

Сравнительный рентгеноспектральный анализ химического состава дентина зубов с клиновидным дефектом при различной глубине микротрещин эмали

С. П. Ярова, И. И. Заболотная, С. А. Дубина, Ю. Ю. Яров

Донецкий национальный медицинский университет, Лиман, Украина
Corresponding author. E.mail: myhelp200@gmail.com

Paper received 21.06.18; Accepted for publication 28.06.18.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-172VI20-10>

Аннотация. Цель работы – изучение химического состава дентина зубов с клиновидным дефектом в зависимости от глубины микротрещин эмали. Материалы и методы: объект исследования - 10 удаленных по клиническим показаниям зубов обеих челюстей и их продольные шлифы пациентов 25-54 лет. Использовали растровый (сканирующий) электронный микроскоп JSM-6490 LV с системой энергодисперсионного рентгеновского микроанализа INCA Penta FETx3. Количество магния было большим: в зоне режущего края (бугра) зубов с микротрещинами I типа, на экваторе, десенной поверхности клиновидного дефекта зубов с микротрещинами II типа, в области коронковой поверхности, стыка некариозной патологии и на удалении от него зубов с микротрещинами III типа. Количество кальция было большим: в области режущего края (бугра) и экватора зубов с микротрещинами II типа, на коронковой поверхности клиновидного дефекта зубов с микротрещинами I типа, в зоне десенной поверхности, стыка некариозной патологии и в 150 мкм от нее зубов с микротрещинами III типа. Установлена взаимосвязь химического состава дентина зубов, имеющих клиновидный дефект, с глубиной микротрещин эмали вестибулярной поверхности. Получены достоверные отличия по содержанию магния и кальция в дентине в зависимости от глубины микротрещин ($p < 0,05$).

Ключевые слова: микротрещины, клиновидный дефект, дентин, химический состав.

Введение. Исследования последних лет показали значительный рост распространенности некариозных поражений среди взрослого населения, в том числе клиновидного дефекта, встречаемость которого, по данным различных авторов, составляет 19,3-39,8% [1-4]. Его развитие приводит к постепенной убыли твердых тканей и появлению боли разной интенсивности, нарушению речеобразования, артикуляции, вкусоощущения, психологического здоровья [1,5]. Восстановление целостности тканей зубов при клиновидном дефекте представляет определенные сложности, обусловленные изменением структуры в области дефекта, а также наличием трещин на поверхности эмали и цемента, прилежащих к нему. Недооценка этих факторов может привести к выпадению пломбы, появлению симптомов гиперестезии, к дальнейшему развитию пришеечной патологии по периферии реставрации. Поэтому при лечении клиновидных дефектов необходимо учитывать морфологические особенности строения и минерального состава твердых тканей. При их восстановлении требуется особый подход к препарированию [1,4,6-8]. Кроме этого, остается актуальным выявление новых этиопатогенетических факторов в их развитии, которое имеет как научное, так и практическое значение, поскольку будет способствовать оптимизации диагностики, лечения и профилактики на ранних этапах.

Одним из звеньев патогенеза клиновидных дефектов является микроэлементоз. Однако, не всегда учитываются в полной мере возможные нарушения микроэлементного гомеостаза в полости рта в силу малоизученности этого процесса. Но некоторые ионы способны изменять структуру минерализации, образуя различные гипо- и гиперминерализованные слои в эмали и дентине [9]. В предыдущих работах нами были представлены результаты изучения химического состава поверхностной эмали зубов с клиновидными дефектами в зависимости от глубины микротрещин

эмали [10-11]. Было определено достоверное различие в количественном распределении фосфора в исследованных зонах эмали при различной глубине микротрещин, $p < 0,05$. Его содержание было большим в эмали зубов с микротрещинами II типа по сравнению с образцами, имеющими микротрещины I типа, где количество фосфора было наименьшим, $p < 0,05$ [11]. Характер изменений, наблюдаемых в области границы дефекта со стороны эмали, позволил предположить, что причиной ее разрушения являются процессы, происходящие под ней – в дентине, выраженность которых нарастает от края дефекта к его середине. Наиболее значительные деструктивные изменения были отмечены в области стыка клиновидного дефекта (дно клина).

Цель: проведение сравнительного рентгеноспектрального анализа химического состава дентина зубов с клиновидным дефектом в зависимости от глубины микротрещин эмали.

Материалы и методы. Объектом исследования служили 10 удаленных по клиническим показаниям зубов обеих челюстей и их продольные шлифы пациентов 25-54 лет. Образцы промывали, очищали, хранили в формалине. Диагностировали три типа трещин в зависимости от сложности их выявления (С.Б. Иванова, 1984): I – очень тонкие, заметные после тщательного высушивания поверхности зуба, при применении окрашивания 1% раствором метиленового синего, дополнительного освещения и бинокулярной лупы; II – обнаруживали при дополнительном освещении без дополнительного увеличения; III – определяли невооруженным глазом при обычном освещении. Для изготовления шлифов образцы распиливали вдоль центральной оси через середину вестибулярной поверхности алмазными дисками с охлаждением. Распилы зубов погружали формы и заливали быстротвердеющими пластмассами. После полимеризации образцы шлифовали и полировали. Использовали растровый

(сканирующий) электронный микроскоп JSM-6490 LV с системой энергодисперсионного рентгеновского микроанализа INCA Penta FETx3. Образцы и их шлифы закрепляли на предметном стекле и в вакуумной установке напыляли углеродом. Для проведения количественного рентгеноспектрального микроанализа применялись эталонные образцы. Расчет локальных массовых долей химических элементов осуществлялся методом отношения пикфон с учетом поправок на атомный N, флуоресценцию и поглощение. Был определен минеральный состав дентина в виде процентного соотношения весовых количеств кальция, фосфора, натрия, магния, серы, хлора, цинка, калия, алюминия в различных областях зуба: клинически неизмененных (режущий край (бугор), экватор) и в зоне клиновидного дефекта (коронковая, десенная поверхность, стык, 150мк от него).

Статистическую обработку осуществляли с помощью компьютерных программ Statistica 10.0 и Microsoft Excel 2003. Был проведен дисперсионный анализ (определен критерий Крускала-Уоллиса). За критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимался $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. При изучении химического состава дентина в зоне режущего края (бугра) образцов с клиновидным дефектом были определены различия в содержании магния, фосфора, серы и кальция: в группе зубов, имеющих дефекты I типа, концентрация магния ($0,50 \pm 0,03$ норм.масс.%) была статистически значимо выше по сравнению с зубами, имеющими дефекты II типа, а фосфора и кальция, наоборот, ниже (соответственно, $11,86 \pm 0,13$ норм.масс.% и $21,18 \pm 0,27$ норм.масс.%) по сравнению с показателями в других группах ($p < 0,05$). Содержание серы в данной топографической зоне было большим в образцах с III типом микротрещин ($0,13 \pm 0,01$ норм.масс.%) и меньшим - со II типом ($0,06 \pm 0,02$ норм.масс.%), $p = 0,040$. Алюминий в одинаковом количестве был определен во всех группах ($p = 0,879$).

Анализ химического состава дентина в области экватора выявил различия в содержании натрия, магния и кальция: их концентрация была наименьшей в группе образцов с I типом дефектов ($p < 0,001$). В большем количестве магний и кальций определялись в зубах, имеющих дефекты II типа (соответственно, $0,38 \pm 0,03$ норм.масс.% и $27,65 \pm 0,29$ норм.масс.%), натрий – в зубах с III типом ($0,86 \pm 0,09$ норм.масс.%).

Были получены достоверные различия в концентрации натрия, магния, фосфора, серы, хлора и кальция в области коронковой поверхности некариозной патологии ($p < 0,001$). В группе образцов, имеющих дефекты I типа, натрий, сера и кальций содержались в большем количестве ($0,64 \pm 0,05$ норм.масс.%, $0,17 \pm 0,04$ норм.масс.% и $25,72 \pm 0,76$ норм.масс.%, соответственно), а магний, наоборот, в меньшем ($0,08 \pm 0,03$ норм.масс.%) ($p < 0,001$). В зубах с микротрещинами II типа фосфора, серы и кальция было достоверно меньше ($9,70 \pm 0,12$ норм.масс.%, $0,06 \pm 0,01$ норм.масс.% и $15,71 \pm 0,19$ норм.масс.%, соответственно), а хлора, наоборот, больше ($0,16 \pm 0,01$ норм.масс.%) по сравнению с зубами, имеющими III тип, $p < 0,05$. Концентрация хлора была одинаковой в группах с I и III типами дефектов эмали ($p = 0,002$). В

образцах с III типом микротрещин было меньше натрия ($0,37 \pm 0,02$ норм.масс.%), а количество магния и фосфора ($0,37 \pm 0,02$ норм.масс.% и $12,95 \pm 0,08$ норм.масс.%, соответственно) – статистически значимо больше по сравнению с образцами, имеющими II тип микротрещин, $p < 0,001$.

При проведении анализа химического состава в области десенной поверхности некариозной патологии были выявлены различия в содержании всех изученных химических элементов за исключением алюминия и цинка ($p > 0,05$). В дентине зубов с дефектами эмали III типа концентрация натрия, фосфора, серы, хлора, калия и кальция была выше, чем в других группах. При этом показатели образцов с III типом микротрещин по фосфору, сере, хлору, калию и кальцию достоверно отличались от показателей образцов со II типом ($p < 0,05$). Содержание магния было наибольшим в дентине зубов со II типом дефектов ($0,24 \pm 0,03$ норм.масс.%), $p = 0,005$.

Затем был изучен минеральный состав дентина зубов в области стыка поверхностей некариозной патологии. Были выявлены различия в количестве натрия, магния, алюминия, фосфора, серы и кальция: в группе образцов с III типом микротрещин концентрация магния, фосфора, серы и кальция была достоверно выше, чем в группе образцов со II типом ($p < 0,001$). Алюминия, наоборот, в зубах со II типом дефектов было меньше ($0,02 \pm 0,01$ норм.масс.%) ($p = 0,035$). В образцах с I типом микротрещин было выявлено больше натрия и алюминия (соответственно, $0,61 \pm 0,05$ норм.масс.% и $0,06 \pm 0,02$ норм.масс.%) и меньше – магния ($0,10 \pm 0,02$ норм.масс.%), фосфора ($9,91 \pm 0,38$ норм.масс.%), серы ($0,09 \pm 0,01$ норм.масс.%), $p < 0,05$. Таким образом, содержание фосфора и магния увеличивалось, а натрия и алюминия, наоборот, уменьшалось в дентине зубов по мере увеличения глубины дефектов эмали вестибулярной поверхности.

Аналогично было определено количество минеральных компонентов в дентине образцов в зависимости от глубины дефектов эмали на расстоянии 150 мкм от области стыка поверхностей некариозной патологии. В группе зубов с I типом микротрещин концентрация натрия была достоверно выше ($0,64 \pm 0,08$ норм.масс.%), а магния, фосфора и кальция, наоборот, ниже (соответственно, $0,09 \pm 0,01$ норм.масс.%, $9,09 \pm 0,20$ норм.масс.% и $18,53 \pm 0,30$ норм.масс.%) по сравнению с зубами, имеющими III тип дефектов, $p < 0,05$. Содержание кальция, фосфора, магния увеличивалось, а натрия, наоборот, уменьшалось по мере увеличения глубины микротрещин эмали.

Выводы. Химический состав дентина зубов с клиновидным дефектом во всех рассмотренных зонах отличался по содержанию магния и кальция в зависимости от глубины микротрещин ($p < 0,05$). Количество магния было большим: в зоне режущего края (бугра) образцов с микротрещинами I типа, на экваторе, десенной поверхности клиновидного дефекта образцов с микротрещинами II типа, в области коронковой поверхности клиновидного дефекта, стыка некариозной патологии и на удалении от него образцов с микротрещинами III типа. Меньшая его концентрация была определена в зоне режущего края (бугра) зубов со II типом дефектов и во всех остальных рассмотренных

топографических областях зубов с I типом дефектов, $p < 0,05$. Нами было подтверждено мнение Турбины О.В. (2003), что отсутствует ведущая роль магния в патогенезе клиновидных дефектов. Его уровень объясняет редкое возникновение кариозного процесса в области клиновидного дефекта. Поэтому было определено высокое содержание магния в области коронковой поверхности, стыка некариозной патологии и на удалении от нее образцов с глубокими дефектами эмали III типа, $p < 0,05$.

Количество кальция было большим: в зонах режущего края (бугра) и экватора зубов с микротрещинами II типа, на коронковой поверхности клиновидного дефекта зубов с микротрещинами I типа, в зоне десенной поверхности, стыка некариозной патологии и в 150 мкм от нее зубов с микротрещинами III типа. Его концентрация была достоверно ниже в области режущего края (бугра), экватора и на удалении от клиновидного дефекта образцов с I типом дефектов эмали: в зонах поверхностей и стыка некариозной патологии образцов со II типом, $p < 0,05$.

Во всех зонах исследования, кроме коронковой поверхности клиновидного дефекта, были выявлены

достоверные отличия в содержании углерода в зависимости от глубины дефектов эмали на вестибулярной поверхности образцов, $p < 0,05$. Данные результаты согласуются с мнением других исследователей, что количество углерода имеет прямую зависимость от количества магния и обратную зависимость – от количества кальция и хлора. Количество натрия прямо зависит от значений магния в эмали [12].

Выявленные изменения в химическом составе дентина связаны с пульпой зуба, которая обеспечивает контроль за твердыми тканями посредством постоянного центростремительного перемещения зубного ликвора, регулируемого целостным организмом. За счет зубного ликвора происходит обмен веществ в эмали и дентине [13]. Кроме этого, зубы имеют контакт со смешанной слюной, с одной стороны, а с другой – с кровью. От их состояния зависит состав твердых тканей зубов. Основная часть минеральных веществ, которые поступают в ткани зубов, содержатся в слюне [14]. Поэтому, коррекция микроэлементного состава – залог успешной и полноценной реабилитации данной группы пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диагностика клиновидных дефектов твердых тканей зубов методом лазерно-индуцированной флуоресценции и рентгенографии / И. Н. Сарычева, О. О. Янушевич, Д. А. Минаков [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – №1 (10). – С. 2084–2090.
2. Смоляр Н. І. Клінічні прояви та диференційно-діагностичні критерії некаріозних уражень зубів / Н. І. Смоляр, Е. В. Безвужко // Профілактика та дитяча стоматологія. – 2013. – №1 (8). – С. 24–28.
3. Распространенность и возрастные особенности клиновидных дефектов твердых тканей зуба у взрослых людей / А. К. Иорданишвили, Д. А. Черный, М. М. Дьяконов [и др.] // Вестник российской военно-медицинской академии. – 2015. – №2 (50). – С. 15–18.
4. Отдаленные результаты лечения зубов с клиновидными дефектами / Н. Ф. Алешина, Т. Н. Радышевская, Л. И. Руквишников [и др.] // Волгоградский научно-медицинский журнал. – 2013. – №1. – С. 42–44.
5. Исламова Д. М. Оптимизация методов диагностики и лечения клиновидных дефектов зубов и симптома гиперестезии зуба : автореферат дис. ... канд. мед. наук : 14.01.14 «Стоматология» / Д. М. Исламова ; Башкирский гос. мед. ун-т. – Уфа, 2013. – 23 с.
6. Петрук А. А. Анализ клинического обоснования использования стеклоиономерного цемента «Геофил» при лечении кариеса дентина и клиновидных дефектов / А. А. Петрук // Медицинский журнал. – 2017. – №4. – С. 95–99.
7. Ярова С. П. Результаты рентгеноспектрального анализа микротрещин эмали зубов / С. П. Ярова, И. И. Заболотная // Вісник стоматології. – 2013. – №2 (83). – С. 29–32.
8. Пат. 99693 Україна, МПК (2015.01). А 61 С 5/00. Спосіб лікування клиноподібних дефектів твердих тканин зубів / Ярова С. П., Заболотна І. І. ; заявники і власники Ярова С. П., Заболотна І. І. – № u2014 03579 ; заявл. 07.04.2014 ; опубл. 25.06.2015; Бюл. №12.
9. Особенности микроэлементного состава зубных тканей человека по данным ИСП масс-спектрометрии с лазерной абляцией / Д. В. Киселева, Н. Н. Адамович, С. Л. Вотяков [и др.] // Труды института геологии и геохимии УрО РАН (Ежегодник-2012). – 2013. – Вып. 160. – С. 334–337.
10. Заболотная И. И. Химический состав пришеечной эмали зубов с клиновидным дефектом в зависимости от глубины микротрещин / И. И. Заболотная // Молодой ученый. – 2015. – №2 (17). – С. 602–604.
11. Ярова С. П. Хімічний склад емалі зубів з клиноподібним дефектом / С. П. Ярова, І. І. Заболотна // Новини стоматології. – 2017. – №1 (90). – С. 83–86.
12. Ткаченко І. М. Аналіз взаємозв'язків морфологічної будови і мікроелементного складу емалі зубів при надмірній і фізіологічній стертості / І. М. Ткаченко // Український стоматологічний альманах. – 2013. – №4. – С. 10–12.
13. Золотухина Е. Л. Механизмы участия зубного ликвора в формировании свойств твердых тканей зуба / Е. Л. Золотухина // Молодой ученый. – 2014. – №2 (05). – С. 160–163.
14. Шамас А. М. Роль макро- и микроэлементов в развитии зубов и способы коррекции их баланса / А. М. Шамас, Н. О. Очирова, О. В. Воейкова // Здоровье и образование в XXI веке. – 2014. – Т.16, №4. – С. 137–139.

REFERENCES

1. Sarycheva, I.N., Yanushevich, O.O., Minakov, D.A., & Shulgina, V.A. (2015). Diagnostika klinovidnykh defektov tverdykh tkaney zubov metodom lazerno-indutsirovannoy flyuorestsentsii i rentgenografii [The diagnosis of wedge-shaped defects of dental hard tissues by the method of laser-induced fluorescence and radiography]. *Fundamentalnye issledovaniya – Fundamental research*, 1(10), 2084–2090 [in Russian].
2. Smoliar, N.I., & Bezvushko, E.V. (2013). Klinichni proiavy ta dyferentsiino-diagnostychni kryterii nekarioznykh urazhen zubiv [Clinical features and differential diagnostic criteria for non-carious lesions of teeth]. *Profilaktika ta dytiacha stomatologia – Prevention and pediatric dentistry*, 1 (8), 24–28 [in Ukrainian].
3. Iordanishvili, A.K., Chernyi, D.A., Dyakonov, M.M., & Chernysh, V.F. (2015). Rasprostranennost i vozrastnye osobennosti klinovidnykh defektov tverdykh tkaney zuba u vzroslykh lyudey [Prevalence and age features of wedge-shaped defects of dental hard tissues in the adult]. *Vestnik*

- rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii – Vestnik of Russian military medical Academy, 2 (50), 15–18 [in Russian].
4. Alyoshina, N.F., Radyshevskaya, T.N., Rukavishnikova, L.I., & Pterskaya N.V. (2013). Otdalennyye rezultaty lecheniya zubov s klinovidnymi defektami [Long-term effects of treating dental wedge-shaped defects]. *Volgogradskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal – Volgograd journal of scientific and medical research*, 1, 42–44 [in Russian].
 5. Islamova, D.M. (2013). Optimizatsiya metodov diagnostiki i lecheniya klinovidnykh defektov zubov i simptoma giperestezii zuba [The optimization of the methods of diagnosis and treatment of wedge-shaped defects of teeth and symptom of hyperesthesia of a tooth]. *Extended abstract of candidate's thesis in Medicine*. Ufa: Bashkir State Medical University [in Russian].
 6. Petruk, A.A. (2017). Analiz klinicheskogo obosnovaniya ispolzovaniya stekloionomernogo tsementa «Giofil» pri lechenii kariesa dentina i klinovidnykh defektov [The analysis of the clinical basis for the use of glass-ionomer cement «Giofil» in treatment of dentin caries and wedge-shaped defects +study using glass ionomer cements «Giofil» in the treatment of dentin caries and wedge-shaped dental defects]. *Meditsinskiy zhurnal – Journal of Medicine*, 4, 95–99 [in Russian].
 7. Yarova, S. P., & Zabolotna, I. I. (2013). Rezultaty rentgenospektralnogo analiza mikrotreshin emali zubov [Results of X-ray spectrum analysis of dental enamel fissures]. *Visnyk stomatologii – Herald of Stomatology*, 2 (83), 29–32 [in Russian].
 8. Yarova, S.P., & Zabolotna I.I. (2015). Sposib likuvannya klynopodibnykh defektiv tverdykh tkany zubiv [The method of treatment of wedge-shaped defects of dental hard tissues]. *Patent of Ukraine for useful model*. A61C 5/00. N 99693; declared 07.04.2014; published 25.06.2015; N 12 [in Ukrainian].
 9. Kiseleva, D.V., Adamovich, N.N., Votyakov, S.L. & Mandra, Yu.V. (2013). Osobennosti mikroelementnogo sostava zubnykh tkaney cheloveka po dannym ISP mass-spektrometrii s lazernoy ablyatsiei [The features of trace element composition of dental tissues according to SPI mass-spectrometry with laser ablation]. *Trudy instituta geologii i geokhimii UrO RAN (Ezhegodnik-2012) – Proceedings of the Institute of Geology and Geochemistry, UrB RAS (Yearbook 2012)*, 160, 334–337 [in Russian].
 10. Zabolotna, I. I. (2015). Khimicheskiy sostav prishechnoy emali zubov s klinovidnym defektom v zavisimosti ot glubiny mikrotreshin [The chemical composition of precervical enamel of the teeth with wedge-shaped defects based on the depth of microfissures]. *Molodiy vcheniy – Young scientist*, 2 (17), 602–604 [in Russian].
 11. Yarova, S. P., & Zabolotna, I. I. (2017). Khimichniy sklad emali zubiv z klynopodibnym defektom [The chemical composition of the teeth enamel with wedge-shaped defect]. *Novini stomatologii – News of Stomatology*, 1 (90), 83–86 [in Ukrainian].
 12. Tkachenko, I.M. (2013). Analiz vzaïmozv'язkiv morfolo-gichnoi budovy i mikroelementnogo skladu emali zubiv pri nadmirnii i fiziologichnii stertosti [The analysis of the relationships of morphological structure and trace element composition of tooth enamel in increased and physiological abrasion]. *Ukrinskii stomatologichnyi almanakh – Ukrainian stomatological literary miscellany*, 4, 10–12 [in Ukrainian].
 13. Zolotukhina, E.L. (2014) Mekhanizmy uchastia zubnogo likvora v formirovanii svoistv tverdykh tkaney zuba [Participation mechanisms of dental liguor in the formation properties of dental hard tissues] *Molodiy vcheniy – Young scientist*, 2 (05), 160–163 [in Russian].
 14. Shamas, A.M., Ochirova, N.O., & Voyeykova, O.V. (2014). Rol makro- i mikroelementov v razvitii zubov i sposoby korrektsii ikh balansu [Macro and micro elements importance in teeth development and ways of their balance correction]. *Zdorovye i obrazovanie v XXI veke – Health and education in the 21st century*, Vol.16, 4, 137–139 [in Russian].

Comparative X-ray analysis of chemical composition of dentin in teeth with a wedge-shaped defect at different depth of the enamel microcracks

S. P. Yarova, I. I. Zabolotna, S. A. Dubyna, Yu. Yu. Yarov

Abstract. The purpose of the work– to research the chemical composition of dentin in teeth affected by a wedge-shaped defect depending on the depth of the enamel microcracks. Materials and methods: subject of research – 10 teeth of the both jaws extracted as clinically indicated, longitudinal sections of teeth of patients from 25 to 54 years old. JSM-6490 LV focused beam electronic microscope (scanning) with system of energy-dispersive x-ray microanalysis INCA Penta FETx3 was used. A great number of magnesium was present: in the incisal zone (cusps) of teeth with microcracks of type I, at the equator, on the gingival surface of a wedge-shaped defect of teeth with microcracks of type II, in the area of the crown surface, the joint of non-carious pathology and at the distance from it in teeth with microcracks of type III. The amount of calcium was high in: incisal region (cusp) and the equator of teeth with microcracks of type II, on the crown surface of a wedge-shaped defect of teeth with type I microcracks, in the gum area, the joint of non-carious pathology and 150 microns away from it in teeth with microcracks of type III. There was established the relation between the chemical composition of dentin with a wedge-shaped defect and the depth of microcracks in the enamel of the vestibular surface. Significant differences in the content of magnesium and calcium in the dentin depending on the depth of microcracks ($p < 0.05$) were found out.

Keywords: microcracks, wedge-shaped defect, dentine, chemical composition.