

Пульпа зуба

Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба

- Пульпа представляет собой мягкую ткань, развивающуюся из мезенхимы, в которой находятся специализированные клетки — одонтобласты, расположенные по ее периферии и находящиеся в прямом контакте с матриксом дентина. Тесная связь между одонтобластами и дентином, которые в совокупности часто обозначают термином пульпарно-дентинный комплекс, является одной из нескольких причин, по которым дентин и пульпу следует рассматривать и функциональном плане как единое образование.
- Некоторые особенности пульпы обусловлены тем, что она окружена твердым минерализованным дентином. Поэтому она располагается в мало податливом окружении, которое ограничивает ее способность увеличиваться в объеме в ситуациях, когда происходит расширение сосудов и повышается тканевое давление. Поскольку пульпа является относительно несжимаемой, общий объём крови в пульпарной камере не может существенно увеличиваться (хотя обратные объемные изменения могут происходить в артериолах, венах, лимфатических сосудах и окружающей сосудах ткани). Поэтому точная регуляция кровотока имеет критически важное значение для пульпы

Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба

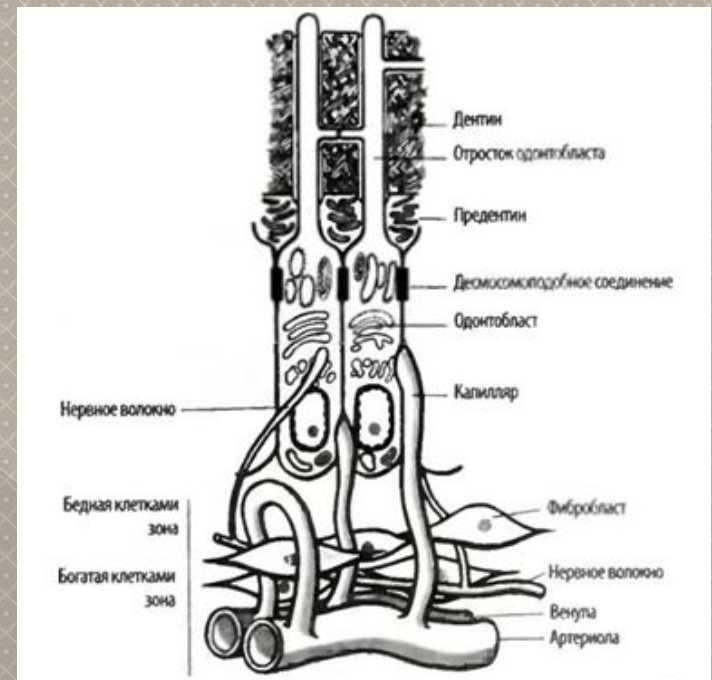
- Пульпа зуба во многих отношениях сходна с другими соединительными тканями организма, но ее особые свойства заслуживают серьезного рассмотрения. Даже зрелая пульпа очень напоминает эмбриональную соединительную ткань. Пульпа содержит многочисленные тканевые компоненты, включая нервы, сосуды, волокна соединительной ткани, основное аморфное вещество, интерстициальную жидкость, одонтобласты, фибробласты, иммунокомпетентные клетки и другие клеточные элементы.
- Пульпа представляет собой настоящую микроциркуляторную систему, наиболее крупными сосудистыми компонентами которой являются артериолы и венулы. Собственно артерии или вены не входят в пульпу и не выходят из нее. В отличие от большинства тканей, пульпа не имеет разветвленной системы коллатералей и зависит от относительно небольшого числа артериол, входящих через отверстия корней. Сосудистая система пульпы прогрессивно редуцируется с возрастом.

Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба

- Пульпа зуба является уникальным чувствительным органом. Поскольку она окружена защищающим ее слоем дентина, который, в свою очередь, покрыт эмалью, можно было бы ожидать, что она совершенно не реагирует на раздражение. Однако, несмотря на низкую теплопроводность дентина, пульпа обладает несомненной чувствительностью к температурным раздражителям, таким, например, как мороженое и горячие напитки.
- После окончания развития зуба пульпа сохраняет свою способность к формированию дентина в течение всей жизни. Это позволяет жизнеспособной пульпе частично компенсировать утрату эмали или дентина, вызванную механической травмой или заболеванием. То, насколько хорошо она справляется с этой функцией, зависит от многих факторов, однако ее способность к обновлению и восстановлению выражена в такой же степени, как и у других соединительных тканей организма.

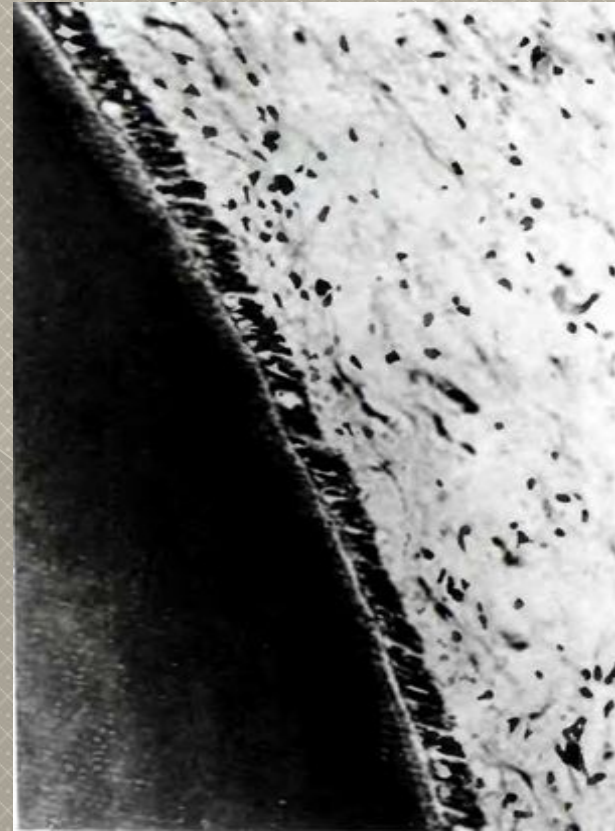
Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба

- Самый наружный слой клеток в здоровой пульпе образован одонтобластами. Этот слой располагается непосредственно под предентином; отростки одонтобластов, однако, проходят через предентин, направляясь в дентин. Следовательно, слой одонтобластов в действительности состоит лишь из их клеточных тел. Кроме того, между одонтоблaстами можно обнаружить капилляры, нервные волокна и дендритные клетки.
- В коронковой пульпе недавно прорезавшихся зубов одонтобласты имеют форму высоких столбчатых клеток. Вследствие плотного расположения этих высоких, узких клеток их слой имеет вид палисады. Одонтобласты варьируют по высоте; поэтому их ядра не лежат вдоль одной линии, а располагаются на разных уровнях. Это часто создает впечатление, что одонтобласты образуют слой толщиной в три—пять клеток. Между одонтоблaстами имеются небольшие межклеточные пространства шириной примерно 300—400 Å



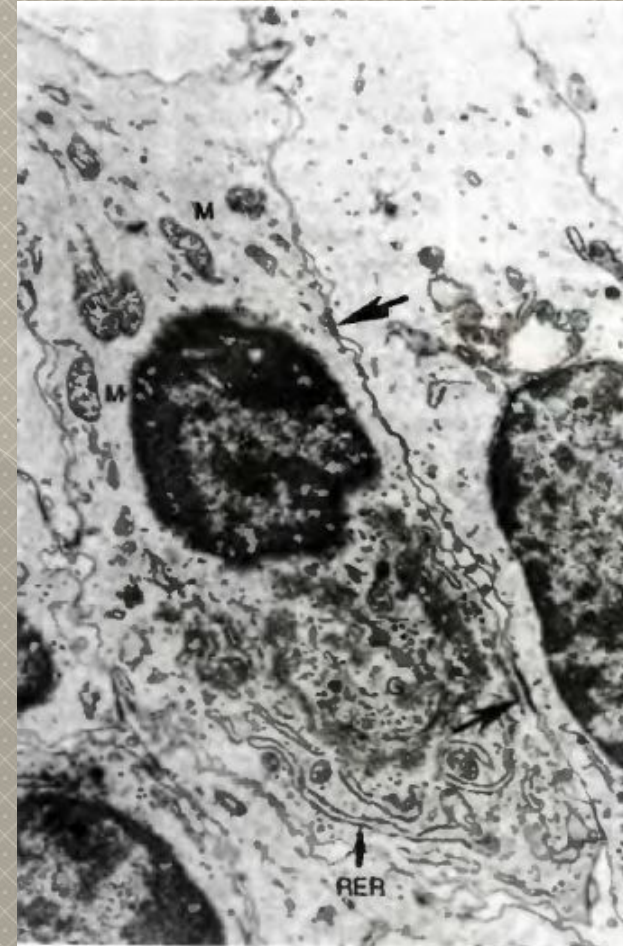
Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба

- Слой одонтобластов в коронковой пульпе содержит больше клеток на единицу площади, чем в корневой пульпе. Одонтобласты зрелой коронковой пульпы обычно являются столбчатыми а в средней части пульпы корня их форма приближается к кубической. Возле апикального отверстия одонтобласты располагаются в виде слоя уплощенных клеток. Поскольку в корне зуба на единицу площади приходится меньше дентинных трубочек, чем в коронке, клеточные тела одонтобластов расположены менее плотно и могут расходиться в стороны.



Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба

- Между соседними одонтобластами имеются специализированные межклеточные соединения (формирующие комплексы соединений), которые включают десмосомы (пояски слипания, *zonula adherens*), щелевые соединения (иexusы, *nexus*) и плотные соединения (пояски замыкания, *zonula occludens*). Точечные десмосомы, которые располагаются в апикальной части клеточных тел одонтобластов, обеспечивают их механическую связь друг с другом. Многочисленные щелевые соединения образуют каналы с низким сопротивлением, по которым электрическое возбуждение быстро передается от клетки к клетке.

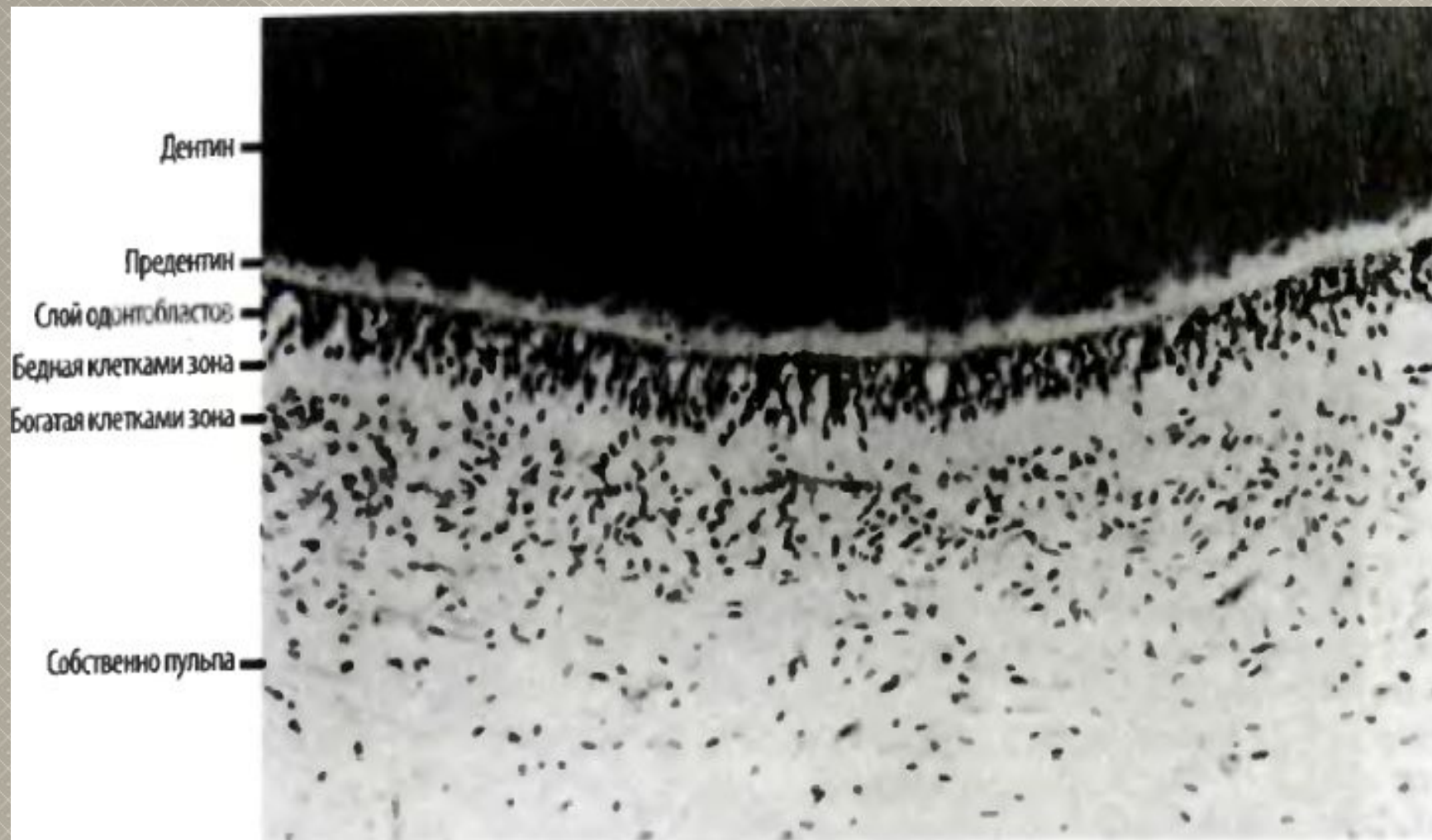


Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба

Эти межклеточные соединения наиболее многочисленны при формировании первичного дентина. Отмечено также, что щелевые соединения и десмосомы связывают одонтобласты с отростками фибробластов в субодонтобластической области. Плотные соединения обнаруживаются, главным образом, в апикальной части одонтобластов в недавно прорезавшихся зубах. Эти структуры состоят из линейных гребешков и бороздок, которые перекрывают межклеточное пространство. По-видимому, плотные соединения определяют проницаемость слоя одонтобластов, ограничивая перенос молекул, ионов и жидкости между межклеточными пространствами пульпы и предентина.



Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба



Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба. Бедная клетками зона.

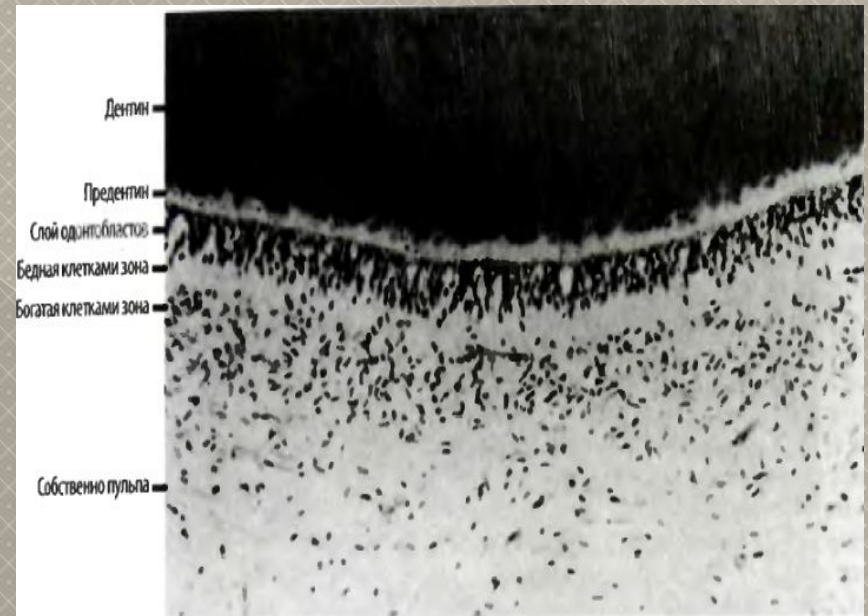
- Непосредственно подслоем одонтобластов в коронковой пульпе часто имеется узкая зона шириной примерно 40 мкм, которая почти не содержит клеток. Через эту зону проходят кровеносные капилляры, безмиоэпителиальные нервные волокна и тонкие цитоплазматические отростки фибробластов. Наличие или отсутствие этой бедной клетками зоны зависит от функционального состояния пульпы. В молодой пульпе, которая быстро формирует дентин, или в стареющей пульпе, где вырабатывается репаративный дентин, она может быть невыраженной

Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба. Богатая клетками зона.

- В субдонтбластической области обычно отчетливо выявляется слой, содержащий относительно больше фибробластов, чем в центральной области. Этот слой значительно более выражен в коронковой пульпе, чем в корневой. Помимо фибробластов, эта богатая клетками зона может содержать переменное количество макрофагов, дендритных клеток и лимфоцитов.
- Богатая клетками зона формируется в результате периферической миграции клеток, населяющих центральные участки пульпы, которая начинается примерно по время прорезывания зуба. Хотя в нормальной пульпе клеточное деление в богатой клетками зоне происходит редко, гибель одонтобластов вызывает значительное повышение митотической активности. Поскольку необратимо поврежденные одонтобласты замещаются клетками, мигрирующими из богатой клетками зоны в сторону внутренней поверхности дентина, эта митотическая активность является, вероятно, первым шагом в формировании нового слоя одонтобластов

Макро- и микроскопическая анатомия пульпы зуба. Собственно пульпа

- Собственно пульпой называют ее центральную массу. В ней находятся наиболее крупные кровеносные сосуды и нервы. Клетки соединительной ткани в ней представлены фибробластами, или пульпарными клетками. Они вместе с сетью коллагеновых волокон погружены в основное вещество соединительной ткани.



КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. Одонтобласт.

- Поскольку одонтобласты отвечают за дентиногенез как во время развития зуба, так и в зрелом зубе, они являются наиболее характерными клетками пульпарно-дентинного комплекса. Во время дентиногенеза одонтобласты формируют дентинные трубочки (канальцы), причем именно их присутствие в трубочках делает дентин живой тканью.
- Дентиногенез, остеогенез и цементагенез во многом сходны. Поэтому неудивительно, что одонтобласты, остеобласты и цементобласты имеют много одинаковых свойств. Каждая из этих клеток вырабатывает матрикс, состоящий из коллагеновых волокон и протеогликанов, который способен к минерализации. Аналогичным образом сходны и ультраструктурные характеристики одонтобластов, остеобластов и цементобластов - в каждой из этих клеток имеется высокоупорядоченная гранулярная эндоплазматическая сеть, выраженный комплекс Гольджи, секреторные гранулы и многочисленные митохондрии. Кроме того, эти клетки богаты РНК, а их ядра содержат одно или два крупных ядрышка. Указанные свойства являются общими характеристиками белок-секретирующих клеток.

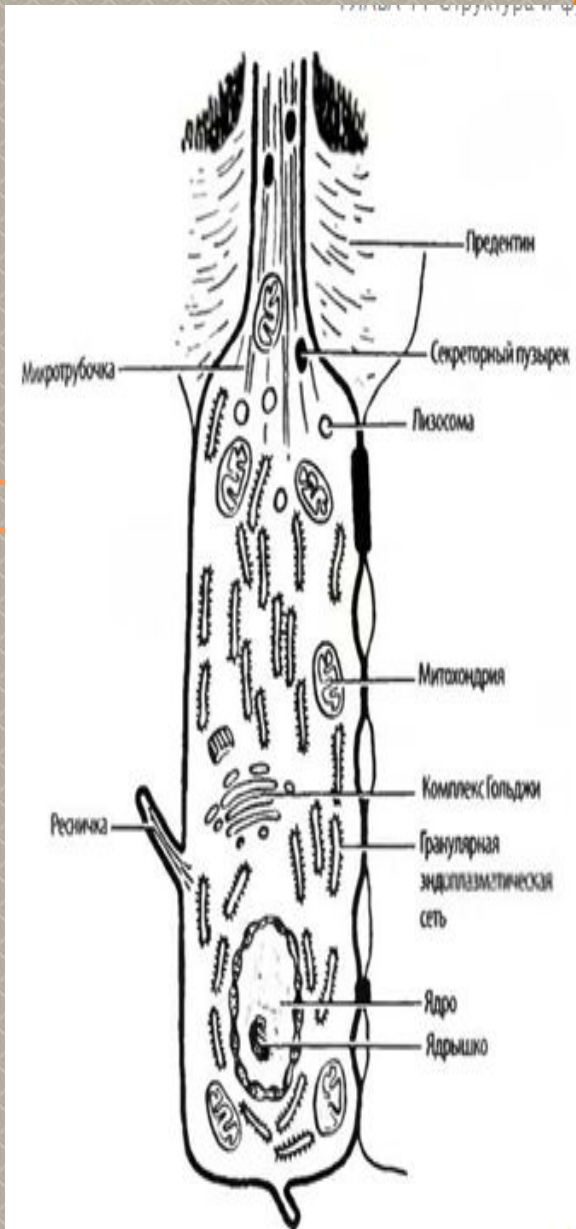
КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. Одонтобласт.

- Вероятно, наиболее существенными различиями между одонтобластами, остеобластами и цементобластами являются их морфологические характеристики, а также анатомические взаимосвязи между клетками и структурами, которые они образуют. В то время как остеобласты и цементобласты имеют полигональную или кубическую форму, полностью развитый одонтобласт коронковой пульпы является высокой столбчатой клеткой. В кости и цементе некоторые остеобласты и цементобласты окружаются матриксом, превращаясь в остеоциты или цементоциты, соответственно. С другой стороны, одонтобласты отдают клеточные отростки, в результате чего происходит образование дентинных трубочек. Латеральные ветви, расположенные между главными отростками одонтобластов, соединяют отростки посредством каналов, подобно тому, как остеоциты и цементоциты соединяются между собой с помощью канальцев в кости и цементе. Благодаря этому обеспечивается межклеточное сообщение, а также циркуляция жидкости и метаболитов по минерализованному матриксу.

КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. Одонтобласт.

- Ультраструктурные свойства одонтобластов явились предметом многочисленных исследований. Клеточное тело активного одонтобласта имеет большое ядро, которое может содержать до четырех ядрышек. Ядро расположено у базального конца клетки и покрыто ядерной оболочкой. Комплекс Гольджи хорошо развит и располагается в центральной части и адъядерной цитоплазмы. Он состоит из системы взаимосвязанных гладкостенных везикул и цистерн. Многочисленные митохондрии равномерно распределены по клеточному телу. Гранулярная эндоплазматическая сеть развита особенно мощно и состоит из плотно упакованных и параллельно расположенных цистерн, диффузно распределенных по всей цитоплазме. В местах синтеза белков располагаются многочисленные рибосомы, тесно связанные с мембранами цистерн. В просвете цистерн можно наблюдать нитевидный материал (вероятно, соответствующий вновь синтезированному белку).

КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. ОДОНТОБЛАСТ.



По-видимому, одонтобласты синтезируют, главным образом, коллаген I типа, хотя в МКВ обнаружено небольшое количество коллагена V типа. Кроме протеогликанов и коллагена, одонтобласты секретируют сиалопротеин дентина и фосфофорин, высокофосфорилированный фосфопротеин, участвующий во внеклеточной минерализации. Фосфофорин является уникальным соединением, которое выявляется только в дентине и не обнаруживается ни в каких других линиях клеток мезенхимного происхождения. Одонтобласт секретирует также щелочную фосфатазу — фермент, тесно связанный с минерализацией.

КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. Отросток одонтобласта.

- Дентинная трубочка формируется вокруг каждого главного отростка одонтобластов. Отросток одонтобласта занимает большую часть пространства внутри трубочки и обеспечивает формирование перитубулярного дентина. Другими структурами, которые обнаруживаются в отростке, являются тонкие цитофиламенты.
- Основными ультраструктурными элементами отростка одонтобласта и его латеральных ответвлений являются микротрубочки и микрофиламенты. Микротрубочки протягиваются из клеточного тела в отросток. Эти прямые структуры располагаются параллельно продольной оси клетки и придают ей определенную жесткость, они могут участвовать в удлинении цитоплазмы, транспорте материалов или в обеспечении структурной опоры, в тех участках отростков, которые проходят в преддептине, обнаруживаются митохондрии

КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. Фибробласт пульпы.

- Фибробласты являются наиболее многочисленными клетками пульпы. Повидимому, они являются тканеспецифическими клетками, способными при получении соответствующего сигнала давать начало клеткам, которые коммитированы и претерпевают дифференцировку (с образованием одонтобластоподобных клеток).

КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. Макрофаг.

- Макрофаги являются моноцитами, которые, покинув кровоток, переместились в ткани и дифференцировались в них с образованием клеток, относящихся к различным субпопуляциям. Многие макрофаги находятся вблизи кровеносных сосудов. Основная субпопуляция макрофагов обладает высокой активностью эндоцитоза и фагоцитоза. Благодаря своей подвижности и фагоцитарной активности они способны функционировать в качестве «уборщиков мусора», которые удаляют из ткани вышедшие за пределы сосуда эритроциты, мертвые клетки и чужеродные частицы.

КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. Макрофаг.



Иммуноэлектронная микрофотография HLA-DR+ зрелого макрофага (M) в пульпе зуба человека, в котором выявляется фагосома (P). (Ly - лимфоцит.)

КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. Дендритная клетка

- Дендритные клетки являются добавочными клетками иммунной системы.). Эти клетки играют ведущую роль в индукции Т-клеточного иммунитета.



Иммуноэлектронная микрофотография дендритноподобной клетки и лимфоцита, которые образуют межклеточный контакт

КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. Лимфоцит.

- нормальная пульпа зуба человека содержит Т-лимфоциты. Преобладающей субпопуляцией Т-лимфоцитов в такой пульпе являются Т8 лимфоциты (супрессоры). Лимфоциты наблюдали так-же в пульпе непрорезавшихся (ретинированных) зубов. Присутствие макрофагов, дендритных клеток и лимфоцитов указывает на то, что пульпа содержит достаточное количество клеток, необходимых для индукции иммунных реакций.

КЛЕТКИ ПУЛЬПЫ. Тучная клетка

- Тучные клетки широко распространены в соединительных тканях, в которых они выявляются в виде мелких групп в связи с кровеносными сосудами. В ткани здоровой пульпы тучные клетки встречаются редко, хотя при хроническом воспалении они обнаруживаются в ней регулярно. Эти клетки в свое время явились предметом особого внимания в связи с их важнейшей ролью в развитии воспалительных реакций. Гранулы тучных клеток содержат антикоагулянт гепарин и важный медиатор воспаления — гистамин.

МЕТАБОЛИЗМ

- Из-за наличия в пульпе относительно небольшого количества клеток скорость поглощения ею кислорода невелика по сравнению с большинством других тканей. Во время активного дентиоогенеза метаболическая активность намного выше, чем после завершения развития коронки. Как и можно было предположить, наиболее высокая метаболическая активность отмечена в области слоя одонтобластов.
- В дополнение к обычному гликолитическому пути, пульпа обладает способностью вырабатывать энергию по фосфоглюконатному (пентозофосфатный шунт) пути метаболизма углеводов, что указывает на возможность ее функционирования при ишемии различной степени. Этим можно объяснить то, как пульпа справляется с периодами сужения сосудов, наступающими после инфильтрации анестезии с использованием адреналинсодержащих местных анестетиков.

МЕТАБОЛИЗМ

- Было показано, что некоторые, часто применяемые стоматологические материалы (например, эвгенол, цинкоксид-эвгенол, гидроокись кальция, серебряная амальгама) снижают потребление кислорода тканью пульпы. Это свидетельствует о том, что эти вещества могут угнетать метаболическую активность клеток пульпы. В одном исследовании установлено, что приложение ортодонтической тяги к премолярам человека на 3 дня приводило к снижению дыхательной активности пульпы на 27% .

ОСНОВНОЕ АМОРФНОЕ ВЕЩЕСТВО

- Соединительная ткань представляет собой систему, состоящую из клеток и волокон, причем оба эти компонента погружены в основное вещество, которое заполняет промежутки между ними. Клетки, вырабатывающие волокна соединительной ткани, синтезируют и главные компоненты основного вещества. В то время как волокна и клетки пульпы обладают узнаваемой формой, основное вещество именуется аморфным. Обычно оно описывается как гель, а не как золь, поэтому оно, как считают, отличается от тканевой жидкости. Поскольку основное вещество содержит полисахариды с многочисленными электрическими зарядами, оно определяет способность соединительных тканей удерживать воду.

ОСНОВНОЕ АМОРФНОЕ ВЕЩЕСТВО

- Основное вещество действует также как молекулярное сито, поскольку оно не пропускает большие белки и мочевины. Клеточные метаболиты, питательные вещества и продукты обмена проходят через основное вещество между клетками и кровеносными сосудами.

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ВОЛОКНА ПУЛЬПЫ

- В пульпе выявляются два типа структурных белков: коллаген и эластин. Однако эластические волокна находятся только в стенках артериол. Коллаген I типа находится в коже, сухожилиях, костях, дентине и пульпе. Коллаген II типа встречается в хрящах.
- . Коллаген III типа выявляют в большинстве видов неминерализованных соединительных тканей Эта форма коллагена выявляется в зубном сосочке плода и в зрелой пульпе. Коллагены IV и VII типов являются компонентами базальных мембран.
- Коллаген V типа входит в состав интерстициальных тканей.
- Коллаген I синтезируется одонтобластами и остеобластами; фибробласты вырабатывают коллагены I, III, V и VII типов

СОЕДИНИТЕЛЬНОТКАННЫЕ ВОЛОКНА ПУЛЬПЫ

- Наибольшая концентрация пучков крупных коллагеновых волокон обычно обнаруживается вблизи верхушки корня (периапикально). По этой причине рекомендовано при пульпэктомии захватывать пульпу экстрактором в области верхушки, что обычно лучше всего позволяет удалить ее без разрывов.



ИННЕРВАЦИЯ

- Зуб иннервируется большим количеством миелиновых и безмиелиновых нервных волокон. (Количество аксонов, проникающих в премоляр человека, может достигать 200 и даже превышать это число).
- Независимо от характера сенсорной стимуляции (например, изменения температуры, механической деформации, повреждения тканей), почти все афферентные импульсы из пульпы вызывают ощущение боли. Между тем, если на пульпу оказывается слабое стимулирующее воздействие электрическим тестером пульпы, можно вызвать ощущения, не связанные с болью.

- Иннервация пульпы осуществляется как *афферентными нейронами*, проводящими сенсорные импульсы, так и *автономными (вегетативными) волокнами*, которые обеспечивают нейрогенную регуляцию микроциркуляции и, возможно, контролируют дентиногенез.
- Помимо сенсорных нервов, вместе с кровеносными сосудами во время формирования сосудистой системы в зубном сосочке появляются симпатические нервные волокна из верхнего шейного ганглия. В зрелом зубе симпатические волокна формируют сплетения, обычно вокруг артериол пульпы. Стимуляция этих волокон вызывает сужение артериол и снижение кровотока. В тесной связи с одонтобластами обнаружены как адренергические, так и холинергические волокна.

- Клеточные мембраны отростка одонтобласта и нервного волокна сильно сближаются и идут параллельно по всей длине, однако между ними не имеется синаптической связи. Однако исследователи не смогли обнаружить синаптические контакты, которые функционально соединяли бы одонтобласты и нервные волокна. Что касается мембранных свойств одонтобластов, то были получены данные о том, что мембранный потенциал одонтобластов низкий (около — 30 мВ) и что они не реагируют на электрическую стимуляцию. Таким образом, можно заключить, что одонтобласт не обладает свойствами возбудимой клетки. Более того, чувствительность дентина не уменьшается после разрушения слоя одонтобластов.

- Большой клинический интерес представляет тот факт, что нервные волокна пульпы относительно устойчивы к некрозу. Это, по-видимому, происходит вследствие того, что нервные пучки вообще более устойчивы к аутолизу, чем другие тканевые элементы. Даже в дегенерирующей пульпе С-волокна все еще сохраняют способность отвечать на стимуляцию. Более того, возможно, что С-волокна остаются возбудимыми и после нарушения кровотока в патологически измененной пульпе, потому что они часто способны функционировать даже при гипоксии. Этим может объясняться тот факт, почему инструментальная обработка корневых каналов в явно нежизнеспособных зубах иногда вызывает болевые ощущения.

Тестирование пульпы

- Электрический тестер пульпы дает ток, достаточный для того, чтобы преодолеть сопротивление эмали и дентина и стимулировать чувствительные А-волокна в зоне пульпарно-дентинной границы. С-волокна пульпы не реагируют на стимуляцию обычным тестером пульпы, потому что для их стимуляции требуется значительно больший ток. Было обнаружено, что в передних зубах оптимальным местом помещения электрода является их режцовый край, поскольку порог реакции наиболее низок в этой локализации и повышается по мере перемещения электрода в направлении шейечной области зуба.

Тестирование пульпы

- Холодовые тесты с использованием двуокиси углерода (CO_2), снега или жидких охлаждающих веществ и тепловые тесты с применением нагретой гуттаперчи или горячей воды активируют гидродинамические силы внутри дентинных трубочек, которые, в свою очередь, возбуждают внутризубные А-волокна. С-волокна не активируются при таких тестах, если только они не вызывают повреждения пульпы. Показано, что холодные тесты не повреждают пульпу. Тепловые тесты в большей степени способны вызвать повреждение пульпы, однако если эти тесты проводятся правильно, повреждение маловероятно.

Чувствительность дентина

- Основным фактором в возникновении боли является движение жидкости в дентинных трубочках. В настоящее время считается, что все вызывающие боль раздражители, такие как тепло, холод, потоки воздуха и зондирование кончиком инструмента, обладают общим механизмом действия — стимулируют движение жидкости в трубочках." Эти представления получили наименование гидродинамического механизма чувствительности дентина. Таким образом, движение жидкости в дентинных трубочках преобразуется в электрические сигналы чувствительными рецепторами, расположенными внутри трубочек или в подлежащем слое одонтобластов

Чувствительность дентина

- Обнаружено также, что ток жидкости, направленный кнаружи, вызывает значительно более сильную нервную реакцию, чем ток, направленный внутрь. Тепло вызывает расширение жидкости в трубочках, заставляя ее двигаться к пульпе, тогда как под влиянием холода жидкость сжимается и движется кнаружи. Быстрое движение жидкости через клеточную мембрану чувствительного рецептора деформирует ее и активирует рецептор. В случае с нервными волокнами пульпы, которые активируются гидродинамическими силами, давление увеличивает поток ионов натрия и калия через активируемые давлением каналы, вызывая тем самым, генерируемые потенциалы.

Чувствительность дентина

- Дентинная трубочка (каналец) представляет собой капиллярную трубочку с очень маленьким диаметром.* Поэтому в дентинных трубочках хорошо выражены эффекты капиллярности, так как чем меньше просвет капилляра, тем сильнее капиллярный эффект. Поэтому если жидкость удаляется из наружного конца обнаженных трубочек путем высушивания поверхности дентина потоком воздуха или абсорбирующей бумагой, капиллярные силы вызовут в трубочке быстрое движение жидкости кнаружи (рис. 11-34), высушивание дентина теоретически может вызвать движение дентинной жидкости кнаружи со скоростью 2—3 мм в секунду. Кроме потоков воздуха, боль при попадании на обнаженный дентин могут вызывать дегидратирующие растворы, содержащие гиперосмолярные концентрации сахарозы или хлорида кальция.

Чувствительность дентина

- Было также показано, что вызывающие боль стимулы легче передаются с поверхности дентина тогда, когда устья обнаженных трубочек широкие и находящаяся внутри них жидкость может свободно двигаться кнаружи. Другими исследователями установлено, например, что кислотное протравливание обнаженного дентина для удаления аморфного слоя открывает устья трубочек и резко повышает чувствительность дентина к таким раздражителям, как движение потоков воздуха и зондирование.
- "Чтобы правильно оценить размеры дентинных трубочек, следует помнить, что их диаметр намного меньше, чем у эритроцитов
- "Приложение силы в 10 г на зонд с диаметром кончика 0.005 см вызывает давление около 500 кг на квадратный сантиметр дентина

Чувствительность дентина

- Учитывая высокую плотность расположения трубочек, в которых при зондировании будут возникать гидродинамические силы, при этом одновременно стимулируются тысячи нервных окончаний, вызывая таким образом кумулятивный эффект.
- Гидродинамическая теория применима также для объяснения механизма, ответственного за гиперчувствительность дентина. Последняя связана с обнажением дентина, который в норме покрыт цементом. Тонкий слой цемента часто исчезает при рецессии десны, когда обнаженный цемент начинает подвергаться воздействию внешних факторов ротовой полости. Цемент впоследствии еще более снашивается при чистке зубов щетками или межзубных промежутков нитью, а также при использовании зубочисток. Обнаженный таким образом дентин реагирует на те же раздражители, что и любая обнаженная поверхность дентина (т.е. на механическое давление, дегидратирующие средства).

Чувствительность дентина

- Хотя сначала дентин может быть очень чувствительным, в течение нескольких недель его чувствительность уменьшается. Эта потеря чувствительности, как считается, происходит в результате постепенной закупорки трубочек минеральными отложениями, что снижает действие гидродинамических сил. Кроме того, отложение репаративного дентина поверх пуль парных концов вскрытых трубочек также, вероятно, снижает его чувствительность. В настоящее время лечение гиперчувствительных зубов направлено на снижение функционального диаметра дентинных трубочек для ограничения движения жидкости. Для того, чтобы достичь этой цели, можно применить четыре возможных варианта лечения:

Чувствительность дентина

- Формирование аморфного слоя на поверхности чувствительного дентина посредством полировки обнаженной поверхности корня.
- Использование ряда веществ, таких как соединения оксалата, которые формируют нерастворимые преципитаты внутри дентинных трубочек.
- Пропитывание дентинных трубочек пластическими смолами.
- Использование дентин-связывающих агентов для того, чтобы закупорить дентинные трубочки
Чувствительность дентина можно изменить посредством лазерного облучения. Однако клиницисты должны относиться к нему настороженно из-за его влияния на пульпу.

Чувствительность дентина

- Другим примером влияния мощных гидродинамических сил, возникающих в дентинных трубочках, является феномен смещения одонтобластов. В ходе этой реакции тела одонтобластов смещаются вверх, в дентинные трубочки, по-видимому, за счет быстрого движения жидкости в трубочках, вызванного высушиванием обнаженного дентина, как это происходит при использовании воздуха или средств, высушивающих полость (рис. 11-35). Подобное смещение приводит к гибели одонтобластов, поскольку поврежденные таким образом клетки вскоре подвергаются аутолизу и исчезают из трубочек. (Смещенные одонтобласты могут, в конечном итоге, заменяться клетками, мигрирующими из богатой клетками зоны пульпы)

Нейропептиды

- Исключительно большой интерес в настоящее время вызывает присутствие нейропептидов в чувствительных нервах. Пульпарные нервные волокна содержат нейропептиды — такие, как пептид, связанный с кальцитониновым геном (ПСКГ, или CGRP — от англ. Calcitonin Gene Related Peptide), вещество P (SP — от англ. Substance P), нейропептид Y, и нейрокинин A, и вазоактивный интестинальный полипептид (VIP — Vasoactive Intestinal Polypeptide). В молярах крысы самая крупная группа чувствительных внутризубных волокон содержит CGRP. Некоторые из этих волокон содержат также и другие пептиды, такие как SP и нейрокинин A.

Нейропептиды

- Выделение этих пептидов может вызываться различными факторами, такими как повреждение тканей, активация комплемента, реакции антиген-антитело и антидромная стимуляция нижнего альвеолярного нерва. Выделяясь, вазоактивные пептиды обуславливают сосудистые изменения, сходные с теми, что вызываются гистамином и брадикинином (т.е. вазодилатацию). В дополнение к своим нейроваскулярным свойствам, SP и CGRP обуславливают повышенную болевую чувствительность и принимают участие в обеспечении заживления ран. Механическое раздражение дентина вызывает расширение сосудов внутри пульпы, вероятно, вследствие индукции выделения нейропептидов из внутризубных чувствительных нервных волокон. Аналогичный эффект дает электрическая стимуляция зуба

Пластичность внутризубных нервных волокон

- Иннервация зуба представляет собой динамический комплекс, в котором количество, размеры и цитохимические свойства нервных волокон могут меняться в соответствии с возрастом, повреждением зуба и кариесом зуба. Например, нервные волокна отдают тонкие ветви, которые врастают в воспаленную ткань, окружающую участки повреждения пульпы, причем содержание CGRP и SP увеличивается в этих ветвящихся и растущих волокнах. Когда воспаление спадает, происходит уменьшение и количества этих растущих волокон.



- Иммуноцитохимически выявляется исключительно активное разрастание нервов в пульпе зуба чело века в области под кариозным поражением (верх) и одновременное увеличение содержания дендритных клеток $\times 13$ в том же участке, что показан сверху. Сочетанное увеличение содержания пульпарных нервных волокон и дендритных кпеток может указывать на нейроиммунное взаимодействие (Любезно предоставлено Dr Kazuo Sakurai University, Tokyo Medical and Dental University)

Пластичность внутризубных нервных волокон

- . Регуляция таких изменений, по-видимому, зависит от фактора роста нервов (ФРН, NGF — от англ. Nerve Growth Factor). Рецепторы ФРН обнаружены на внутризубных чувствительных волокнах и шванновских клетках. Получены данные о том, что ФРН синтезируется фибробластами в субдонтотластической зоне коронки (т.е. в богатой клетками зоне), в особенности, в верхушках рогов пульпы. Максимальное разрастание нервных волокон, содержащих CGRP и SP, соответствует тем участкам пульпы, где усиленно вырабатывается ФРН. На рис. (верх) показано резко выраженное разрастание нервных волокон под кариозным поражением в зубе человека. Одновременно в этом же участке отмечено резкое увеличение содержания дендритных клеток (низ). Это сочетанное увеличение содержания пульпарных нервов и дендритных клеток может отражать нейроиммунные взаимодействия."

Повышенная болевая чувствительность

- Тремя характеристиками повышенной болевой чувствительности (гипералгезии) являются:
- (1) спонтанная боль.
- (2) сниженный болевой порог
- (3) усиленная реакция на болевую стимуляцию.
- Считается, что повышенная болевая чувствительность может быть вызвана длительно текущим воспалением, как это происходит, например, в случае с кожей после солнечного ожога. Клиническими наблюдениями замечено, что чувствительность дентина часто увеличивается, когда в подлежащей пульпе развивается острое воспаление, причем провести анестезию такого зуба становится труднее. Хотя точное объяснение гипералгезии отсутствует, вероятно, важную роль в ее развитии играют локальные повышения тканевого давления, которые сопровождают острое воспаление

Повышенная болевая чувствительность

- Хорошо известно, что когда вскрывается пульпарная камера болезненного зуба с абсцедированной пульпой, отток гноя вскоре вызывает снижение интенсивности боли. Этот факт указывает на то, что давление может способствовать повышенной болевой чувствительности. В дополнение к этому, некоторые медиаторы воспаления (например, брадикинин, 5-гидрокситриптамин (5-ГТ), простагландин A_2) способны вызывать гипералгезию. Так, 5-ГТ и CGRP могут повышать чувствительность внутризубных нервных волокон к таким раздражителям, обуславливающим гидродинамические процессы, как охлаждение, поток воздуха и осмотическая стимуляция. Безмиелиновые волокна активируются рядом медиаторов воспаления. Брадикинин, например, при помещении в глубокую полость в зубе человека вызывает тупую, ноющую боль.

Повышенная болевая чувствительность

- Известно, что в нормальной пульпе имеется много «молчащих» нервных волокон, не дающих нервной импульсации и не возбуждающихся под влиянием обычных раздражителей. Однако после того, как они сенсibiliзируются в результате воспаления пульпы, они начинают реагировать на гидродинамическую стимуляцию. Это явление может играть роль в развитии гиперчувствительности деитина.

Болевая реакция, связанная с воспалением пульпы

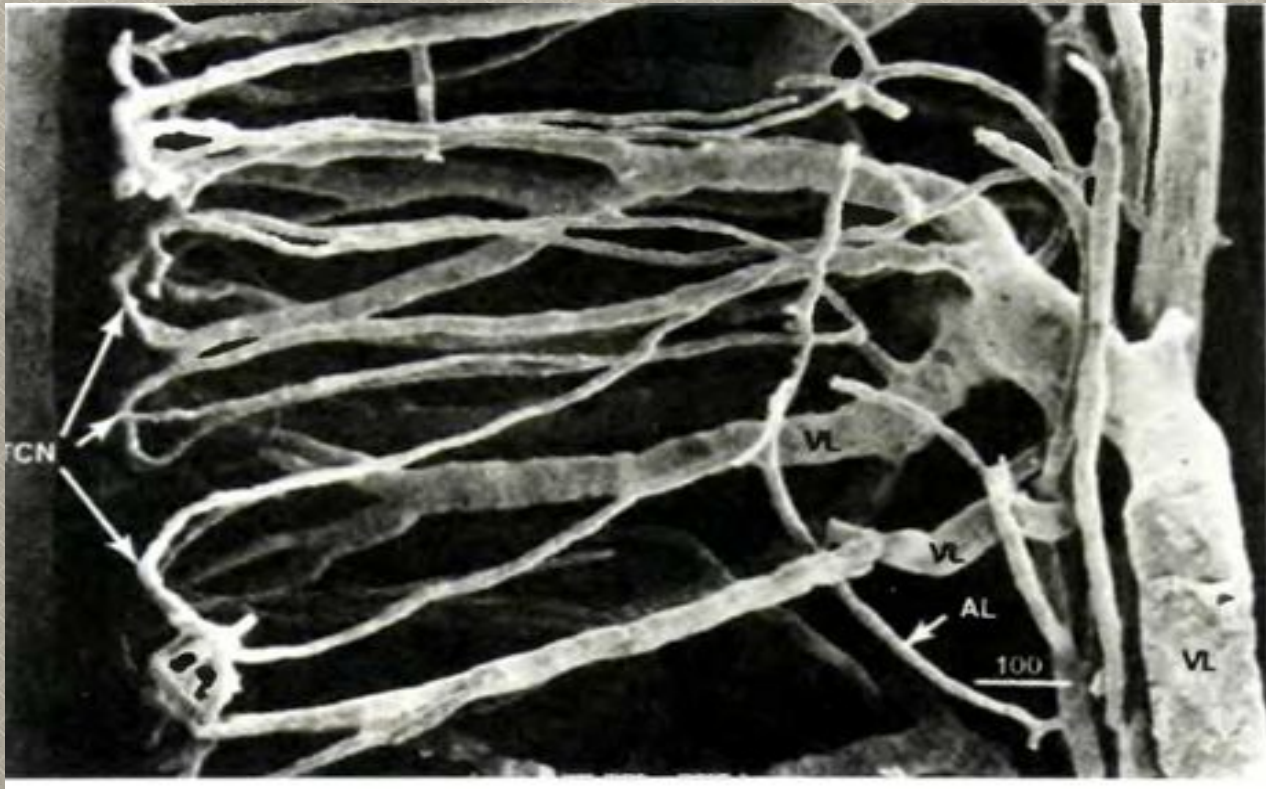
- Из вышеизложенного очевидно, что боль, связанная со стимуляцией А-волокон, не обязательно означает, что пульпа воспалена или что имеется повреждение ее тканей. А-волокна имеют относительно низкий порог возбудимости, и более вероятно, что боль при пульпите связана с ноцицептивной активностью С-волокон. (Ноцицептивное волокно проводит боль и реагирует на стимулы, способные вызывать повреждение тканей.) Прежде чем поставить диагноз болезненного пульпита, клиницист должен внимательно обследовать болезненный зуб, чтобы исключить возможность гиперчувствительности дентина, трещин или проницаемых пломб, или перелом зуба, поскольку каждое из этих состояний может вызывать гидродинамические силы.

Болевая реакция, связанная с воспалением пульпы

- Боль, связанная с воспалением или дегенерацией пульпы, может быть спровоцированной или спонтанной. При гипералгезии пульпа реагирует на раздражения, обычно не вызывающие боли, либо боль усиливается и дольше сохраняется. С другой стороны, зубная боль может возникнуть спонтанно, без воздействия каких-либо внешних раздражителей. Не получено удовлетворительного объяснения тому, почему пульпа, будучи воспаленной, но не давая симптоматики неделями или месяцами, внезапно начинает вызывать болевые ощущения в 3 часа утра. Такая неспровоцированная боль обычно проявляется в виде тупого, ноющего, трудно локализуемого ощущения, которое качественно отличается от кратковременного острого, точно локализованного ощущения связанного с гидродинамическим движением жидкости в дентинных трубочках.

КРОВОСНАБЖЕНИЕ

- Кровь поступает в зуб из зубной артерии через артериолы диаметром 100 мкм и меньше. Эти сосуды проходят через апикальное отверстие или отверстия вместе с пучками нервных. Более мелкие сосуды могут проникать в пульпу через латеральные, или добавочные каналы. Артериолы идут вверх по центру корневой пульпы и отдают ветви, которые распространяются латерально к слою одонтобластов, под которым они ветвятся, формируя капиллярное сплетение. Проходя через коронковую пульпу, артериолы веерообразно расходятся по направлению к дентину, уменьшаются в размере и в субодонтобластической области образуют капиллярную сеть. Эта сеть является богатым источником питательных веществ, обеспечивающим одонтобласты.



- Субодонтобластическая терминальная капиллярная сеть (ТСН), артериолы (AL) и венулы (VL) в пульпе молодого клыка. Дентин располагается у левого края, а центральная часть пульпы - у правого края снимка. Длина масштабной линейки - 100 мкм.

КРОВОСНАБЖЕНИЕ

- Капиллярный кровоток в коронковой части пульпы почти в два раза превышает таковой в корневой части пульпы. Более того, кровоток в области рогов пульпы больше, чем в любых других ее участках. В молодых зубах капилляры обычно протягиваются в слой одонтобластов, обеспечивая тем самым адекватный приток питательных веществ для метаболически активных одонтобластов. Субодонтобластические капилляры окружены базальной мембраной, и иногда в их стенках наблюдаются фенестрации (поры). Считается, что эти фенестрации обеспечивают быструю транспортировку жидкости и метаболитов от капилляров к прилежащим одонтобластам. Из капиллярного сплетения кровь оттекает сначала в посткапиллярные венулы (см. рис. 11-41) (рис. 11-43), а затем во все более крупные венулы.