

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**И.К. Луцкая, Т.А.Запашник**

## **ФИЗИОЛОГИЯ ЗУБА**

Учебно-методическое пособие

Минск БелМАПО

2012

УДК 612.311.1(075.9)

ББК 56.6я73

Л 86

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия УМС Белорусской  
медицинской академии последипломного образования  
протокол № \_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2012 г.

**Авторы:**

зав. кафедрой терапевтической стоматологии, д.м.н., профессор И.К.Луцкая;  
ассистент кафедры терапевтической стоматологии Т.А.Запашник

**Рецензенты:**

зав.кафедрой ортопедической стоматологии БГМУ, д.м.н., профессор,  
С.А.Наумович

2-я кафедра терапевтической стоматологии УО «Белорусского  
государственного медицинского университета»

Л 86                      Физиология зуба: учебно-методическое пособие/      И.К.Луцкая,  
Т.А.Запашник, 2012.- 29 с.

**ISBN**

В учебно-методическом пособии рассмотрены основные функции зуба, представлены исследования закономерностей работы здорового зуба в его взаимодействии со средой, механизмы устойчивости и адаптации.

Использование знаний по физиологии зуба позволит детально обследовать ткани зуба, что будет также способствовать полноценному лечению зубов.

Учебно-методическое пособие предназначено для врачей-стоматологов, а также для студентов стоматологических факультетов.

УДК 612.311.1(075.9)

ББК 56.6я73

**ISBN**

© Луцкая И.К., Запашник Т.А., 2012

© Оформление БелМАПО, 2012

## **ФИЗИОЛОГИЯ ЗУБА**

Физиология, как наука о жизнедеятельности организмов, их отдельных систем, органов и тканей, изучает закономерности взаимодействия с окружающей средой, а также особенности регуляции физиологических функций (таблица 1). Частная физиология рассматривает свойства отдельных специализированных тканей и органов, механизмы их объединения в функциональные системы. Нормальная физиология исследует закономерности работы здорового организма (органа) в его взаимодействии со средой, механизмы устойчивости и адаптации. Физиология зуба, в свою очередь, характеризуется обменом веществ, выполняемыми функциями и обеспечивающими их механизмами. Последние изучаются при помощи специальных методов, оцениваются определенными параметрами.

**Основные функции зуба:** измельчение пищи (жевание); защитная (устойчивость к действию кислот и механическому воздействию); трофическая (обмен веществ); транспортная; пластическая; сенсорная; эстетическая.

## **ЖЕВАТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ**

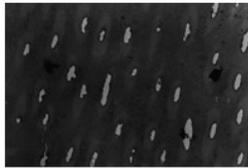
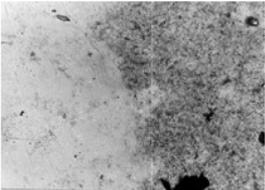
Наиболее важная, ведущая функция зуба – **жевательная**. Способность откусывать, измельчать, растирать пищу собственно и характеризует назначение твердых тканей. Жевательная функция обеспечивается особенностями состава и строения эмали, а также дентина. Элементы структуры эмали представлены кристаллами, плотно упакованными в эмалевые призмы, которые составляют пучки количеством 20-30 призм, изгибающихся вдоль длинной оси, что придает особую механическую устойчивость эмали. Дентин, имеющий в своем составе значительное количество органики (до 20%), менее хрупкий, чем эмаль и поэтому служит своеобразным амортизатором. Более того, истирание эмали в процессе жизнедеятельности компенсируется уплотнением (склерозированием) дентина.

Таблица 1 – Основные функции зуба

Функция	Механизм реализации	Параметр измерения	Метод исследования
Измельчение пищи (жевание)	Анатомические и морфологические особенности эмали и дентина, обеспечивающие их механическую прочность	Микротвердость; устойчивость к истиранию, прочность на изгиб, сжатие, скол	Изучение микротвердости; оценка микрошероховатости после истирания, прочности при механической нагрузке
Трофическая (обмен веществ)	Проницаемость эмали и дентина, связанная с наличием микропор и зубного ликвора, содержащиеся в нем ферменты обеспечивают способность к обмену веществ и физико-химическим процессам	Интенсивность окрашивания эмали; объем микропор; функциональная активность пульпы; радиоактивные метки; кол-во элементов	Витальное окрашивание; порометрия; радиоактивные изотопы; электронно-микроскопическое зондирование; энергодисперсионный анализ
Транспортная	Перенос питательных веществ током жидкости по транспортным структурам зубного ликвора	Соответствует трофической функции	
Пластическая	Наличие клеточных структур в пульпе, обильная васкуляризация, иннервация, обеспечивают образование новых клеток, волокон, а также формирование склерозированного, вторичного и репаративного дентина	Количество активных клеток, объем преддентина, вторичного и склерозированного дентина В клинике – отсутствие симптомов заболевания	Гистологические, ОМ, ЭМ, клиническая оценка состояния пульпы
Защитная (устойчивость к действию кислот и механическому воздействию)	1. Нейтрализация кислот посредством элементов структуры (Ca, P, F); полупроницаемость пелликулы; наличие на поверхности эмали композитного слоя	Скорость нейтрализации кислоты Растворимость Кислотоустойчивость	CRT-тест Содержание Ca, P, F в биоптате ТЭР
	2. Возрастная минерализация; перестройка дентина, повышающая устойчивость к механическим воздействиям	Содержание минеральных и микроэлементов; микротвердость	Радиоактивные метки; оценка микротвердости; электронное зондирование
	3. Мелкие микропоры эмали; центробежное движение ликвора; нейтрализация продуктов жизнедеятельности микробов, обеспечивающие устойчивость к микробному фактору развитие очага деминерализации в подповерхностном слое	Наличие микробной флоры в тканях зуба. Наличие кариозных поражений; очаги подповерхностной деминерализации	Тест лактобацилл; активность стрептококков; микроскопия тканей Диагностика кариеса, в т.ч. начального (витальное окрашивание, трансиллюминация)
Сенсорная	Изменение тока ликвора под действием внешних факторов, вызывающее перемещение одонтобластов и раздражение болевых рецепторов пульпы. Болевая чувствительность пульпы; наличие открытой динамической пористости; капиллярные силы в дентине	Субъективное ощущение боли от термических, механических, химических раздражителей	Зондирование; термометрия; ЭОД; изучение скорости движения ликвора
Эстетическая	Гармония формы, размеров и функции зубов. Оптические свойства. Особенности состава и строения тканей зуба: сочетание органических и минеральных компонентов	Оценка формы, размеров, гармонии и симметрии расположения зубов, а также оптических свойств: оттенков цвета, блеска, опалесценции	Визуальный. Морфометрия. Одонтоскопия. Сравнение цветов зуба с эталонными. Фотографирование. Колориметрия

Описать функцию жевания можно конкретными параметрами, например, прочностью. Самая высокая микротвердость отмечается в поверхностном слое эмали (до 4 000 МПа), ниже – к эмалево-дентинному соединению ( $\approx 3\ 000$  МПа). В дентине наиболее высок показатель микротвердости средней зоны (750 МПа), ниже – в околопульпарной (500 МПа).

## Измельчение пищи (жевание)

<b>Механизм реализации: анатомические и морфологические особенности эмали и дентина, обеспечивающие их механическую прочность</b>		
		
<b>Призмные структуры.</b> ОМ. Ув. 1200. Шлиф эмали 4 зуба (46 лет): а – продольный; б – поперечный срез		<b>Шлиф дентина.</b> ТЭМ. Ув. 2000. Обнаруживаются просветы дентинных трубочек
		
<b>Гомогенная структура эмали (а) и «пористое» строение дентина (б).</b> ТЭМ. Ув. 1000		

- **Параметр измерения:** микротвердость; устойчивость к истиранию, прочность на изгиб, сжатие, скол
- **Метод исследования:** изучение микротвердости; оценка микрошероховатости после истирания, прочности при механической нагрузке

Резистентность зуба к истиранию оценивают глубиной микрорельефа после воздействия абразивными агентами. С этой целью используют зубные щетки и зубные пасты. Микрошероховатость интактной эмали может колебаться от 5 мкм до 15-20 мкм.

Устойчивость твердых тканей на излом, изгиб, скол, модуль упругости также характеризуют функцию жевания. Косвенным показателем механической устойчивости является уровень минерализованности эмали.

## ЗАЩИТНАЯ ФУНКЦИЯ

Специфическими для зуба защитными механизмами является устойчивость к действию физических и химических факторов. Резистентность к повреждению механическими агентами характеризует жевательную функцию зуба, которая обеспечивается прочностью структур эмали и дентина. Сопrotивляемость к действию кислот – вот вторая сторона специфической защиты **эмали**: кислотное разрушение лежит в основе кариеса, эрозий, некроза эмали и дентина. Устойчивость к действию кислот можно объяснить опять-таки составом и строением эмали.

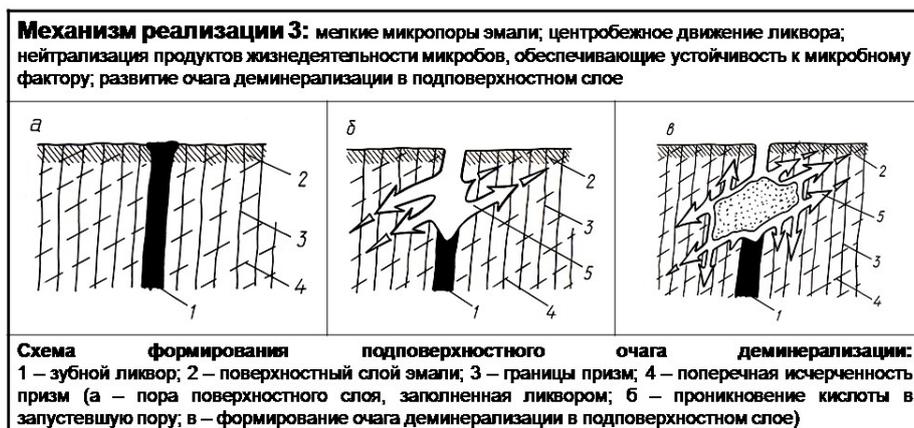
Защитные свойства поверхности зуба представлены несколькими механизмами. Пелликула, которая имеет в своем составе белково-углеводный комплекс, минеральные вещества и микроэлементы, снижает скорость деминерализации. Высокая минерализация поверхностного слоя эмали оказывает нейтрализующее действие на кислоты зубной бляшки. Защитным свойством обладает сам кристалл, где структура сохраняется при широком диапазоне значения Ca/P коэффициента (от 1,5 до 2,0). Повышают устойчивость к H<sup>+</sup>-ионам кристаллы фторапатита. Более того, защитные свойства поверхностного слоя нельзя рассматривать как простую сумму качеств пелликулы и кристаллов эмали. Органические и минеральные компоненты пелликулы, эмали, образуя своими структурами природный композит, придают внешним зонам зуба новые свойства, в первую очередь, это – кислотная резистентность. При этом основными путями кислотной атаки являются микропоры, имеющиеся на поверхности эмали. Через интактную поверхность по микропорам кислотные ионы (водорода) проникают в подповерхностную область, где производят своё разрушающее действие на призмы, вытесняя кальций из кристаллов апатита (таблица 2).

Таблица 2 – Защитная функция (устойчивость к действию кислот и механическому воздействию)

Механизм реализации	Параметр измерения	Метод исследования
1. Нейтрализация кислот посредством элементов структуры (Са, Р, F); полупроницаемость пелликулы; наличие на поверхности эмали композитного слоя	Скорость нейтрализации кислоты. Растворимость Кислотоустойчивость	CRT-тест Содержание Са, Р, F в биоптате ТЭР
2. Возрастная минерализация; перестройка дентина, повышающая устойчивость к механическим воздействиям	Содержание минеральных и микроэлементов; микротвердость	Радиоактивные метки; оценка микротвердости; электронное зондирование
3. Мелкие микропоры эмали; центробежное движение ликвора; нейтрализация продуктов жизнедеятельности микробов, обеспечивающие устойчивость к микробному фактору; развитие очага деминерализации в подповерхностном слое	Наличие микробной флоры в тканях зуба Наличие кариозных поражений; очаги подповерхностной деминерализации	Тест лактобацилл; активность стрептококков; микроскопия тканей Диагностика кариеса, в т.ч. начального (витальное окрашивание, трансиллюминация)

Сам факт локализации очага деминерализации в подповерхностной зоне в определенном смысле можно рассматривать как своеобразный защитный механизм, сохраняющий целостность наружного слоя эмали.

### Защитная



- **Параметр измерения:** наличие микробной флоры в тканях зуба; наличие кариозных поражений; очаги подповерхностной деминерализации
- **Метод исследования:** тест лактобацилл; активность стрептококков; микроскопия тканей. Диагностика кариеса, в т.ч. начального (витальное окрашивание, трансиллюминация)

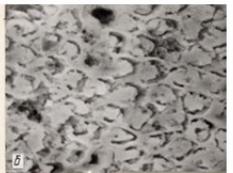
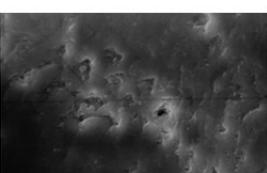
Поскольку способности эмали сопротивляться действию кислот придается решающее значение, предложены способы оценки степени ее растворимости.

*CRT-тест* (color, reaction, time) основан на способности кислоты нейтрализоваться, растворяя эмаль зуба. Средние параметры CRT-теста колеблются от 30 секунд до 2 минут.

*Метод химической биопсии* заключается в дозированном воздействии кислоты на ограниченной поверхности зуба с последующей количественной оценкой содержания в биоптатах кальция, фосфора. Установлено, что растворимость эмали по Са колеблется от 4,1 до 4,7 мкг/мин, по Р – от 1,64 до 2,18 мкг/мин. Молекулярный Са/Р коэффициент биоптата находится в пределах 1,72-2,67.

*Тест резистентности эмали (ТЭР)* основан на регистрации убыли твердых тканей зуба после дозированного кислотного воздействия. Одна из модификаций ТЭР включает измерение микрошероховатости поверхности эмали с помощью прибора профилометр-профилограф. Упрощенная модификация ТЭР оценивает степень шероховатости эмали по интенсивности окрашивания участка травления.

## Защитная

<b>Механизм реализации 1:</b> нейтрализация кислот посредством элементов структуры (Са, Р, F); полупроницаемость пелликулы, наличие на поверхности эмали композитного слоя			
			
Поверхность эмали после кислотного травления: разрушены сердцевины (а) и периферии (б) призм		Пелликула и микропора на поверхности эмали. СЭМ. Ув. 2000	Микропоры в виде ниш на поверхности зуба ребенка (10 лет). СЭМ. Ув. 2000

- **Параметр измерения:** скорость нейтрализации кислоты; растворимость; кислотоустойчивость
- **Метод исследования:** CRT-тест; содержание Са, Р, F в биоптате; ТЭР

Защитные механизмы **пульпы и твердых тканей зуба** неразрывно связаны и весьма многообразны. Остановимся на наиболее специфичных для зуба.

Одним из путей предохранения зуба от ротовой среды при обнажении дентина (в результате истирания, стирания, оголения шейки, кариеса, препарирования) является повышение минерализации тонкого слоя поверхности. Процесс (заметный уже через 2 недели) может осуществляться с участием дентинной жидкости, субстанций слюны, фтора и, возможно, бактерий, которые участвуют в кальцификации и поверхностной минерализации.

Повышение минерализации сопровождается облитерацией многих трубочек между открытой поверхностью и пульпой. Образование склерозированного дентина происходит благодаря функционированию клеток пульпы – одонтобластов.

Со стороны пульпы в течение 2-3 месяцев может формироваться иррегулярный вторичный – заместительный дентин толщиной до 0,5 мм. В данной области трубочки чаще закрыты и проницаемость существенно снижена. Иррегулярный дентин служит надежной защитой, блокируя отверстия большинства дентинных канальцев (см. рис. 21).

Пульпа имеет более высокую резистентность к инфекции и способность создавать барьер – заместительный дентин – в процессе медленного обнажения дентина, как это бывает при стирании или истирании. Пример инфекционного начала развития иррегулярного дентина – кариес. При медленно развивающемся кариозном поражении продуцируется слой иррегулярного дентина, достаточный для формирования эффективного барьера.

## **ТРОФИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ**

Основные процессы в эмали заключаются в минерализации, де- и реминерализации, а также медленном обмене органических компонентов.

Наиболее активно в обменных процессах участвуют кальций и фосфор, микроэлементы. Основное поступление их в эмаль происходит из ротовой жидкости. Установлена тесная связь обмена веществ в эмали и дентине. Дентинная жидкость в редуцированном составе проникает в эмаль, благодаря наличию пористости (см. рис. 20).

*Сущность обмена в эмали* – рассматривается как биологический процесс в высокоспециализированной ткани, которая является полупроницаемой мембраной между дентином и слюной, избирательно пропускающей ионы – «молекулярное сито». Некоторые ионы свободно диффундируют через нее, для других она выступает как барьер. Причем, селективность эмали является функцией преимущественно поверхностного слоя, покрытого органической пленкой – пелликулой.

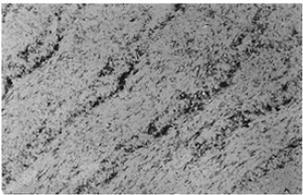
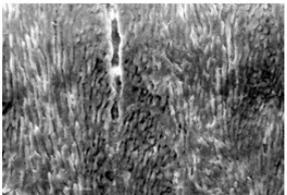
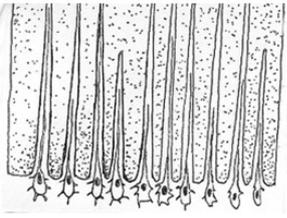
В кристаллах происходит ионный обмен. Изоионный – это замещение на ионы, содержащиеся в норме в кристаллах апатита. Гетероионный – замещение на ионы, которых в норме в кристалле нет.

Скорость обмена в эмали зависит от количества связанной с кристаллом воды, объема микропространств, эмалевого ликвора. Последний может занимать до 6% объема ткани. Зрелая эмаль характеризуется медленным обменом веществ. Молодая, незрелая эмаль, наоборот, отличается активными процессами.

Механизм обмена веществ в эмали – проницаемость – способность элементов перемещаться в тканях благодаря наличию системы микропор, заполненных зубным ликвором. Такие ферменты как щелочная фосфатаза (ЩФ) и кислая фосфатаза (КФ) способствуют расщеплению и формированию кристаллов.

В клинике проницаемость эмали оценивается способностью красителей проникать в микропоры. Интенсивность окрашивания характеризует степень проницаемости.

## Трофическая (обмен веществ)

<p><b>Механизм реализации:</b> проницаемость эмали и дентина, связанная с наличием микропор и зубного ликвора, содержащиеся в нем ферменты обеспечивают способность к обмену веществ и физико-химическим процессам</p>		
		
<p>Шлиф зуба. Широкие полоски – тела, узкие – отростки эмалевых призм. ТЭМ. Ув. 2000.</p>	<p>Шлиф зуба. Магистральная пора в глубоких слоях эмали. СЭМ. Ув. 2000. Головки и тела эмалевых призм</p>	<p>Схема строения дентина: в дентинных трубках лежат отростки одонтобластов, расположенных по периферии пульпы</p>

- **Параметр измерения:** интенсивность окрашивания эмали; объем микропор; функциональная активность пульпы; радиоактивные метки; количество элементов
- **Метод исследования:** Витальное окрашивание; порометрия; радиоактивные изотопы; электронно-микроскопическое зондирование; энергодисперсионный анализ

*Обмен веществ в дентине.* Поступление питательных веществ происходит со стороны пульпы. Основным субстратом, обеспечивающим обменные процессы, является зубной ликвор. Считается, что 32% дентинной жидкости расположено в канальцах и 68% в основном веществе дентина.

Ликвор представляет собой прозрачную жидкость, которая по своему составу более всего соответствует тканевой жидкости или трансудату. Протеины ликвора сходны с таковыми в сыворотке крови по электрофоретическому распределению и процентному соотношению. Из дентинной жидкости в свободном виде выделены 7-12 аминокислот. Имеются антитела, минеральные вещества, микроэлементы, 3% составляет белок, 69,3 мг – остаточный азот, есть также кислая фосфатаза, витамины, гормоны, другие ферменты.

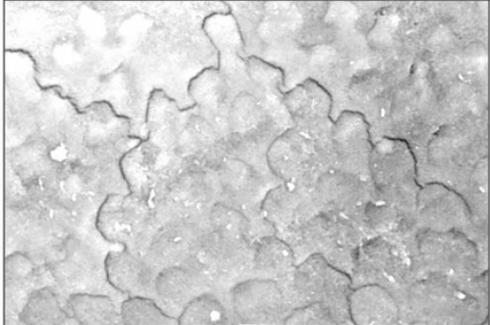
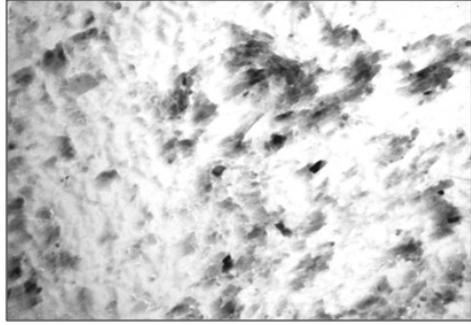
Из свежееудаленного зуба методом центрифугирования получен ликвор в количестве 0,00424 мл (около 5 мг) за 24-48 часов. Изучение состава дентинной жидкости обнаружило 92 мг/л кальция, 42 мг/л фосфора, 27,7 мг/л хлоридов.

Наличие в дентинных трубочках отростков клеток-одонтобластов, а в основном дентине – коллагена, объясняет активность и направленность биохимических процессов. Они заключаются в многочисленных биохимических реакциях и регулируются через нервные окончания, лежащие в пульпе.

Пульпа зуба сохраняет жизнеспособность дентина, снабжая кислородом и питательными веществами одонтобласты, их отростки, а также обеспечивая постоянный ток дентинной жидкости. Полноценная функция питания становится возможной, благодаря богатой кровеносной сети в пододонтобластическом слое и многочисленным ответвлениям её в зону одонтобластов. Водорастворимые продукты метаболизма, компоненты плазмы фильтруются через стенки капилляров, где внутрисосудистое давление выше, чем тканевое давление в пульпе (осмотическое).

**Транспортная** функция тесно связана с трофической и обеспечивается теми же механизмами и структурами. А именно, наличием зубной жидкости, способной перемещаться по дентинным трубочкам и микропорам эмали.

## Транспортная

Механизм реализации	Параметр измерения	Метод исследования
Перенос питательных веществ током жидкости по транспортным структурам зубного ликвора	Соответствует трофической функции	
		

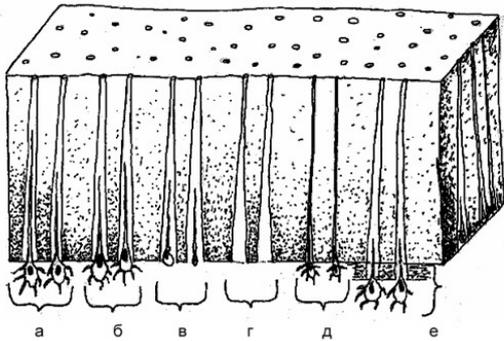
## ПЛАСТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ

Механизмы образования новой ткани осуществляются клеточными структурами пульпы. Жизнедеятельность ее в норме характеризуется медленной пролиферацией клеточных структур и волокон. При повреждении пульпы этот процесс ускоряется. Происходит быстрое образование фибробластов, которые вырабатывают новые коллагеновые волокна. Одновременно образуются эндотелиальные клетки, капиллярные сосуды, представляющие новую сеть кровоснабжения. Если в новой ткани преобладают клеточные структуры, она является грануляционной, если коллагеновые – фиброзной.

Высокодифференцированные клетки – одонтобласты – образуются на стадии развития зуба и после его прорезывания выполняют целый ряд функций, в том числе, пластическую – образование вторичного, или заместительного, дентина, выполняющего защитную функцию.

Местное воздействие на зуб патогенных факторов или врачебных манипуляций, таких как быстрое стирание, кариес или эрозия, препарирование зуба стимулирует образование в полости зуба атипичного дентина.

### Пластическая

<b>Механизм реализации:</b> наличие клеточных структур в пульпе, обильная васкуляризация, иннервация, обеспечивают образование новых клеток, волокон, а также формирование склерозированного, вторичного и репаративного дентина	
	
Схема кровоснабжения и иннервации пульпы зуба	<b>Механизмы реагирования одонтобластов на внешние воздействия (схема):</b> а – нормальные клетки; б – перемещение ядер в направлении длинного отростка; в – засасывание клеток в дентинные трубочки, их гибель; г – образование мертвых путей (пустые трубочки); д – склерозирование дентина (запечатывание трубочек); е – образование заместительного дентина

## Пластическая



- **Параметр измерения:** количество активных клеток, объем преддентина, вторичного и склерозированного дентина; в клинике – отсутствие симптомов заболевания
- **Метод исследования:** гистологические, ОМ, ЭМ, клиническая оценка состояния пульпы

## СЕНСОРНАЯ ФУНКЦИЯ

**Нормальная чувствительность зуба** характеризуется отсутствием болевых ощущений при воздействии раздражителей подпорогового уровня. Так, интактные зубы реагируют на температуру ниже 10-12°C или выше 55-65°C. Такому широкому диапазону отсутствия чувствительности способствует низкая теплопроводность твердых тканей зуба.

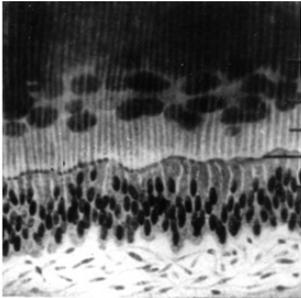
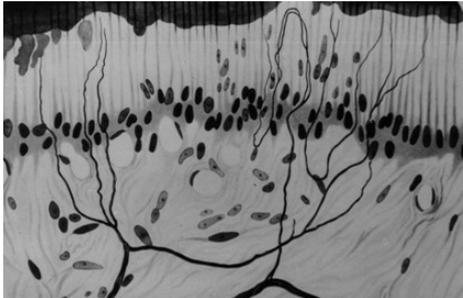
Механическое воздействие на интактный зуб не вызывает болевой реакции в пульпе, поскольку при чрезмерном накусывании болью отвечают нервные структуры периапикальных тканей. Только при нарушении целостности зуба, механическая нагрузка вызывает ответ со стороны пульпы. Химические раздражители (кислое, сладкое) также не вызывают болевых ощущений в интактном зубе.

Реакция зуба на раздражение электрическим током – электровозбудимость – в норме составляет 2-5 мкА, иногда порог может повышаться до 10-15 мкА.

Сенсорную функцию зуба можно объяснить двумя основными механизмами. Один из них обеспечивается рефлекторной дугой пульпы, другой – гидродинамическими процессами в твердых тканях зуба.

*Пульпа* реагирует на внешние раздражители благодаря наличию нервных структур. Ее чувствительная иннервация осуществляется второй и третьей ветвями тройничного нерва. Крупные нервы центральной зоны к периферии разделяются на мелкие веточки. После проникновения в субодонтобластический слой, они теряют миелиновую оболочку и формируют богатую сеть, или сплетение, из безмиелиновых волокон. Эти свободные нервные окончания являются специфическими рецепторами боли. Многие из них вступают в одонтобластический слой, где располагаются между одонтобластами или оборачиваются вокруг них, а некоторые проникают в зону предентина.

## Сенсорная

Механизм реализации	Параметр измерения	Метод исследования
Изменение тока ликвора под действием внешних факторов, вызывающее перемещение одонтобластов и раздражение болевых рецепторов пульпы. Болевая чувствительность пульпы; наличие открытой динамической пористости; капиллярные силы в дентине	Субъективное ощущение боли от термических, механических, химических раздражителей	Зондирование; термометрия; ЭОД; изучение скорости движения ликвора
		
Схема строения пульпы и околопульпарного дентина	Периферический отдел пульпы (схема)	

Непосредственное воздействие на пульпу сопровождается болью: в зависимости от природы раздражителя ощущения не дифференцируются.

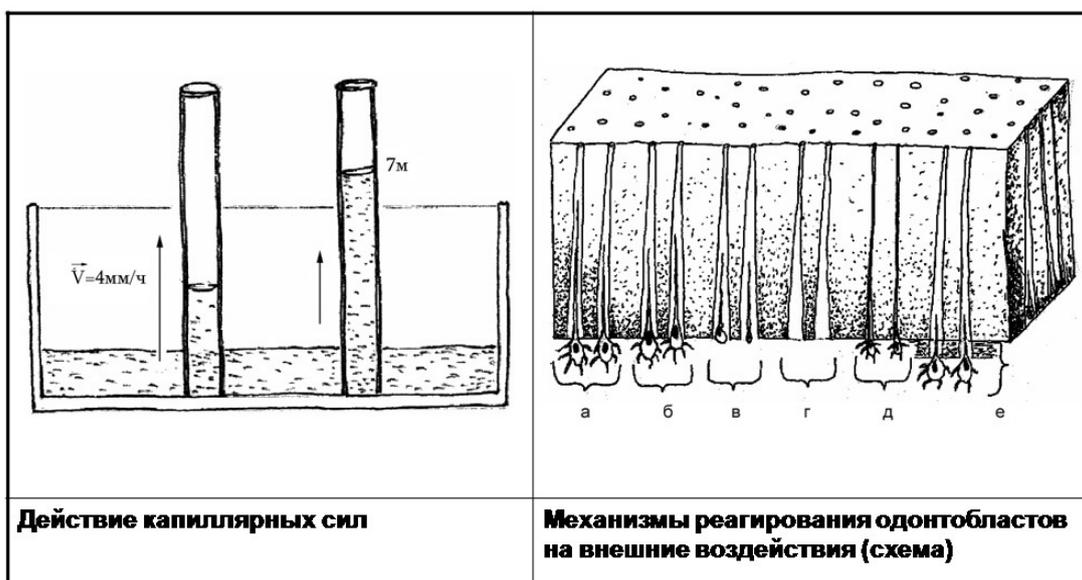
Раздражение нервных окончаний может наступать вследствие изменения внутривульпарного давления, связанного с вегетативной иннервацией. Термин вазомоторный (сосудодвигательный) контроль соответствует функции нервов, которые регулируют диаметр просвета сосуда и, следовательно, объем крови, скорость ее тока, интравульпарное давление. Симпатические волокна, не имеющие миелиновой оболочки (скорость проведения нервных импульсов – 2 м/с), вступают в отверстие канала в составе наружной оболочки артерий и заканчиваются «узелками» в мышечных клетках средней оболочки (мышечной стенки) артерий. Эфферентные нервные импульсы от ЦНС проникают в мышечную стенку артерии, высвобождая гормон (перинефрин), который вызывает временное сокращение мышечных клеток и сужение артерий в этой области пульпы. При сильном или длительном раздражении избыточное количество импульсов приводит к спазму сосудов – статусу длительного сокращения. В течение короткого промежутка времени происходит накопление продуктов распада, снижение рН и энергетических запасов. Наступает расслабление и вазодилатация, в результате развивается кровенакопление капилляров (гиперемия) и отек. Поскольку пульпа находится в закрытой камере, отток жидкости затруднен, происходит сдавливание нервных окончаний. В результате реагируют барорецепторы, провоцируя болевые ощущения.

Чувствительность *твердых тканей* можно объяснить гидродинамической теорией Bronnstram, основанной на знаниях физиологии зуба, морфологии пульпы и дентина. На поперечном срезе дентина на площади 1 мм<sup>2</sup> определяется в среднем 30 000 дентинных трубочек. Ближе к пульпе их объем составляет 80% всего дентина, по периферии – около 10%. Внутри трубочек содержится дентинный ликвор, который в свободном виде составляет 12% веса и 20% объема дентина. В дентинных канальцах располагаются отростки специфических клеток – одонтобластов. Последние занимают периферическую

часть пульпы, составляя 4-8 слоев и тесно контактируя между собой короткими отростками. Длинные отростки проникают на 1/2-2/3 толщины дентина.

Поскольку пульпа содержит свободную тканевую жидкость с гидростатическим давлением около 30 мм рт. ст., имеется градиент давления ликвора в направлении наружу, который обуславливает медленное центробежное перемещение воды и малых молекул в интактном дентине. Реальная скорость тока ликвора в дентине 4 мм/ч. Это медленное центробежное движение жидкости не вызывает боли.

## Сенсорная



**Гиперестезия интактных зубов** характеризуется повышением чувствительности на термические, химические, механические раздражители. Данная реакция вызвана снижением порога болевого ощущения в силу различных причин. Среди общих – повышенная реакция нервной системы при таких заболеваниях или состояниях, как неврозы, неврастения, истерия.

Местной причиной может явиться ретенция десны с оголением шейки или корня зуба. Гиперестезию в данной ситуации можно объяснить

гидродинамической теорией, аналогично механизму повышенной чувствительности дентина, лишенного эмалевого покрова.

**Повышенная чувствительность при обнажении дентина или истончении эмали** характерна для клинического проявления эрозии, клиновидного дефекта (истирания), патологической стираемости, кариеса. Химические, термические, механические факторы способны вызвать кратковременное ощущение, если патологический процесс не сопровождается воспалением пульпы.

Фактором, обеспечивающим гиперестезию обнаженного дентина, является феномен капиллярного действия. Теоретически, ликвор в дентине посредством капиллярности может перемещаться со скоростью 2-3 мм/с. Другими словами, опустошенные трубочки способны полностью заполниться жидкостью от пульпы за 1 секунду.

Если на поверхность обнаженного дентина направить струю воздуха, жидкость испаряется и наружные отделы дентинных трубок протяженностью около 0,1-0,3 мм заустевают. Это воздействие компенсируется капиллярной силой, и трубочки быстро заполняются ликвором из пульпы. Одонтобласты и нервные окончания, присутствующие в периферической области, засасываются в трубочки центробежным движением жидкости. Нервные волокна распрямляются, деформируются или даже разрываются. Благодаря малым размерам зуба тысячи трубочек бывают задействованы одновременно. Поэтому даже незначительных перемещений жидкости в таком количестве трубочек достаточно для появления боли.

Механизмы чувствительности *эмали* можно представить следующим образом. Вода, содержащаяся в твердых тканях зуба, обеспечивает непрерывный (условный) столб жидкости от пульпы до поверхности эмали благодаря постоянному центробежному ее перемещению под влиянием внутрипульпарного давления. В эмали ликвор содержится в микропорах и органических субстанциях. Относительно крупные поры сопоставимы с

размером призм, несколько меньше по размерам межпризменные пространства, самые малые – межкристаллические пространства.

Непрерывность пористости доказывается возможностью полностью высушить эмаль струей воздуха с поверхности зуба, а также получить циркулирующую в зубе жидкость с ограниченного участка эмали (1 см<sup>2</sup>) при помощи вакуума. В технике подобное явление обозначено как динамическая и открытая пористость.

Достаточно длительное воздействие струи воздуха даже на интактную эмаль способствует извлечению из нее воды и запуску большого количества микропор. Визуально при этом определяется матовость поверхности, связанная с пересушиванием. Вода из дентинных трубочек под действием капиллярных сил устремляется в свободные микропространства эмали, увлекая за собой отростки одонтобластов. Механическое раздражение передается на рецепторы нервных окончаний, расположенных в пульпе, вызывая болевые ощущения. Именно потому, что объем жидкости в эмали невелик (не более 10%) по объему, а скорость перемещения в норме незначительна (0,1 мм/ч), чувствительность ее существенно ниже по сравнению с дентином. Чем тоньше слой эмали, тем скорее будет проявляться гиперестезия, поскольку сокращается расстояние от раздражителя до дентинной жидкости и пульпы, что характерно для пришеечной области зуба. Истончение эмали при эрозии, клиновидном дефекте способствует повышению восприимчивости к раздражающим факторам. Пористость ткани также увеличивает чувствительность, что характерно для начального кариеса и кислотного некроза, когда объем пор в эмали может возрастать до 25%.

Другие раздражители в этих условиях оказывают аналогичное действие. В собственных исследованиях это вакуум, приложенный к зубу. При разрежении воздуха до 100 кПа в капсуле с присоской, укрепляемой на зубе, болевое ощущение возникало через 15-20 минут.

**Болевые ощущения в процессе препарирования** зависят от глубины полости и активности кариозного процесса. Обработка интактного зуба при ортопедических вмешательствах также провоцирует болевую реакцию. В данном случае ощущение боли определяется гидродинамическим механизмом чувствительности и объясняется аналогично развитию гиперестезии при высушивании обнаженного дентина.

После пломбирования причиной повышенной чувствительности может явиться образование микропространств на дне полости между пломбой и дентином вследствие усадки композиционного материала. В образовавшееся пространство устремляется дентинная жидкость, провоцируя раздражение нервных окончаний пульпы.

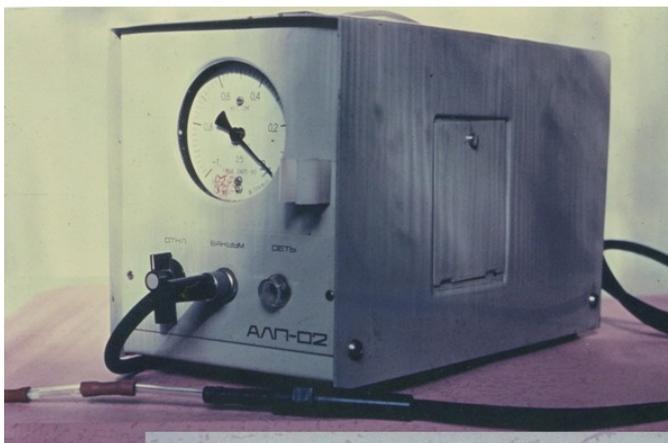
Частным случаем гиперчувствительности зуба является *трещина* – синдром «расслаивания» зуба. Заполненная жидкостью трещина сообщается с ликвором дентинных трубочек, что способствует передаче на пульпу действия сниженной температуры или механического воздействия на зуб.

**Методы исследования ликвора.** Собственные исследования на удаленных зубах позволили установить, что коронковая часть зуба (без пульпы) содержит по весу 1-2% воды, способной свободно перемещаться, в данном случае, испаряясь. У ребенка в 7-8 лет вода составляет 2,02% массы коронковой части зуба, в 12-14 лет ее 1,51%, в полуретинированных – 1,41%. Количество ликвора достоверно уменьшается с возрастом до 1,03% в 30-40 лет, что объясняется снижением пористости эмали и дентина. В группе старше 45 лет содержание свободной воды может несколько повышаться (1,14%) в результате появления трещин.

В основе собственного метода получения зубного ликвора *in vivo* лежит явление перемещения веществ под воздействием вакуума. Устройство для забора жидкости представляет собой капсулу из химически нейтрального вещества с резиновым уплотнителем на конце, обращенном к зубу. Другой конец подключается к вакуум-аппарату. Созданное в капсуле разрежение

(порядка  $0,9 \text{ кгс/см}^2$ ) и резиновый уплотнитель обеспечивают герметическую фиксацию капсулы к поверхности эмали.

## Устройство для получения зубного ликвора



Количество зубного ликвора, выделившегося под воздействием вакуума с площади около  $1 \text{ см}^2$  за 15-20 минут, составляет, в среднем,  $1,51 \pm 0,02 \text{ мг}$ . Таким образом, зуб способен в ответ на внешнее раздражение достаточно быстро «пожертвовать» существенным для него объемом жидкости без развития в нем патологических изменений. Максимальная потеря ликвора соответствует всему объему воды, содержащейся в коронковой части зуба (5 мг).

### ЭСТЕТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ

Эстетическая функция характеризуется оптимальными размерами, формой, рельефом поверхности. Важную роль играют также оптические свойства тканей зуба.

Основные группы зубов, отличающиеся формой и размерами и количеством корней, которые представляют резцы, клыки, моляры и

премоляры, различают по принадлежности к правой или левой стороне, к верхней или нижней челюсти. Признаки принадлежности зуба к стороне учитывают кривизну коронок, размеры дистального и мезиального углов коронки, наклона корней (признаки кривизны коронки, угла коронки и отклонения корня).

Геометрические формы зубов позволяют характеризовать их как прямоугольные, треугольные, овальные. К индивидуальным особенностям относят форму зубодесневого контура, макрорельеф вестибулярной поверхности зуба, которые в сочетании с характерными цветовыми оттенками и прозрачностью эмали придают зубу естественный вид.

Способность тканей зуба отражать, пропускать, рассеивать свет, придает ему характерные эстетические свойства.

Рассеивание лучей света снижает блеск эмали и цветность, повышает тем самым белизну коронки зуба, характерную для молодых людей. Внутреннее рассеивание придает свойство опалесценции. Светопроницаемость эмали позволяет воспринимать глазом цвет дентина.

Оптические свойства эмали обусловлены ее топографией и морфологическими особенностями. Эмаль занимает всю поверхность коронки зуба. Толщина её колеблется от 0,01 мм в пришеечной области до 3,5 мм на окклюзионных участках. В складках и бороздках жевательной поверхности – составляет 0,5-0,6 мм.

Эмаль постоянных зубов содержит от 95 до 97% неорганических элементов, 0,5-2% органических веществ, до 3% воды. Химический состав зависит, прежде всего, от степени зрелости зуба, а также от геофизических и других условий проживания человека.

Большую часть – 37% массы всей эмали составляет кальций, 18% – фосфор. В эмали, кроме того, определяется около 20 микроэлементов, которые могут находиться в межкристаллических пространствах либо в соединении с органическими веществами. Более 1,0 мг/кг сухой массы занимают F, S, Zn, Sn;



В телах эмалевых призм кристаллы расположены почти параллельно длинной оси. Угол наклона может колебаться от  $5^\circ$  до  $40^\circ$ , он увеличивается по направлению к периферии призмы. В межпризменном пространстве этот угол приближается к  $90^\circ$ . Различия в расположении кристаллов образуют межпризменные промежутки, границы призм, отличающиеся более высокой пористостью.

Органическое вещество встречается в эмали в небольшом количестве в виде скоплений (ламеллы, веретена, пластинки). Свободная вода (эмалевый ликвор) содержится в органических образованиях и микропространствах между кристаллами и призмами.

В целом, максимально высокое содержание минеральных компонентов, представленных плотно упакованными кристаллическими структурами в эмалевых призмах, которые, в свою очередь, тесно прилежат друг к другу, обеспечивает гомогенность структуры. В результате лучи света, проникая через эмаль, придают ей светопроводимость, а отражаясь от поверхности – своеобразный блеск.

Внешнее рассеивание света, усиливающее белизну и матовость, связано с микрорельефом поверхности и органическими покровами зуба. Последние представлены зубным налетом и пелликулой – безмикробной органической оболочкой зуба, толщина которой колеблется от 1 до 10 мкм (в среднем, 2-4 мкм). Образуется пелликула только при контакте зуба со слюной и прочно соединяется с эмалью, проникая в ее кристаллический слой на глубину 0,1-0,2 мкм. В результате образуется природный композит, устойчивый к действию кислот.

Для зубов младшей возрастной группы характерна регулярная волнистость эмали, образуемая перикимами на вестибулярной поверхности, особенно в пришеечной области. В проходящем свете волнистость видна невооруженным глазом.

На поверхности зуба множественные углубления на месте головок призм образуют микропористость эмали. Относительно крупные поры бывают сопоставимы по размерам с поперечником эмалевой призмы. Расположение этих крупных пор по поверхности неравномерно, чаще такие образования одиночны и расположены на большом расстоянии друг от друга.

Наиболее крупные из микропространств – трещины – сопоставимы по ширине с основной структурной единицей эмали, достигая по ширине от 1 до 3-5 диаметров призмы, а по длине несколько десятков микрометров. Они образуются в процессе жизнедеятельности зуба и повышают проницаемость твердых тканей для пигментов.

Внутреннее рассеивание лучей обусловлено наличием органических компонентов, микропористости и зубной жидкости.

Микропоры, заполненные ликвором, формируют такие оптические свойства как голубизна и опалесценция эмали.

Явление опалесценции можно понять на примере драгоценных камней. Например, опал обыкновенный бывает молочный, восковой, полупрозрачный, что напоминает оптические характеристики эмали. Прихотливое мерцание образцов опала объясняют его строением. Глобулы кремнезема размерами 1 500-4 000 Å – плотноупакованные сферолиты. Промежутки между ними заполнены мелкими частицами и водой. Проникающий в камень свет рассеивается, отражаясь поверхностью пор, и камень «играет». Так, гидрофан («водяной» опал) в сухом виде молочно-белый, мутный, в воде становится прозрачным.

Оптические свойства дентина также характеризуются показателями отражения, рассеивания, пропускания света.

Цвет дентина проявляется благодаря наличию пигментов, которые обладают способностью избирательного отражения лучей определенной длины волны. В результате визуально определяются цвета, преимущественно, желтых оттенков. Опаковость, непрозрачность дентина зависят от рассеивания им света

и низкой светопроводимости, связанных с неоднородностью структуры и состава.

Дентин, составляя основную массу коронки и корня зуба, содержит 70-75% неорганического вещества, 18% – органики и 10-12% – воды. Основные составные элементы неорганической части дентина – кальций и фосфор. От общей массы дентина кальций занимает 26,7%, фосфор – 13,6%. Часть минеральных элементов связаны с органической фазой, как, например, нитрофосфат, фосфолипид. Другие содержатся в зубной лимфе (Na, Se, Mg, CO<sub>3</sub>) и сравнительно меньше свободного Ca и P.

Дентин имеет две главные структурные единицы: основное вещество и дентинные трубочки. Последние пронизывают всю толщину дентина от пульпы до эмали и занимают до 30% всей коронковой части: в периферических отделах количество дентинных трубочек составляет соответственно 15 000, а в околопульпарных – 75 000 на 1 мм<sup>2</sup> площади. Диаметр дентинных трубочек достигает 2-5 мкм, сужаясь по направлению от центра зуба (пульпо-дентинной границы) к эмалево-дентинному соединению.

Органические вещества представлены всей гаммой компонентов, обеспечивающих обмен веществ в живых тканях. Белок в дентине – это преимущественно коллаген в виде волокон, идущих в определенном направлении.

Для основного вещества характерна большая плотность околотрубочкового дентина по сравнению с межтрубочковым. Дентинные трубочки на поперечном шлифе имеют округлую или овальную форму. Края их могут быть гладкие или неровные, как следствие процессов де- и реминерализации, в которых участвует околотрубочковый дентин. В канальцах, заполненных зубным ликвором, содержатся длинные отростки одонтобластов. Можно обнаружить obturated канальцы, количество которых с возрастом значительно увеличивается.

В детских зубах, характеризующихся свободными широкими просветами дентинных трубочек, вещество представлено аморфным субстратом, преимущественно органической природы. В зрелых зубах содержимое канальцев чаще минерального происхождения (внутритрубочковый дентин).

Сравнительно высокое количество органических веществ и воды в дентине, выраженная неоднородность структуры объясняют низкую светопроводимость, непрозрачность (опаковость).

Высокие рассеивающие способности, индивидуальность цвета зуба в значительной мере связаны с особенностями структуры эмалево-дентинной границы, которая на ранних стадиях функционирования зуба представлена некальцифицированными коллагеновыми волокнами. В дальнейшем они постепенно кальцифицируются.

Особенности строения дентина обуславливают явление флуоресценции.

Оптические свойства зуба зависят также от особенностей строения и функционирования пульпы.

Наружный слой пульпы представлен специализированными высокодифференцированными клетками – *одонтобластами*, которые расположены слоями (палисадообразно) по периферии пульпы. В «молодой» пульпе обнаруживаются 6-8 таких слоев.

Длинные отростки одонтобластов проникают в дентинные трубочки на протяженность 1/2 или 2/3 их длины, не достигая эмалево-дентинного или дентинно-цементного соединения. Отростки омываются межклеточной жидкостью, поступающей в дентин от пульпы (дентинный ликвор).

Неклеточные компоненты пульпы – фибриллы, волокна, зрелые коллагеновые или молодые преколлагеновые, расположены диффузно по всей пульпе.

*Аморфный компонент межклеточной матрицы* – основная субстанция. Ее молекулы высоко полимерны, что обуславливает высокую вязкость или гелеобразность пульпы. Основные свойства определяются

мукополисахаридным комплексом – гликозаминогликанами – GAG (гиалуроновая и хондроитинсерная кислоты, производные последней).

В межклеточной жидкости содержатся водорастворимые метаболиты плазмы, такие как аминокислоты, соли, витамины, гормоны, ферменты, кислород. Они проходят через полупроницаемую мембрану – сосудистую стенку. Продукты жизнедеятельности клеток в свою очередь поступают в вены или лимфатическую сеть.

*Центральная зона*, собственно соединительная ткань, содержит большое количество кровеносных сосудов и нервов, которые разветвляются в направлении периферических отделов пульпы.

*Зона Вейля*, бедная клетками, уменьшается или временно исчезает, когда имеет место быстрое формирование вторичного дентина. Она также богата капиллярной и нервной сетью (сплетениями).

Разветвление сосудов в ткани берет начало от 1-2 малых артерий, проникающих через верхушечное отверстие. Добавочно к артериям через отверстие проходят вены, лимфатические сосуды и чувствительные нервы.

Артерии и вены зубных веточек происходят от верхних и нижних альвеолярных сосудов. В корневом канале артерии разветвляются на малые артерии, затем артериолы и, наконец, капилляры: как дерево, кроной в направлении к периферии пульпы. Наибольшее количество капилляров концентрируется в субодонтобластической и одонтобластической зонах. Лёгкая ранимость сосудов пульпы зависит от тонких и нежных стенок, которые в артериолах состоят из эндотелия, мышечного наружного слоя.

Капиллярные стенки построены полностью из эпителия, продолжающегося со стенок артериол и венул. Два слоя эндотелиальных клеток вместе образуют капиллярную трубку.

Весьма обильное кровоснабжение придает пульпе яркую розовую окраску, влияющую, в свою очередь, на цвет зуба. При воспалительном процессе длительное состояние сосудистого стаза может привести к гибели пульпы.

Результатом явится изменение цвета зуба вследствие исчезновения естественного вида пульпы либо окрашивания твердых тканей пигментами крови.

Сочетание свойств эмали, дентина и пульпы характеризуют оптические параметры зуба в целом. Цвет дентина можно оценить благодаря светопрозрачности эмали. Область режущего края не имеет дентина, поэтому кажется прозрачнее. Срединная часть зуба может отличаться преобладанием желтого, оранжевого, голубого и серого тонов. Пришеечный участок зуба имеет слой эмали тоньше, поэтому цвет лежащего под ней дентина выражен более четко, проявляя множество цветовых оттенков от оранжевого до коричневого.

Благодаря свойству эмали частично пропускать, а частично рассеивать свет, к цвету зуба примешивается видимость объема. Оpaqueность дентина придает глубину восприятия.

Возрастные изменения оптических свойств зуба, а именно снижение белизны, повышение блеска, изменение цвета, связаны с возрастными преобразованиями структур эмали, дентина, пульпы. Уменьшение количества зубной жидкости и органического компонента эмали, сокращение размером микропространств приводит к снижению эффекта рассеивания света, уменьшается белизна, голубизна и опалесценция. Причиной возрастного потемнения тканей может стать убыль эмали. Истирание прозрачных поверхностных слоёв эмали способствует просвечиванию более насыщенного оттенка дентина, в том числе склерозированного и вторичного, имеющих жёлто-коричневый или прозрачно-серый цвет.

\* \* \*

Знание физиологии зуба и других теоретических разделов эстетической стоматологии позволяет врачу-стоматологу использовать в своей работе самые передовые технологии, обеспечивая оптимальный результат клинических воздействий.