

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ
ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

КАФЕДРА ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ

И.К. Луцкая, Н.В. Новак, О.Г. Зиновенко

**ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В СТОМАТОЛОГИИ**

Учебно - методическое пособие

Минск БелМАПО

2014

УДК 616.31 – 073(075.9)

ББК 56.6я73

Л 86

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
УМС Белорусской медицинской академии последипломного образования
протокол №7 от 11 декабря 2013 г.

Авторы:

д.м.н., профессор, зав. кафедрой терапевтической стоматологии *И.К. Луцкая*

д.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии *Н.В. Новак*

к.м.н., ассистент кафедры терапевтической стоматологии *О.Г. Зиновенко*

Рецензенты:

д.м.н., профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии БГМУ

С.А. Наумович

кафедра хирургической стоматологии БГМУ

Луцкая И.К.

Л 86

Физические методы научных исследований в стоматологии:
учеб.-метод. пособие /И.К. Луцкая, Н.В. Новак. О.Г. Зиновенко -
Минск: БелМАПО, 2014.- 39 с.

ISBN 978-985-499-770-4

В учебно-методическом пособии изложены основные методы изучения состояния твердых тканей зуба (методики подготовки зубов к исследованию, изготовление шлифов, декальцинация твердых тканей зуба, методы исследования в оптической и электронной микроскопии), а также описаны способы изучения адгезионного взаимодействия тканей зуба и композиционных материалов. Данные методического пособия основаны на результатах научных исследований сотрудников кафедры.

Учебно-методическое пособие предназначено для обучения аспирантов, докторантов, соискателей ученых степеней.

УДК 616.31 – 073(075.9)

ББК 56.6я73

ISBN 978-985-499-770-4

© Луцкая И.К., Новак Н.В.,

Зиновенко О.Г., 2014

© Оформление БелМАПО, 2014

Проведение научных исследований, посвященных изучению твердых тканей зубов, таких, как гистологическое строение, морфология, оптические свойства, микротвердость и др., вызывает затруднения у молодых ученых, впервые ставящих эксперимент. В то же время данное направление развивается сотрудниками кафедры терапевтической стоматологии БелМАПО на базе институтов Академии наук Беларуси более десятка лет. Отработаны методики проведения научных исследований, получены новые данные в области гистологии интактных и пораженных патологическим процессом твердых тканей.

1 ИЗУЧЕНИЕ ГИСТОЛОГИИ ЗУБА

1.1 Общие положения

Исследование структуры твердых тканей и пульпы зуба осуществляют методами оптической и электронной микроскопии. Правильный выбор микроскопа, его эффективное использование требует знания свойств изучаемого образца, существующих методов исследования, характера информации, которую необходимо получить о данном объекте, а также понимание конструкции микроскопа и его возможностей. При этом одни методы дополняют другие: образцы изучаются сначала на малых увеличениях оптического микроскопа, что позволяет затем легко находить участки для больших увеличений в электронном. Сравнительная доступность и простота работы с оптическим микроскопом позволяет исследовать большое число образцов.

Уникальные оптические свойства твердых тканей лежат в основе изучения структуры эмали и дентина. Имеющиеся на поверхности эмали выпуклости или вогнутости, впадины, изменяют угол отражения и направление отраженных лучей, что позволяет оценить и описать объемные характеристики зуба. Так, ахроматический (белый) свет, отражаясь от поверхностных образований зуба, дает в оптическом микроскопе сложную морфологическую

картину. В каждом отдельном случае полученный рисунок рельефа данной поверхности зависит от кратности увеличения. Малые увеличения (10-20 крат) позволяют точнее оценить макроструктуры – форму и анатомические образования. Речь идет о характеристике сторон, углов и поверхностей зуба, степени выраженности различных признаков (геометрической формы кривизны, угла), бугристости, а также возрастных особенностей (зубцы на режущем крае резцов, или, наоборот, стертая поверхность). Большие увеличения (100-300 раз) обеспечивают возможность оценить микрорельеф поверхности зуба: перикиматии, борозды, трещины, а также соотношение твердых тканей и общее строение зуба (рис. 1, 2). В оптическом микроскопе хорошо различимы головки эмалевых призм. Таким образом, оптические эффекты позволяют оценить рельеф, т.е. формы и размеры отдельных структур зуба. Аналогично ведут себя лучи света, взаимодействуя с поверхностью сколов зубов: лучи, отражающиеся от элементов структуры под разными углами, формируют рисунок рельефа – «ребристость», создаваемую сколами вдоль эмалевых призм или дентинных трубочек.

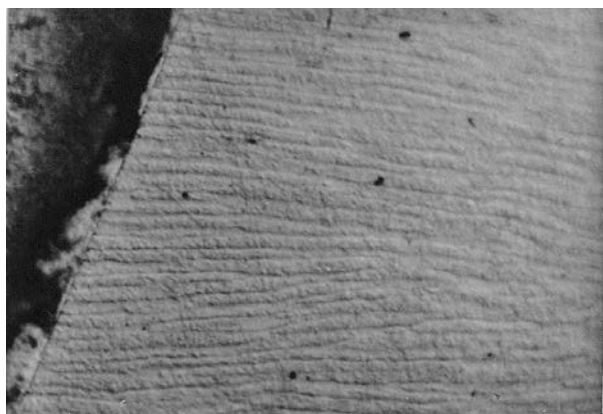


Рисунок 1. Шлиф зуба по ходу эмалевых призм (ОМ. Ув. 660). Тела призм представляют собой широкие полосы, а отростки – узкие. На поверхности эмали определяется налет

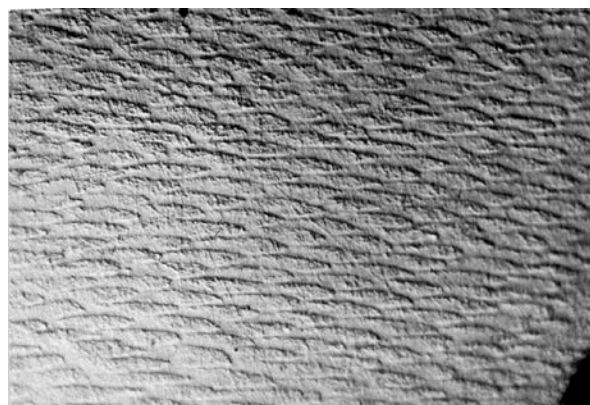


Рисунок 2. Шлиф эмали под углом к ходу призм (ОМ. Ув. 660) Эмалевые призмы имеют характерный рисунок «паркета»

Принципиально отличаются механизмы формирования морфологической картины на прозрачных шлифах при изучении эмали и дентина в проходящем свете. Ультратонкие шлифы пропускают лучи света, которые преломляются

под определенным углом в зависимости от расположения и степени минерализованности ультраструктур (например, сердцевина призм более минерализована, чем периферия, отличается по уровню минерализованности околотрубчатый и межтрубчатый дентин). Эмаль может выглядеть практически прозрачной, полностью пропуская лучи, а дентин – темным, вследствие поглощения света.

Рисунок структурных элементов, полученный в отраженном свете с односторонних шлифов, формируется совокупностью лучей, отраженных от поверхности и от более глубоких слоев, феноменом рассеивания света, а также поглощенных волн.

Исследование твердых тканей зуба определяет особое внимание к выбору конкретных методов микроскопии. Данное обстоятельство обусловлено тем, что кристаллы, являясь анизотропными объектами, характеризуются двойным лучепреломлением в специальных оптических устройствах. Поэтому широкое применение нашли поляризационные микроскопы (предварительная подготовка образца заключается в пропитке зуба определенными составами).

1.2 Оптическая микроскопия

Применение оптических микроскопов не требует предварительной пропитки тканей и позволяет при этом выявить участки объекта как с малыми, так и большими градиентами показателя преломления света. В результате распределение освещенности не зависит от формы и размеров объекта, что обеспечивает высокий контраст изображения, большой диапазон увеличений, возможность изучать как тотальный препарат, так и его детали (рис. 1-2). При использовании призмы Номарского (метод интерференционного контраста) объектив оптического устройства формирует систему цветных полос разной ширины, локализованную на поверхности изучаемого объекта. В монохроматическом свете интерференционный микроскоп может давать как черно-белое, так и цветное изображение. Детали объекта, вызывающие разные

сдвиги фаз в проходящей через них световой волне, проявляются с неодинаковым контрастом. В результате изображение объекта получается разноцветным. Чтобы по всему полю зрения микроскопа наблюдалась равномерная окраска, интерференционные полосы делают достаточно широкими. При этом меняется цвет изображения элементов структуры в зависимости от их высоты.

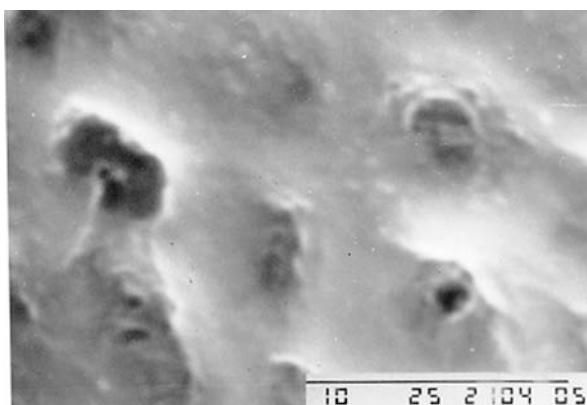
1.3 Электронная микроскопия

Возможности детального изучения структуры тканей зуба значительно расширяются с применением электронных микроскопов, дающих увеличение до сотен тысяч раз, благодаря использованию основных физических явлений, происходящих при взаимодействии потока электронов с объектом.

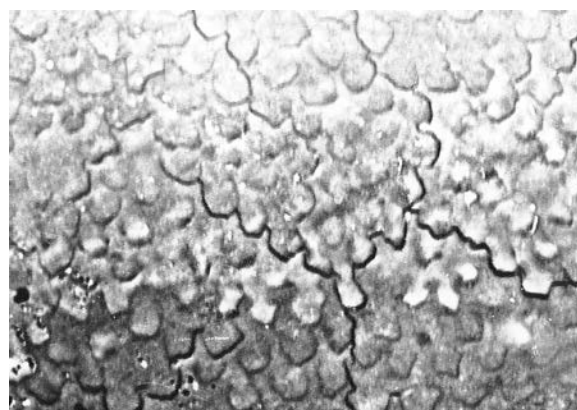
Поверхность эмали зубов может изучаться в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ), для чего используются интактные зубы, удаленные по ортодонтическим и иным показаниям у людей различного возраста, а также секционный материал. Зубы промываются в проточной воде с мылом, фиксируются в 5% нейтральном формалине или глутаральдегиде и высушиваются на воздухе. Алмазным диском коронка отделяется от корней, образец фиксируется специальным клеем на предметном столике.

Внутреннее строение эмали и дентина изучают на шлифах, изготавливаемых после фиксации, обезжиривания, обезвоживания и заливки в специальные среды с целью сохранения структуры во время последующих манипуляций. Заливочные среды должны обладать минимальной усадкой и отверждаться при температуре, не разрушающей образец; иметь вязкость, обеспечивающую хорошую пропитку пор и трещин, в отвержденном состоянии иметь микротвердость, близкую к микротвердости минерализованных тканей, что предотвращает завалы на поверхности, царапины, неравномерности шлифовки. Наиболее приемлемыми в этом плане являются эпоксидные смолы и композиционные материалы.

Поскольку в ходе шлифования поверхностные слои подвергаются возмущающим механическим воздействиям, необходимо удалить деформированный слой одним из возможных способов. Обычно с этой целью применяют материаловедческий прием травления кислотой. Предложена методика травления поверхности образца в плазме безэлектродного высокочастотного газового разряда кислорода (Способ исследования эмали зуба: а. с. 1426543 СССР ; МПК А 61 В 10/00 , G 01 N1/32G 01 N33/483 / И.К. Луцкая, Л.И. Безрук ; № 3860413 ; 1988). Данный способ усиливает рельеф поверхности, воздействуя на различия в плотности вещества (кристаллические или аморфные области), на молекулярную ориентацию к фронту травящего агента (вдоль, поперек, под углом), прочность ковалентных связей между атомами и плотность таких связей. В результате травления усиливается морфологический рельеф поверхности, при этом структура выявляемых образований не нарушается (рис. 3).



а



б

Рисунок 3. Поверхность эмали полуретинированного зуба, покрытая пелликулой (СЭМ. Ув. 3 500): определяются микропоры в виде ниш с пологими или обрывистыми краями (а). Эмаль зуба после кислотного травления (СЭМ. Ув. 2 000): границы пучков призм представляют собой ломаную линию, окаймляющую головки 20-30 призм (б)

Возможность выполнения шлифа в различных направлениях позволяет получить пространственное представление о структуре изучаемых тканей. Шлиф высокого качества с последующим травлением в плазме безэлектродного высокочастотного газового разряда кислорода обеспечивает

высокий контраст изображения в большом диапазоне увеличений, ограниченных практически разрешающей способностью микроскопической техники.

Для исследования шлифа в трансмиссионном электронном микроскопе (ТЭМ) отделяют углеродные реплики с его поверхности. Для этого растопленный на водяной бане желатин стеклянной палочкой наносят на участки зуба, предварительно изученные в оптическом микроскопе. Через 5-6 часов после затвердения желатин отделяют при помощи скальпеля и пинцета

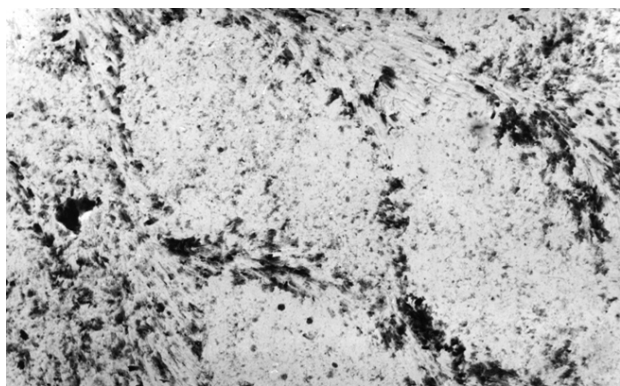


Рисунок 4. Поперечный шлиф эмали. ТЭМ. Ув. 20 000. Отчетливо определяется граница эмалевой призмы благодаря различному направлению кристаллов в центре и по периферии головки призмы

вместе с предварительно напыленной углеродной пленкой и помещают в растворитель роданистый калий. После растворения желатина реплику вылавливают на сеточку, отмывают в дистиллированной воде и исследуют на просвет в трансмиссионном микроскопе (ТЭМ) при увеличениях от нескольких тысяч до сотен тысяч крат (рис. 4).

Пульпу исследуют в проходящем свете на срезах декальцинированных зубов, предварительно зафиксированных и окрашенных в соответствии с целью изучения.

Приводим пример исследования в электронном микроскопе интактного дентина.

Исследование **микроструктуры интактного дентина** показало, что дентинные трубочки (канальцы) протягиваются от пульпы к области эмалево-дентинной и дентин-цементной границ. Дентинные канальцы окружены околотрубочковым (перитубулярным) дентином – плотной, высокоминерализованной тканью. Между трубочками находятся интертубулярный (межтрубочковый) дентин, который состоит из

минерализованного коллагена. Дентинные трубочки пронизывают всю толщину дентина от пульпы до эмали, делая небольшой изгиб по длине, и занимая до 30% всей коронковой части: в периферических отделах 10%, а в околопульпарных – 80% объема дентина. Количество дентинных канальцев составляет соответственно 15 000 на мм² в плащевом (периферическом) дентине и 75 000 на мм² площади околопульпарного дентина. Диаметр дентинных трубочек достигает 2-5 мкм, сужаясь по направлению от центра зуба (пульпо-дентинной границы) к эмалево-дентинному соединению.

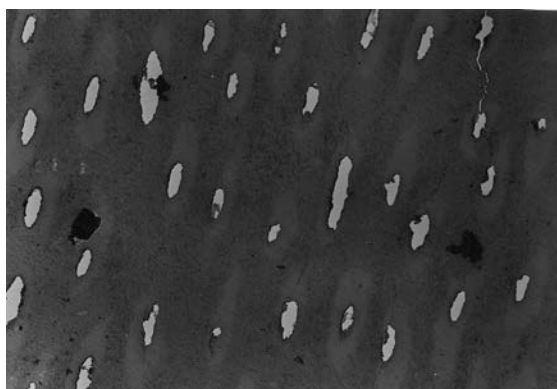


Рисунок 5. Дентинные трубочки на поперечном шлифе (ТЭМ. Ув. 2 000)

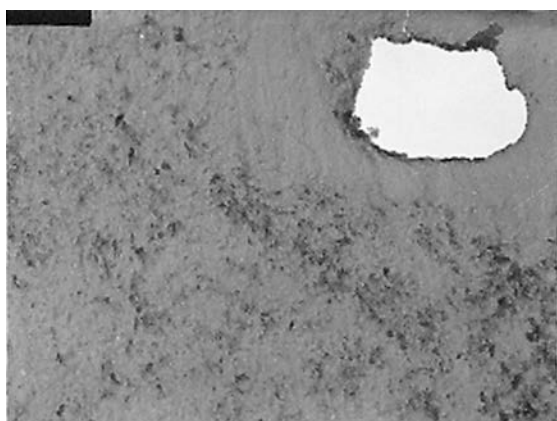


Рисунок 6. Плотность перитубулярного и интертубулярного дентина (ТЭМ. Ув. 2 000)

дентин.

Дентинные трубочки на поперечном шлифе имеют округлую или овальную форму. Края их гладкие или неровные, как следствие процессов де- и реминерализации, в которых участвовал перитубулярный (околотрубочковый) дентин (рис. 5). В дентинных трубочках, заполненных зубным ликвором, содержатся длинные отростки одонтобластов, занимая до 2/3 их длины, встречаются также коллагеновые волокна. Иногда обнаруживают обтурированные канальцы, количество которых с возрастом значительно увеличивается. Природа вещества, запечатывающего трубочки, чаще минерального происхождения – внутритрубочковый (интратубулярный)

Изучение структуры основного вещества дентина в электронном микроскопе выявляет большую плотность (минерализованность)

околотрубчатого (перитубулярного) дентина по сравнению с межтрубчатым (интертубулярным) во всех возрастных периодах (рис. 6).

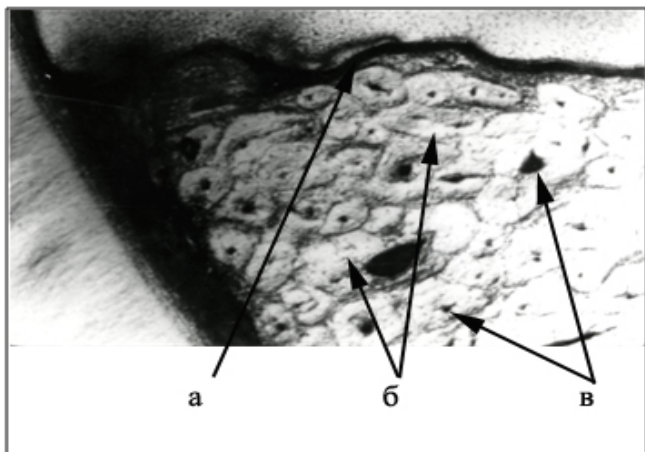


Рисунок 7. Шлиф недекальцированной кости альвеолярного отростка (ОМ. Ув. 300):
а – компактная пластинка, **б** – остеон;
в – каналы остеонов

Исследование структуры альвеолярной недекальцированной кости также возможно методом изготовления шлифа (рис. 7). Хорошо сохраняется компактная пластинка (рис. 7а) и губчатое строение в виде отдельных костных балочек – остеонов (рис. 7б). Четко определяются каналы остеонов (рис. 7в).

1.4 Исследование структуры эмали зуба после препарирования

Для изучения поверхности эмали после препарирования зубы промывают в проточной воде с мылом, фиксируют в 5% формалине и высушивают на воздухе. Алмазным диском коронку отделяют от корней. Полученный образец заливают в эпоксидную смолу, после чего на вестибулярных и щечных поверхностях зубов делают односторонние шлифы на уровне эмали.

Все образцы разделяют на 3 группы. На изготовленных шлифах алмазным бором препарируют скос эмали. В первой группе скос эмали выполняют тонкозернистым бором с желтой маркировочной полосой, соответствующей очень малой степени зернистости – 20 мкм. Во второй группе используют мелкозернистые боры с красной маркировочной полосой и степенью зернистости 40-50 мкм. В третьей группе препарирование проводят среднезернистыми борами с синей маркировочной полосой, соответствующей размеру алмазной крошки 100-120 мкм. После препарирования шлифов на 1/2 обработанной поверхности эмали наносят травильный кислотный гель, через 60 секунд его смывают водой и образец просушивают воздухом. Структуру твердых тканей зуба изучают в сканирующем электронном микроскопе при

увеличении в 500, 1 000 и 2 000 раз. Исследуют зоны эмали, обработанные бором, до и после препарирования и травления. Площадь травления изучают на фотографиях при увеличении в 500 раз. Для этого цифровую фотографию обрабатывают в программе Adobe Photoshop, при этом выделяют равномерно протравленные области и непротравленные участки эмали. Затем в программе Adobe Photoshop CS4 EXTENDED вычисляют площадь темных зон, не подвергшихся травлению, и общую площадь изображения. Площадь равномерно протравленной эмали равна общей площади изображения за вычетом непротравленных участков.

Результаты **исследования поверхности эмали, обработанной бором** с размером алмазной крошки 100-120 мкм, представлены на рисунке 8. При увеличении в 500 раз наблюдают глубокие борозды, покрытые обломками кристаллов гидроксиапатитов, при этом рельеф поверхности неравномерный с участками западения в виде темных полос (рис. 8а). После воздействия кислотного геля в течение 60 секунд на поверхности такой эмали определяют матовые участки, соответствующие площади контакта с травящим агентом. На поперечных ходу призм шлифах отчетливо виднеются их головки. Чаще всего встречаются призмы, имеющие аркадоподобную форму. На срезах, выполненных вдоль эмалевых призм, их тела и отростки определяются в виде широких и узких полос. Результаты изучения поверхности скоса эмали, обработанного бором с зернистостью 100-120 мкм, после кислотного травления показали, что в поле зрения есть неравномерно протравленные участки призм (рис. 8б). Во всех случаях обработанная кислотой эмаль выглядит, как чередование непротравленных участков в виде впадин и протравленных головок призм в виде выпуклостей. При вычислении площади равномерно протравленных зон при увеличении в 500 раз обнаружено, что среднее значение площади качественно протравленной эмали в этом случае составляет $61,20 \pm 0,59\%$. Наряду с хорошо контурированными протравленными головками призм, имеющими сотообразное строение, прослеживаются расположенные

рядом бесструктурные участки, не имеющие признаков травления или зоны с частичным обнажением призмной структуры (V тип травления), что показано на рисунке 8в.

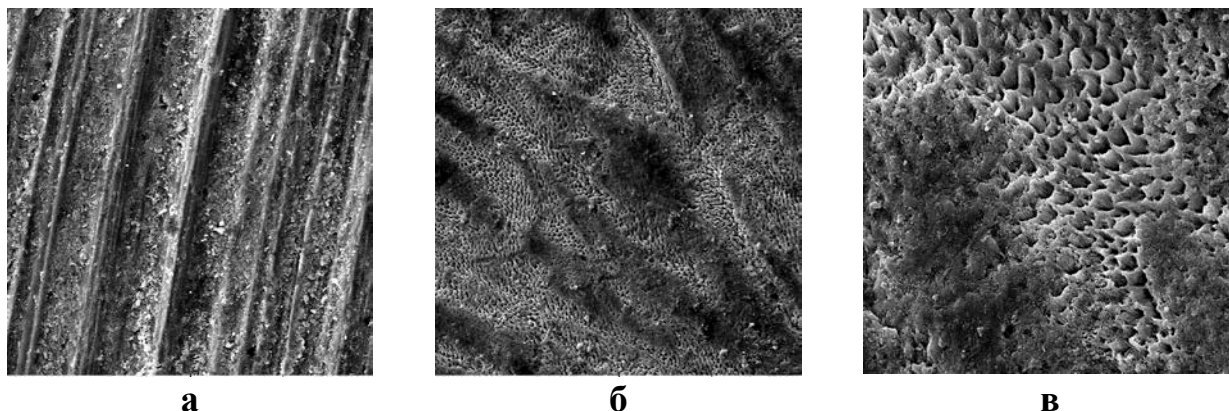


Рисунок 8. Поверхность эмали, обработанная алмазным бором зернистостью 100-120 мкм, ув. 500 (**а**). Поверхность обработанной эмали после кислотного травления, ув. 1 000 (**б**); неравномерное протравливание эмали, ув. 2 000 (**в**)

Поверхность эмали после препарирования бором с мелкой степенью зернистости 40-50 мкм выглядит, как равномерное чередование борозд одинаковой глубины: обломков кристаллической структуры практически не наблюдается (рис. 9а). После воздействия кислотой равномерный призмный рисунок составляет $94,33 \pm 0,79\%$ площади обработанной эмали, остальные $5,77 \pm 0,32$ занимают участки с более слабой контрастностью эмалевых призм (рис. 9б). Увеличение в 1 000 раз позволило выявить четкий рисунок призмных головок.

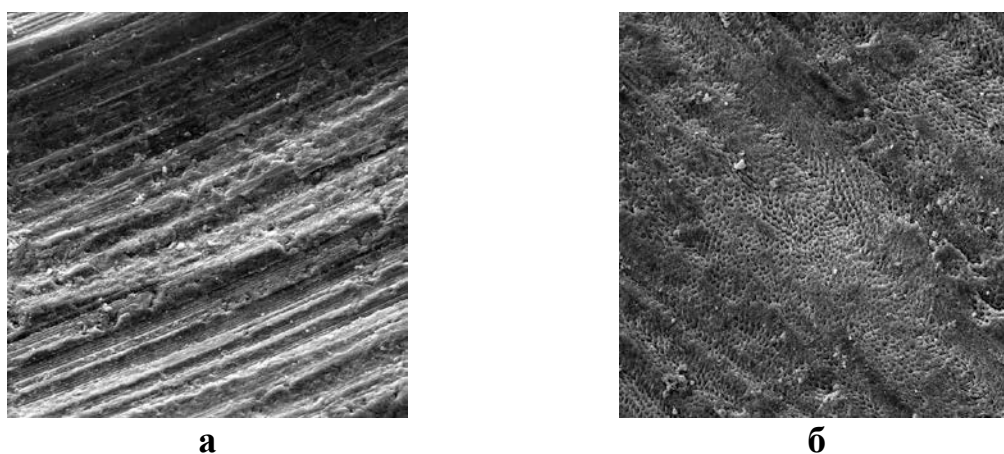


Рисунок 10. Структура эмали, обработанной бором с мелкой степенью зернистости 40-50 мкм, ув. 500 (**а**). Поверхность обработанной эмали после кислотного травления, ув. 1 000 (**б**)

На отдельных участках эмали обнаруживаются разрушенные периферии головок призм, на других проявляются тонкие линии, которые, расширяясь, образуют ободки вокруг головок призм (II тип травления). В местах, где произошло растворение центра призм (I тип травления), эмаль приобретает ячеистый вид (рис. 10а). При увеличении в 2 000 раз четко прослеживается рельеф протравленной эмали. Кислотное воздействие усиливает призмный рисунок равномерно по всей площади. При таком увеличении определялся ячеистый вид поперечно расположенных призм, протравленных по первому типу (растворение сердцевин головок) и продольно расположенных призм, контрастность которых образуют межпризмные пространства (периферический тип травления) (рис. 10 б, в).

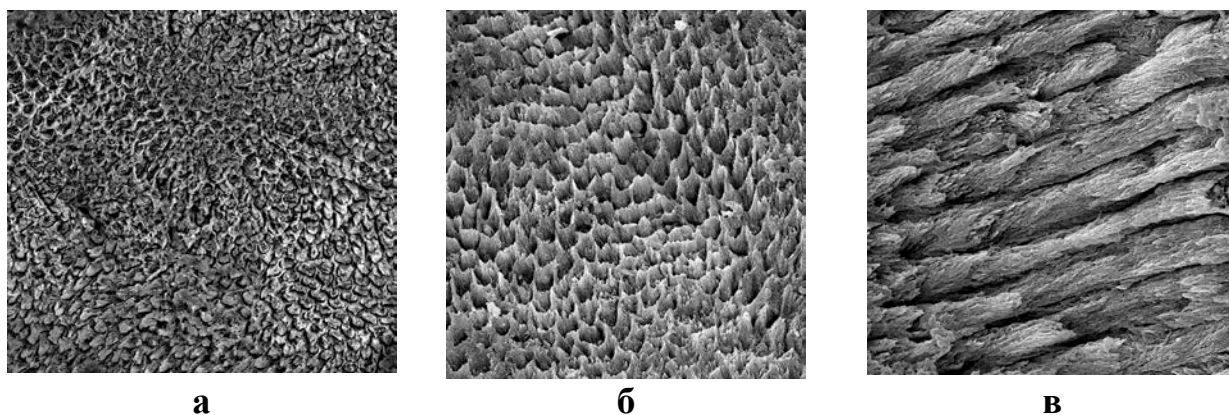


Рисунок 10. Структура эмали, обработанной бором с мелкой степенью зернистости после кислотного травления (Ув. 2 000): сочетание I-го и II-го типов травления эмали (**а**); ячеистый вид призм, протравленных по I-му типу (**б**); периферический тип травления призм (**в**)

Исследование структуры эмали после обработки мелкодисперсным алмазным бором с зернистостью 20 мкм показало, что на ее поверхности образуются равномерные неглубокие борозды (рис. 11). В поле зрения обнаруживаются обломки призм (рис. 11а). Изучение морфологических особенностей эмали, обработанной очень мелкозернистым бором (20 мкм) после кислотного травления показало, что $94,90 \pm 0,82\%$ площади эмали имеет равномерно протравленную поверхность (рис. 11б). При увеличении в 1 000 раз определяются участки с различной контурируемостью головок и тел призм (рис. 11б). Слабо протравленные области занимают $5,01 \pm 0,12\%$ видимой

площади. Однако контрастность этих участков выше, чем у образцов, обработанных бором с зернистостью 100-120 мкм. При увеличении в 2 000 раз призмы формируют группы, расположенные черепицеобразно, без четко выраженных отростков (рис. 11в).

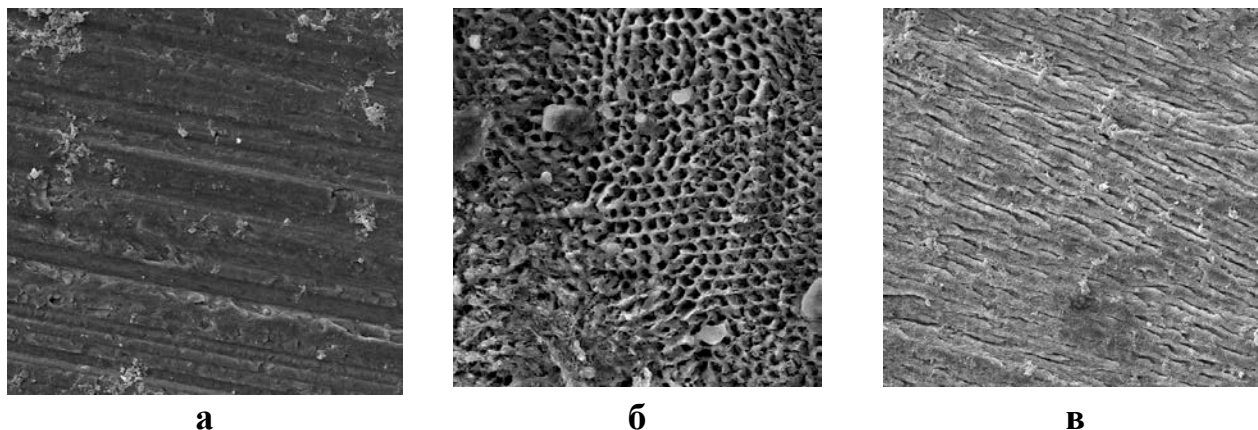


Рисунок 11. Структура эмали, обработанной бором с тонкой степенью зернистости 20 мкм, ув. 500 (**а**). Поверхность обработанной эмали после кислотного травления, ув. 1 000 (**б**). Черепицеобразно расположенные призмы, ув. 1 000 (**в**)

1.5 Исследование морфологической картины твердых тканей на декальцинированных срезах

Изготовление декальцинированных срезов включает следующие этапы: фиксацию, декальцинацию, обезвоживание, изготовление блоков и окраску срезов. Удаленные зубы (первые сутки после удаления) после снятия искусственных коронок (основная группа) промывают проточной водой и помещают в 10% раствор нейтрального формалина на 7-12 дней. Затем исследуемый материал промывают 24 часа в проточной воде. Декальцинацию проводят 10% раствором азотной кислоты. Раствор кислоты заменяют ежедневно, контролируя при этом степень деминерализации зуба ежедневной пробой на извлечение кальция 1% оксалатом натрия. Нейтрализацию проводят 5% раствором алюмокалиевыми квасцами в течение 24 часов. Затем исследуемый материал промывают 24 часа в проточной воде. Обезвоживают в спиртах возрастающей концентрации (70%, 80%, 90%, 96%, абсолютный спирт). В каждом из растворов зуб должен находиться 24 часа.



Рисунок 12. Зуб 4.6 в парафиновом блоке

После обезвоживания материал проводят через спирт-хлороформ, хлороформ-парафин и заливают в парафин (рис. 12). Из парафиновых блоков изготавливают срезы толщиной 9 мкм параллельно продольной оси зуба, депарафинируют ксилолом и обезвоживают 96% спиртом. Далее препараты обрабатывают 1% целлоидином. Срезы окрашивают гематоксилином и эозином по обычной методике.

После окраски с целью просветления срезы помещают в ксилол и после этого – на предметное стекло с последующим заключением в бальзам (канадский). Изучение микропрепаратов зубов и изготовление микрофотографий проводят с помощью микроскопа с программным обеспечением.

Морфологическая картина декальцинированного образца, включающего альвеолярную кость и зубы, представлена на рисунке 13.

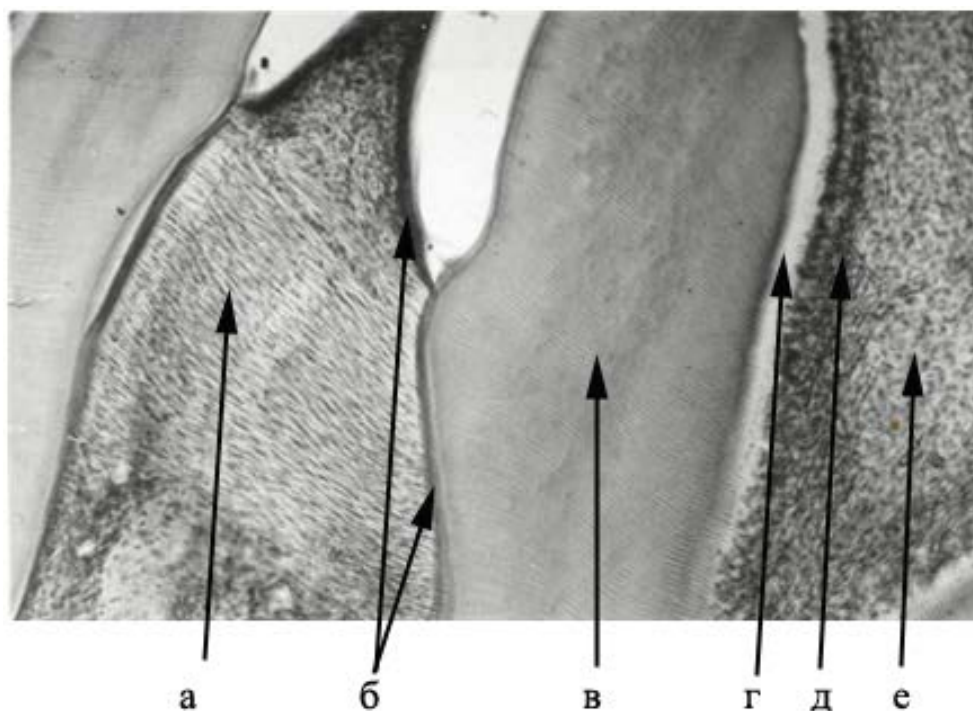


Рисунок 13. Декальцинированный образец фрагмента нижней челюсти (ОМ. Ув. 300): **а** – костные балочки, **б** – компактная пластинка, **в** – дентин зуба, **г** – зона предентина, **д** – слой одонтобластов, **е** – пульпа зуба

Четко определяются элементы костной структуры: поперечная направленность костных балочек губчатой кости характеризует направление контрфорсов. Компактная пластинка покрывает губчатую кость на всем протяжении периодонта. Интактный дентин зуба пронизан дентинными трубочками. Слой предентина отделяет его от клеток – одонтобластов, расположенных по периферии пульпы.

Ультратонкие срезы декальцированных зубов позволяют изучать возрастные изменения зуба в виде образования слабоминерализованного предентина и высокоминерализованного вторичного (физиологического) дентина (рис. 14).

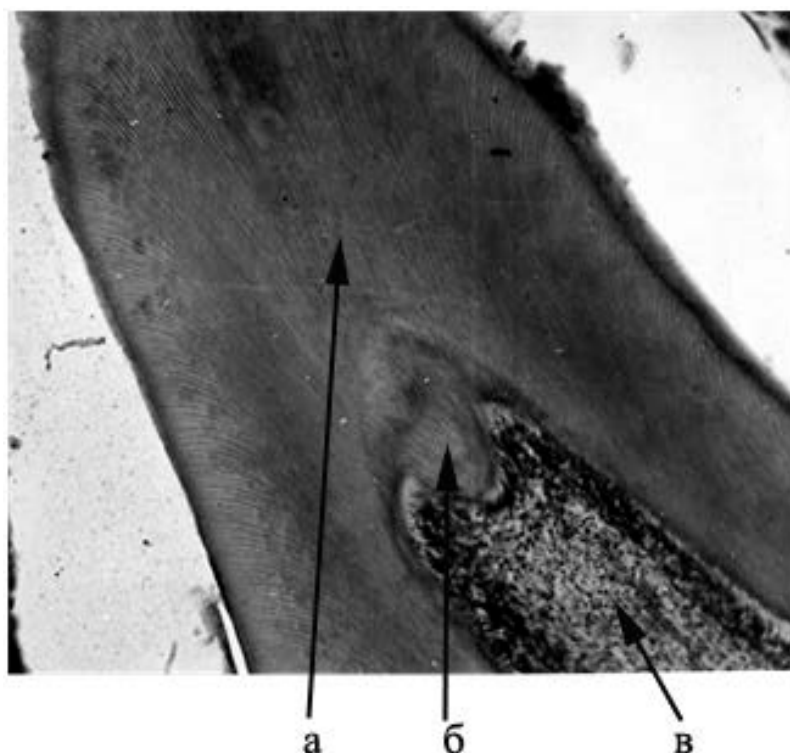


Рисунок 14. Срез декальцированного зуба (ОМ. Ув. 300): а – первичный дентин, б – вторичный дентин, в – пульпа зуба

Клетки пульпы определяются благодаря специальной окраске декальцированного образца. Клетки включают фибробласты, гистиоциты, плазмоциты (рис. 15). Лаброцитов (тучных клеток) в пульпе нет.

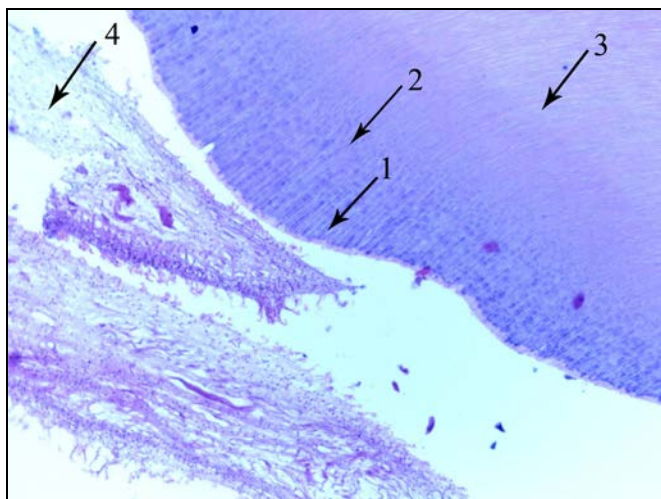


Рисунок 15. Сегмент пульпарной полости зуба. Окраска гематоксилином и эозином (Ув. 100): 1 – предентин, 2 – краевой дентин, 3 – перифокальный дентин, 4 – полость пульпы

Фибробласты – основные клетки соединительной ткани. Они продуцируют желатиноподобный межклеточный матрикс, в котором содержатся все компоненты пульпы, в том числе коллагеновые фибриллы, которые укрепляют этот матрикс. Форма клеток варьирует от фузиформной (сигароподобной) с длинными тонкими протоплазматическими отростками до

звездчатой, с короткими многочисленными отростками, которые формируют сеть, контактируя с другими фибробластами. Их состояние зависит от возраста и витальности пульпы. Размеры и количество этих клеток могут изменяться в результате возрастных процессов, развития кариеса, эрозии, стираемости зубов или лечебных манипуляций.

Плазматические клетки определяются вдоль кровеносных сосудов. Они формируют резервную сеть и способны дифференцироваться в клетки любого типа в зависимости от необходимости, например, в фибробласты.

Гистиоциты – следующий тип клеток, имеющих в соединительной ткани. Активируясь, гистиоциты мигрируют в область воспаления и становятся макрофагами, т.е. фагоцитируют бактерии, инородные тела, мертвые клетки.

Одонтобласты – специализированные высокодифференцированные клетки – являются уникальными по своей роли, как для дентина, так и для пульпы (рис. 13д). Одонтобласты расположены слоями (палисадообразно) по периферии пульпы. В «молодой» пульпе обнаруживаются 6-8 таких слоев. Размеры и форма клеток могут варьировать в зависимости от локализации. Они напоминают высокие и низкие цилиндры в полости зуба, кубической формы в

канале и плоские у апекса. На срезе одонтобласты имеют полигональную форму, тесно контактируют между собой короткими отростками. Слой одонтобластов отделен от преддентина четкой пульподентинной линией, которая не является истинной мембраной. Она образуется на участке соединения оболочек смежных одонтобластов. На срезе это утолщение выглядит как «воротник» вокруг одонтобластов, обращенных к дентину. Нарушение в пульподентинной мембране или палисадообразном расположении одонтобластов указывает на патологические процессы. 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 (дентинная лимфа). Эта жидкость движется в трубочках под действием внутрипульпарного давления и капиллярных сил. Одонтобласты не являются нервными клетками по строению или функциям, однако, находясь в тесном контакте с нервными окончаниями (рецепторами), участвуют в выполнении сенсорной функции. Именно поэтому обе структурные единицы вместе названы периферической чувствительной капсулой. Будучи высокодифференцированными клетками, они более повреждаемы, чем фибробласты. Кроме того, одонтобласты являются первыми «живыми» структурами пульпы, которые подвергаются вредным воздействиям.

Микроскопическая структура дентина зуба, находившегося под искусственной коронкой, без визуально определяемого кариеса (рис. 16-17). По жевательной поверхности отмечают мелкие и удлиненно-полосовидные поверхностные очаги гомогенизации и деструктуризации дентина, иногда неглубокие трещины. В исследованных зубах в 75% случаев отмечают присутствие зоны так называемого «темного» и зоны «просветленного» дентина.

Зона «темного» дентина представлена широкой полосой гиперминерализации дентина, а именно дентинными канальцами с

неравномерным сужением просвета, с наличием петрифицированных глыбок в

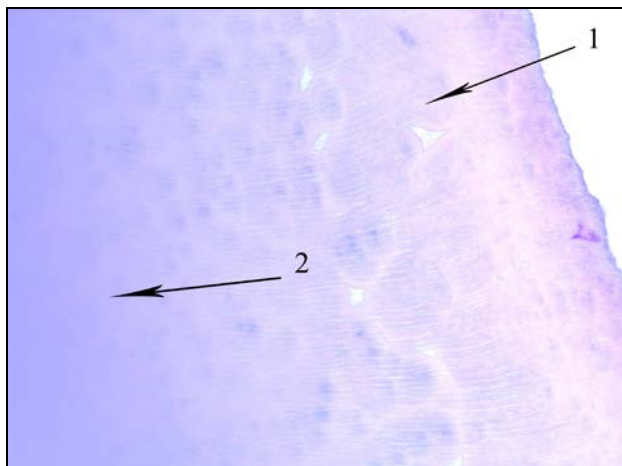


Рисунок 16. Фрагмент жевательной поверхности коронковой части зуба. Окраска гематоксилином и эозином (Ув. 200): 1 – зона гипоминерализации дентина, 2 – зона дисминерализации дентина

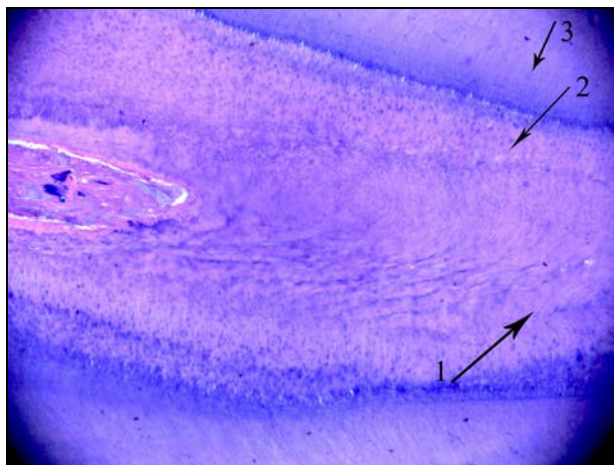


Рисунок 17. Фрагмент проксимальной части полости пульпы. Окраска гематоксилином и эозином (Ув. 50): 1 – облитерация с мелкоточечной и полосовидной петрификацией пульпарной ткани, 2 – минерализация каналов преддентина, 3 – гипер- и дисминерализация краевого дентина

просвете, и плотным темным межканальцевым основным веществом.

Зона «просветленного» дентина – область менее компактно упакованных и минерализованных дентинных канальцев, изредка с петрифицированными глыбками в просвете, с гомогенным и светлым межканальцевым основным веществом.

В 15% наблюдений установлено наличие незначительной области «просветленного» дентина и широкой полосы «светлого». В зоне «светлого» дентина отмечают деминерализацию околотрубчатого дентина, расширение просвета дентинных канальцев, отсутствие петрифицированных глыбок в просвете, неравномерную упакованность дентинных канальцев, мелкие очаги их выпадения (элиминации) на фоне однородно гомогенного и светлого

межканальцевого основного вещества. В 10% исследуемых зубов выявлена широкая зона хаотично ориентированных дентинных канальцев, волнистых или S-образных, слабо гомогенно или пылевидно минерализованных, с несколько расширенными полосами светлого гомогенного межканальцевого основного

вещества. На протяжении пульпарной полости – истончение предентина, гомогенизация его, иногда узкая полоса гомогенного деструктурированного предентина с мелковакуолярной трансформацией.

1.6 Изучение шероховатости поверхности эмали (профилометрия)

Цветовой тест измерения шероховатости эмали осуществляется следующим образом. Вестибулярную поверхность одного из верхних центральных резцов изолируют от слюны, очищают от налета и высушивают ватным тампоном. На расстоянии 2 мм от режущего края по центральной линии при помощи микропипетки (Удостоверение на рацпредложение № 3627 выдано БРИЗ ДонМИ 26.У.1982, И.К. Луцкая, Л.И. Косарева) наносят каплю 1 Н соляной кислоты диаметром 1,5 мм. Через 5 секунд кислоту смывают водой, зуб высушивают ватным тампоном. Затем на протравленный участок эмали наносят каплю 1% водного раствора метиленового синего. Далее краситель снимают плотно прижатым к зубу сухим ватным тампоном одним стирающим движением, в результате чего участок протравленной эмали прокрашивается от бледно-голубого цвета до интенсивно синего в зависимости от степени шероховатости поверхности эмали после кислотного воздействия. Цвет окрашенного участка сравнивают со стандартной 10-ти бальной шкалой цветов. Чем ниже кислотоустойчивость, тем более выражена шероховатость участка эмали и тем выше интенсивность окраски.

Измерение шероховатости эмали методом **профилометрии** осуществляется в эксперименте у крыс. С этой целью лабораторное животное (крыса) вводят в состояние эфирного наркоза и фиксируют в станке брюшком кверху. Нижние резцы изолируют от ротовой жидкости, высушивают ватными тампонами. На эмаль нижнего резца по центру микропипеткой наносят раствор 1 Н соляной кислоты диаметром около 1 мм. Через 60 сек. кислоту смывают водой, резец срезают на уровне десны, высушивают на воздухе. Запись микрорельефа протравленной поверхности производят на приборе профилометр-профилограф следующим образом. Зуб укрепляют на столике

прибора так, чтобы изучаемая поверхность располагалась кверху и горизонтально. Индентор прибора устанавливают на интактной эмали, запись производят через весь участок протравки трижды с коррекцией горизонтального положения поверхности при увеличении по вертикали – 2 000, по горизонтали – 80 на электротермической бумаге. В качестве контроля служит симметричный резец. При этом записывают шероховатость аналогичного непротравленного участка.

Проведена сравнительная характеристика степени шероховатости эмали, полученная методами профилометрии и цветового теста. В таблице 1 представлены показатели шероховатости в мм для каждого значения ТЭР в баллах интенсивности окраски. Интенсивность окраски в 1-3 балла соответствует шероховатости 0,55-0,89 мкм, 4-5 баллам отвечает шероховатость 1,02-1,36 мкм, 6-ти баллам – шероховатость 2,55 мкм. Причем шероховатость от 1 до 5-ти баллов увеличивается медленно, затем быстро нарастает от 5-ти до 6-ти баллов, что свидетельствует о резком росте степени разрушения поверхностного слоя эмали. Эти показатели соответствуют в клинике переходу к группе, восприимчивой к кариесу. Интенсивности окраски в 7-8 баллов характерна шероховатость 1,26 мм на фоне значительного макродефекта. Шероховатость на профилограмме тем значительнее выражена, чем ниже кислотоустойчивость эмали, сопровождающаяся более значительным разрушением ее поверхностных слоев.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика ТЭР и шероховатости поверхности эмали после кислотного травления

Значение ТЭР	Шероховатость поверхности эмали, мкм ($M \pm m$)
1	0,546 $\pm$ 0,07
2	0,772 $\pm$ 0,06
3	0,896 $\pm$ 0,09
4	1,019 $\pm$ 0,13
5	1,362 $\pm$ 0,16
6	2,547 $\pm$ 0,33
7-8	1,262 $\pm$ 0,05

Учитывая, что обнаружена высокая корреляционная связь микрошероховатости и интенсивности окраски, и последний метод при этом отличается рядом преимуществ, а именно, простотой осуществления, быстротой, воспроизводимостью, можно рекомендовать упрощенный ТЭР-тест для научных исследований, а также для применения при массовых обследованиях в клинике.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА АДГЕЗИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПОЗИТА И ТКАНЕЙ ЗУБА

2.1 Изучение влияния толщины слоя композита на устойчивость к механическому воздействию

На вестибулярных и жевательных поверхностях удаленных зубов алмазным бором препарируют скос эмали глубиной 0,2 мм, 0,5 мм, 1,0 мм и 1,5 мм. После механической обработки проводят адгезивную подготовку твердых тканей зуба с последующим нанесением композиционного материала. Шлифовку и полировку реставраций проводят алмазными мелкозернистыми турбинными борами сразу после изготовления реставрации. Затем производят заливку зубов в эпоксидную смолу. Образцы полимеризуют не менее 24 часов. Далее алмазной пилочкой образцы распиливают в области изготовленных реставраций параллельно вестибулярной или жевательной поверхности до образования шлифа. Исследование устойчивости пломбы к механическому воздействию проводят на микротвердомере с нагрузкой на алмазную пирамиду 50 г. Вколы головки микротвердометра выполняют в области пломбировочного материала, покрывающего скос эмали, и регистрируют давление, вызывающее растрескивание композита. Расчет коэффициента твердости по Виккерсу (VHN) получают делением нагрузки на площадь боковой поверхности отпечатка по следующей формуле:

$$VHN = 1,854 \frac{P}{M^2}, \quad (1)$$

где P – нагрузка, Н; M – среднее арифметическое длин обеих диагоналей, мм.

Исследования проведены в лаборатории металлофизики испытательного центра ГНУ «Институт порошковой металлургии» ИПМ НАН Беларуси.

Образование дефектов в композите зависит от толщины слоя фотополимера. Наименьшую прочность регистрируют для зубов со скосом 0,2 и 0,5 мм (таблица 2). Минимальные показатели микротвердости отмечают для образцов при слое фотополимера, покрывающего скос эмали, 0,2 мм – от 1409,00 до 1714,00 МПа, среднее арифметическое значение – $1559,33 \pm 11,75$ МПа.

Таблица 2 – Микротвердость пломбировочного материала различной толщины на скосе эмали

Толщина слоя композита, мм	Микротвердость, МПа, $M \pm m$		
	Минимальная	Максимальная	Средняя
0,2	1409,00	1714,00	$1559,33 \pm 11,75$
0,5	1565,00	1780,00	$1633,89 \pm 15,68$
1,0	1889,00	2346,00	$2075,22 \pm 15,39$
1,5	2025,00	2564,00	$2256,44 \pm 16,35$

В образцах с толщиной слоя композита 0,5 мм механическая прочность находится в пределах от 1565,00 до 1780,00 МПа, при среднем значении – $1633,89 \pm 15,68$ МПа. В таблице 2 приведены значения выборочных средних микротвердости пломбировочного материала в зависимости от толщины слоя и значения статистических ошибок этих средних ($M \pm m$). Объем выборки, для которой вычислены приведенные в таблице показатели, равен $n = 10$.

Наибольшая прочность композиционного материала показана для образцов, в которых скос эмали составляет 1,0-1,5 мм (различия статистически значимы по критерию Краскала-Уоллиса, $H_{\phi} = 38,1$, $df = 3$, $p < 0,001$). При этом микротвердость шлифов с толщиной композита 1,0 мм находится в пределах от 1889,0 МПа до 2346,00 при среднем значении $2075,22 \pm 15,39$ МПа. Устойчивость к механическому воздействию группы образцов с толщиной

фотополимерного материала 1,5 мм наибольшая и находится в пределах от 2025,00 МПа до 2564,00 МПа, при среднем значении $2256,44 \pm 16,35$ МПа.

Механическая прочность композита, покрывающего скос эмали, зависит от его толщины и глубины скоса. Слой фотополимера в местах окклюзионных нагрузок (режущий край, скаты бугров жевательных зубов) должен составлять не менее 1,5 мм. В этом случае средние значения микротвердости композита ($2256,44 \pm 16,35$ МПа) максимально приближены к микротвердости эмали ($2620,00 \pm 17,87$ МПа) в сравнении с дентином.

2.2 Изучение стойкости к механическому воздействию границы «пломба-штифт»

Твердые ткани удаленного зуба после снятия налета препарируют для создания площадки в дентине. Затем с помощью специального бора в дентине формируют канал на расстоянии не менее 0,5 мм от эмалево-дентинного соединения и полости зуба и вкручивают парапульпарный штифт таким образом, чтобы половина его длины погрузилась в дентин. Удерживающую часть штифта с мандрелом удаляют, затем проводят адгезивную обработку твердых тканей.

Все опытные образцы зубов разделяют на четыре группы.

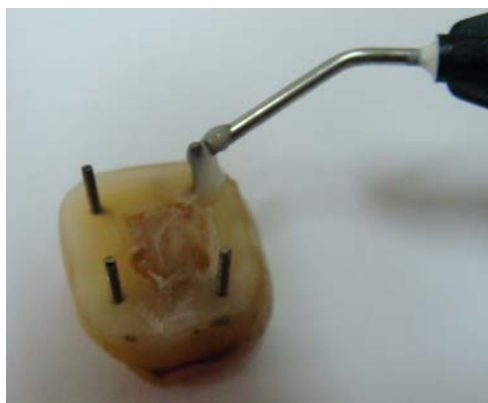


Рисунок 18. Установлены парапульпарные штифты, нанесен текучий композит

В первой и второй группах на штифты наносят текучий композиционный материал разных фирм-производителей, в третьей и четвертой группах штифты покрывают стеклоиономерным цементом также разных производителей. Затем конструкции покрывают композиционным материалом обычной вязкости, имитируя пломбы.

На рисунке 18 представлен зуб с установленными парапульпарными штифтами с последующим нанесением текучего пломбировочного материала. После пломбирования полостей

производят заливку зубов в эпоксидную смолу на 24 часа. Образцы распиливают на уровне вершины штифта в поперечном направлении, делают вколы головкой микротвердомера в области границы пломба-штифт. Исследование микротвердости проводят на микротвердомере с нагрузкой на алмазную пирамиду 50 и 200 грамм. Рассчитывают коэффициент твердости по Виккерсу (VHN).

Определение прочности сцепления на границе «пломба-штифт» также проводят на микротвердометре на шлифах. Методика заключается во вкалывании индентора (алмазной пирамидки с углом заточки 136°) в границу соединения «пломба-штифт» с нагрузкой, обеспечивающей образование микротрещины около одной из диагоналей отпечатка (2).

$$\tau = 2 \times \frac{P}{D^2} \quad (2)$$

где P – нагрузка; D – сумма диагонали отпечатка и проекции на прямую диагональной микротрещины, мм.

Изучение стойкости к механическому воздействию границы пломба-штифт проведено в лаборатории металлофизики испытательного центра ГНУ «Институт порошковой металлургии» ИПМ НАН Беларуси.

Самые высокие значения микротвердости при нагрузке 50 г регистрируют в группах текучих композиционных материалов. Средняя величина микротвердости границы текучего композита №1 со штифтом при нагрузке 50 г достигает $1136,89 \pm 7,57$ МПа, при этом минимальные значения устойчивости к механическому воздействию составляют 826,00 МПа, максимальные – 1320,00 МПа. Среднее значение диагонали отпечатка $30,10 \pm 0,2$ мкм.

В таблице 3 приведены значения выборочных средних микротвердости на границе штифт-пломба и значения статистических ошибок этих средних ($M \pm m$) при нагрузке головки пуансона 50 г и 200 г, а также указаны средние размеры диагонали трещины отпечатка. Объем выборки, для которой вычислены приведенные в таблице показатели, равен $n = 10$.

Таблица 3 – Значения микротвердости и диагонали отпечатка на границе штифт–пломба при разной нагрузке

Пломбировочный материал, покрывающий штифт	Микротвердость на границе штифт – пломба, МПа ($M \pm m$), диагональ отпечатка мкм ($M \pm m$)			
	Диагональ отпечатка, мкм	Микротвердость, МПа (нагрузка 50 г)	Диагональ отпечатка с трещиной, мкм	Прочность сцепления, МПа (нагрузка 200 г)
Текущий композит №1	30,00±0,20	1136,89±7,57	62,25±0,75	10,30±0,052
Текущий композит №2	30,10±0,20	1107±5,39	63,00±0,30	9,90±0,05
СИЦ №1	34,10±0,30	776,44±3,62	72,70±0,60	7,70±0,04
СИЦ №2	33,90±0,80	791,78± 3,34	70,80±0,90	8,00±0,04

При исследовании микротвердости границы «штифт-текущий композит» с нагрузкой 200 г наиболее высокие средние значения также соответствуют материалу №1, средние значения составляют 10,3±0,052МПа, с диагональю отпечатка 62,25±1,75 мкм.. При этом размер максимальной трещины – 63,90 мкм, соответствует микротвердости 9,79 МПа.

Исследование микротвердости границы «штифт-текущий композит №2» показало, что средние значения микротвердости образцов из этой группы близки к таковым из группы №1 и составляют 1107±5,39 МПа при нагрузке 50 г и 9,90±0,05 – при нагрузке 200 г. Трещине 26,60 мм соответствует максимальная микротвердость 1310,00 МПа, а диагонали отпечатка 33,60 мкм – микротвердость 821,00 МПа. Полученные данные свидетельствуют о небольших различиях в параметрах микротвердости границы «штифт-текущий композит» разных производителей.

В группе образцов «штифт-СИЦ №1» значения микротвердости соответствуют: при нагрузке 50 г: при минимальной диагонали трещины – 30,60 мкм микротвердость составляет 920,00 МПа, при максимальной диагонали отпечатка 37,5 мкм – 659 МПа соответственно. Среднее значение микротвердости для шлифов этой группы составляет 776,44±3,62 МПа, средняя длина трещины – 34,05±0,30 мкм. При повышении нагрузки пирамиды до 200 г диагональ отпечатка варьирует от 70,10 до 75,20 мкм, при этом микротвердость от 7,07 до 8,14 МПа.

При исследовании границы «штифт-СИЦ №2» наименьшей трещине отпечатка 29,60 мкм при нагрузке 50 г соответствует микротвердость 990,00 МПа, при наибольшей трещине – 38,10 мкм микротвердость равна 639,00 МПа, что является наименьшей микротвердостью среди всех групп используемых материалов, среднее значение соответствует $791,78 \pm 3,34$ МПа. При нагрузке 200 г средняя длина отпечатка была $70,80 \pm 1,90$ мкм, прочность сцепления – $8,00 \pm 0,04$ МПа.

Сравнительная оценка исследованных групп показала, что самые высокие средние значения микротвердости и прочности сцепления присущи группе «штифт-текучий композит» (различия статистически значимы по критерию Краскала-Уоллиса, $H_{\phi} = 32,8$ при нагрузке 50 г и $H_{\phi} = 31,6$ при нагрузке 200 г, для $df = 3$, $p < 0,001$). Разница средних значений микротвердости между группами сравнения составляет 338,03 МПа.

Проведенные исследования микротвердости границы «пломба-штифт» при использовании различных пломбировочных материалов показывают, что соединение «штифт-текучий композит» является более прочным, чем соединение «штифт-СИЦ».

2.3 Изучение рабочих свойств фотополимеров

Рабочие свойства материалов оценивают по критериям, характеризующим их манипуляционные качества. Эргономичность использования характеризуют как удобство извлечения порции материала из шприца, консистенцию материала при извлечении и прилипаемость к стоматологическому инструменту. Прилипаемость к шероховатой поверхности стекла расценивают, как имитацию микромеханической ретенции. Определяют время полимеризации материала под воздействием света стоматологического светильника, что характеризует рабочее время материала, в течение которого возможно моделирование реставрации и под воздействием галогеновой лампы фотополимеризатора. Прилипаемость слоев материала друг к другу оценивают,

как надежность послойного нанесения. Текстура поверхности материала после полимеризации (гладкая или шероховатая) прогнозирует длительность процедуры полирования до достижения блеска. Способность к полированию определяют как количество движений полирующего инструмента, необходимое для получения «сухого блеска» поверхности. Оценивают устойчивость поверхности к механическому повреждению, обуславливающую прочность поверхности материала.

При заборе материала обращают внимание на легкость его эвакуации из тьюбика, наличие крохкости, пластичности. Оценку проводят по трехбалльной шкале: 1 балл – композит с трудом выводится из тубы; 2 балла – с небольшим усилием; 3 балла – легко. Далее определяют консистенцию материала при заборе – вязкая или плотная. Каждый из этих параметров оценивают по двухбалльной шкале: 1 балл – очень вязкая или очень плотная; 2 балла – оптимальная консистенция. Такой параметр, как прилипаемость материала к инструменту, характеризуют следующим образом: 1 балл – прилипает или тянется за инструментом; 2 балла – слабая прилипаемость; 3 балла – материал не прилипает. Прилипаемость композита к стеклу: 1 балл – отсутствует; 2 балла – слабая адгезия; 3 балла – хорошая. Полимеризацию фотополимеров под действием светильника стоматологической установки определяют, поместив образец материала на расстоянии 50 см от лампы. Регистрируют время, после которого композит теряет пластичность и становится твердым. Короткое время (менее 30 с) соответствует 1 баллу, среднее время (удовлетворительный показатель, до 60 с) – 2 баллам, длительное время (оптимальный показатель, более 60 с) – 3 баллам. Полимеризацию материала под действием фотополимерной лампы изучают, направив источник коротковолнового света на образец. При этом фиксируют время, после которого композит полностью затвердеет. Оценкой 1 балл отмечают образец, который не полимеризовался в течение 40 с; 2 балла, если материал не отверждался 30 с; 3 балла, если композит полимеризовался в течении 20 сек. При оценке адгезивных свойств

слоев материала баллы выставляют следующим образом: 1 балл – слои не прилипают; 2 балла – слабая адгезия; 3 балла – адгезия хорошая. Блеск поверхности композитов после полимеризации также оценивают по трехбалльной системе. Степень полируемости оценивают на основании вида поверхности композитов после 5 движений полировочного инструмента следующим образом: поверхность «матовая» – 1 балл; средний блеск – 2 балла; сухой блеск – 3 балла. Завершают работу оценкой степени механической устойчивости материалов к царапинам, что осуществляют следующим образом: на поверхность образцов с помощью зонда наносят царапины в хаотичном направлении и оценивают глубину проникновения инструмента. Отчетливые линейные дефекты оценивают как 1 балл, слабые – 2 балла, слегка заметные – 3 балла.

2.4 Изучение адгезионной прочности границы «зуб-пломба» фотополимера

Адгезионную прочность связи «пломба-зуб» измеряют на универсальной испытательной машине «Instron» при скорости нагрузки 2,0 мм/мин, с равномерно увеличивающейся нагрузкой до разрыва этой связи. Для проведения испытания используют устройство, состоящее из пуансона и опорной матрицы с отверстием. Пуансон представляет собой цилиндр с резьбой, вкручивающийся в гнездо траверсы испытательной машины, на конце которого закреплен штырь с плоскопараллельной поверхностью диаметром, соизмеримым с диаметром пломбы. В качестве матрицы используют полый цилиндр, на который устанавливают образец. Выдавливание пломбы осуществляют за счет действия нагрузки на пломбу зуба, установленного на неподвижной нижней опоре. Адгезионную прочность связи «пломба-зуб» определяют по формуле:

$$\tau_{cp} = \frac{F}{S} \quad (3)$$

где F – максимальная нагрузка, соответствующая разрыву связи между пломбой и зубом; S – начальная площадь цилиндрической поверхности контакта пломбы с зубом, рассчитанная по формуле (4):

$$S = \pi d h \quad (4)$$

где d – средний диаметр пломбы, измеренный в нескольких направлениях нижней и верхней плоскости подготовленного зуба; h – высота зуба.

Процесс нагрузки регистрируют на диаграммной ленте. При этом максимум на диаграмме соответствует нагрузке, при которой происходит нарушение связи между пломбой и зубом.

В таблице 4 приведены значения выборочных средних прочности адгезии методом выдавливания пломб, изготовленных из исследуемых композитов, и значения статистических ошибок этих средних ($M \pm m$). Объем выборки, для которой вычислены приведенные в таблице показатели, равен $n = 10$.

Таблица 4 – Адгезионная прочность связи «пломба-зуб»

Образец материала	Адгезионная прочность композита ($M \pm m$)	
	$F_{\max}$, Н	τ , МПа
Композит №1	729,84±1,69	17,570±0,047
Композит №2	562,60±1,31	13,170±0,003
Композит №3	685,50±0,95	15,890±0,008
Композит №4	655,90±1,62	15,680±0,013
Композит №5	690,30±1,61	15,930±0,011

Для удаления пломбировочного материала из образцов группы №1 нужна сила 729,84±1,69 Н, при этом τ (адгезионная прочность) составляет 17,570±0,047 МПа. Для фотополимера №2 зарегистрированы самые низкие средние значения силы выталкивания – 562,60±1,31 Н и адгезионной прочности соответствующей 13,170±0,003 МПа. При изучении адгезионной прочности соединения «фотополимер №3-зуб» отмечено, что для выталкивания пломбы требуется 685,50±0,95 Н, а прочность связи составляет 15,890±0,008 МПа. Аналогичную силу выталкивания регистрируют для образцов композиционного

материала №4 – $655,90 \pm 1,62$ Н, адгезионная прочность – $15,680 \pm 0,013$ МПа. Адгезионная прочность композита №5 составляет $15,930 \pm 0,011$ МПа при силе выталкивания $690,30 \pm 1,61$ Н.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что значения адгезионной прочности образцов достоверно различаются. Максимальные значения получены для образцов композита №1 ($17,570 \pm 0,047$ МПа), средние для образцов материалов №3, №4 и №5 ($15,890 \pm 0,008$ МПа) и минимальные для образцов фотополимера №2 (различия статистически значимы по критерию Краскала-Уоллиса, $H_{\phi} = 45,47$, $df = 4$, $p < 0,001$). Прочность связи «пломба-зуб» фотополимеров №3, №4 и №5 соответственно на 1,68 МПа, на 1,89 МПа и 1,64 МПа ниже, чем в группе №1. Самая минимальная - адгезионная прочность на границе «материал №2 – зуб».

Среди исследуемых пломбировочных материалов по показателю «микротвердость» наиболее высокие значения отмечают у композитов №3, №4 и №5 (различия статистически значимы по критерию Краскала-Уоллиса, $p < 0,001$). Адгезионная прочность максимальная у образцов фотополимера №1 по сравнению с другими исследуемыми материалами (различия статистически значимы по критерию Краскала-Уоллиса, $p < 0,001$). Самые низкие средние значения микротвердости и адгезионной прочности регистрируют для образцов композита №2.

2.5 Изучение границы «зуб-пломба»

Для изучения границы «зуб-пломба» сразу после экстракции зубы обрабатывают щеткой под проточной водой для удаления оставшихся мягких тканей и зубного налета. При необходимости используют пневматический скелер. Затем образцы помещают в 0,1% раствор тимола. В ближайшие часы после удаления на окклюзионной поверхности жевательных зубов и вестибулярной поверхности резцов формируют полости овальной формы размерам 3×4 мм в пределах средних слоев дентина. Обработку полостей производят в соответствии с классическими принципами. Для препарирования

используют турбинный наконечник и алмазные боры шаровидной формы средней степени зернистости. Края полостей финируют с помощью мелкозернистых алмазных боров конической формы. Все этапы работы проводят с водяным охлаждением. Излишки влаги устраняют воздействием слабой струи воздуха в течение 4-5 секунд, затем осуществляют кислотное травление. После использования универсальной адгезивной системы осуществляют пломбирование полостей исследуемыми образцами фотополимеров. Поверхность реставрации обрабатывают и полируют до естественного блеска. В зависимости от использованного материала образцы разделяют на группы.

Состояние поверхности пломб и их краевое прилегание оценивают полуколичественным методом по критериям, сформулированным на основании литературных данных и собственного клинического опыта. В соответствии с этим методом проводят визуальную оценку поверхности пломбы и границы «зуб-пломба», их зондирование и окрашивание, определение глубины проникновения красителя в область границы «зуб-пломба». Поверхность пломбировочного материала оценивают по наличию или отсутствию объемных дефектов разного размера (крупных раковин и мелких пор, сколов, трещин). С целью унификации данных каждый из показателей оценивают по шкале от 1 до 3 баллов. При этом 1 балл являлся «неудовлетворительным», 2 балла – «удовлетворительным» и 3 балла – «хорошим» показателем (таблица 5). **Визуальную оценку** образцов осуществляют в условиях стоматологического кабинета при искусственном освещении. Для более детального осмотра используют лупу с 4-х кратным увеличением. **Зондирование** границы «зуб-пломба» и поверхности пломбы проводят с помощью стоматологического зонда с острым концом. **Окрашивание:** после высушивания образцов струей обезжиренного воздуха на пломбу и прилегающие к ней участки эмали с помощью ватного шарика наносят 2% водный раствор метиленового синего на 30 секунд. Затем краситель смывают водно-воздушной струей в течение 15 секунд, после чего образцы полируют гибкими дисками и силиконовыми инструментами фирмы Shofu.

Таблица 5 – Состояние поверхности пломб и границы зуб-пломба

Баллы	Граница зуб-пломба	Поверхность пломбы
Визуальная оценка		
3	Зазор отсутствует	Ровная, без пор и раковин
2	Зазор менее 1/3 длины границы	Отдельные мелкие дефекты
1	Зазор от 1/3 до 2/3 длины границы	Отдельные крупные объемные дефекты и мелкие поры
Зондирование		
3	Шероховатость отсутствует	Ровная
2	Шероховатость менее 1/3 длины границы	Отдельные мелкие объемные дефекты
1	Шероховатость от 1/3 до 2/3 длины границы	Отдельные крупные объемные дефекты и мелкие поры
Окрашивание		
3	Окрашивание отсутствует	Окрашивание отсутствует
2	Окрашивание менее 1/3 длины границы	Интенсивное окрашивание отдельных мелких участков
1	Окрашивание от 1/3 до 2/3 длины границы	Интенсивное окрашивание отдельных мелких и крупных участков

Для **исследования под световым микроскопом** соединения «пломба-зуб» изготавливают шлифы зубов. Приготовление шлифов включает следующие операции:

- заливку образцов в эпоксидную смолу;
- предварительную шлифовку блока на абразивной бумаге с зернистостью 180, 240, 320 до получения нужного сечения;
- окончательную шлифовку на абразивной бумаге зернистостью 400, 600;
- грубую полировку на велюре с добавлением порошка оксида алюминия зернистостью 12 мкм;
- тонкую полировку на велюре с добавлением порошка оксида алюминия зернистостью 0,1 мкм.

Поверхность изготовленных из образцов шлифов исследуют под световым микроскопом: при увеличении $\times 200$ оценивают структуру пломбы и состояние границы «зуб-пломба» в области эмали. Характеризуют однородность, качество и количество крупных и мелких частиц, их форму и расположение в пломбировочном материале, наличие или отсутствие объемных дефектов как в пломбе, так и в области границы, их количество, размер и

расположение. Ширину границы «зуб-пломба» в области эмали измеряют с помощью окуляр-микрометра.

Исследования физико-механических свойств композиционных материалов разных фирм-производителей проведены в лаборатории металлофизики испытательного центра ГНУ «Институт порошковой металлургии» ИПМ НАН Беларуси.

Анализ полученных данных показал, что исследуемые образцы фотополимеризующихся композитов обладают свойствами, необходимыми для такого рода материалов: хорошо прилипают к твердым тканям зуба, уплотняются, моделируются стоматологическими инструментами и полируются до сухого блеска.

При визуальном исследовании зубов, реставрация которых осуществлялась материалом №1, во всех случаях поверхность пломб была ровной и гладкой без трещин, пор раковин. Дефекты на границе «зуб-пломба» не обнаружены. При зондировании границы зуб-пломба определялся плавный переход от эмали к поверхности пломбы. Окрашивание границы и поверхности пломб лишь в отдельных случаях имело очень слабую интенсивность. Полимеризованный материал №1 обладает невыраженным эффектом «хамелеона», и по цвету практически не отличался от твердых тканей зуба.

При осмотре и зондировании поверхности пломб, изготовленных из композита №2, отсутствовал зазор при зондировании границы, однако имелись небольшие дефекты в виде пор. После воздействия красителя и полирования границы зуб-пломба, поверхность пломб имела окрашивание слабой и очень слабой интенсивности. Кроме того, образец №2 отличился красно-коричневым оттенком, который не совпал по цвету ни с одним из интактных удаленных зубов. Однако при пломбировании измененных в цвете депульпированных и резорцинированных зубов возможно применение этого композиционного материала.

Образцы №3 и №4 также характеризовались хорошим краевым прилеганием. Объемных дефектов и шероховатости не выявлено. Во всех

случаях после нанесения красителя и полирования поверхности образцов, не наблюдалось окрашивание поверхности пломбы и ее границы с эмалью. Оттенки цвета совпадали с тканями зуба.

Изучение образцов, изготовленных из фотополимера №5, показало, что реставрации из этого композита имели гладкую и ровную поверхность без дефектов, граница пломба-зуб была плавной. Окрашивания реставрации не наблюдалось. Фотополимер обладает выраженным эффектом «хамелеона».

Микроскопическое исследование шлифов образцов показало, что структура пломбировочного материала №1 представлена гетерогенным конгломератом, состоящим из мелких включений округлой формы, равномерно распределенных в композите (рис. 19а). Граница эмаль-материал №1 представляет собой равномерную четкую линию волнистой формы шириной $4,00 \pm 0,04$ на всем протяжении. В области соединения материал №1 – дентин ширина границы варьирует от 3,70 до 7,60 мкм, в среднем $5,60 \pm 0,04$. Пломбировочный материал, как в области эмали, так и в области дентина плотно прилегает к тканям зуба (рис. 19б). Объемных дефектов в области пломбы и ее границы не обнаруживают.

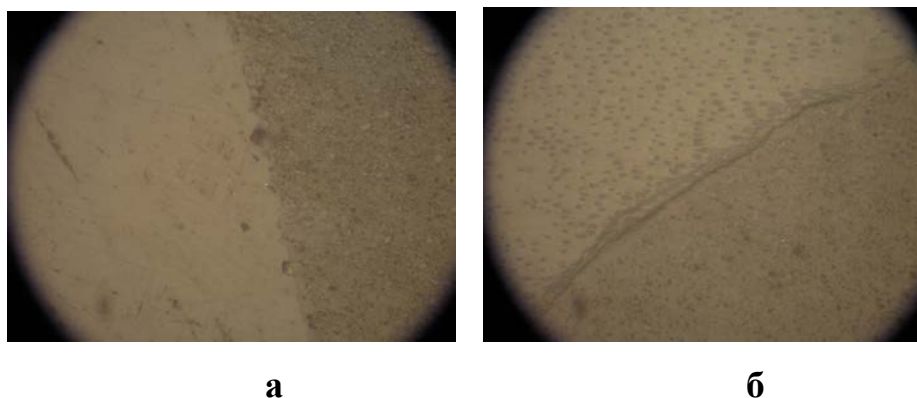


Рисунок 19. Шлиф зуба (ув. 200): соединение эмаль-материал №1 (**а**); соединение дентин-материал №1 (**б**)

Поверхность шлифа пломбировочного материала №2 имеет вид неоднородного конгломерата с частицами наполнителя разной формы с отдельными мелкими объемными дефектами в виде пор размером до 2 мкм (рис. 20а). Граница эмаль-материал №2 равномерная, как и в первом образце,

имеет вид четкой волнистой линии шириной $8,00 \pm 0,04$ мкм. Соединение дентин-материал №2 также имеет вид слегка волнистой линии, шириной $9,00 \pm 0,03$ мкм (рис. 20б).

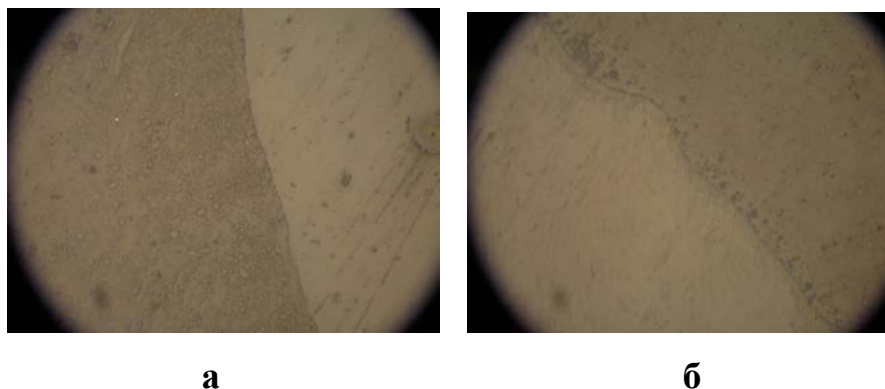


Рисунок 20. Шлиф зуба (ув. 200): соединение эмаль-материал №2 (**а**); соединение дентин-материал №2 (**б**)

Исследование образцов композиционного материала №3 выявило, что его структура сопоставима со структурой образца материала №1 – гетерогенный конгломерат, состоящий из включений округлой формы, равномерно распределенных в фотополимере (рис. 21а). Однако граница эмаль-материал №3 неравномерная, имеет ширину 2-3 мкм (при средних значениях – $2,00 \pm 0,03$ мкм), нечеткая, в отдельных местах расслаивается. В области до 1/3 длины границы обнаружены единичные объемные дефекты в виде пор с размерами от 2 до 9 мкм (рис. 21б). Ширина границы дентин-материал №3 находилась в пределах от 2,20 до 4,10 мкм.

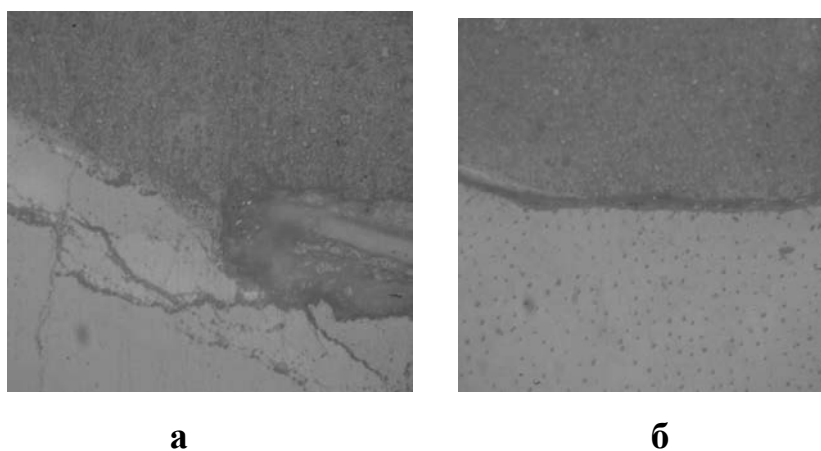


Рисунок 21. Шлиф зуба (ув. 200): соединение эмаль-материал №3 (**а**); соединение дентин-материал №3 (**б**)

Значения выборочных средних размеров границы «зуб-пломба», выполненных на шлифах исследованных образцов композитов, и значения статистических ошибок этих средних ($M \pm m$) приведены в таблице 8. Объем выборки, равен $n = 10$.

Таблица 8 - Размер границы зуб-пломба на шлифах образцов №1-4

№ п/п	Образец материала	Размер границы, мкм ($M \pm m$)	
		эмаль-пломба	дентин-пломба
1.	Материал №1	$4,00 \pm 0,04$	$5,60 \pm 0,04$
2.	Материал №2	$8,00 \pm 0,04$	$9,00 \pm 0,03$
3.	Материал №3	$2,00 \pm 0,03$	$3,50 \pm 0,05$
4.	Материал №4	$0,50 \pm 0,03$	$1,00 \pm 0,08$
5.	Материал №5	$0,60 \pm 0,04$	$0,94 \pm 0,05$

Микроскопическое исследование шлифов образцов показывает, что структура пломбировочного материала №4 идентична таковой материала № 3 (рис. 22а). Однако граница пломба-зуб образца № 4 ровная и четкая, ширина ее минимальная по сравнению с остальными образцами при среднем значении – $0,50 \pm 0,03$ мкм для соединения эмаль-материал №4 и $1,00 \pm 0,08$ мкм для границы дентин-материал №4 (рис. 22б). Средние значения границы пломба-зуб композита №5 составили в среднем $0,60 \pm 0,04$ мкм для соединения с эмалью и $0,94 \pm 0,05$ мкм для границы с дентином.

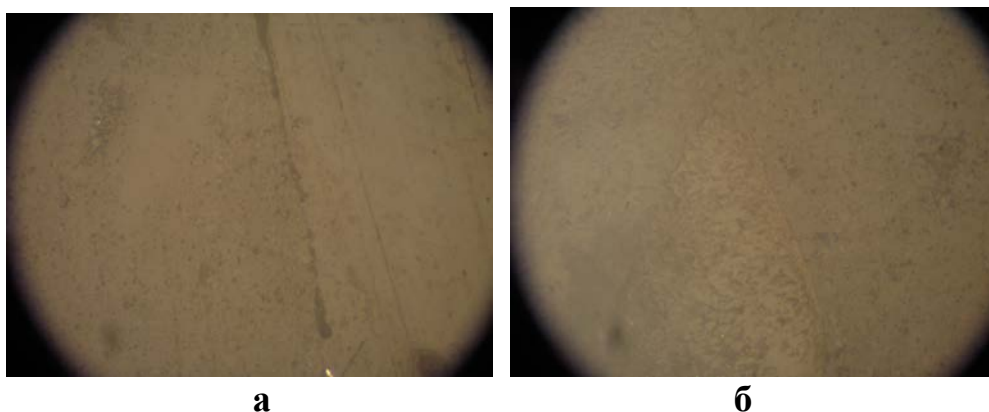


Рисунок 22. Шлиф зуба (ув. 200): соединение эмаль-материал №4 (**а**); соединение дентин-материал №4 (**б**)

Наименьшая ширина границы пломба-эмаль была в зубах, запломбированных композиционным материалом № 3, №4 и №5. Ширина границы эмаль-материал №2 превышает аналогичный показатель фотополимеров №3 в 4 раза и образца №4 в 16 раз (различия статистически значимы по критерию Краскала-Уоллиса, $H_{\phi} = 45,34$, $df = 4$, $p < 0,001$).

Размеры границы дентин-материал также самые низкие у испытываемого материала №4 и №5 и высокие у образца №2 (различия статистически значимы по критерию Краскала-Уоллиса, $H_{\phi} = 44,71$, $df = 4$, $p < 0,001$).

Литературные источники:

1. Булычев, С.И. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора / С.И. Булычев, В.П. Алехин. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
2. Иванов, А.А. Твердость стоматологических материалов. Методы ее измерения: учеб. пособие / А.А. Иванов, Н.М. Полонейчик. – Минск: МГМИ, 1999. – 27 с.
3. Критерии оценки качества пломб из композиционных материалов в отдаленные сроки / И.М. Макеева [и др.] // Тр. VII Всерос. съезда стоматологов. – М., 2001. – С. 71.
4. Луцкая И.К., Сравнительная оценка фотополимерных материалов / И.К. Луцкая, Н.В. Новак, И.Г. Чухрай // Современ. стоматология. – 2009. – № 1. – С. 64–66.
5. Маунт, Г.Д. Стоматология минимального вмешательства: препарирование полости / Г.Д. Маунт // ДентАрт. – 2005. – № 4. – С. 12–17.
6. Матвеев, М.А. Расчеты по химии и технологии стекла: справ. пособие / М.А. Матвеев, Т.Н. Матвеев, Б.Н. Френкель. – М.: Стройиздат, 1972. – 240 с.
7. Морфологическая характеристика кариозного поражения твердых тканей зуба, находившегося под искусственной коронкой / И.К. Луцкая, И.А. Швед, Ю.Ф. Хитро, О.Г. Зиновенко // Стоматол. журн. – 2012. – № 2. – С.88–92.
8. Новак, Н.В. Выбор оттенков цвета зуба в эстетической стоматологии : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.00.21 / Н.В. Новак. – Минск, 2003. – 35 с.
9. Сапожников, А.Г. Гистологическая и микроскопическая техника / А.Г. Сапожников, А.Е. Доросевич. – Смоленск. «САУ», 2000. – 476 с.
10. Способ исследования эмали зуба : а.с. 1426543 СССР ; МПК А 61 В 10/00, G 01 N1/32G 01 N33/483 / И.К. Луцкая, Л.И. Безрук ; Донец. ГМИ – № 3860413 ; заявл. 04.03.85 ; опубл. 30.09.88 // Открытия. Изобрет. – 1988. – № 36.
11. Стекло: справочник / под ред. Н.М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1973. – 487 с.
12. Трунов, М.Л. Исследование времязависимого механического поведения при испытаниях на нанотвердость / М.Л. Трунов, В.С. Биланич, С.Н. Дуб // ЖТФ. – 2007. – Т. 77, № 10. – С. 50–57.
13. Чухрай, И.Г. Методы и параметры оценки микротвердости в стоматологии / И.Г. Чухрай, Е.И. Марченко, Н.В. Новак // Современ. стоматология. – 2009. – № 2. – С. 14–17.
14. Adhesively luted, metal-free composite crowns after five years / F. Lehmann [et al.] // J. Adhes. Dent. – 2009. – Vol. 11, № 6. – P. 493–498.
15. Phillips, R.W. Scanner's science of dental materials / R.W. Phillips. – 9-th ed. – Philadelphia: Saunders, 1991. – 597 p.
16. Spies, H.G. Beurteilung des Bruchverhaltens nitrierter Bauteile mit Hilfe der Eindruck-Bruchmechanik / H.G. Spies, N. Brock // Neue Hutte, 1982. № 11. – P. 430–432.

Учебное издание

Луцкая Ирина Константиновна
Новак Наталья Владимировна
Зиновенко Ольга Геннадьевна

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СТОМАТОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие

Ответственная за выпуск И.К. Луцкая

Подписано в печать 07. 02. 2014. Формат 60x84/16. Бумага «Double A».

Печать ризография. Гарнитура «Times New Roman».

Печ. л. 2,50. Уч.- изд. л. 2,33. Тираж 100 экз. Заказ 57.

Издатель и полиграфическое исполнение –

Белорусская медицинская академия последипломного образования.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/136 от 08.01.2014.

220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 3.