

<https://doi.org/10.34883/PI.2022.6.4.002>
УДК 616.314.17-007.272-002-053.2-07



Шаковец Н.В. ✉, Наумович Д.Н., Чернявская Н.Д.

Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

Современные методы диагностики кариеса окклюзионных поверхностей зубов у детей

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования, редактирование – Шаковец Н.В.; дизайн исследования, написание текста – Наумович Д.Н., Чернявская Н.Д.

Подана: 14.10.2022

Принята: 24.10.2022

Контакты: n.shakavets@gmail.com

Резюме

Кариес зубов является наиболее частым хроническим заболеванием детского возраста. Первые постоянные моляры характеризуются сложной анатомией окклюзионной поверхности, низкой степенью минерализации твердых тканей, что приводит к раннему развитию кариеса в них и активному его течению. Поэтому раннее выявление кариеса окклюзионных поверхностей моляров всегда представляет собой сложную задачу, и для ее решения не существует идеальных методов, обладающих высокой чувствительностью или специфичностью. В данной статье приводится подробное описание следующих современных методов диагностики кариеса окклюзионных поверхностей моляров: визуальный осмотр с использованием индекса ICDAS II; методы трансиллюминации (фиброоптическая трансиллюминация FOTI, фиброоптическая трансиллюминация с цифровым изображением DIFOTI с использованием устройства DIAGNOcam); флуоресцентные методы (с использованием устройств DIAGNOdent, DIAGNOdent pen; лазерная флуоресценция с усилением красителя (DELF); количественная лазерно-индуцированная флуоресценция QLF (с использованием устройств VistaCam iX Proof, Midwest Caries I.D.)). Авторы исследований, проанализированных в данном обзоре, не пришли к единому мнению относительно наибольшей эффективности того или иного метода диагностики окклюзионного кариеса. Упомянутые диагностические методы обладают достаточным уровнем чувствительности и специфичности и значительно расширяют возможности раннего выявления окклюзионного кариеса. Для получения наиболее достоверного результата рекомендуется использовать их в сочетании между собой и в качестве дополнения к визуальной оценке.

Ключевые слова: окклюзионный кариес, диагностика кариеса, лазерная флуоресценция, фиброоптическая трансиллюминация

Shakavets N. ✉, Naumovich D., Cherniauskaya N.
Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

Modern Methods of Occlusal Caries Diagnosis in Children

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: concept and design of the study, editing – Shakavets N.; study design, text writing – Naumovich D., Cherniauskaya N.

Submitted: 14.10.2022

Accepted: 24.10.2022

Contacts: n.shakavets@gmail.com

Abstract

Dental caries is the most common chronic childhood disease. The first permanent molars are characterized by a specific anatomy of the occlusal surface, a low level of tissue mineralization which leads to the quick development of dental caries and its active course. Therefore, the early detection of occlusal caries in molars is always a challenge for a dentist. There are no ideal methods with high sensitivity or specificity. This article provides a detailed description of modern methods for occlusal caries diagnosis: visual examination using ICDAS II index, transillumination methods (FOTI FiberOptic Transillumination; DIFOTI digital image fiberoptic transillumination using DIAGNOcam device), fluorescence methods (using DIAGNOdent, DIAGNOdent devices; Dye Enhanced Laser Fluorescence, DELF; Quantitative Light-induced Fluorescence QLF (using VistaCam iX Proof, Midwest Caries I.D. devices)). Method for diagnosing occlusal caries among themselves and as a complement to the evaluation effect.

Keywords: caries diagnostics, laser fluorescence, occlusal caries, fibre-optic transillumination

Кариес зубов является наиболее частым хроническим заболеванием детского возраста и занимает десятое место в списке самых распространенных из них. Кариес представляет собой нарушение баланса процессов деминерализации и реминерализации. Изменения в твердых тканях зубов на данном этапе обратимы и могут быть купированы тщательной гигиеной полости рта и применением профилактических мер, поэтому диагностика кариеса на стадии начальных гистологических фаз его развития является чрезвычайно важной задачей современной стоматологии.

Постоянные моляры характеризуются сложной макроморфологией окклюзионных поверхностей, относительно длительным периодом прорезывания со сниженной механической нагрузкой, что способствует раннему возникновению кариеса с инициальным поражением на боковой стенке или дне фиссуры и, соответственно, скрытому его течению. Низкая степень минерализации твердых тканей приводит к быстрому прогрессированию процесса [1].

В связи с этим раннее выявление кариеса окклюзионных поверхностей моляров всегда представляет собой сложную задачу, и для ее решения не существует идеальных методов, обладающих высокой чувствительностью или специфичностью.

Визуальная оценка, зондирование и рентгенография являются основными и наиболее часто используемыми методами обнаружения кариеса. Однако эти методы субъективны и имеют низкую воспроизводимость [2].

Визуальная оценка для выявления кариеса является безопасной для поверхностного слоя эмали, в отличие от зондирования. Однако выявление очагов деминерализации может быть затруднено из-за недостаточного высушивания или светоотражения поверхности эмали, а также локализации очага поражения в области, недоступной визуальному исследованию.

Обнаружение кариеса с помощью стоматологического зонда и тактильного ощущения не является безопасным, поскольку кончик зонда, особенно металлического, может повредить поверхностный здоровый слой эмали, покрывающий подповерхностное поражение, или даже разрушить вход в фиссуру. Кроме того, он может переносить кариесогенные бактерии из одной области в другую.

Рентгенография также не позволяет выявить поражения на ранней стадии, если они не распространяются на дентин. Помимо этого, анатомические особенности окклюзионной поверхности обуславливают низкую чувствительность данного метода в выявлении кариеса этой локализации.

Рост популярности консервативной стоматологии и внедрение методов, позволяющих приостановить процесс развития кариеса, привели к разработке неинвазивных методов раннего выявления кариеса окклюзионных поверхностей [3, 4].

Целью данной статьи является обзор некоторых современных методов диагностики кариеса окклюзионных поверхностей зубов.

Визуальный осмотр с использованием индекса ICDAS II

Международная система обнаружения и оценки кариеса (ICDAS) была разработана в 2001 году группой исследователей из разных стран. Система была предложена как стратегия интеграции современных систем обнаружения в одну стандартную систему [5, 6]. Концепция индекса ICDAS представляет собой выделение стадий развития кариеса зубов на основе гистологических изменений в твердых тканях зубов [7]. Система ICDAS в первую очередь предназначена для выявления клинических стадий кариозного процесса, предшествующих образованию полостей [6].

ICDAS состоит из двух основных частей – полной ICDAS и модифицированной ICDAS, эти два варианта различаются терминами и классификационными кодами [8, 9]. Затем метод был обновлен как ICDAS II [10].

Система ICDAS II включает в себя коды от 0 до 6, кариес кодируется от первого визуального изменения эмали до полости в дентине:

- код 0 – здоровая поверхность зуба. Видимых патологических изменений эмали на поверхности коронки зуба не обнаружено. Исключаются: гипоплазия эмали, флюороз, истирание, эрозия, окрашивание наружное и внутреннее;
- код 1 – первые видимые изменения эмали. Начальные визуальные изменения эмали в виде белых (опакowych) пятен, проявляющихся после высушивания воздухом. В ямках и фиссурах темное окрашивание может быть видно и на влажном зубе. Исключается: темное окрашивание в ямках и фиссурах от чая или кофе. В этих случаях окрашивание будет симметрично на многих зубах;
- код 2 – четкие видимые изменения эмали. На поверхности эмали определяются белые или коричневые кариозные пятна, которые видны и без высушивания.

Пятна распространяются за пределы фиссуры. После высушивания можно видеть частично разрушенную эмаль (состояние регистрируется кодом 3);

- код 3 – локализованное разрушение эмали, дентина не видно. На влажной поверхности зуба определяется пятно белого или коричневого цвета, при высушивании которого четко видно частичное разрушение эмали. Дентин не виден. Наличие разрушения эмали подтверждается осторожным зондированием тупым зондом или периодонтальным зондом с шариком на кончике диаметром 0,5 мм. Фиссура расширена. Этим кодом также регистрируется щель менее 0,5 мм между пломбой и кариозным пятном;
- коды 4–6 – характеризуют разрушение эмали до дентина различной протяженности и глубины.

Визуальное исследование с использованием критериев индекса ICDAS II обладает хорошей точностью и высокой специфичностью [11]. Более того, визуальные критерии ICDAS II подходят для оценки и мониторинга прогрессирования кариеса и позволяют оценивать активность поражения одновременно с обнаружением поражения, что необходимо для диагностики и принятия соответствующего клинического решения.

Методы трансиллюминации

Фиброоптическая трансиллюминация (FOTI, Fiber-Optic Transillumination) как метод выявления кариеса основана на том факте, что кариозная эмаль имеет более низкий показатель светопропускания, чем здоровая эмаль. Поскольку процесс деминерализации нарушает кристаллическую структуру эмали и дентина, этими тканями поглощается больше света из-за изменений светорассеяния и поглощения фотонов. По сути, это придает пораженной области более затемненный вид, что позволяет визуализировать кариозные очаги. При проведении фиброоптической трансиллюминации используется светоизлучающий диод, испускающий узкий пучок белого света для просвечивания зуба [12]. FOTI имеет более высокую чувствительность к поражениям дентина, чем к поражениям эмали [13]. Метаанализ, проведенный Ie и Verdonchot [14], показал, что FOTI лучше подходит для диагностики окклюзионного кариеса на ранней стадии по сравнению с визуальным осмотром и рентгенографией.

Основными преимуществами FOTI являются его оптимальная положительная прогностическая ценность, что означает, что любое положительное значение почти наверняка свидетельствует о существующем поражении, а также отсутствие воздействия радиации. Данный метод простой, не требует много времени и удобен для пациентов.

Однако при использовании FOTI исследователи столкнулись с большой долей ложноотрицательных результатов, поэтому FOTI не используется рутинно стоматологами и не рекомендуется в качестве метода выбора.

Таким образом, использование метода FOTI в сочетании с методами визуальной оценки, такими как система ICDAS, позволяет повысить эффективность диагностики кариеса окклюзионных поверхностей зубов [15].

Метод фиброоптической трансиллюминации с цифровым изображением DIFOTI (Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination) был разработан для преодоления ограничений метода FOTI путем объединения его и цифровой камеры. Устройством для

цифровой фиброоптической трансиллюминации является DIAGNOcam (KaVo, Биберах, Германия). В основе его работы лежит трансиллюминация в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR-LTI, Near-Infrared Laser Transillumination) [16]. DIAGNOcam излучает свет с длиной волны 780 нм.

DIFOTI эффективен для выявления и визуализации начального и прогрессирующего кариеса [17]. Его также можно использовать для обнаружения переломов, трещин и вторичного кариеса вокруг реставраций. Принцип его действия основан на том, что кариозная ткань зуба поглощает больше света, чем окружающая здоровая ткань, и выглядит как более темная область. Система DIFOTI состоит из двух наконечников, содержащих источник света и цифровую камеру (один для окклюзионной поверхности и один для гладкой поверхности и межпроксимальных областей), одноразового мундштука, компьютерной системы для фиксации и сохранения полученного изображения. Также необходим монитор, куда проецируются изображения зуба. Schneiderman et al., Хэ-Вун и др. [18–20] установили, что в обнаружении окклюзионного кариеса метод DIFOTI с использованием устройства DIAGNOcam имеет более высокую чувствительность по сравнению с традиционными рентгенографическими методами и методом лазерной флуоресценции, кроме того, полученные результаты также наиболее тесно коррелируют с гистологическими результатами.

Хотя DIFOTI имеет определенные преимущества, такие как получение мгновенных изображений, которые можно сохранить для изучения динамики процесса, существуют некоторые ограничения его применения. Метод не измеряет глубину поражения и затрудняет дифференцировку интактных глубоких фиссур, пятен и поражений дентина. Кроме того, возможна гипердиагностика из-за более низкой специфичности по сравнению с методом рентгенографии. Темные области на изображениях можно объяснить рассеянием и поглощением света при его прохождении через деминерализованные ткани зуба. Следовательно, кариес в стадии пятна можно ошибочно принять за полостное поражение [21, 22].

Таким образом, несмотря на то что метод DIFOTI был разработан для повышения чувствительности метода FOTI при обнаружении кариеса, оба метода по-прежнему имеют существенные ограничения из-за неравномерного распределения света внутри зуба, где слои эмали и дентина демонстрируют высокое поглощение и рассеяние [23]. Для преодоления таких ограничений были разработаны другие методы обнаружения кариеса, основанные на явлении флуоресценции. Этими методами являются лазерно-индуцированная флуоресценция (LIF) и количественная лазерно-индуцированная флуоресценция (QLF).

Флуоресцентные методы

К устройствам, использующим в своей работе явление лазерно-индуцированной флуоресценции (LIF), относятся DIAGNOdent (KaVo, Биберах, Германия) и DIAGNOdent pen (KaVo, Биберах, Германия) [5, 15]. Они представляют собой портативные устройства, предназначенные для диагностики окклюзионного кариеса. В устройстве DIAGNOdent pen возбуждение и испускание флуоресценции следуют за одним и тем же кончиком твердого волокна, но в противоположных направлениях, в отличие от устройства DIAGNOdent, которое имеет разные волокна для возбуждения и испускания света.

При использовании обоих устройств бактериальные порфирины и другие хромофоры, присутствующие в кариозных поражениях, излучают большую флуоресценцию, чем здоровые ткани, при стимуляции красным лазером видимого света с длиной волны 655 нм. Фильтр, блокирующий свет ниже 665 нм, устраняет отраженный и окружающий свет; фотодетектор измеряет количество флуоресцентного света, прошедшего через фильтр, а цифровой дисплей показывает как текущее (момент), так и максимальное (пиковое) значение. Изменения интенсивности флуоресценции количественно оцениваются и переводятся в значения от 0 до 99 в зависимости от глубины поражения [24, 25]. Значения ≥ 20 и 25 указывают на наличие кариозного поражения. Более высокие значения указывают на большую глубину проникновения кариеса.

Для описания механизма действия устройства DIAGNOdent были предложены две теории. Первая из них предполагает, что при облучении красным светом пористости, вызванной деминерализацией или гипоминерализацией структуры зуба, возникает флуоресцентный свет с другой длиной волны. Вторая теория предполагает, что микробные метаболиты, особенно порфирины, ответственны за повышенную флуоресценцию кариозных зубов [26].

К факторам, которые могут по-разному влиять на результаты измерений устройством DIAGNOdent, относятся наличие зубного налета, зубного камня и/или окрашивания на поверхности зуба, а также степень обезвоживания тканей зуба [27]. Следовательно, существует плохая корреляция между показаниями DIAGNOdent и содержанием минералов, но, возможно, лучшая корреляция с наличием инфицированной дентина. Начальные поражения менее инфицированы, чем поражения дентина [28], что снижает эффективность методов на основе флуоресценции при обнаружении таких поражений, поскольку метод обнаруживает присутствие бактериальных метаболитов.

При использовании устройства DIAGNOdent возможна регистрация ложноположительных результатов, поскольку существуют потенциальные искажающие факторы, которые необходимо контролировать. Это может быть наличие пигментации и органического материала (налета) на дне фиссур, что может завышать показания прибора. Преимущество ближней инфракрасной длины волны состоит в том, что она не поглощается пигментированными участками, не проявляя контраста в изображении, что сводит к минимуму риск ложноположительных диагнозов [29]. Другим важным аспектом является то, что такие устройства, как DIAGNOdent, обеспечивают измерения в одной точке, но не позволяют просматривать распределение поражений, записывая только цифровое значение, в то время как денальные изображения, полученные приборами на основе NIR-LTI (DIAGNOcam), демонстрируют более обширную поверхность и регистрируют запись для получения информированного согласия и постклинического обзора заболевания.

В последние годы использование красителей с длинами волн, близкими к спектру поглощения лазера DIAGNOdent, привело к развитию метода лазерной флуоресценции с усилением красителя (Dye Enhanced Laser Fluorescence, DELF). Этот метод основан на проникновении флуоресцентного красителя в начальное кариозное поражение для улучшения его обнаружения с помощью устройства DIAGNOdent. При отсутствии зубного налета DELF является лучшим диагностическим методом, чем количественная лазерная флуоресценция QLF, для обнаружения кариеса. Более того,

визуальная оценка количества абсорбированного красителя может эффективно помочь в выявлении подповерхностных поражений. В качестве флуоресцентного красителя для данного метода применяют порфирин TMPyP (5,10,15,20(4-N-метилпиридил)порфин тетра(р-толуолсульфонат)), который является аналогом природных порфиринов [30].

В исследованиях использование лазера DIAGNOdent в сочетании с TMPyP имело самую высокую чувствительность, в то время как только лазер имел самую высокую специфичность. Лазерная флуоресценция с флуоресцентным красителем TMPyP обладает высокой эффективностью для раннего выявления начальных поражений эмали постоянных зубов [31].

Количественная лазерно-индуцированная флуоресценция QLF (Quantitative Light-induced Fluorescence) – это диагностический инструмент для обнаружения, количественного определения и мониторинга ранней деминерализации эмали. QLF работает по принципу автофлуоресценции эмали, обнаруживая и количественно оценивая потерю флуоресценции, связанную с деминерализацией [32]. Метод основан на принципе возбуждения синим светом тканей зуба (370 нм), которые флуоресцируют в желто-зеленой области. При наличии поражения усиление светорассеяния делает поражение темным пятном на ярко-зеленом фоне. Флуоресцентное изображение зуба записывается, оцифровывается и анализируется количественно. Потеря флуоресценции может быть определена количественно по отношению к соседним здоровым тканям. Потерю флуоресценции получают путем реконструкции флуоресценции здоровой эмали, принимая ее за 100%. Снижение флуоресценции определяется путем вычисления процентной разницы между фактической и реконструированной поверхностями. Любая область со снижением флуоресценции более 5% считается поражением [33]. Кроме того, QLF способен обнаруживать красную флуоресценцию, исходящую от кариозных поражений, которая, вероятно, связана с побочными продуктами метаболизма бактерий. Таким образом, оценка красной флуоресценции может быть дополнительным методом для оценки активности кариеса, поскольку активные поражения более инфицированы, чем неактивные.

QLF используется для обнаружения и мониторинга начального кариеса на гладких и окклюзионных поверхностях [33], а также для оценки эффективности профилактических мероприятий.

В исследованиях различных авторов метод QLF показал хорошую чувствительность *in vivo* [33]. Тем не менее специфичность иногда снижается из-за различных факторов. Также сообщалось о корреляции показателей QLF и глубины поражения твердых тканей.

Одной из современных систем обнаружения кариозных поражений, основанных на принципе QLF, является внутриротовая флуоресцентная камера VistaCam iX Proof (Durr Dental, Германия), в которой используется светодиодная технология. VistaCam iX Proof основана на шести синих GaN-светодиодах (длина волны 405 нм), которые освещают зубы и фиксируют отраженный свет в виде цифрового изображения. Отраженный свет фильтруется, чтобы отличить зелено-желтую флуоресценцию здоровых зубов с пиком при 510 нм от красной флуоресценции бактериальных метаболитов с пиком при 680 нм. Программное обеспечение DBSWIN, прилагаемое к устройству, затем используется для создания изображений и перевода областей красной и зеленой флуоресценции в порядковую шкалу от 0 до 5, отражающую тяжесть поражения.

Устройство VistaCam зарекомендовало себя как эффективный метод выявления начальных поражений эмали, однако наличие трещин на эмали может давать ложноположительные результаты [34].

При сравнении *ex vivo* эффективности визуальной шкалы ICDAS II и двух флуоресцентных методов (DIAGNOdent pen и VistaCam iX) при обнаружении окклюзионных кариозных поражений постоянных моляров метод DIAGNOcam оказался более эффективным для диагностики окклюзионного кариеса без образования полостей в постоянных молярах. Кроме того, было установлено, что DIAGNOdent pen был наиболее чувствительным инструментом для дифференциации кариеса эмали и дентина по сравнению с визуальной шкалой ICDAS [22].

Еще одно флуоресцентное устройство для обнаружения кариеса основано на технологии светоизлучающих диодов (LED) – Midwest Caries I.D. (MID) (DENTSPLY Professional, Йорк, Пенсильвания, США). Портативное устройство излучает диодный мягкий свет с длиной волны от 635 до 880 нм и анализирует коэффициент отражения и преломления света, излучаемого поверхностью зуба, который улавливается оптическим волокном и преобразуется в электрические сигналы для анализа. Здоровая ткань, как правило, более прозрачна, чем деминерализованная ткань, что создает другую световую сигнатуру. Инструмент содержит микропроцессор с алгоритмом, который различает наличие, отсутствие или изменение оптической прозрачности и непрозрачности [5]. При изменении оптической прозрачности и непрозрачности тканей зуба излучаемый зеленый свет меняется на красный и можно услышать звуковой сигнал (медленный, умеренный или быстрый). MID показал низкую эффективность и корреляцию с гистологическим анализом в обнаружении окклюзионных кариозных поражений моляров. Неудовлетворительная работа устройства MID может быть связана с субъективным отношением к звуковому сигналу, получаемому при измерениях, включая низкие, средние и высокие частоты [35].

Исследование Patel et al. [36] показало, что устройство MID не было надежным при определении здоровой структуры зубов на основании низкого значения специфичности, полученного при диагностическом пороге D1, что привело к гипердиагностике (ложноположительный результат). Следует отметить, что MID может не обнаруживать ранние стадии кариеса (чувствительность 0,71), что приводит к дальнейшему прогрессированию процесса [36]. Таким образом, устройство имеет ограничения для использования в повседневной клинической практике, независимо от оцениваемой структуры зуба.

Хотя в последнее время были достигнуты значительные успехи в методах раннего обнаружения кариеса, идеального метода разработано не было. Описанные выше инструменты компьютерного анализа могут помочь стоматологам в выявлении кариозных поражений окклюзионных поверхностей. Различные авторы в своих исследованиях не пришли к единому мнению относительно наибольшей эффективности того или иного метода. Так, по результатам исследований одних авторов, критерии системы визуальной оценки ICDAS показали большую точность, чем устройства лазерной флуоресценции (DIAGNOdent pen) и трансиллюминации (VistaCam iX) [5], в то время как, по мнению других авторов, DIAGNOdent pen был более чувствительным инструментом для диагностики кариеса эмали и дентина по сравнению с визуальной шкалой ICDAS [22, 37]. Тем не менее современные диагностические методы

с достаточным уровнем чувствительности и специфичности, доступные сегодня клиницистам, значительно расширяют возможности раннего выявления окклюзионного кариеса. Для получения наиболее достоверного результата рекомендуется использовать их в сочетании между собой и в качестве дополнения к комплексной визуальной оценке, которая была и будет краеугольным камнем диагностического процесса.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Baginska J., Rodakowska E., Milewski R., Kierklo A. Dental caries in primary and permanent molars in 7-8-year-old schoolchildren evaluated with Caries Assessment Spectrum and Treatment (CAST) index. *BMC Oral Health*. 2014;14:74.
2. Pretty I.A. Essentials of dental caries. *Br Dent J*. 2005;199:307–307.
3. Schwendicke F., Tzschoppe M., Paris S. Radiographic caries detection: A systematic review and meta-analysis. *J Dent. England*. 2015;43:924–33.
4. Shah S. Paediatric dentistry – novel evolution. *Ann Med Surg*. Elsevier; 2018;25:21–9.
5. Moreira L.M.Y.A., Amarante B.C., Marotta B.M., Iida C.H., Nishimura D.A., Schumiski S. Laser fluorescence as an alternative for digital radiography in detecting caries lesions. *Clin Lab Res Dent*. 2020;1–10.
6. Castilho L.S., Cotta F.V.M.D., Bueno A.C., Moreira A.N., Ferreira E.F., Magalhães C.S. Validation of DIAGNOdent laser fluorescence and the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) in diagnosis of occlusal caries in permanent teeth: an in vivo study. *Eur J Oral Sci. England*. 2016;124:188–94.
7. Krämer N., Koch J.H., Emami-Namini A., Frankenberger R. Prävention, Diagnostik und Therapie der Fissurenkaries bei bleibenden Zähnen: Ein klinisches Konzept auf der Grundlage aktueller Leitlinien. *Oralprophylaxe und Kinderzahnheilkd*. 2014:97–106.
8. Tschammler C., Simon A., Brockmann K., Röbl M., Wiegand A. Erosive tooth wear and caries experience in children and adolescents with obesity. *J Dent. England*. 2019;83:77–86.
9. Qudeimat M.A., Altarakemah Y., Alomari Q., Alshawaf N., Honkala E. The impact of ICDAS on occlusal caries treatment recommendations for high caries risk patients: an in vitro study. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0730-8>
10. Campus G., Cocco F., Ottolenghi L., Cagetti M.G. Comparison of ICDAS, CAST, Nyvad's Criteria, and WHO-DMFT for Caries Detection in a Sample of Italian Schoolchildren. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16.
11. Kockanat A., Unal M. In vivo and in vitro comparison of ICDAS II, DIAGNOdent pen, CarieScan PRO and Soprolife camera for occlusal caries detection in primary molar teeth. *Eur J Paediatr Dent. Italy*. 2017;18:99–104.
12. Abogazalah N., Ando M. Alternative methods to visual and radiographic examinations for approximal caries detection. *J Oral Sci. Japan*. 2017;59:315–22.
13. Ismail A., Tellez Merchan M., Pitts N. A Commentary on Caries Detection, Validity, Reliability, and Outcomes of Care. *Caries Res*. 2018;52:392–6.
14. Ie Y.L., Verdonchot E.H. Performance of diagnostic systems in occlusal caries detection compared. *Community Dent Oral Epidemiol. Denmark*. 1994;22:187–91.
15. 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 [Internet]*. 2020;29:25–31. Available at: <https://www.karger.com/DOI/10.1159/000501257>
16. Mokhtar I., Venkiteswaran A., Mohd Yusof M.Y.P. Sensitivity and Specificity of Different Diagnostic Methods in Occlusal Caries Detection of Permanent Teeth among Paediatric Patients. *Arch Orofac Sci*. 2021;16:113–26.
17. Abdelaziz M., Krejci I. DIAGNOcam – a Near Infrared Digital Imaging Transillumination (NIDIT) technology. *Int J Esthet Dent. Germany*. 2015;10:158–65.
18. Schneiderman A., Elbaum M., Shultz T., Keem S., Greenebaum M., Driller J. Assessment of dental caries with Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination (DIFOT): in vitro study. *Caries Res. Switzerland*. 1997;31:103–10.
19. Early detection of initial dental caries using a difotit. *J Korean Acad Pediatr Dent [Internet]*. Korean Academy of Pediatric Dentistry. 2004;31:587–97. Available at: <http://journal.kapd.org/journal/view.php?number=174>
20. Marinova-Takorova M., Panov V., Anastasova R. Effectiveness of near-infrared transillumination in early caries diagnosis. *Biotechnol Biotechnol Equip*. 2016;30:1–5.
21. Yang J., Dutra V. Utility of radiology, laser fluorescence, and transillumination. *Dent Clin North Am. United States*. 2005;49:739–52.
22. Sürme K., Kara N.B., Yilmaz Y. In Vitro Evaluation of Occlusal Caries Detection Methods in Primary and Permanent Teeth: A Comparison of CarieScan PRO, DIAGNOdent Pen, and DIAGNOcam Methods. *Photobiomodulation, photomedicine, laser Surg. United States*. 2020;38:105–11.
23. Berdouses E.D., Koutsouri G.D., Tripoliti E.E., Matsopoulos G.K., Oulis C.J., Fotiadis D.I. A computer-aided automated methodology for the detection and classification of occlusal caries from photographic color images. *Comput Biol Med. United States*. 2015;62:119–35.
24. Rodríguez-Vilchis L.E., Contreras-Bulnes R., Olea-Mejia O.F., Sánchez-Flores I., Centeno-Pedraza C. Morphological and structural changes on human dental enamel after Er:YAG laser irradiation: AFM, SEM, and EDS evaluation. *Photomed Laser Surg*. 2011;29:493–500.
25. Mendes F.M., Siqueira W.L., Mazzitelli J.F., Pinheiro S.L., Bengtson A.L. Performance of DIAGNOdent for detection and quantification of smooth-surface caries in primary teeth. *J Dent. England*. 2005;33:79–84.
26. Bahrololoomi Z., Musavi S.A., Kabudan M. In vitro evaluation of the efficacy of laser fluorescence (DIAGNOdent) to detect demineralization and remineralization of smooth enamel lesions. *J Conserv Dent*. 2013;16:362–6.
27. Dąbrowski P., Grzelak J., Kulus M., Staniowski T. Diagnodent and VistaCam may be unsuitable for the evaluation of dental caries in archeological teeth. *Am J Phys Anthropol. United States*. 2019;168:797–808.
28. Luczaj-Cepowicz E., Marczuk-Kolada G., Obidzińska M., Sidun J. Diagnostic validity of the use of ICDAS II and DIAGNOdent pen verified by micro-computed tomography for the detection of occlusal caries lesions-an in vitro evaluation. *Lasers Med Sci. England*. 2019;34:1655–63.

29. Iranzo-Cortés J.E., Terzic S., Montiel-Company J.M., Almerich-Silla J.M. Diagnostic validity of ICDAS and DIAGNOdent combined: an in vitro study in pre-cavitated lesions. *Lasers Med Sci [Internet]*. 2017;32:543–8. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s10103-017-2146-5>
30. Mendes F., Leamari V., Wanderley M., Braga M., Mattos-Silveira J., Nicolau J. Dye-enhanced laser fluorescence detection on natural caries lesions in primary teeth. *Clin Lab Res Dent*. 2015;21:145.
31. Kim M.M., Sangho L., Lee N.-Y. Diagnosis of Early Dental Caries with Dye-Enhancing Quantitative Light-Induced Fluorescence (QLF). *J KOREAN Acad PEDIATRIC Dent*. 2015;42:218–25.
32. Kim B.-I. Quantitative Light-Induced Fluorescence. *Detect Assess Dent Caries*. 2019.
33. Galuscan A., Jumanca D., Fratila A.D. *Caries Management Aided by Fluorescence-Based Devices*. Rijeka: IntechOpen; 2022. Available at: <https://doi.org/10.5772/intechopen.105567>
34. Mazur M., Jedliński M., Ndokaj A., Corridore D., Maruotti A., Ottolenghi L. Diagnostic Drama. Use of ICDAS II and Fluorescence-Based Intraoral Camera in Early Occlusal Caries Detection: A Clinical Study. *Int J Environ Res Public Health [Internet]*. 2020;17:2937. Available at: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/8/2937>
35. Patel S., Shepard W., Barros J., Streckfus C., Quock R. In Vitro Evaluation of Midwest Caries ID: A Novel Light-emitting Diode for Caries Detection. *Oper Dent*. 2013;39.
36. Patel S.A., Shepard W.D., Barros J.A., Streckfus C.F., Quock R.L. In vitro evaluation of Midwest Caries ID: a novel light-emitting diode for caries detection. *Oper Dent. United States*. 2014;39:644–51.
37. Hafez Ibrahim S., Nabil Peter R., undefined E. Diagnostic Accuracy of Digital Radiography and Novel Diagnostic Tools versus Visual ICDAS Criteria: A Systematic Review. *Mathews J Dent*. 2021;5:1–20.