

Разговоры о важном. Перегрев пульпы.

Дмитрий Киселев

Ключевые слова для поиска:

Pulp heating • Thermogenesis • Intrapulpal temperature changes • Deep cavity preparation • Pulp reaction • Thermal injury thresholds

Резюме

Корректное препарирование - один из главных факторов успешного лечения кариеса, особенно в случае глубоких полостей, прилежащих к пульпе. При этом риск её перегрева казался мне минимальным при соблюдении техники препарирования, которой я придерживаюсь, однако всё чаще в последнее время я стал слышать заявления о том, что подобная техника “противоречит базовой биомеханике и протоколам безопасной работы в зоне рога пульпы” (элегантная и грамотная формулировка) или “по правилам в дентине сначала механика с водным охлаждением, потом в глубине полости только ручные инструменты <...> нагрев пульпы при препарировании на сухую весьма значительный, много работ посвящено этой теме” (псевдоавторитетная спекуляция).

Что же это за техника препарирования и существуют ли какие-то общепризнанные протоколы и правила, на которые ссылаются её критики? По традиции рассмотрим учебники и руководства, а по пути разберём интересные исследования.

Из-за чего весь сыр-бор?

Техника препарирования глубоких полостей, которой придерживаюсь я (не я придумал, не претендую на “авторскость”, хе-хе):

- 1) Максимально широкое раскрытие полости с иссечением всей повреждённой эмали и эмали без дентинной поддержки, в том числе – окклюзионная редукция бугров в случае разрушения более половины их объёма. Данный этап необходим для обеспечения хорошей визуализации всех стенок полости, помогает не пропустить кариес по ЭДС. Для препарирования используются алмазные боры в повышающем (1:5) или турбинном наконечнике с водо-воздушным охлаждением (от 200 до 500 тыс. об/мин);
- 2) Для быстрого иссечения больших объёмов размягчённого дентина, не прилежащего к пульпе (ЭДС, неглубокие участки полости) – большой твердосплавный шарик на длинной ножке, низкоскоростной наконечник (обычный механический с передаточным числом 1:1) с водо-воздушным охлаждением (до 40 тыс. об/мин, обычно – 10-20 тыс.). Использование высокоскоростного турбинного наконечника с алмазным бором для этой цели будет не очень эффективным: во-первых, такой бор на высоких оборотах не сможет срезать мягкий

дентин, он будет его размазывать, во-вторых, иссечение больших объёмов мягкого дентина быстро загрязняет рабочую часть бора, снижая и без того невысокую эффективность препарирования.

- 3) Как только дентин стал более плотным (субъективные тактильные ощущения при работе наконечником) или границы препарирования приблизились к опасной зоне (рог пульпы или крыша пульпарной камеры), я меняю режим препарирования: выключаю воду, оставляю тот же бор (большой твердосплавный шарик на длинной ножке) и понижаю скорость до 3-5 тыс. об/мин. Тщательно высушиваю полость (а ещё продуваю наконечник, чтобы не летела вода) и под визуальным контролем (бинокляры/микроскоп) приступаю к завершению некрэктомии. В сомнительных случаях могу использовать гипохлорит натрия. Во время работы я не удерживаю бор в одной точке и практически не оказываю на него давления, задача – снять как можно более тонкий пласт дентина за один проход. Накопившуюся стружку между проходами ассистент смывает водой из пюстера. Если стружка из дентинных опилок крупная/влажная/тёмная – продолжаю препарирование. Появление мелкой, сухой и светлой стружки свидетельствует о завершении препарирования, даже если дентин на дне полости при этом пигментированный. Я не использую кариес-маркер и ручные инструменты (экскаваторы).
- 4) После завершения препарирования в опасных зонах я проверяю ЭДС на предмет пропущенного кариеса – ещё раз прохожусь твердосплавным бором меньшего размера (3 тыс. об/мин, без воды).
- 5) Финишное препарирование алмазными борами с красной маркировкой для окончательного удаления несостоятельной эмали и формирования скосов (200 тыс. об/мин, с водой).
- 6) Пескоструйная обработка оксидом алюминия (27 мкм).

Именно третий этап вызывает негодование у сторонников “протоколов” и “правил”. Давай попробуем найти эти правила и протоколы.

Sturdevant Art and Science of Operative Dentistry¹

В разделе **Fundamentals of Tooth Preparation** при описании препарирования глубоких полостей английским по белому написано: “...the use of sharp spoon excavators and sharp rotary instruments, with intermittent light pressure, may help limit pulpal irritation” – применение экскаваторов и препарирование борами (движения прерывистые, нажатие лёгкое) для иссечения кариеса позволяет ограничить раздражение пульпы. Интересно, что препарирование *без воды* упоминается чуть ранее по тексту при обсуждении удаления старых композитных реставраций на дне полости. В разделе **Instruments and Equipment for Tooth Preparation** написано следующее: “...the low-speed range is used for cleaning teeth, caries excavation, and finishing and polishing procedures. At low speeds, tactile sensation is better, and generally overheating of cut surfaces is less likely <...> Carbide burs are better for end cutting, produce lower heat, and have more blade edges per diameter for cutting” – здесь речь о низкоскоростных наконечниках (до 12 тыс. об/мин) и твердосплавных борах – они подходят для удаления кариозных тканей, тактильный контроль лучше, а риск перегрева тканей маловероятен, т.к. при их использовании выделяется меньше тепла. Для особо влюблённых в материаловедение и физику описаны принципиальные различия механизмов срезания дентина алмазными (*abrasive cutting*) и твердосплавными (*blade cutting*) борами: алмазный бор не столько режет, сколько деформирует дентин с образованием канавки, скаты которой выполнены уплотнёнными дентинными опилками (Рис. 1, Фото 1), в то время как для твердосплавных боров характерно “срезание” по типу пластического разрушения (*ductile fracture*) – сначала перед лезвием бора происходит деформация дентина (Рис. 2) с поглощением механической энергии и выделением тепла, а затем срезание – разрушение целостности, дентинные опилки отрываються от поверхности.

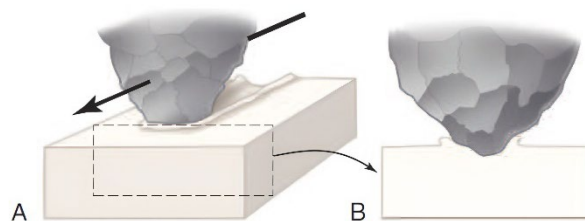


Рисунок 1. Схематичное изображение препарирования алмазным бором (Ritter et. al, 2019).

¹ Седьмое издание. В мае 2025 вышло восьмое, но я его ещё не купил, извини.

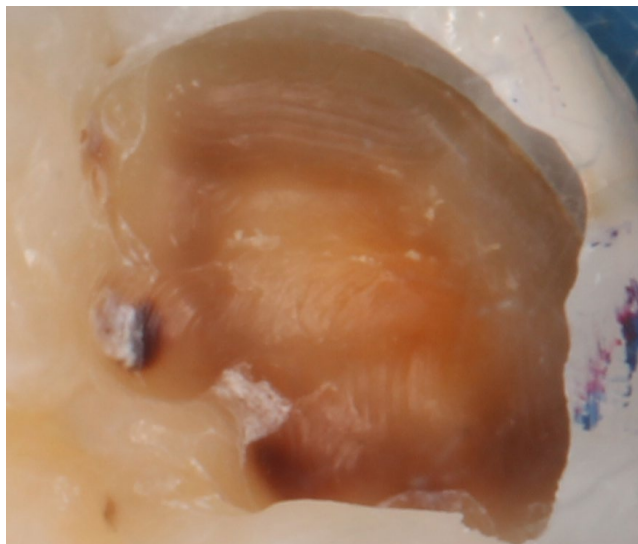


Фото 1. Характерный вид поверхности мягкого дентина после препарирования алмазным бором.

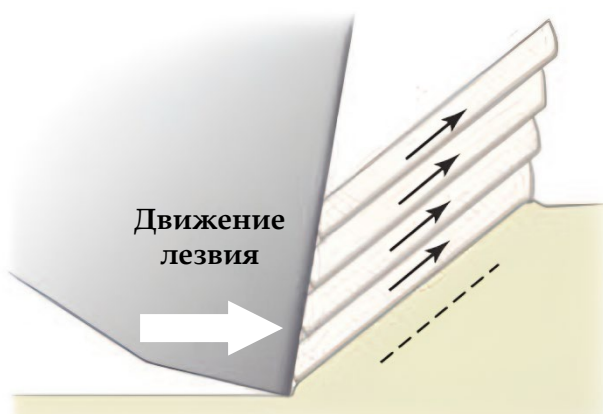


Рисунок 2. Схематичное изображения принципа среза дентина твердосплавным бором (Ritter et. al, 2019).

Что это значит простыми словами? При небольшом давлении и низкой скорости вращения твердосплавного бора нагрев дентина будет незначительным: влияние трения минимально, а тот пласт тканей, который нагревается за счёт механической деформации, тут же срезается следующим лезвием бора. При препарировании плотного дентина на высокой скорости с выраженным давлением на бор возникает гораздо более выраженный нагрев за счёт трения между срезанными опилками и режущими кромками бора, а также из-за трения между бором и уже отпрепарированной поверхностью зуба. Использование изношенных карбидных боров или алмазных боров, поверхность которых сильно загрязнена опилками, также приведёт к значительному выделению тепла при работе. Кроме того, алмазные боры гораздо сильнее нагревают дентин в сравнении с карбидными.

² Там, помимо всего прочего, описано широкое раскрытие полостей II класса, которое сейчас модно называть “препарированием по Кларку” или под 45 градусов.

Чем ближе граница препарирования к пульпе, тем выше риски её повреждения, особую опасность представляют нагрев и высушивание. При этом сам дентин по мнению авторов раздела плохо проводит тепло, степень его “теплозащиты” пропорциональна квадрату толщины (*remaining dentine thickness*). Препарирование без воды допускается на низких оборотах прерывистыми движениями и с лёгким нажимом на наконечник: *“At such times, air coolant combined with lower rotational speed, light, and intermittent instrument application should be used to enhance vision and minimize trauma”*.

Fundamentals of Pediatric Dentistry

Хорошее практическое руководство *Richard Mathewson*, о котором мало кто слышал². В главе **Restorative Procedures for Primary Molars** описаны следующие особенности препарирования полостей:

- для удаления размягчённого дентина хорошо подходят как ручные экскаваторы, так и шаровидные стальные боры в низкоскоростном наконечнике (без воды);
- чрезмерное использование ручных инструментов не рекомендуется, гораздо быстрее достичь того же конечного результата позволит использование бора.

Национальное руководство по детской терапевтической стоматологии

В разделе **Технологии и материалы в детской стоматологии** дана собственная классификация боров в зависимости от скорости вращения, низкоскоростные (до 5 тыс. об/мин) *стальные боры* рекомендовано применять с водо-воздушным охлаждением: *“Без него видимость лучше, но препарирование с водо-воздушным охлаждением происходит быстрее и чище”*. Прямого запрета на работу без воды нет. Более того, упоминается кратковременное использование *“средних высокоскоростных боров”* (30-120 тыс. об/мин) без водяного охлаждения в течение коротких отрезков времени для улучшения видимости. Из интересных цитат: *“...при удалении инфицированного дентина бором или ручным инструментом болевая реакция отсутствует, и поэтому местная анестезия обычно не требуется, а возникновение болевой реакции является индикатором*

³ Хотя кому это интересно, кроме россиян? Да и россиянам не очень интересно.

избыточного расширения полости <.> Минимально достаточной для охлаждения рабочего поля при скорости вращения инструмента более 1500 оборотов в минуту считается подача 50 мл охлаждающей жидкости в минуту". Использование ручных инструментов подробно описано в разделе об атравматичном лечении (ART – *Atraumatic Restorative Treatment approach*); раздел представляет из себя вольный, местами дословный перевод одной из первых версий руководства *Jo Frencken*, откуда даже рисунки скопировали. Не имеет прямого отношения к рассматриваемой теме, т. к. описывает принципы работы в условиях невозможности оказания полноценной стоматологической помощи⁴ с использованием только ручных инструментов.

McDonald and Avery's Dentistry for the child and adolescent

В 11-м издании вообще написано, что весь объём препарирования при лечении кариеса можно выполнить при желании одним твердосплавным бором в высокоскоростном наконечнике. По крайней мере, во временных зубах. Протоколы и правила препарирования глубоких полостей не рассмотрены.

Cohen's Pathways of the Pulp

В 12-м издании есть целый раздел, посвящённый влиянию препарирования на состояние пульпы – **Pulp reactions to caries and dental procedures**, авторы – *Ashraf Fouad* и *Linda Levin*. И вот тут встречается интересная информация: "*It has been shown using primate models that an intrapulpal temperature rise of 10°C causes irreversible pulp pathosis in 15%, and a 20°C rise caused pulp abscess formation in 60% of teeth evaluated*" – в экспериментах с приматами было доказано, что повышение внутрипульпарной температуры на 10°C вызывает необратимую патологию пульпы в 15% случаев, а повышение на 20°C приводит к образованию абсцесса пульпы в 60% случаев. Авторы ссылаются на классическое исследование *Zach&Cohen* 1965 года, в котором препарирования не было, там бедным макакам под фенобарбиталом кипятили пульпу резцов, прикладывая паяльник (275°C) на 5-20 секунд. Результаты этих наблюдений в учебнике приведены с ошибкой – в оригинальном исследовании температуру пульпы измеряли в градусах по Фаренгейту (10°F и

20°F соответственно), при переводе в градусы Цельсия получаются немного другие цифры: нагрев $\geq 5.5^{\circ}\text{C}$ = некроз в 15% случаев, $\geq 11^{\circ}\text{C}$ = некроз в 60% случаев.

В учебнике не упоминаются два других интересных исследования, однако я считаю важным тебе о них рассказать. Эх, шестидесятые! Те же авторы (*Zach&Cohen*) тремя годами раньше провели гораздо более интересный эксперимент, на мой взгляд. Его дизайн был ближе к условиям обсуждаемой темы: макаки под наркозом (отличное название для музыкальной группы – прим. автора), разные группы зубов (резцы, премоляры, моляры), препарирование полостей карбидными борами с использованием турбинного (238 тыс. об/мин) и механического наконечников (11 тыс. об/мин) – с водой и без. До начала эксперимента в полость зуба вводили термодатчик, который располагали как можно ближе к области будущего препарирования (Рис. 3). Полости препарировали следующим образом: после 4 секунд работы бора был перерыв в 1 секунду.

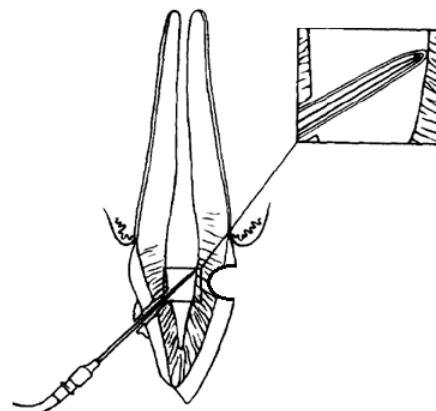


Рисунок 3. Схема расположения термодатчика в исследовании *Zach&Cohen*, 1962.

При работе турбинным наконечником без охлаждения температура предсказуемо росла быстрее – через 25 секунд она поднималась в среднем на 6.7°C (и на 14°C в резцах). Насколько сильно нагревался дентин при препарировании механическим наконечником (11 тыс. об/мин) без водяного охлаждения? В среднем – всего на 3°C через 10 секунд, на 5.5°C через 20 секунд и на 7.8°C через 35 секунд непрерывного препарирования. Есть результаты похожего исследования на четырёх собаках (*Bhaskar&Lilly*, 1965), там препарирование полости по пятому классу карбидным бором в механическом наконечнике (10 тыс. об/мин) без водяного охлаждения в среднем приводило к нагреванию пульпы на 5.4°C (продолжительность препарирования не указана).

⁴ Электричества нет, наконечников нет, есть только палка-вырлтка и мешок цемента.

Но дальше всех пошли шведы Nyborg и Brännström в далёком 1968: они собрали детей в возрасте от 10 до 15 лет, которым планировалось удалить премоляры по ортодонтическим показаниям – всего получилось 29 пар зубов (эксперимент-контроль). Под местной анестезией в этих обречённых зубах они насверлили дырок разной глубины (толщина остаточного дентина иногда составляла всего 0.1 мм), с одной стороны полости сразу запломбировали амальгамой (контроль), а вот зубам с другой стороны повезло меньше... Полость просушивали ватным тампоном и помещали внутрь тонкий металлический стержень, разогретый до 150°C. И держали 30 секунд. Думаешь, это всё? Нет. В 12 случаях в полость дополнительно заливали силиконовое масло, чтобы *“увеличить эффект нагрева на 25–32%”*. Далее зубы удаляли сразу (9 пар) и через месяц (20 пар). И что же выяснилось? Все зубы, которые удалили через месяц, были асимптоматичны. Только в 4-х случаях из 20 были в пульпе обнаружили участки, похожие на некроз, однако процесс был локализован непосредственно в месте воздействия высокой температуры, остальная часть пульпы была совершенно здоровой и жизнеспособной. Ашраф Фуад и Линда Левин заключают: *“Таким образом, в совокупности эти результаты позволяют предположить, что кратковременное повышение температуры, вызванное препарированием, само по себе не может быть причиной изменений в пульпе”*.

Далее в тексте учебника упоминается более современное исследование Baldissara, Catapano & Scotti 1997 года с дизайном, похожим на эксперимент Zach&Cohen (тоже без препарирования, людям в сознании нагревали премоляры; не паяльником). Итальянским учёным не удалось подтвердить результаты фундаментального исследования 1965 года – даже повышение температуры пульпы на 11°C не приводило к значимым гистологическим изменениям в зубах ни сразу после нагревания, ни в отдалённый период (90 дней).

При этом риск перегрева пульпы во время препарирования без водяного охлаждения упоминается в другой главе учебника, которая посвящена внутренней резорбции: *“Another reason for the loss of predentin might be extreme heat produced when cutting on dentin without an adequate water spray”* со ссылкой на единственное исследование. Но тут речь скорее о препарировании больших объёмов дентина, например, при ортопедическом вмешательстве.

“Не пора ли, друзья мои, нам замахнуться на Вильяма, понимаете, нашего Шекспира?”

То есть, на Доменико Рикуччи. Для начала обратимся к его учебнику в соавторстве с Жозе Сикейра (2013). Бинго! Есть целый раздел **Повреждение пульпы в результате перегрева** и есть протокол препарирования дентина в глубоких полостях рядом с пульпой! *“Экסקавацию кариозного дентина начинают борами на низкой скорости с обильной ирригацией – она необходима для профилактики перегрева и вымывания иссечённых тканей. На более глубоких участках манипуляцию продолжают острыми экскаваторами”*. Информация о риске перегрева сопровождается ссылкой на классическое исследование Langeland 1965 года: *“Всего было проведено гистологическое исследование 1664 зубов после различных клинических манипуляций, в том числе препарирования полости борами со скоростью от 150 до 300 000 об/мин. Исходя из полученных данных, авторы пришли к выводу, что охлаждать боры требуется при скорости вращения выше 3000 об/мин”*. В исследовании в том числе участвовали дети от 10 до 16 лет. Эх, шестидесятые!

Любопытно! Я не смог найти в статье Langeland заявлений о том, что боры требуется охлаждать при скорости выше 3 тыс. об/мин – такая формулировка не встречается ни в результатах, ни в обсуждении, ни в заключении статьи. Цифра в три тысячи оборотов фигурирует только во вступлении: *“The results of investigations on pulp reactions to cavity and crown preparation with conventional belt-driven engines revolving at speeds up to 3000 rpm indicate that the dentist should be careful to avoid pulp damage”* – результаты исследований реакции пульпы на препарирование полости [и коронки] с помощью традиционных механических моторов, вращающих бор со скоростью до 3000 об/мин, показывают, что стоматолог должен быть осторожен, чтобы не повредить пульпу.

Упоминаний работ Zach&Cohen или Baldissara в тексте учебника мне найти не удалось, как и критического порога нагревания в 5.5°C. Зато встречаются другие важные слова: *“В случае имеющегося кариозного поражения в пульпарной камере уже развились патологические изменения, значительно снижающие её репаративную способность. Препарирование полости, дегидратация твердых тканей зуба и воздействие химических средств реставрационных систем еще больше ухудшают состояние пульпы”* – логично предположить, что в случае длительно текущего воспаления во время препарирования и реставрации желательно по возможности свести к

минимуму воздействие всех факторов, которые способны нанести пульпе дополнительный вред (в двух словах – максимально щадяще). Значит ли это, что препарирование дентина твердосплавным бором на низких оборотах без водяного охлаждения может привести к перегреву пульпы, после чего она сгинет в кровожадной пучине неминуемой смерти⁵? В учебнике нет ни доказательств, ни опровержений, только домыслы самого автора.

В 2019 году Ricucci&Siqueira опубликовали статью под названием *“Vital pulp therapy: histopathology and histobacteriology-based guidelines to treat teeth with deep caries and pulp exposure”* – рекомендации по лечению зубов с глубокими полостями, основанное на гистопатологических и гистобактериологических принципах. Такие аспекты препарирования, как применение конкретных боров или допустимость работы без охлаждения не упоминаются, но есть категоричное заявление, дублирующее текст учебника 2013 года: *“Для препарирования в самой глубокой части полости не следует использовать боры – только острые экскаваторы”* – без объяснения причин и преимуществ.

Guuuuuuuidelines

Есть ещё большой и цитируемый сборник рекомендаций 2016 года **Managing carious lesions**, в котором гораздо меньше категоричных заявлений: *“As a result, information on clinical advantages or disadvantages of different excavation methods is sparse, with very weak evidence...”* – в доступных исследованиях по препарированию очень мало информации о превосходстве одного метода удаления кариеса над другим, чёткие протоколы и правила сформировать весьма сложно.

Позиция ассоциации американских эндодонтистов несколько отличается (**AAE Position Statement on Vital Pulp Therapy**): для контроля некрэктомии настоятельно рекомендуют использовать кариес-детекторы, якобы их применение будет являться объективным стандартом для всех врачей при удалении кариеса, позволяя исключить клиническую философию или субъективное суждение при принятии решения. Весьма противоречивое заявление (кариес-маркер окрашивает не инфицированный, а деминерализованный дентин), но не относится к рассматриваемой теме. В указанной публикации отсутствуют как правила по препарированию глубоких полостей с использованием боров или ручных инструментов, так и информация

о риске перегрева пульпы при работе без водяного охлаждения.

В учебнике Анны Фукс **Contemporary Endodontics for Children and Adolescents** 2023 года есть целый раздел, посвящённый лечению постоянных зубов с глубокими полостями, там подробно описаны принципы селективного препарирования и непрямого покрытия пульпы, но отсутствуют упоминания правил препарирования. О риске перегрева пульпы тоже ничего нет.

Промежуточные итоги

Можно ли с уверенностью сказать, как правильно проводить некрэктомию – бором или экскаватором? На мой взгляд – нет. Слишком много переменных, которые сложно учесть, слишком много категоричных заявлений авторитетных специалистов, которые не подкреплены ничем, кроме личного мнения, слишком много противоречивых результатов исследований полувековой давности на животных и слишком мало данных современных клинических исследований, условия которых приближены к условиям обсуждаемой темы.

Даже в случае правильно поставленного диагноза прогноз лечения в целом и успешность препарирования глубоких полостей в частности будет сильно зависеть от многих факторов:

- возраст пациента – пульпа у детей более реактивная, но при этом её репаративный потенциал выше;
- степень активности кариозного поражения – для острого течения характерно более глубокое инфицирование и выраженная воспалительная реакция пульпы;
- общесоматическое состояние пациента и интенсивность кариеса;
- состояние пульпы на момент начала лечения;
- мануальные навыки врача и наличие увеличения – оценка плотности и “здоровости” дентина весьма субъективна, т. к. зачастую основана практически только на тактильных ощущениях;
- выбор окончательной реставрации и её отделки.

⁵ Моану пересмотри, поймёшь отсылку.

Заключение

Чем более компромиссный случай, тем более щадящим (но тщательным!) должно быть препарирование. Степень бережности при этом будет зависеть исключительно от твоих навыков: можно нежно препарировать бором на 3000 об/мин, а можно нежно убирать размягчённый дентин экскаватором (и наоборот). У каждого метода есть преимущества и недостатки – можно попробовать оба варианта и выбрать тот, что больше нравится. Например, мне не нравится ковыряться в зубах ручными инструментами во время лечения кариеса, мой клинический опыт позволяет мне уверенно проводить оценку объёма препарирования без их использования. Я при этом точно знаю, что прерывистая работа с лёгким нажатием на низких оборотах не приведёт к значимому нагреву тканей.

У тебя небольшой опыт? Часто сомневаешься в объёме препарирования? Боишься оставить кариес? Можешь воспользоваться кариес-маркером, только помни, что он окрашивает весь низкоминерализованный дентин, в том числе тот, который не нужно иссекать – околопульпарный и по ЭДС. Боишься последствий раздражения пульпы? Не выключай воду в наконечнике. Плохо видно? Возьми острый экскаватор соответствующего размера и аккуратно поскреби вручную.

Нет универсальных правил. Нет чётко установленных пределов безопасности. Нет простых решений. Есть накопленные знания, опыт, клиническое мышление и мануальные навыки. Думай.