

DOI: 10.37988/1811-153X_2021_4_13

[А.О. Гегамян,](#)

ассистент кафедры стоматологии детского возраста

[Л.Р. Сарап,](#)

д.м.н., профессор, зав. кафедрой стоматологии детского возраста

[А.Ю. Зейберт,](#)

ассистент кафедры стоматологии детского возраста

Алтайский государственный медицинский университет, 656038, Барнаул, Россия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гегамян А.О., Сарап Л.Р., Зейберт А.Ю. Оценка скорости реминерализации эмали при помощи количественной светоиндуцированной флуоресценции. — *Клиническая стоматология*. — 2021; 24 (4): 13—17. DOI: 10.37988/1811-153X_2021_4_13

Оценка скорости реминерализации эмали при помощи количественной светоиндуцированной флуоресценции

Резюме. Рассматривается оценка скорости реминерализации эмали 15 зубов с начальным кариесом на вестибулярной поверхности фронтальной группы зубов после ортодонтического лечения. **Материалы и методы.** Скорость реминерализации оценивали методом количественной светоиндуцированной флуоресценции с использованием камеры Qraycam и сопутствующего программного обеспечения. Через 1 неделю, месяц и через год после снятия ортодонтической аппаратуры и без назначения реминерализующих средств определяли среднюю потерю количества минеральных компонентов (ΔF), максимальную потерю минеральных компонентов (ΔF_{max}), площадь очага деминерализации (WSA) и активность микроорганизмов в очаге деминерализации (ΔR). **Результаты.** В начале исследования ΔF , ΔF_{max} , ΔQ и ΔR равнялись 6,1%, 12,1%, 65,75 пикс. и 13,25% соответственно. Через год эти показатели улучшились до 4,2%, 7,2%, 33,75 пикс. и 6%. **Заключение.** После снятия брекет-системы у пациентов с начальным кариесом естественная реминерализация эмали в полном объеме не произошла.

Ключевые слова: реминерализация эмали, количественная светоиндуцированная флуоресценция, диагностика начального кариеса

[A.O. Gegamyayn,](#)

assistant at the Pediatric dentistry Department

[L.R. Sarap,](#)

PhD in Medical Sciences, full professor of the Pediatric dentistry Department

[A.Yu. Zeibert,](#)

assistant at the Pediatric dentistry Department

Altai State Medical University, 656038, Barnaul, Russia

FOR CITATION:

Gegamyayn A.O., Sarap L.R., Zeibert A.Yu. Evaluation of enamel remineralization rate by quantitative light-induced fluorescence. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2021; 24 (4): 13—17 (In Russ.). DOI: 10.37988/1811-153X_2021_4_13

Evaluation of enamel remineralization rate by quantitative light-induced fluorescence

Summary. Evaluation of the rate of remineralization of enamel in 15 teeth with initial caries on the vestibular surface of the frontal group of teeth after orthodontic treatment is considered. **Materials and methods.** Remineralization rate was assessed by quantitative light-induced fluorescence using a Qraycam camera and accompanying software. Mean loss of mineral components (ΔF), maximal loss of mineral components (ΔF_{max}), area of demineralization (WSA) and microbial activity in demineralization (ΔR) were determined 1 week, 1 month and 1 year after removal of orthodontic appliances and without prescription of remineralizing agents. **Results.** At the beginning of the study, ΔF , ΔF_{max} , ΔQ , and ΔR were 6.1%, 12.1%, 65.75 px, and 13.25%, respectively. One year later, these rates improved to 4.2%, 7.2%, 33.75 px, and 6%. **Conclusion.** After removal of the bracket system in patients with initial caries, natural enamel remineralization did not fully occur.

Key words: enamel remineralization, Quantitative Light-induced Fluorescence, enamel demineralization diagnosis

ВВЕДЕНИЕ

Согласно исследованиям, заболеваемость кариесом у пациентов, которые лечатся при помощи съемной и несъемной ортодонтической аппаратуры, очень высока и может достигать 100%, к тому же постоянно увеличивается число пациентов, получающих ортодонтическую помощь. Поэтому вопросы профилактики и лечения

кариозного поражения твердых тканей зубов остаются актуальными [1—3].

Такая высокая распространенность кариеса у ортодонтических пациентов может быть вызвана следующими причинами:

- Наличие съемной или несъемной ортодонтической аппаратуры значительно усложняет гигиенический уход за полостью рта. Пациентам рекомендуется

DOI: 10.37988/1811-153X_2021_4_14

чистить зубы после каждого приема пищи, использовать дополнительные предметы гигиены (межзубные ершики, ирригаторы), но далеко не все пациенты выполняют назначения врача. Подростки могут испытывать сложности с соблюдением рекомендаций ввиду напряженного расписания школьных предметов, занятий спортом или дополнительного обучения во второй половине дня.

- Ортодонтическое лечение довольно продолжительно по времени — в среднем 16–24 месяца, а в особых случаях для исправления зубочелюстной аномалии требуется даже 36 месяцев [4].
- Пациенты изначально были слабо мотивированы на поддержание высокого уровня гигиены рта, врачи-ортодонты не всегда уделяют должное внимание проблеме ухода за полостью рта, считая это незначительным.
- Пациентам, носящим несъемную и съемную ортодонтическую аппаратуру, требуется проведение профессиональной гигиены рта не реже 2 раз в год.

Естественным источником для реминерализации эмали является слюна. Слюна перенасыщена ионами фосфора и кальция. Фосфат в слюне содержится в двух формах — связанной с белком и другими соединениями и свободной, ионизированной. Содержание общего фосфата в слюне достигает 7,0 ммоль/л, из них 70% приходится на долю неорганического фосфата. Неорганический фосфор представлен ионами HPO_4^{2-} и H_2PO_4^- , которые образуют фосфатную буферную систему.

Содержание кальция в слюне колеблется от 1,0 до 3,0 ммоль/л. Как и фосфаты, кальций присутствует в ионизированной форме и в соединении с белками [5].

Именно кальций и соединения фосфора насыщают эмаль, поддерживая равновесие в процессах де- и реминерализации.

Мы задали себе вопрос: будет ли достаточно у пациентов, которые носят ортодонтическую аппаратуру и имеют на зубах очаги деминерализации, удалить фактор риска (брекет-систему), провести профессиональную гигиену рта, чтобы выяснить, способна ли слюна путем физиологической реминерализации насытить кальцием и фосфором твердые ткани зуба — эмаль?

Цель исследования — определить реминерализующую способность слюны у пациентов с деминерализацией эмали после снятия ортодонтической аппаратуры с помощью количественной светоиндуцированной флуоресценции.

В связи с поставленной целью нужно было решить следующие задачи:

- Провести исследование очаговой деминерализации у пациентов после снятия брекет-системы с использованием количественной светоиндуцированной флуоресценции.
- Изучить изменения среднего количества потери минеральных компонентов, максимального количества потери минеральных компонентов, площадь очагов деминерализации и активность микроорганизмов в очаге деминерализации через 1,

4 и 52 недели при помощи количественной светоиндуцированной флуоресценции.

- Определить, способна ли слюна физиологически реминерализовать эмаль при исключении факторов риска (накопление зубного налета).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На сегодняшний день в арсенале врача-стоматолога немало методов и средств для определения кариеса на всех стадиях развития. Самым распространенным методом диагностики до сих пор остается визуальный осмотр зуба [6–8]. Разработанная группой исследователей Система диагностики и оценки кариеса (ICDAS — Caries Detection and Assessment System) обладает практически такой же высокой чувствительностью и специфичностью, что и рентгенодиагностика, а также диагностика при помощи лазерной флуоресценции [9]. Разработана новая специальная система оценки начального кариеса (ICDAS-II-SSC — International caries detection and assessment system for the smooth surface), которая по чувствительности и точности не уступает рентгенологическим методам [10]. Последние тоже остаются самыми точными для диагностики раннего кариеса и кариеса на апроксимальных поверхностях зубов [11–13]. Лазерная флуоресценция относится к оптическим методам диагностики кариеса и широко применяется в стоматологии ввиду высокой точности и простоты использования [14, 15]. Сочетание вышеперечисленных методов дает наиболее точные результаты как для диагностики, так и для определения тактики ведения пациентов с начальным кариесом [16, 17].

Однако все вышеперечисленные методы диагностики эффективны для обнаружения меловидных пятен, но они не позволяют врачу-стоматологу оценить, насколько эффективным будет его лечение — не дают возможности оценить динамическое изменение кариозного процесса. Так что же поможет врачу-стоматологу определить эффективность реминерализующей терапии?

Самым распространенным методом определения скорости реминерализации является оценка интенсивности окраски начального кариеса раствором 2%-ного метиленового синего с использованием шкалы Аксамит, однако определить площадь поражения несколько затруднительно, ведь доктору придется пользоваться дополнительными приспособлениями (миллиметровая бумага).

Существующий метод определения кальция и фосфора в золе эмали *in vitro* технически сложен и не пригоден на клиническом приеме [18], а метод оценки качества проведенной реминерализующей терапии при помощи электронного микроскопа тоже возможен исключительно в лабораторных условиях [19].

В современных условиях для оценки размеров участков деминерализации рекомендуют проводить фотопротокол с последующей обработкой фотографий, обведением меловидных пятен в специальной программе и сравнивать очаги деминерализации до и после

проведенной реминерализующей терапии. К сожалению, объективность данного метода тоже можно поставить под сомнение, ведь многое зависит от качества использованного оборудования, количества бликов на поверхности зуба и фокусного расстояния.

Также на сегодняшний день для диагностики начального кариеса известен метод количественной светоиндуцированной флуоресценции, открытый в 1980 г. и претерпевший значительные изменения к настоящему времени, когда стало возможно не только обнаружить очаг поражения, но и выполнить компьютерную обработку полученных данных [20].

Данный метод диагностики начальной формы кариеса базируется на способности твердыми тканями зубов отражать свет (рис. 1). Здоровая эмаль, без повреждений, отражает свет полностью, а кариозный процесс образует в эмали микрополости, которые свет рассеивают (рис. 2). Программное обеспечение анализирует количество отраженного и рассеянного света и показывает следующие параметры (рис. 3):

- среднюю потерю минеральных компонентов эмали (ΔF);
- максимальную потерю минеральных компонентов (ΔF_{max});
- площадь меловидного пятна (White spot area);
- степень бактериальной активности в очагах поражения (ΔR).

Одним из главных достоинств данного метода диагностики является возможность проведения исследования *in vivo*, так как спектр излучаемого света аппаратом (420—480 нм) абсолютно безопасен для организма. Количественная светоиндуцированная флуоресценция позволяет вести наблюдение за начальным кариесом в динамике, а также оценивать эффективность реминерализующей терапии [21—23]. Этот метод диагностики мы считаем самым безопасным, точным, специфичным,

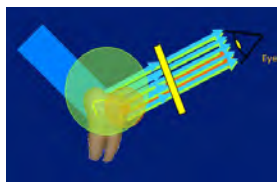


Рис. 1. Здоровая неповрежденная эмаль отражает свет, излучаемый аппаратом Qraypen, в полном объеме
[Fig. 1. Qraypen's light fully reflected by unharmed enamel]

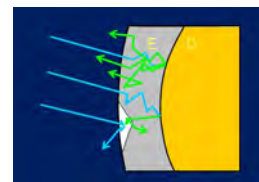


Рис. 2. При кариозном поражении в эмали образуются микрополости, поглощающие свет. На изображениях, сделанных аппаратом, данные участки выглядят как черные пятна
[Fig. 2. Microcavities are formed in enamel because of caries and absorb Qraypen's light. It looks like black spots on the device's picture]

быстрым и технически доступным на клиническом приеме [24, 25].

Вышеописанными способами изучали 15 зубов у 5 пациентов с деминерализацией эмали после ортодонтического лечения.

После снятия брекет-системы пациентам было проведено шлифование остатков адгезивного материала при помощи полировочных головок Enhance (Энханс) Dentsply, выполнена профессиональная гигиена рта с использованием пасты Clean Polish (Kerr) и щетки, даны рекомендации по индивидуальной гигиене рта, а также всем пациентам рекомендовано использовать безфтористую зубную пасту.

Очаги деминерализации изучали при помощи аппарата Qraycam™ (АИОБИО, Ю. Корея; рис. 4). Оценивали следующие показатели: среднюю потерю минеральных компонентов эмали (ΔF), максимальную потерю минеральных компонентов (ΔF_{max}), площадь меловидного пятна (white spot area, WSA), а также степень бактериальной активности в очагах поражения (ΔR).

Повторный прием был назначен через 4 недели и через год после снятия брекет-системы. На каждом приеме проводили исследование очагов деминерализации при помощи аппарата Qraycam, данные заносили в карту пациента и в таблицу.

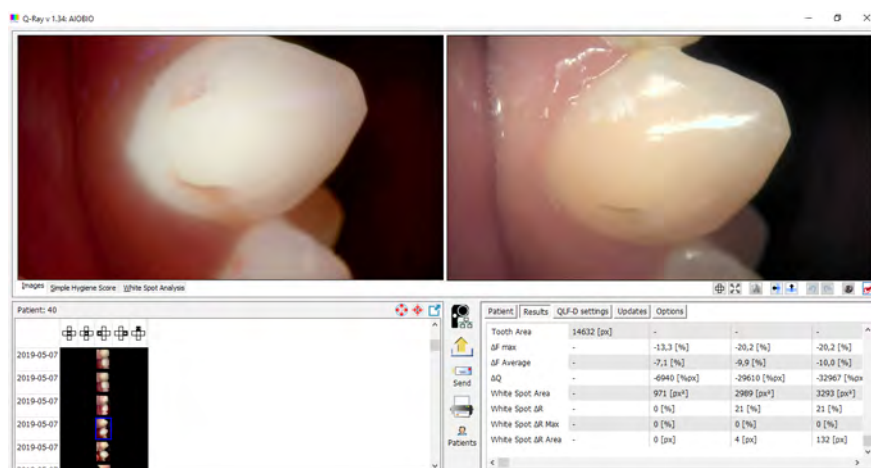


Рис. 3. Скриншот работы программного обеспечения Qray на примере исследования очага деминерализации зуба 1.3 после снятия брекет-системы
[Fig. 3. Qray software screenshot shows white spots area analysis after brackets debonding on tooth 1.3]



Рис. 4. Qraycam
[Fig. 4. Qraycam]

DOI: 10.37988/1811-153X_2021_4_16

Динамика потери минеральных компонентов (ΔF), площади меловидных пятен и активности микроорганизмов в очаге деминерализации (ΔR)

[Dynamics of mineral component loss (ΔF), white spot area and bacteria activity index in the demineralization zone (ΔR)]

| Показатель | Срок, недель | | |
|----------------------|--------------|-------|-------|
| | 1 | 4 | 52 |
| ΔF , % | -6,1 | -4,8 | -4,2 |
| ΔF_{max} , % | -12,1 | -9,6 | -7,2 |
| WSA, пикс. | 65,75 | 57,00 | 33,75 |
| ΔR , % | 13,25 | 10,50 | 6,00 |

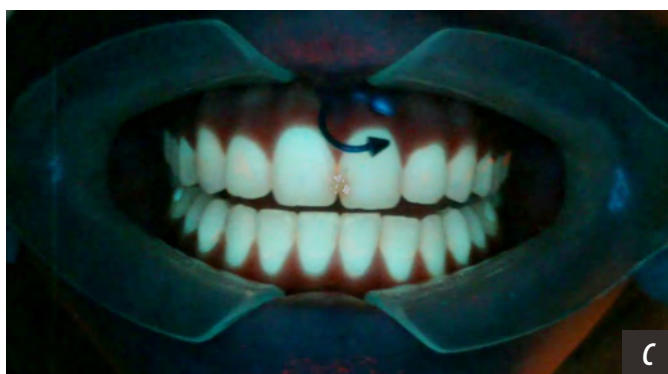
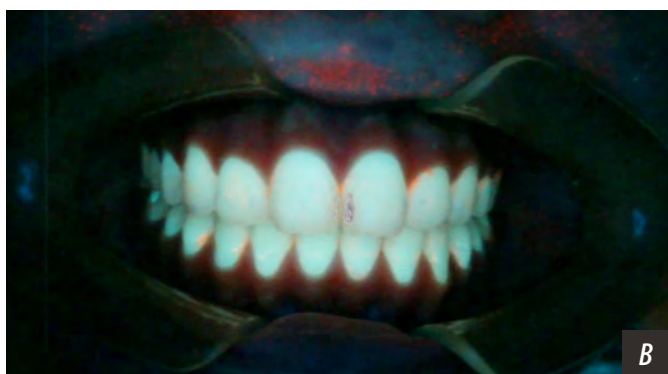
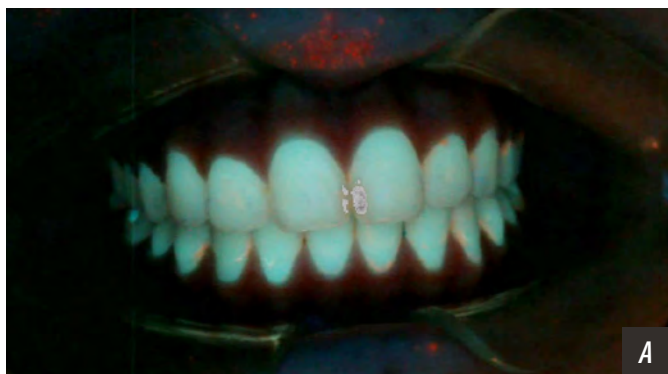


Рис. 5. Фотографии пациента, сделанные с помощью аппарата Qraycam: А — в день обращения после профессиональной гигиены рта; В — через 4 недели после снятия брекет-системы; С — через год после снятия брекет-системы
[Fig. 5. Patients pictures made by Qraycam: А — after brackets debonding and professional hygiene; В — after 4 weeks brackets debonding; С — after a year brackets debonding]

РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным, полученным в ходе мониторинга пациентов с начальным кариесом на вестибулярной и оральной поверхности после ортодонтического лечения, выявлено изменение потери минеральных компонентов ΔF за первый месяц с $-6,1$ до $-4,8\%$, а через год данный показатель стал равен $-4,2\%$, что говорит о положительной динамике реминерализации эмали ($+31\%$; см. таблицу).

Данные о максимальной потере минеральных компонентов ΔF_{max} также показали положительную динамику (рис. 5). Если в день обращения в среднем этот показатель был равен $-12,1$ через год мы получили цифру $-7,2\%$, что говорит о положительной динамике реминерализации ($+40\%$; см. таблицу).

Площадь меловидных пятен (WSA) уменьшалась в течение года, и если к началу эксперимента средняя площадь меловидного пятна равнялась $65,75$ пикселям, то к концу исследования она была $33,75$ пикселей. В среднем площадь очагов деминерализации уменьшилась на 49% (см. таблицу).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Количественная светоиндуцированная флуоресценция как метод ранней диагностики начальной формы кариеса позволяет получить данные об убыли количества минеральных компонентов в очаге деминерализации *in vivo*, что является предпочтительным на клиническом приеме. Также данный метод диагностики позволяет определить площадь меловидного пятна и степень активности микроорганизмов в очаге деминерализации.

При динамическом изучении изменения очагов деминерализации количественной светоиндуцированной флуоресценцией было установлено, что средняя потеря минеральных компонентов ΔF в начале исследования была равна $-6,1\%$, а через год $-4,2\%$. Максимальное количество утраченных минеральных компонентов ΔF_{max} в первый день исследования было равно $-12,1\%$, а через год $-7,2\%$; площадь очагов деминерализации ΔQ вначале была равна $65,75$ пикселей, а через год $33,75$ пикселям; показатель активности микроорганизмов в очаге деминерализации ΔR в начале исследования был равен $13,25\%$, а к концу исследования стал 6% .

Согласно нашим исследованиям, естественная реминерализация эмали при помощи слюны, насыщенной ионами кальция и фосфора, у пациентов с начальным кариесом после снятия брекет-системы в полном объеме не произошла.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 25.08.2021 **Принята в печать:** 30.11.2021

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.
Received: 25.08.2021 **Accepted:** 30.11.2021

Л И Т Е Р А Т У Р А /
R E F E R E N C E S :

.....

- Gorelick L., Geiger A.M., Gwinnett A.J. Incidence of white spot formation after bonding and banding. — *Am J Orthod.* — 1982; 81 (2): 93—8. [PMID: 6758594](#)
- Ийли-Йюнула П., Куусисто Х., Куйванен А., Кархуваара Р., Истрефи А., Пелтомаа Й. Лечение кариеса в стадии пятна у пациентов, закончивших ортодонтическое лечение на брекет-системе. — *Стоматология детского возраста и профилактика.* — 2018; 18 (5): 19—23. [Yli-Junnila P., Kuusisto H., Kuivanen A., Karhuvaara R., Istrefi A., Peltomaa J. Treatment of caries in a spot stage at the patients who finished orthodontic treatment on a bracket system. — *Pediatric Dentistry and Prophylaxis.* — 2018; 18 (5): 19—23 (In Russ.)] [eLIBRARY ID: 37027436](#)
- Mitchell L. Decalcification during orthodontic treatment with fixed appliances—an overview. — *Br J Orthod.* — 1992; 19 (3): 199—205. [PMID: 1390575](#)
- Горлачева Т.В., Терехова Т.Н. Длительность ортодонтического лечения, проведенного с удалением зубов. — В сб. тр. конгр. «Паринские чтения 2018». — Минск: БГУ, 2018. — С. 210—213. [Gorlacheva T.V., Terekhova T.N. Duration of orthodontic treatment with extractions of the teeth. — In: Proceedings of the “Parin Readings 2018” congress. — Minsk: Belorussia State University, 2018. — Pp. 210—213 (In Russ.)]
- Косюга С.Ю., Ботова Д.И. Динамика интенсивности кариеса зубов у пациентов с несъемными ортодонтическими конструкциями. — *Медицинский совет.* — 2017; 5: 191—192 [Kosyuga S.Y., Botova D.I. Dynamics of the intensity of dental caries in patients with permanent orthodontic constructions. — *Medical Council.* — 2017; 5: 191—192 (In Russ.)] [eLIBRARY ID: 29186340](#)
- Braga M.M., Oliveira L.B., Bonini G.A., Bönecker M., Mendes F.M. Feasibility of the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) in epidemiological surveys and comparability with standard World Health Organization criteria. — *Caries Res.* — 2009; 43 (4): 245—9. [PMID: 19439944](#)
- Chu C.H., Chau A.M., Lo E.C. Current and future research in diagnostic criteria and evaluation of caries detection methods. — *Oral Health Prev Dent.* — 2013; 11 (2): 181—9. [PMID: 23534041](#)
- Dikmen B. ICDAS II criteria (international caries detection and assessment system). — *J Istanbul Univ Fac Dent.* — 2015; 49 (3): 63—72. [PMID: 28955548](#)
- Rodrigues J.A., Hug I., Diniz M.B., Lussi A. Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. — *Caries Res.* — 2008; 42 (4): 297—304. [PMID: 18663299](#)
- Vaswani S., Sharma D.S., Mishra S., Sharma S. Histologic validation of ICDAS-II and polarization sensitive optical coherence tomography to detect smooth surface early carious lesions. — *Int J Paediatr Dent.* — 2018; 1—10. [PMID: 30387228](#)
- Keenan J.R., Keenan A.V. Accuracy of dental radiographs for caries detection. — *Evid Based Dent.* — 2016; 17 (2): 43. [PMID: 27339235](#)
- Wenzel A., Larsen M.J., Fejerskov O. Detection of occlusal caries without cavitation by visual inspection, film radiographs, xeroradiographs, and digitized radiographs. — *Caries Res.* — 1991; 25 (5): 365—71. [PMID: 1747887](#)
- Schwendicke F., Tzschoppe M., Paris S. Radiographic caries detection: A systematic review and meta-analysis. — *J Dent.* — 2015; 43 (8): 924—33. [PMID: 25724114](#)
- Tassoker M., Ozcan S., Karabekiroglu S. Occlusal caries detection and diagnosis using visual ICDAS criteria, laser fluorescence measurements, and near-infrared light transillumination images. — *Med Princ Pract.* — 2020; 29 (1): 25—31. [PMID: 31158839](#)
- Shi X.Q., Welander U., Angmar-Månsson B. Occlusal caries detection with KaVo DIAGNOdent and radiography: an in vitro comparison. — *Caries Res.* — 2000; 34 (2): 151—8. [PMID: 10773633](#)
- Melo M., Pascual A., Camps I., Del Campo Á. In vivo study of different methods for diagnosing pit and fissure caries. — *J Clin Exp Dent.* — 2015; 7 (3): e387—91. [PMID: 26330935](#)
- Valera F.B., Pessan J.P., Valera R.C., Mondelli J., Percinoto C. Comparison of visual inspection, radiographic examination, laser fluorescence and their combinations on treatment decisions for occlusal surfaces. — *Am J Dent.* — 2008; 21 (1): 25—9. [PMID: 18435372](#)
- Голованенко А.Л., Третьякова Е.В., Патлусова Е.С., Алексеева И.В., Березина Е.С., Першина Р.Г. Исследование реминерализующей активности лекарственных форм для лечения начального кариеса эмали. — *Фармация и фармакология.* — 2018; 6 (4): 380—388. [Golovanenko A.L., Tretyakova E.V., Patlusova E.S., Alekseeva I.V., Berezina E.S., Pershina R.G. Study of remineralizing activity of dosage forms for treatment of initial enamel caries. — *Pharmacy & Pharmacology.* — 2018; 6 (4): 380—388 (In Russ.)] [eLIBRARY ID: 35564873](#)
- Vyavhare S., Sharma D.S., Kulkarni V.K. Effect of three different pastes on remineralization of initial enamel lesion: an in vitro study. — *J Clin Pediatr Dent.* — 2015; 39 (2): 149—60. [PMID: 25823485](#)
- Park S.W., Kim S.K., Lee H.S., Lee E.S., de Josselin de Jong E., Kim B.I. Comparison of fluorescence parameters between three generations of QLF devices for detecting enamel caries in vitro and on smooth surfaces. — *Photodiagnosis Photodyn Ther.* — 2019; 25: 142—147. [PMID: 30508664](#)
- Günther E., Park K.J., Meißner T., Kottmann T., Schmalz G., Haak R., Ziebolz D. Assessment of non-cavitated root caries lesions by quantitative light-induced fluorescence—An in vivo feasibility study. — *Photodiagnosis Photodyn Ther.* — 2020; 30: 101671. [PMID: 31988025](#)
- Jun M.K., Park S.W., Lee E.S., Kim B.R., Kim B.I. Diagnosis and management of cracked tooth by quantitative light-induced fluorescence technology. — *Photodiagnosis Photodyn Ther.* — 2019; 26: 324—326. [PMID: 31042556](#)
- Shi X.Q., Tranaeus S., Angmar-Månsson B. Comparison of QLF and DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries. — *Caries Res.* — 2001; 35 (1): 21—6. [PMID: 11125192](#)
- Kim E.S., Lee E.S., Kang S.M., Jung E.H., de Josselin de Jong E., Jung H.I., Kim B.I. A new screening method to detect proximal dental caries using fluorescence imaging. — *Photodiagnosis Photodyn Ther.* — 2017; 20: 257—262. [PMID: 29079349](#)
- Alammari M.R., Smith P.W., de Josselin de Jong E., Higham S.M. Quantitative light-induced fluorescence (QLF): a tool for early occlusal dental caries detection and supporting decision making in vivo. — *J Dent.* — 2013; 41 (2): 127—32. [PMID: 22940557](#)