления препаратов прижизненно сохраненных зубов для многоцелевых исследований. Клінічна анатомія та оперативна хірургія 2004; 3: 2: 63—65.
5. Скрипников П.Н., Гасюк А.П., Непорода К.С. Метаболизм, структура и функции белков эмали (Часть 2. Белки эмали: амелогенин и амелобластин). Український стоматологічний альманах 2001; 3: 4: 6—12.
6. Фалин Л.И. Гистология и эмбриология полости рта и зубов. М: ГосМедЛит 1963; 234.

Поступила 02.02.05