

** Гетерогенные
равновесия в полости
рта*

*1. Химический состав
минерализованных тканей зуба и
слюны.*

*2. Гетерогенные равновесия в
полости рта. Химическая основа
метода реминерализации.*

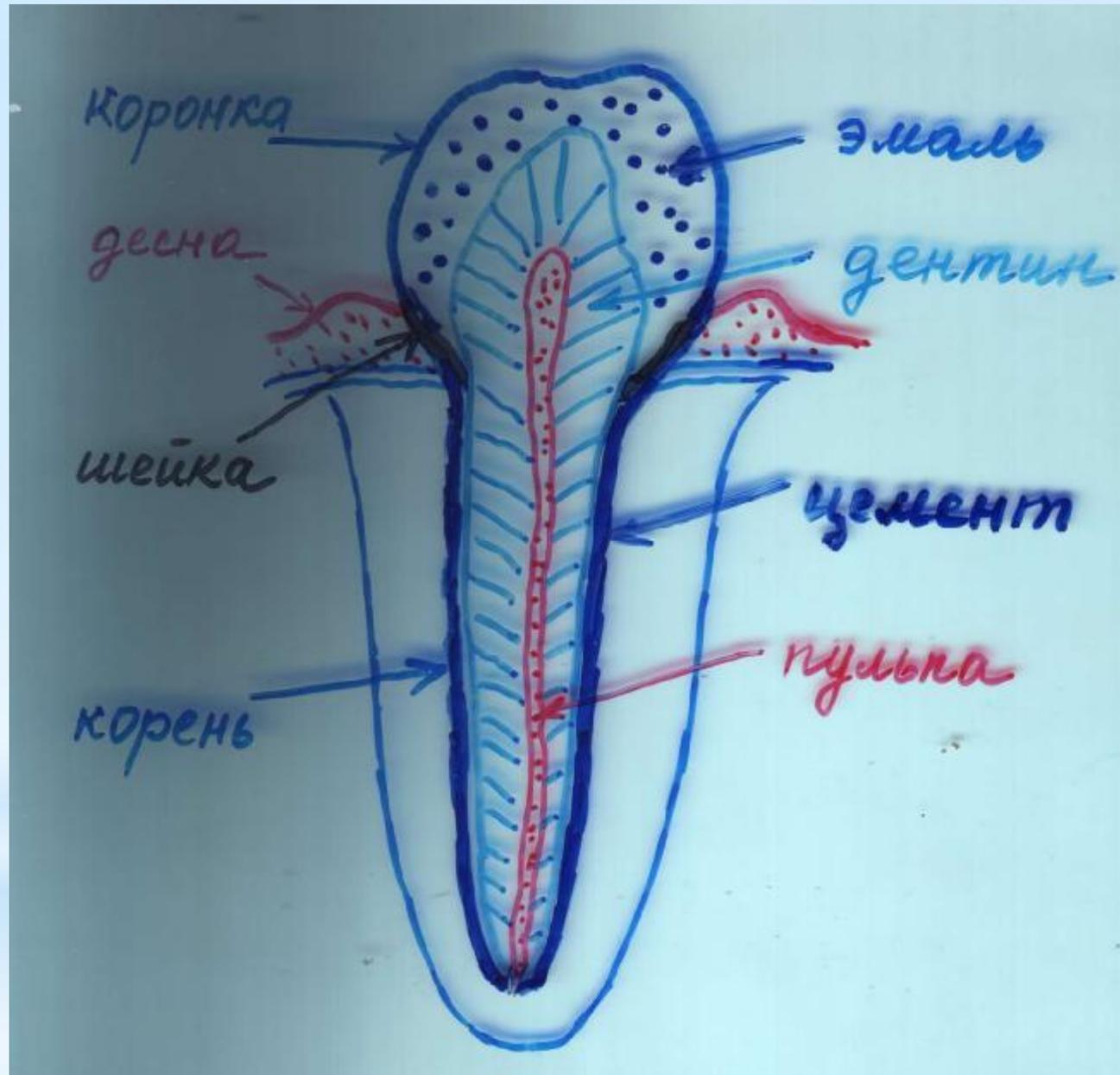
Анатомически в зубе различают 3 части:

- 1) *коронка – часть зуба, которая выступает в полость рта;*
- 2) *корень – закреплен в челюсти;*
- 3) *шейка – часть зуба на границе коронки и корня, которая покрыта десной.*

Внутри коронки имеется полость, которая продолжается в канал корня. Эта полость заполнена рыхлой соединительной тканью – пульпой.

Гистологически в зубе различимы 3 ткани:

- 1) *денгин – образует основную массу зуба стенки полости;*
- 2) *эмаль – ею денгин покрыт в коронке зуба;*
- 3) *цемент – им покрыт денгин корня зуба.*
- 4) *пульпа – соединительная ткань.*



✓ Химический состав минерализованных тканей зуба (в %)

	Эмаль	Дентин	Цемент
Неорганические вещества (минеральные)	96%	72%	68%
Органические вещества	0,1%	20%	24%
Вода	3,9%	8%	8%
Плотность (г/см ³)	2,9-3,0	2,0-2,3	2,0-2,05

Уменьшение минерализации ткани; увеличение доли органических компонентов и воды, т.е. уменьшение плотности ткани

Основной неорганический компонент

**$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ гидроксофосфат
кальция или гидроксиапатит**

Основной органический компонент

энамелин

коллаген

коллаген

Эмаль самая твердая и самая минерализованная ткань организма.

Рассмотрим подробнее состав эмали, исходя из ее функции
→ защита дентина и пульпы от внешних факторов и механических повреждений.

Эмаль – бесклеточная ткань (единственная в организме), которая не имеет сосудов и нервов.

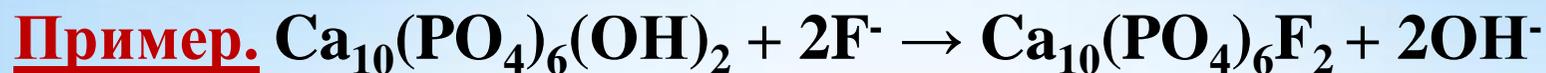
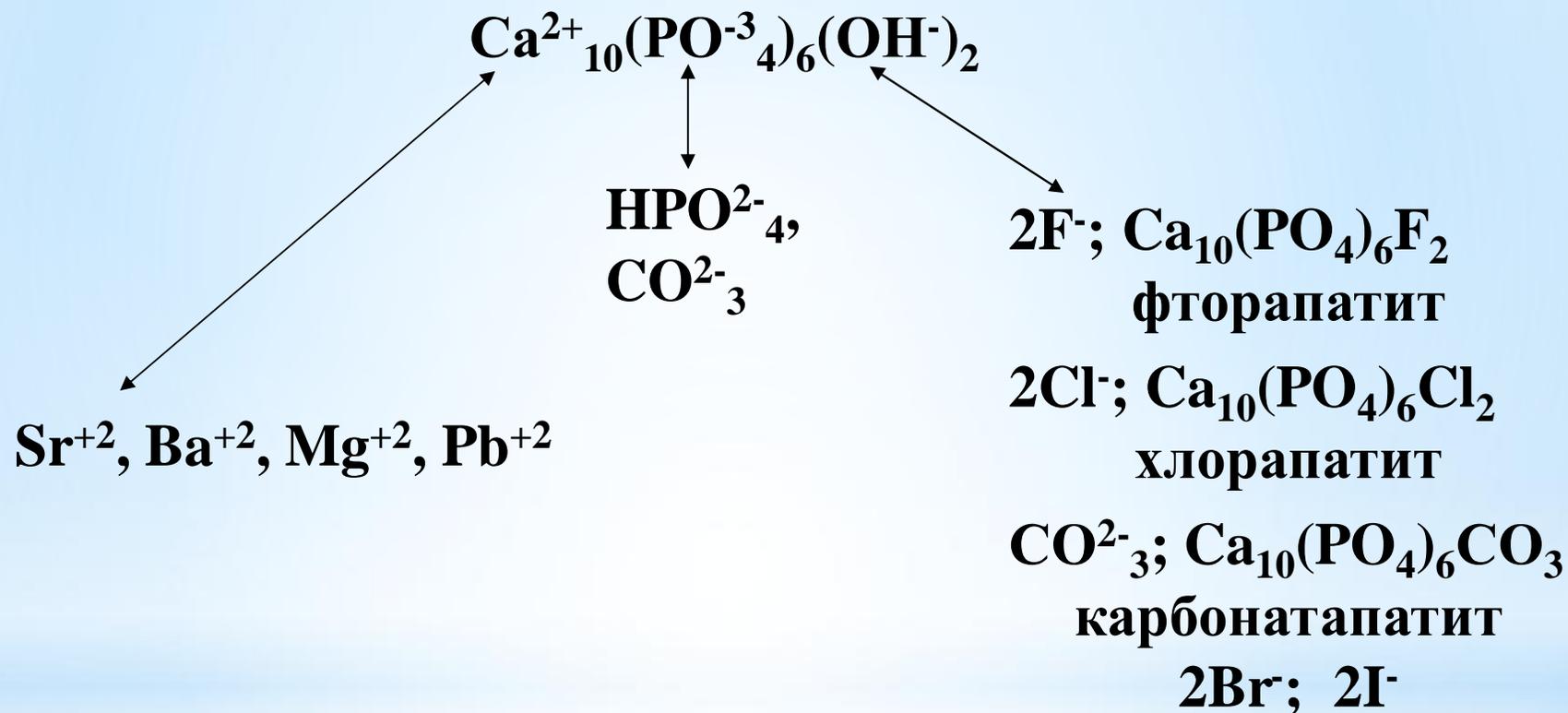
Неорганические компоненты эмали

≈ 76% - гидроксиапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

≈ 1,5% CaCO_3 и MgCO_3

≈ незначительное количество $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и др.

Возможные замещения ионов в гидроксипатите.



✓ Закономерности распределения неорганических веществ в эмали

1) Больше всего содержание Ca^{2+} и P ;

2) содержание Ca^{2+} , P , Cl^- , F^- max на поверхности и уменьшается от поверхности эмали к дентину. Так F^- почти в 100 раз больше на поверхности эмали, чем возле дентина, что и обуславливает твердость эмали;

3) содержание CO_3^{2-} , Mg^{2+} , Na^+ наоборот, увеличивается от поверхности эмали к дентину.

Эти ионы хорошо гидратируются, что обеспечивает более высокое содержание воды в дентине.

4) Металлы (Fe , Zn , Sr , Cu , Pb) содержатся в малых количествах и их биологическая роль практически неизвестна.

Но, например, установлено, что с возрастом растет содержание Fe → зубы желтеют.

Дадим определения некоторых понятий.

Минерализация – образование минеральных компонентов твердых тканей (например, развитие кости, дентина, эмали).

Патологическая минерализация – образования, например, зубного камня, желчных, мочевых камней и др.

Деминерализация – растворение твердой ткани.

Реминерализация – частичное или полное восстановление минеральных компонентов в твердых тканях.

Для эмали зуба реминерализация происходит за счет ротовой жидкости, главным образом слюны, или за счет специальных реминерализирующих растворов.

✓ Химические основы минерализации костной и зубной тканей

В нормальных физиологических условиях в живых организмах происходит образование минеральных осадков (минерализация костной и зубной тканей).

В крови: 5 ммоль Ca^{2+}
фосфаты HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- ,
30% 70%

Кислые фосфат-анионы дают осадки с разной растворимостью

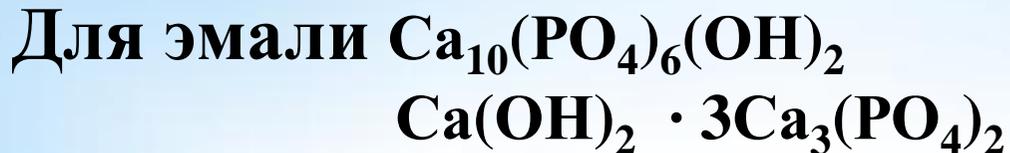
PO_4^{3-} в крови нет, т.к. нужна сильная щелочность, а ее нет
pH крови = 7,4



в первую очередь выпадает менее растворимый CaHPO_4 , а затем идет, дальнейшее насыщение соли ионами Ca^{2+} в слабощелочной среде.



Однако это природу не удовлетворило, и насыщение идет дальше.



$$K_s \text{ Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 = 1,0 \cdot 10^{-3}$$

$$K_s \text{ CaHPO}_4 = 2,7 \cdot 10^{-7}$$

$$K_s \text{ Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 2 \cdot 10^{-29}$$

$$K_s \text{ Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} = 1,6 \cdot 10^{-58}$$

$$K_s \text{ Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F} = 1,0 \cdot 10^{-61}$$

Фторапатит в 1000 раз менее растворим, чем гидроксиapatит, поэтому эмаль самая твердая ткань в организме.

✓ Содержание фторапатита в эмали зависит от поступления фторид ионов в организм.

Суточная потребность во $F^- \approx 1$ мг. В воде концентрация F^- должна составлять 0,5-1 мг/л. Если F^- недостаточно, то расположенность к кариесу (одна из причин). Поэтому фторируют воду, пищевые продукты: NaF , KF , $Na_2[SiF_6]$. Однако, если F^- в воде много развивается флюороз = пятнистость и бугристость зубной эмали.

Содержание F^- в эмали определяет процессы деминерализации и реминерализации эмали, т.е. ее проницаемости для органических и неорганических компонентов.

✓ Химические вещества поступают в эмаль 2-мя путями:

- 1) по кровеносным сосудам пульпы в дентин и эмаль;**
- 2) из слюны и других ротовых жидкостей в эмаль (основной путь).**

Содержание неорганических и органических веществ в слюне.

Компоненты	Концентрация, г/л
Секреция, мл/мин	0,4
pH	6,6 - 7,25
Кальций	0,05
Фосфор	0,20
Ca/P	0,25
Na ⁺	0,15
K ⁺	0,80
HCO ₃ ⁻	0,10
Cl ⁻	0,50
F ⁻	0,00030
глюкоза	0,010
мочевина	0,20
общий белок	2,0
ПВК	0,009
молочная кислота	0,030

Слюна суммарный секрет всех слюнных желез, содержащий микрофлору, продукты ее жизнедеятельности, остатки пищи и т.д.

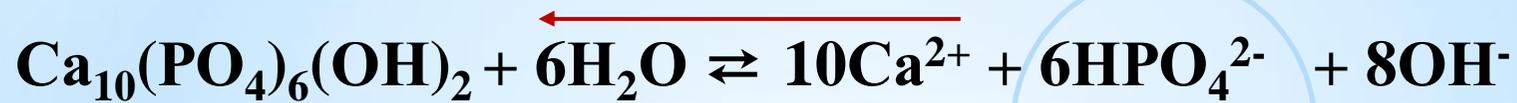
На границе эмаль - слюна (другие ротовые жидкости) и возникают гетерогенные равновесия в полости рта.

Минерализующая функция слюны. Постоянный состав неорганических компонентов эмали обусловлен одновременным протеканием 2-х противоположных процессов:

- 1) растворение апатитов, т.е. переход ионов из эмали в слюну;*
- 2) поступление ионов из слюны в эмаль, и образование апатитов.*

Минерализующая функция слюны

Запишем реакции гидролиза.



кислая
среда

H^+

OH^-

щелочная
среда

H_2PO_4^- более растворим

Минерализация

равновесия
влево

$\text{Ca}^{2+} \uparrow, \text{HPO}_4^{2-} \uparrow, \text{F}^- \uparrow,$

слабощелочная среда

Деминерализация

равновесия
вправо

$\text{Ca}^{2+} \downarrow, \text{HPO}_4^{2-} \downarrow, \text{F}^- \downarrow, \text{H}^+ \uparrow$

закисление среды

Суточная норма потребления Ca

Взрослый человек	8 мг/кг
Беременные	24 мг/кг
Новорожденные	50 мг/кг

Если $\uparrow[\text{OH}^-]$ значительное \rightarrow патологическая минерализация
(пародонтоз)

Слюна – (pH \approx 6,8) нейтральная среда
– пересыщенный раствор Ca^{2+} и HPO_4^{2-}

Слюна является основным источником поступления в эмаль Ca^{2+} , PO_4^{3-} , F^- .

Эмаль проницаема для аминокислот слюны и что очень важно для углеводов, которых много в слюне и пище.

В толще эмали глюкоза под влиянием микроорганизмов и ферментов превращается в пировиноградную кислоту, которая восстанавливается до молочной кислоты.

Сахароза → глюкоза → фруктоза → ПВК → молочная кислота



↓ рН ≈ 4,5-5 → очаговая деминерализация эмали → кариес

Отсюда главные причины кариеса – повышенное содержание углеводов в пище и несоблюдение гигиены полости рта.

Реминерализирующая терапия:

надо повышать уровень Ca^{2+} , HPO_4^{2-} , F^- .

- 1) *10% глюконат Ca + 4% NaF*
 - 2) *$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$*
 - 3) *Фторсодержащие зубные пасты*
- Для полоскания

Патология костной ткани (эмали)



✓ Минерализация при патологических состояниях.

В различных биологических жидкостях могут образовываться осадки:

в моче (почечнокаменная болезнь) – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \downarrow$, $\text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow$, $\text{CaCO}_3 \downarrow$, ураты (соли мочевой кислоты), но чаще камни смешанного состава;

в желчи (печечнокаменная болезнь) – $\text{CaCO}_3 \downarrow$, холестериновые, билирубиновые камни;

во внутрисуставных сумках – ураты (подагра) отложение солей.

Лечение при каменной болезни – использование комплексообразующих препаратов (хелатотерапия) !

** Гетерогенные
равновесия в полости
рта*

*1. Химический состав
минерализованных тканей зуба и
слюны.*

*2. Гетерогенные равновесия в
полости рта. Химическая основа
метода реминерализации.*

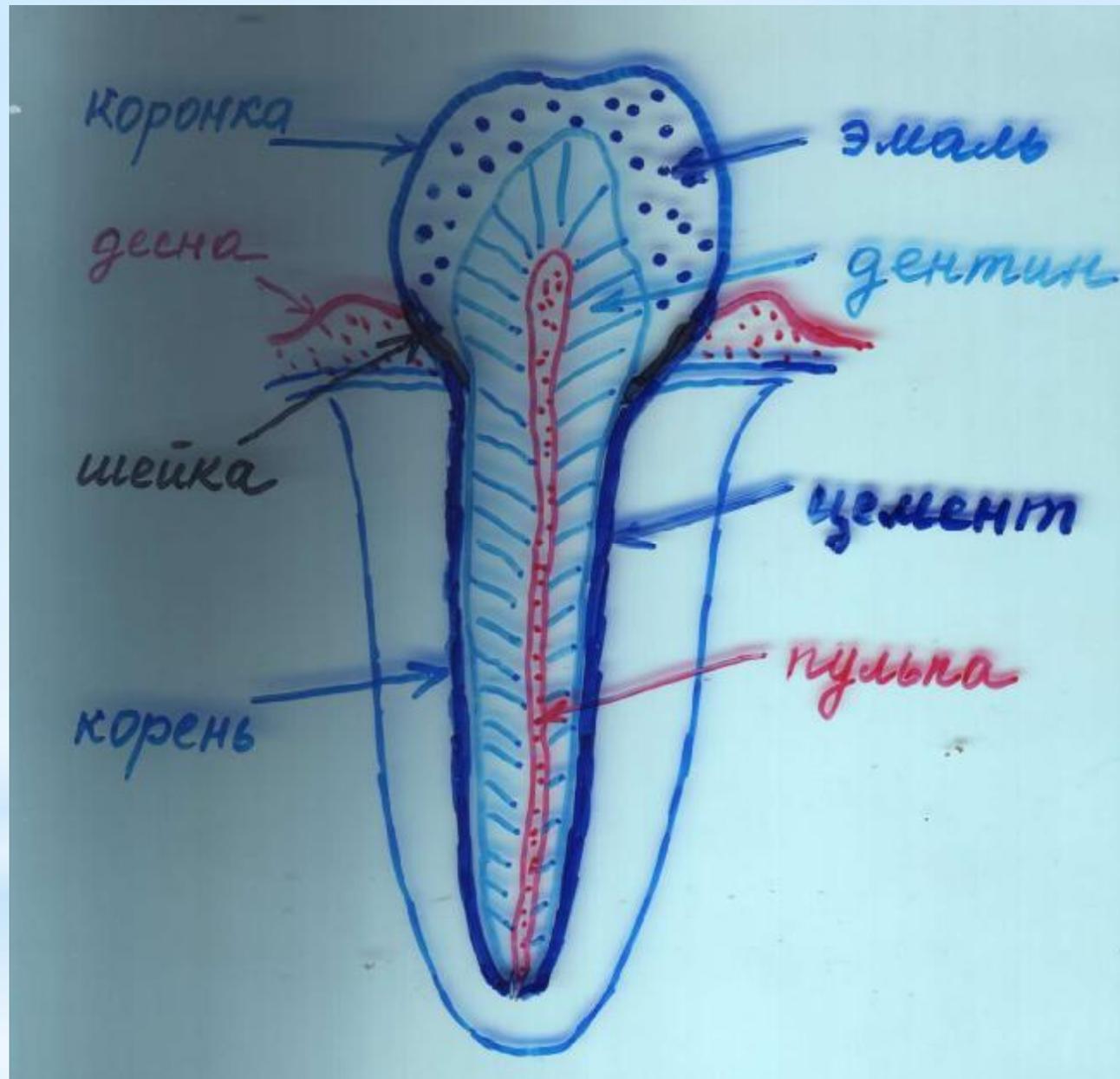
Анатомически в зубе различают 3 части:

- 1) *коронка – часть зуба, которая выступает в полость рта;*
- 2) *корень – закреплен в челюсти;*
- 3) *шейка – часть зуба на границе коронки и корня, которая покрыта десной.*

Внутри коронки имеется полость, которая продолжается в канал корня. Эта полость заполнена рыхлой соединительной тканью – пульпой.

Гистологически в зубе различимы 3 ткани:

- 1) *денгин – образует основную массу зуба стенки полости;*
- 2) *эмаль – ею денгин покрыт в коронке зуба;*
- 3) *цемент – им покрыт денгин корня зуба.*
- 4) *пульпа – соединительная ткань.*



✓ Химический состав минерализованных тканей зуба (в %)

	Эмаль	Дентин	Цемент
Неорганические вещества (минеральные)	96%	72%	68%
Органические вещества	0,1%	20%	24%
Вода	3,9%	8%	8%
Плотность (г/см ³)	2,9-3,0	2,0-2,3	2,0-2,05

Уменьшение минерализации ткани; увеличение доли органических компонентов и воды, т.е. уменьшение плотности ткани

Основной неорганический компонент

**$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ гидроксофосфат
кальция или гидроксиапатит**

Основной органический компонент

энамелин

коллаген

коллаген

Эмаль самая твердая и самая минерализованная ткань организма.

Рассмотрим подробнее состав эмали, исходя из ее функции
→ защита дентина и пульпы от внешних факторов и механических повреждений.

Эмаль – бесклеточная ткань (единственная в организме), которая не имеет сосудов и нервов.

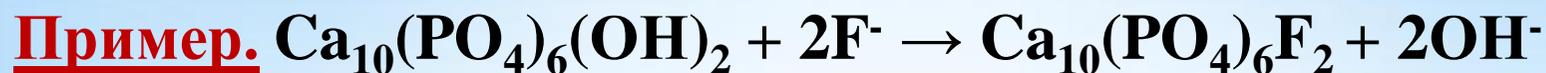
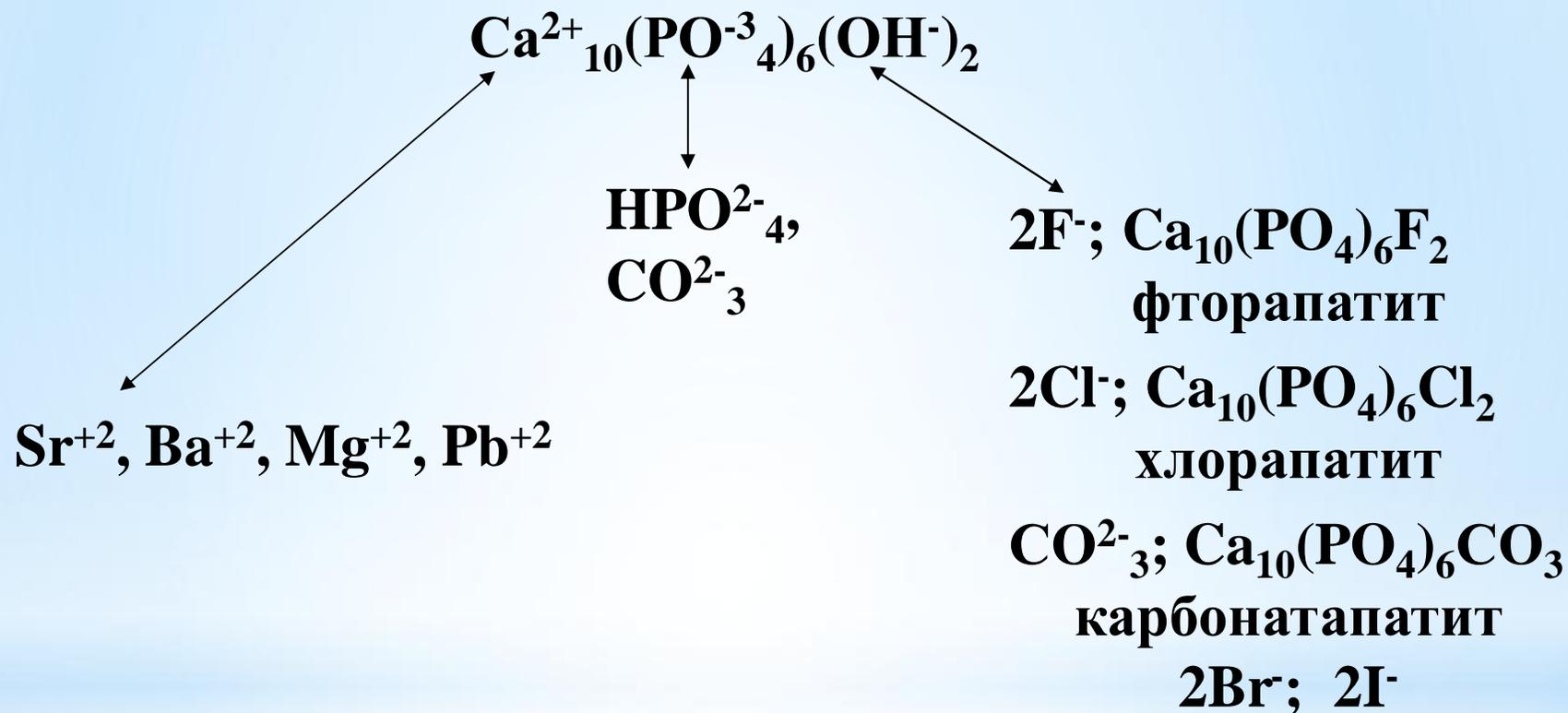
Неорганические компоненты эмали

≈ 76% - гидроксиапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

≈ 1,5% CaCO_3 и MgCO_3

≈ незначительное количество $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и др.

Возможные замещения ионов в гидроксипатите.



✓ Закономерности распределения неорганических веществ в эмали

1) Больше всего содержание Ca^{2+} и P ;

2) содержание Ca^{2+} , P , Cl^- , F^- max на поверхности и уменьшается от поверхности эмали к дентину. Так F^- почти в 100 раз больше на поверхности эмали, чем возле дентина, что и обуславливает твердость эмали;

3) содержание CO_3^{2-} , Mg^{2+} , Na^+ наоборот, увеличивается от поверхности эмали к дентину.

Эти ионы хорошо гидратируются, что обеспечивает более высокое содержание воды в дентине.

4) Металлы (Fe , Zn , Sr , Cu , Pb) содержатся в малых количествах и их биологическая роль практически неизвестна.

Но, например, установлено, что с возрастом растет содержание Fe → зубы желтеют.

Дадим определения некоторых понятий.

Минерализация – образование минеральных компонентов твердых тканей (например, развитие кости, дентина, эмали).

Патологическая минерализация – образования, например, зубного камня, желчных, мочевых камней и др.

Деминерализация – растворение твердой ткани.

Реминерализация – частичное или полное восстановление минеральных компонентов в твердых тканях.

Для эмали зуба реминерализация происходит за счет ротовой жидкости, главным образом слюны, или за счет специальных реминерализирующих растворов.

✓ Химические основы минерализации костной и зубной тканей

В нормальных физиологических условиях в живых организмах происходит образование минеральных осадков (минерализация костной и зубной тканей).

В крови: 5 ммоль Ca^{2+}
фосфаты HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- ,
30% 70%

Кислые фосфат-анионы дают осадки с разной растворимостью

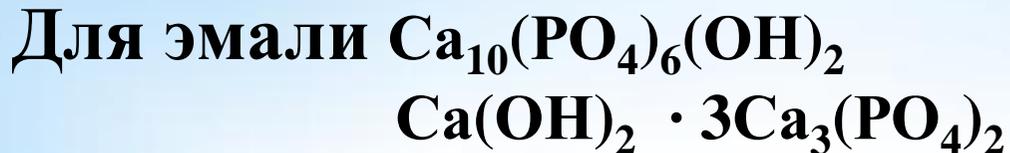
PO_4^{3-} в крови нет,
т.к. нужна сильная щелочность, а ее нет
pH крови = 7,4



в первую очередь выпадает менее растворимый CaHPO_4 , а затем идет, дальнейшее насыщение соли ионами Ca^{2+} в слабощелочной среде.



Однако это природу не удовлетворило, и насыщение идет дальше.



$$K_s \text{ Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 = 1,0 \cdot 10^{-3}$$

$$K_s \text{ CaHPO}_4 = 2,7 \cdot 10^{-7}$$

$$K_s \text{ Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 2 \cdot 10^{-29}$$

$$K_s \text{ Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} = 1,6 \cdot 10^{-58}$$

$$K_s \text{ Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F} = 1,0 \cdot 10^{-61}$$

Фторапатит в 1000 раз менее растворим, чем гидроксиapatит, поэтому эмаль самая твердая ткань в организме.

✓ Содержание фторапатита в эмали зависит от поступления фторид ионов в организм.

Суточная потребность во $F^- \approx 1$ мг. В воде концентрация F^- должна составлять 0,5-1 мг/л. Если F^- недостаточно, то расположенность к кариесу (одна из причин). Поэтому фторируют воду, пищевые продукты: NaF , KF , $Na_2[SiF_6]$. Однако, если F^- в воде много развивается флюороз = пятнистость и бугристость зубной эмали.

Содержание F^- в эмали определяет процессы деминерализации и реминерализации эмали, т.е. ее проницаемости для органических и неорганических компонентов.

✓ Химические вещества поступают в эмаль 2-мя путями:

- 1) по кровеносным сосудам пульпы в дентин и эмаль;**
- 2) из слюны и других ротовых жидкостей в эмаль (основной путь).**

Содержание неорганических и органических веществ в слюне.

Компоненты	Концентрация, г/л
Секреция, мл/мин	0,4
pH	6,6 - 7,25
Кальций	0,05
Фосфор	0,20
Ca/P	0,25
Na ⁺	0,15
K ⁺	0,80
HCO ₃ ⁻	0,10
Cl ⁻	0,50
F ⁻	0,00030
глюкоза	0,010
мочевина	0,20
общий белок	2,0
ПВК	0,009
молочная кислота	0,030

Слюна суммарный секрет всех слюнных желез, содержащий микрофлору, продукты ее жизнедеятельности, остатки пищи и т.д.

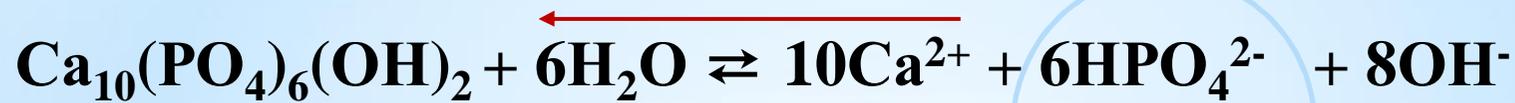
На границе эмаль - слюна (другие ротовые жидкости) и возникают гетерогенные равновесия в полости рта.

Минерализующая функция слюны. Постоянный состав неорганических компонентов эмали обусловлен одновременным протеканием 2-х противоположных процессов:

- 1) растворение апатитов, т.е. переход ионов из эмали в слюну;*
- 2) поступление ионов из слюны в эмаль, и образование апатитов.*

Минерализующая функция слюны

Запишем реакции гидролиза.



кислая
среда

H^+

OH^-

щелочная
среда

H_2PO_4^- более растворим

Минерализация $\xleftarrow[\text{влево}]{\text{равновесия}}$ $\text{Ca}^{2+}\uparrow, \text{HPO}_4^{2-}\uparrow, \text{F}^-\uparrow,$
слабощелочная среда

Деминерализация $\xrightarrow[\text{вправо}]{\text{равновесия}}$ $\text{Ca}^{2+}\downarrow, \text{HPO}_4^{2-}\downarrow, \text{F}^-\downarrow, \text{H}^+\uparrow$
закисление среды

Суточная норма потребления Ca

Взрослый человек	8 мг/кг
Беременные	24 мг/кг
Новорожденные	50 мг/кг

Если $\uparrow[\text{OH}^-]$ значительное \rightarrow патологическая минерализация
(пародонтоз)

Слюна – (pH \approx 6,8) нейтральная среда
– пересыщенный раствор Ca^{2+} и HPO_4^{2-}

Слюна является основным источником поступления в эмаль Ca^{2+} , PO_4^{3-} , F^- .

Эмаль проницаема для аминокислот слюны и что очень важно для углеводов, которых много в слюне и пище.

В толще эмали глюкоза под влиянием микроорганизмов и ферментов превращается в пировиноградную кислоту, которая восстанавливается до молочной кислоты.

Сахароза → глюкоза → фруктоза → ПВК → молочная кислота



↓ рН ≈ 4,5-5 → очаговая деминерализация эмали → кариес

Отсюда главные причины кариеса – повышенное содержание углеводов в пище и несоблюдение гигиены полости рта.

Реминерализирующая терапия:

надо повышать уровень Ca^{2+} , HPO_4^{2-} , F^- .

- 1) *10% глюконат Ca + 4% NaF*
 - 2) *$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$*
 - 3) *Фторсодержащие зубные пасты*
- Для полоскания

Патология костной ткани (эмали)



✓ Минерализация при патологических состояниях.

В различных биологических жидкостях могут образовываться осадки:

в моче (почечнокаменная болезнь) – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \downarrow$, $\text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow$, $\text{CaCO}_3 \downarrow$, ураты (соли мочевой кислоты), но чаще камни смешанного состава;

в желчи (печечнокаменная болезнь) – $\text{CaCO}_3 \downarrow$, холестериновые, билирубиновые камни;

во внутрисуставных сумках – ураты (подагра) отложение солей.

Лечение при каменной болезни – использование комплексообразующих препаратов (хелатотерапия) !