

# Эмаль

Выполнил: Ким Максим Дмитриевич. группа  
1954

# Анатомия зуба



# СВОЙСТВА ЭМАЛИ

- Эмаль зуба является уникальным сложносоставным биокерамическим материалом и самой твёрдой тканью человеческого организма
- эмаль не обладает клеточной структурой.
- Жидкость, присутствующую в эмали и содержащую ионы, называют «эмалевым ликвором», или «эмалевой жидкостью»
- в эмали происходит обмен веществ.
- Транспорт в двух направлениях: из крови; из ротовой полости.
- Основной функцией эмали является защита дентина и пульпы зуба веществ
- Постоянно идут процессы гомеостаза за счет де- и реминерализации, электролитов слюны
- Благодаря своему строению и химическому составу, эмаль обладает высокой резистентностью. Ее проницаемость может увеличиваться под действием органических кислот, высоких температур, деятельности микробов, под действием гормонов калцитонина, паратгормона, паротина

# Химический состав эмали

- Неорганические вещества зрелой эмали составляют 94-95%, в незрелой формирующейся эмали, %, а в эмали молочных зубов - 80%
- кальция в составе эмали обнаружены свыше 30 разных элементов. В относительно больших количествах присутствуют ионы  $Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$ , а также  $Cl^{-}$ ,  $K^{+}$ ,  $Zn^{2+}$  и  $Fe^{2+}$ .
- Доля органических веществ в зрелой эмали составляет 1,2-2,0%.
- Органический матрикс представлен небольшим

Концентрация в пкмоль	Элементы
> 1000	Na, Cl, Mg
100-1000	K, S, Zn, Si, Sr
10-100	Fe, Al, Pb, B, Ba
1-10	Cu, Rb, Br, Mo, Cd, I, Ti, Mn, Cr, Sn
0,1-0,9	Ni, Li, Ag, Nb, Se, Be, Zr, Co, W, Sb, Hg
< 0,1	As, Cs, V, Au, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Tb

# Амелогенез

- Амелогенез- образование эмали зуба. Данный процесс непосредственно связан:
- с дивверенцировкой клеток внутреннего эмалевого эпителия.
- с секрецией энамелобластами набора специфических белков

# Энамелобласты

*Энамелобласт* - эпителиальная клетка и имеет большинство ее признаков:

1. Энамелобласты располагаются в ряд - один.
2. Имеют геометрическую форму призмы.
3. Имеют полярность: - в базальной части клетки (она обращена в сторону пульпы эмалевого органа) располагается ядро, митохондрии. - в центральной части клетки - органеллы синтеза (гЭПС) и КГ, от которого отщепляются секреторные гранулы в будущем органическим матриксом эмали - кератиноподобным белком. - в апикальной части клетки (она обращена в сторону образующейся эмали и видна на приведенной электронограмме) - отрастает короткий и толстый отросток Томса, на нем - микроворсинки (микроотростки).

# Энамелобласт



# Амелогенез состоит из трёх стадий:

- Первая стадия- стадия секреции
- Вторая стадия- стадия созревания
- Третья стадия- зрелая эмаль



# Белки амелогенеза

- выявлено до 34 различных белков, участвующих в амелогенезе
- Кальций-связывающие белки
- Белки, участвующие в образовании цитоскелета
- Белки, участвующие в формировании межклеточного матрикса
- Ферменты
- Помимо белков из созревающей эмали выделены пептиды, липиды, моносахариды.
- Амелогенины и энамелины- матричные белки, способствуют организации кристаллов специальной формы:
- Амелогенины содержат большое количество остатков пролина, лейцина, гистидина и глутаминовой кислоты
- Энамелины, как и амелогенины, относятся к гликофосфопротеинам. Это кислые белки, богатые аспарагиновой и глутаминовой кислотами, пролином и

Тафтелин имеет сродство к ионам P и Ca- необходим только на начальной стадии образования центров минерализации.

Тафтелин- фосфорилированный гликопротеид, интегрирующий белок, который осуществляет связь между эмалью и дентином. В матрице эмали также содержится большое количество протеогликанов.

Для образования и роста кристаллов гидроксиапатитов необходимы высокая концентрация ионов Ca. Транспорт ионов Ca к матричным белкам осуществляют кальцийсвязывающие белки, содержащие в своем составе карбоксилную группу в гамма положении( для их образования необходим витамин K)

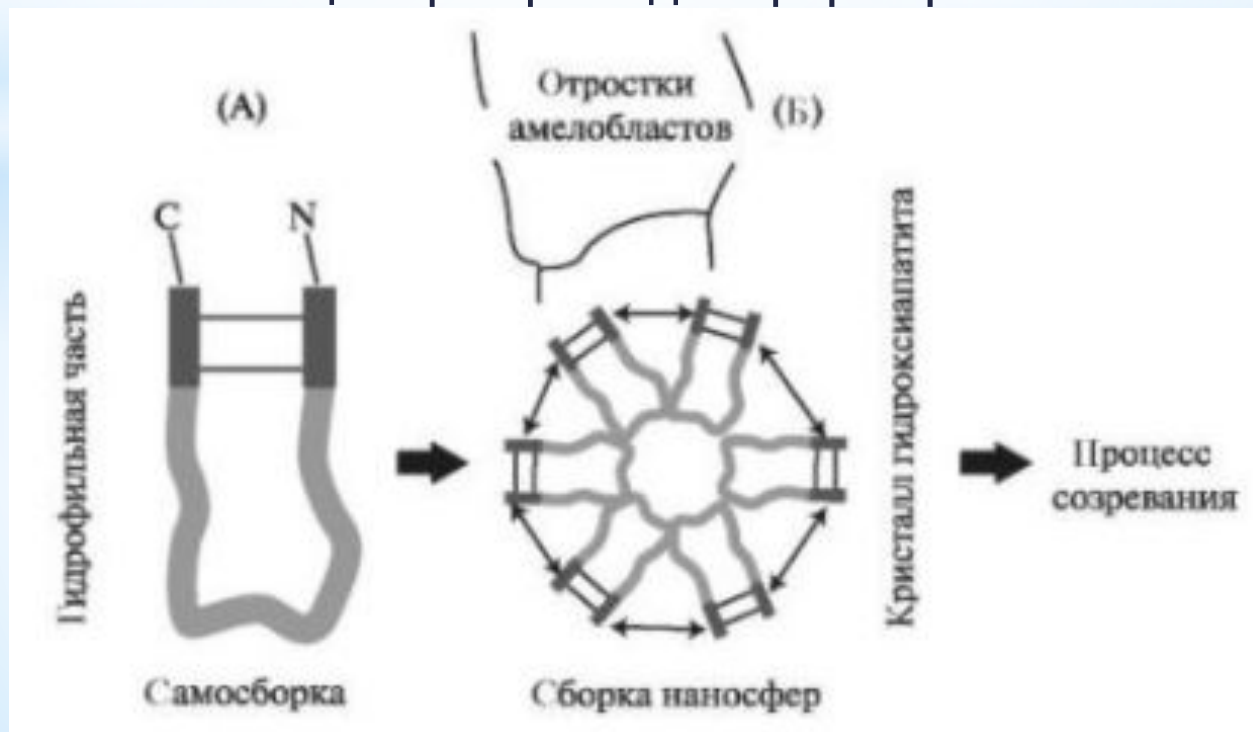
Окончательная минерализация происходит после прорезывания зуба. Неорганические вещества поступают в основном из слюны и со сторон дентина.

Созревание эмали сопровождается снижением количества органического компонента, в частности белков, углеводов.

В зрелой эмали амелобласты погибают

# Наносферы

Белки, синтезируемые энамелобластами, упаковываются в везикулы, и далее происходит перемещение секреторных гранул к апикальной поверхности клеток. Гидрофобные молекулы амелогенина агрегируют между собой и собираются в **наносферы**. Сборка наносфер осуществляется в цитоплазме без участия АТФ. В момент образования наносфер осуществляется направленная поставка ионов октакальция фосфата для формирования кристаллов.



# Минерализация эмали происходит в три этапа:

- Первичная минерализация- инициация и последующий рост кристаллов(эпитаксию)
- Вторичная минерализация- созревание эмали
- Третичная минерализация- окончательная минерализация

# Первичная минерализация эмали

Присоединение кальция и фосфата к гамма-карбоксильным и спиртовым группам радикалов аминокислот энамелина (амелогенина)

Формирование длинных и тонких кристаллов гидроксиапатитов

Встраивание кристаллов в органический матрикс параллельно друг другу

Утолщение кристаллов и формирование плоских шестиугольных призм

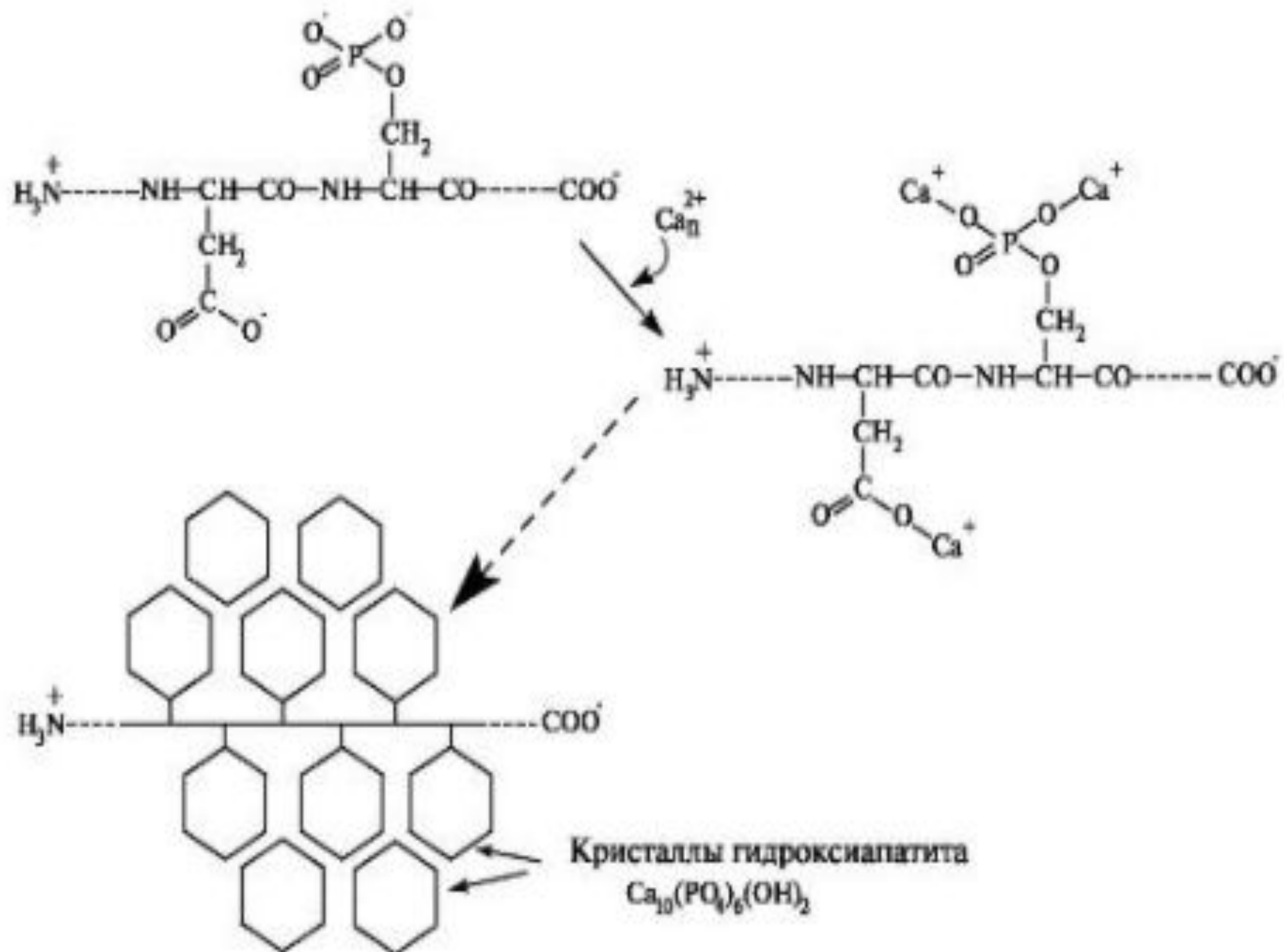
Формирование первичной незрелой эмали

# Формирование кристаллов гидроксиапатита

К остаткам глутаминовой кислоты, аспарагина и фосфосерила присоединяются ионы кальция и фосфата. В процессе дальнейшей преципитации ионов формируется первичный кристалл гидроксиапатита.

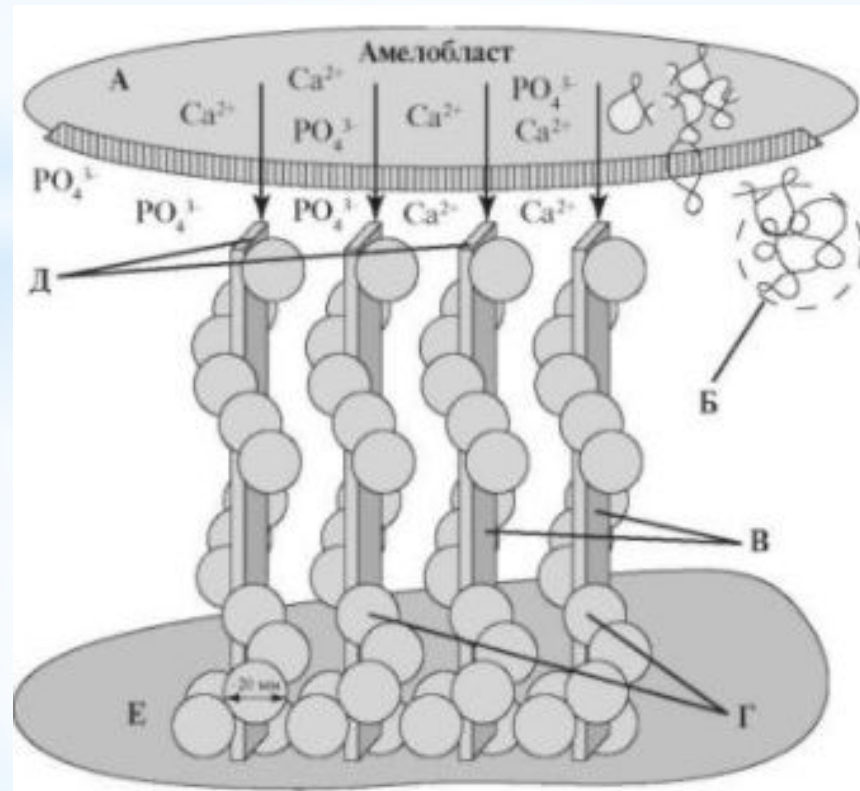
Для образования кристаллов гидроксиапатита необходима высокая концентрация  $\text{Ca}^{2+}$ . В транспорте  $\text{Ca}^{2+}$  участвуют кальций-связывающие белки. Наличие большого количества глутамата и аспартата в эмалевых низкомолекулярных белках и других протеинах минерализованных тканей позволяет присоединять  $\text{Ca}^{2+}$  непосредственно к карбоксильным группам этих аминокислот;  $\text{Ca}^{2+}$  также связывается с остатками фосфосерила. Присоединение кальция и фосфата к белкам эмали заканчивается формированием кристаллитов гидроксиапатита.

Вначале формируются длинные и тонкие кристаллиты, которые встраиваются в органический матрикс параллельно друг другу. В более позднем периоде кристаллиты утолщаются и превращаются в плоские шестиугольные призмы



# Регуляция роста кристалла

Рост кристаллов регулируется ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{PO}_4^{3-}$ , которые транспортируются от амелобластического слоя в эмалевый матрикс. В свою очередь, поток жидкости, изменяющийся в течение развития эмали, регулирует эмалевый матрикс. В регуляции роста кристалла в длину, ширину и толщину участвуют амелогенины, упакованные в наносферы

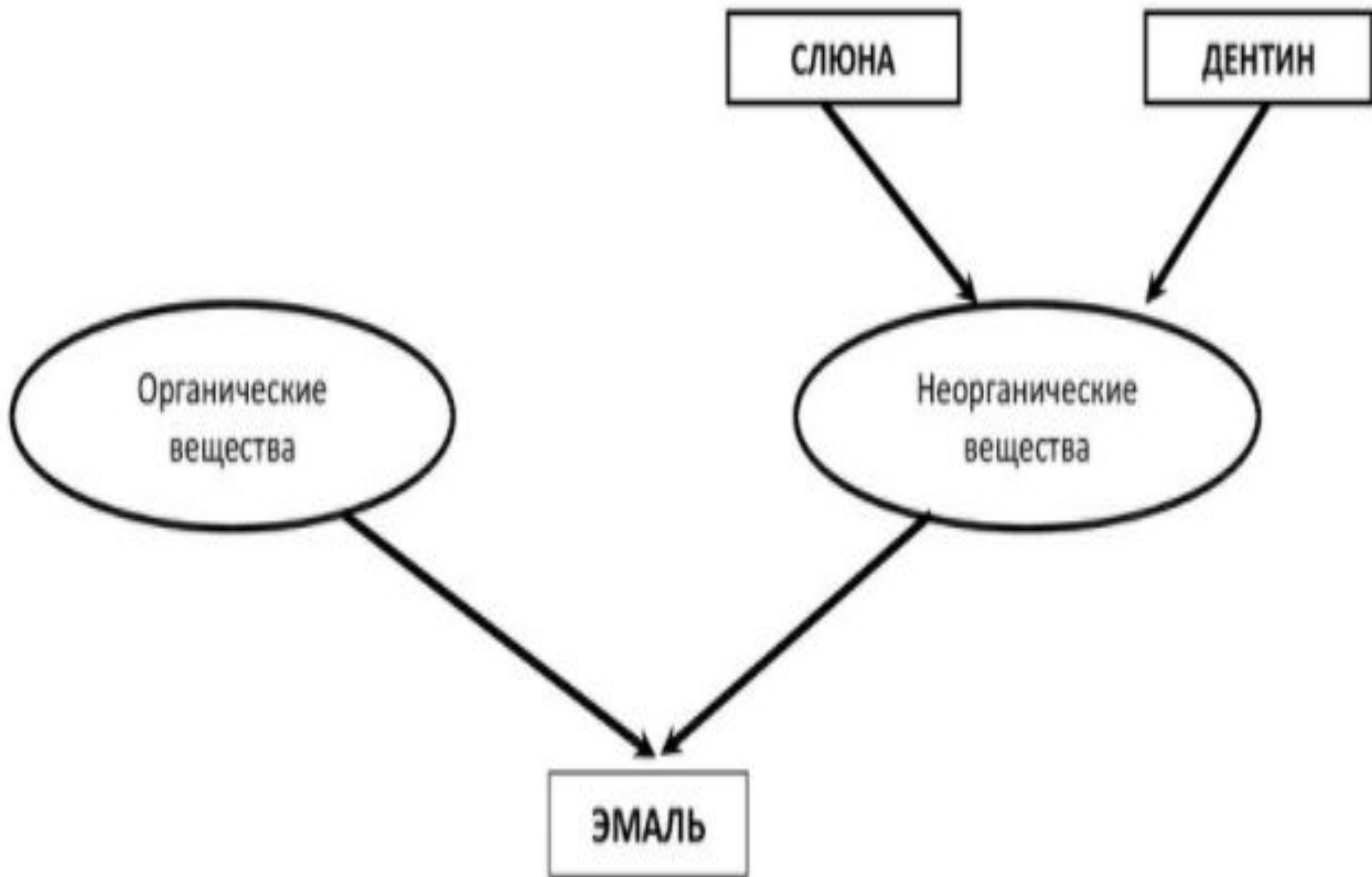




# Вторичная минерализация эмали

Созревание эмали сопровождается значительным снижением содержания органических компонентов. Почти 100-200-кратное снижение содержания белков при созревании сопровождается значительным изменением их аминокислотного состава. Происходит распад амелогенинов и задерживается деградация энамелинов, при этом энамелины прочно связываются с кристаллами апатита.

Образованная первичная эмаль является незрелой. Она состоит на 30% из органического матрикса и на 70% - из минеральных солей. Во вторичной минерализации участвуют энамелобласты стадии созревания, которые содержат большое количество кальций-связывающих белков. Через энамелобласты к эмали переносятся неорганические ионы и удаляются из созревающей эмали органические вещества и вода. Наружная поверхность эмали содержит меньше белков, чем её внутренняя часть. Белки и пептиды, расположенные снаружи, более растворимы в воде и участвуют в образовании поверхностного слоя эмали. После прорезывания зубов эмаль покрыта тонким слоем клеток (10 мкм), который быстро разрушается и сменяется органической кутикулой, образуемой белками слюны и продуктами эпителия слизистой.



# Третичная минерализация эмали

Окончательная минерализация эмали происходит уже после прорезывания зуба, и особенно интенсивно - в течение первого года нахождения коронки зуба в полости рта. Часть неорганических веществ поступает со стороны дентина, но основное их количество поставляет слюна. В связи с этим для полноценной третичной минерализации очень важен минеральный состав и pH слюны.

**Спасибо за внимание!**

