

Zastosowanie systemu DIAGNOcam w diagnostyce próchnicy u pacjentów leczonych ortodontycznie

Application of DIAGNOcam in the diagnosis of dental caries in patients with orthodontic treatment

Aleksandra Maria Wawrzeńczyk¹ **A B D E F**

Agnieszka Maria Kwaśniewska¹ **B D**

Izabela Strużycka¹ **A E F** (ORCID ID: 0000-0002-7058-3614)

Katarzyna Brus-Sawczuk¹ **E** (ORCID ID: 0000-0003-3139-0112)

Agata Czajka-Jakubowska² **E F** (ORCID ID: 0000-0002-1692-2910)

Wkład autorów: **A** Plan badań **B** Zbieranie danych **C** Analiza statystyczna **D** Interpretacja danych **E** Redagowanie pracy **F** Wyszukiwanie piśmiennictwa

Authors' Contribution: **A** Study design **B** Data Collection **C** Statistical Analysis **D** Data Interpretation **E** Manuscript Preparation **F** Literature Search

¹ Zakład Stomatologii Zintegrowanej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Integrated Dentistry, Medical University of Warsaw

² Klinika Ortodoncji i Dysfunkcji Narządu Żucia, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu
Department of Orthodontics and Masticatory Organ Dysfunction, Karol Marcinkowski University of Medical Sciences in Poznań

Streszczenie

Pacjenci leczeni ortodontycznie aparatami stałymi stanowią grupę wysokiego ryzyka w przypadku występowania próchnicy zębów. W praktyce stomatologicznej od wielu lat standardowymi metodami diagnostyki tej choroby, oprócz metody wizualnej, są zdjęcia zgryzowo-skrzydłowe. Metody te mają swoje ograniczenia, dlatego wciąż poszukuje się skuteczniejszych sposobów wykrywania próchnicy. Wraz z rozwojem technologii na rynku pojawiły się nowe systemy

Abstract

Patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances represent a higher risk group of tooth decay. In addition to the visual method, bitewing images represent a standard means for identifying lesions in dental practice. These methods have their limitations, and therefore more effective methods of caries detection are still being sought. With the development of new technologies, new diagnostic systems have appeared on the market, including the DIAGNOcam.

Adres do korespondencji/*Correspondence address:*

Aleksandra Maria Wawrzeńczyk
Zakład Stomatologii Zintegrowanej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
ul. Binieckiego 6, 02-097, Warszawa
email: Aleksandra.wawrzenczyk@gmail.com



Copyright: © 2005 Polish Orthodontic Society. This is an Open Access journal, all articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

diagnostyczne, a wśród nich DIAGNOcam. **Cel.** Celem pracy był przegląd piśmiennictwa dotyczącego diagnostyki próchnicy z zastosowaniem DIAGNOcam-u i przedstawienie możliwości zastosowania tego systemu u pacjentów leczonych ortodontycznie. **Materiał i metody.** Wykorzystując bazę danych PubMed, wyszukano artykuły dotyczące diagnostyki próchnicy, z zastosowaniem DIAGNOcam-u. **Wyniki.** Pierwsze doświadczenia in vitro i badania kliniczne wskazują, że urządzenie jest skuteczne w wykrywaniu próchnicy. Istotna jest eliminacja problemu nakładania się obrazu oraz możliwość badania w trakcie leczenia ortodontycznego aparatami stałymi, bez konieczności zdejmowania łuku. Brak promieniowania jonizującego umożliwi częstsze kontrole stanu uzębienia, co wskazuje na możliwość stosowania tej metody także u dzieci i kobiet w ciąży. **Wnioski.** Prognozy dotyczące możliwości całkowitego zastąpienia zdjęć radiologicznych przez DIAGNOcam być może w przyszłości okażą się realne, co stanowiłoby dobrą alternatywę dla grupy pacjentów ortodontycznych, reprezentowaną w znacznej części przez osoby młodociane, u których redukcja promieniowania jonizującego jest wyjątkowo ważna. Obecnie ta technologia stanowi istotną metodę pomocniczą, znacznie poprawiając dokładność wyników uzyskanych za pomocą złotego standardu diagnostyki próchnicy. (Wawrzeńczyk AM, Kwaśniewska AM, Strużycka I, Brus-Sawczuk K, Czajka-Jakubowska A. Zastosowanie systemu DIAGNOcam w diagnostyce próchnicy u pacjentów leczonych ortodontycznie. *Forum Ortod* 2022; 18 (2): 89-100).

Nadesłano: 25.03.2022

Przyjęto do druku: 30.06.2022

<https://doi.org/10.5114/for.2022.118296>

Słowa kluczowe: próchnica początkowa, diagnostyka, leczenie ortodontyczne, DIAGNOcam

Wstęp

Próchnica zębów jest chorobą wieloprzyczynową o złożonej etiologii. Czynniki, które mają wpływ na wystąpienie procesu próchnicowego są bakterie, węglowodany, podatność zębów na próchnicę oraz uwarunkowania socjoekonomiczne.

Anatomiczne zagłębienia, bruzdy na powierzchniach żujących zębów, trudno dostępne powierzchnie styczne, okolice przydziąsłowe zębów bocznych są miejscami sprzyjającymi zaleganiu biofilmu bakteryjnego, i tym samym obszarami, które próchnica atakuje najczęściej.

Diagnozowanie próchnicy zębów, zwłaszcza zmian w początkowym stadium zaawansowania, pozostaje niezmiennie wyzwaniem dla współczesnej stomatologii (1). Według Fejerskov i Kidd pierwszym objawem próchnicy początkowej, który może zostać dostrzeżony gołym okiem, są białe plamy (ang. white spot lesion), czyli stadium miejscowej demineralizacji szkliwa bez wystąpienia ubytku (2). Zmiany są definiowane jako "podpowierzchniowa porowatość szkliwa

Aim. The aim of the study was to review the literature on the diagnosis of caries with the use of DIAGNOcam and to present the possibility of using this system in orthodontically treated patients. **Material and methods.** We used the PubMed database to search articles on caries diagnostics with the use of DIAGNOcam. **Results.** The first in vitro experiments and clinical trials show that the DIAGNOcam is effective in detecting caries. It is important to eliminate the problem of image overlap, and the possibility of examination during orthodontic treatment with fixed appliances without removing the arch is also significant. The lack of ionizing radiation enables more frequent dental checks, which indicates that it can also be used in children and pregnant women. **Conclusions.** The possibility of a complete replacement of radiographic images by DIAGNOcam may prove viable in the future, which would be a good alternative for orthodontic patients, largely represented by adolescents, for whom the reduction of ionizing radiation is extremely important. Currently, however, this technology is an important auxiliary method, significantly improving the accuracy of results obtained with the gold standard of caries diagnostics. (Wawrzeńczyk AM, Kwaśniewska AM, Strużycka I, Brus-Sawczuk K, Czajka-Jakubowska A. Application of DIAGNOcam in the diagnosis of dental caries in patients with orthodontic treatment. *Orthod Forum* 2022; 18 (2): 89-100).

Received: 25.03.2022

Accepted: 30.06.2022

<https://doi.org/10.5114/for.2022.118296>

Key words: Caries incipiens, Diagnosis, Orthodontic treatment, DIAGNOcam

Introduction

Dental caries is a multi-causal condition of complex etiology. Factors that impact the occurrence of the caries process include bacteria, carbohydrates, susceptible tooth surface, and socioeconomic conditions.

Sites most favorable to bacterial biofilm retention, and thus most susceptible to caries, include anatomical depressions in the teeth, grooves on the biting surfaces of the teeth, hard-to-reach contact surfaces, and the gingiva of the posterior teeth.

Diagnosis of caries lesions, especially early ones, remains a challenge for modern dentistry (1). According to Fejerskov and Kidd, the first symptom of caries lesion that can be detected with the naked eye is a white spot lesion, i.e., the stage of local enamel demineralization without cavity formation (2). White spot lesions are defined as "the subsurface porosity caused by demineralization that gives the lesion a milky appearance and can be found on the smooth surfaces of teeth" (3). Diagnosis at this stage is challenging, especially when the

Application of DIAGNOcam in the diagnosis of dental caries in patients with orthodontic treatment

spowodowana próchnicową demineralizacją, która ujawnia się w postaci kredowych, mleczno-białych opakerowych plam zlokalizowanych na gładkiej powierzchni" (3). To stadium jest trudne do wykrycia, zwłaszcza gdy pojawi się na powierzchniach stycznych, które nie są dostępne w konwencjonalnym badaniu wzrokiem. Wczesna diagnoza jest bardzo istotna, ponieważ zmiany na początkowym etapie rozwoju, jeszcze bez utraty ciągłości szkliwa, można skutecznie zatrzymać przez odpowiednie działania profilaktyczne. Jednak aby mogło to nastąpić, niezbędne są dostatecznie niezawodne narzędzia diagnostyczne. Szczególną grupą, która powinna zostać objęta systematyczną opieką z uwagi na wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia ognisk próchnicy początkowej są pacjenci leczenia aparatami stałymi. Białe plamy, które pojawiają się w trakcie leczenia, bywają częstym efektem ubocznym terapii ortodontycznej, a ich obecność stanowi realne zagrożenie dla stanu zmineralizowanych struktur zębów.

Cel

Celem pracy był przegląd piśmiennictwa dotyczącego diagnostyki próchnicy z zastosowaniem DIAGNOcam-u i przedstawienie możliwości zastosowania tego systemu u pacjentów leczonych ortodontycznie.

Materiał i metody

Dokonano przeglądu piśmiennictwa w języku polskim i angielskim, z wykorzystaniem bazy PubMed z lat 1982–2020 i używając słów kluczowych: próchnica, próchnica początkowa, DIAGNOcam, diagnostyka, leczenie ortodontyczne, transiluminacja. Wybrano prace, które dotyczyły badania próchnicy z zastosowaniem systemu DIAGNOcam oraz diagnostyki próchnicy u pacjentów leczonych ortodontycznie aparatami stałymi. Do przeglądu włączono prace oryginalne oraz przeglądy piśmiennictwa.

Wyniki i dyskusja

Założenie aparatu stałego powoduje zmiany ilościowe, a także jakościowe w składzie płytki nazębnej. Bakterie obecne w zalegającej płytce, takie jak *Streptococcus mutans* i *Lactobacillus*, fermentują cukry, co prowadzi do powstania kwasów, których obecność powoduje spadek pH. W efekcie doprowadza to do zachwiania równowagi między demineralizacją a remineralizacją, na korzyść tej pierwszej, oraz do rozwoju próchnicy (3). Białe plamy są odnotowywane z dużo większą częstością u pacjentów ortodontycznych, w porównaniu do pacjentów nieużywających aparatu stałego. Ich rozwój zajmuje około 6 miesięcy, natomiast zauważalne białe zmętnienia szkliwa mogą być już widoczne po miesiącu od założenia stałego aparatu (4). Często są one obserwowane na policzkowych powierzchniach zębów,

white spot lesion occurs on contact surfaces that are not accessible by conventional visual examination. Early diagnosis is essential because changes at the initial stage of development, without loss of continuity of the enamel, can be effectively stopped by appropriate preventive measures. However, this requires sufficiently reliable diagnostic tools. Patients treated with fixed appliances represent a special group that should be covered by systematic care due to the high probability of initial caries. White spots that appear during treatment are often a side effect associated with orthodontic therapy, and their presence is a real threat to the condition of mineralized tooth structures.

Aim

This paper aims to review the literature on the diagnostics of carious lesions with the use of DIAGNOcam and to present the possibility of using this system in orthodontically treated patients.

Material and methods

We conducted a review of Polish and English literature using the PubMed database from 1982–2020 and the following keywords: caries, initial caries, DIAGNOcam, diagnostics, orthodontic treatment, transillumination. The selected papers concerned the examination of caries with the use of the DIAGNOcam system and the diagnosis of caries in patients treated orthodontically with fixed appliances. Original papers and literature reviews were included in the review.

Results and discussion

The placement of fixed orthodontic appliance alters the oral environment, causing both quantitative and qualitative changes in dental plaque. Bacteria present in the overlying plaque, such as *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus*, ferment sugars, therefore producing acids which cause a drop in pH. This eventually upsets the balance between demineralization and remineralization in favor of the former, and causes caries formation (3). Orthodontic patients exhibit a much greater prevalence of white spot lesions compared to the controls with no fixed appliances. Carious lesions normally take approximately 6 months to develop, while white clouding of the enamel may become visible within one month from appliance placement (4). White spot lesions often appear on the cheek surfaces of the teeth, around the brackets, mainly around the gums. The most common sites include frontal surfaces of the lateral incisors in the maxilla and mandibular canines (4). Because of the short crown of the upper lateral incisors, brackets are placed close to the gum, which increases the accumulation of bacterial biofilm in this area. In addition, saliva from the salivary glands in the upper lip has a low buffer capacity, which affects the

wokół zamków, głównie w okolicy dziąseł. Najczęściej powstają na powierzchniach licowych zębów siecznych bocznych w szczęce oraz na kłach w żuchwie (4). Krótka korona zębów siecznych bocznych górnych sprawia, że zamki umieszczone są blisko dziąsła, co rzutuje na zwiększoną akumulację biofilmu bakteryjnego w tej okolicy. Ponadto ślina pochodząca z gruczołów ślinowych w wardze górnej ma niskie zdolności buforowe, co również ma wpływ na podatność zębów siecznych w szczęce na próchnicę (5). Do czynników, które sprzyjają zwiększonemu występowaniu próchnicy początkowej podczas leczenia ortodontycznego należy również młody wiek pacjentów, osoby płci męskiej, długość leczenia oraz niedostateczna higiena jamy ustnej (6). Częste występowanie plam próchnicowych u młodych pacjentów jest spowodowane mniejszą mineralizacją tkanek zęba oraz gorszą współpracą z lekarzem ortodontą (6). Na tym etapie możliwość wykorzystania wczesnych metod diagnostyki próchnicy pozwoliłaby na ocenę istniejącej demineralizacji, a także ułatwiłaby podjęcie indywidualnego planu profilaktyki. Oszacowano, że częstość występowania zmian pochodzenia próchnicowego przed rozpoczęciem leczenia ortodontycznego aparatami stałymi u pacjentów młodocianych wynosi od 15,5% do 40% (4, 7, 8). Z kolei zgodnie z większością publikacji pojawienie się nowych, klinicznie dostrzegalnych białych plam w trakcie leczenia ortodontycznego odnotowano u od 30% do 70% młodzieży, co świadczy o dużej potrzebie edukacji i profilaktyki wśród tej grupy pacjentów (7, 9–12). Stałe aparaty ortodontyczne stawiają większe wymagania dotyczące utrzymania idealnej higieny jamy ustnej. W trakcie leczenia występuje podwyższone ryzyko nasilenia choroby próchnicowej ze względu na elementy składowe aparatu, takie jak zamki, łuki oraz ligatury elastyczne, które utrudniają dokładną higienizację i oczyszczanie uzębienia, a zwłaszcza przestrzeni międzyczębowych, gdzie dostęp jest utrudniony z powodu występującego łuku leczniczego (6). Elementy te stanowią także miejsca retencyjne, gdzie istnieje zwiększona akumulacja płytki nazębnej (6). Dodatkowo higiena przestrzeni międzyczębowych wymaga specjalnej techniki czyszczenia nićmi dentystycznymi, która jest trudniejsza i bardziej czasochłonna w porównaniu do higieny pacjentów, którzy nie korzystają z aparatów stałych. Nieregularny, ostry kształt elementów aparatu dodatkowo upośledza zdolności do samooczyszczania przez ślinę i język. Wszystkie wymienione tu czynniki mogą sprzyjać zwiększonemu ryzyku wystąpienia próchnicy początkowej na powierzchniach zębów u pacjentów w trakcie leczenia aparatami stałymi. Dlatego skrupulatna higiena i specjalistyczna profilaktyka próchnicy są niezbędne w tej grupie pacjentów. Przed rozpoczęciem leczenia ortodontycznego należy przeprowadzić dokładną diagnostykę i leczenie aktywnych ognisk choroby próchnicowej. Obecnie poza konwencjonalnym badaniem stomatologicznym rutynowym badaniem dodatkowym jest badanie radiologiczne.

susceptibility of the maxillary incisors to caries (5). Factors that contribute to increased prevalence of initial caries during orthodontic treatment also include young age of patients, male gender, duration of treatment, and insufficient oral hygiene (6). Frequent occurrence of carious lesions in young patients is due to lower mineralization of tooth tissues and worse cooperation with the orthodontist (6). At this stage, the possibility of using early methods of caries detection would allow the assessment of the existing demineralization and facilitate the implementation of an individual prevention plan. It is estimated that the incidence of carious lesions before the commencement of orthodontic treatment with fixed appliances in adolescent patients ranges from 15.5% to 40% (4, 7, 8). On the other hand, the majority of publications claim that the appearance of new, clinically noticeable white spots during orthodontic treatment was reported in 30% to 70% of adolescents, which is a clear sign of a strong need for education and prophylaxis among this group of patients (7, 9–12). Fixed orthodontic appliances place greater demands on the maintenance of perfect oral hygiene. Treatment is associated with an increased risk of carious disease exacerbation due to the components of the apparatus, such as brackets, arches and flexible ligatures, which impede thorough hygiene and teeth cleaning, especially in the interdental spaces, where access is difficult due to the therapeutic arch (6). These elements also act as retention sites where there is increased plaque accumulation (6). Also, hygiene of the interdental spaces requires a special floss cleaning technique, which is more difficult and time-consuming compared to the hygiene of patients who do not use fixed appliances. The irregular, sharp shape of the apparatus components additionally impairs the self-cleaning ability of saliva and the tongue. All these factors may contribute to an increased risk of initial caries on the tooth surfaces in patients undergoing treatment with fixed appliances. Therefore, scrupulous hygiene and specialist caries prophylaxis are essential in this group of patients. Before starting orthodontic treatment, a thorough diagnosis and treatment of active foci of carious disease should be performed. Currently, conventional dental examination is paired with a routine additional radiological examination.

Nowadays, clinical work offers many different devices that greatly facilitate the detection of carious lesions. Optical and electrical methods seem to be particularly helpful. Optical methods include FOTI, DIFOTI (Digital Fiber Optic Transillumination), QLF (Quantitative Light Induced Fluorescence), fluorescence laser DIAGNOdent pen, as well as optical coherence tomography and polarization-sensitive optical coherence tomography. In turn, electrical methods include ECM (Electronic Caries Monitor), CariesScan, electrochemical impedance spectroscopy and nonlinear impedance spectroscopy. Despite a number of technologies available, research is still ongoing to select the most effective method of caries detection. DIAGNOcam, which uses

Application of DIAGNOcam in the diagnosis of dental caries in patients with orthodontic treatment

Współcześnie w pracy klinicznej dysponujemy wieloma różnymi urządzeniami, które w znacznym stopniu ułatwiają wykrywanie zmian próchnicowych. Szczególnie pomocne wydają się metody optyczne oraz elektryczne. Do metod optycznych należą transiluminacja FOTI, DIFOTI (ang. Digital Fiber Optic Transillumination), fluorescencja indukowana światłem QLF (ang. Quantitative Light Induced Fluorescence), fluorescencja laserowa DIAGNOdent Pen, a także optyczna koherentna tomografia oraz polaryzacyjna spójna optyczna tomografia. Z kolei do metod elektrycznych należą ECM (ang. Electronic Caries Monitor), CariesScan, metoda elektrycznej impedancji spektroskopowej oraz nieliniowej impedancji spektroskopowej. Pomimo wielu dostępnych technologii wciąż trwają badania, których celem jest wybranie najbardziej skutecznej metody wykrywania próchnicy. Jednym z bardziej obiecujących urządzeń jest DIAGNOcam wykorzystujący zjawisko transiluminacji w podczerwieni NILT (ang. Near Infrared Light Transillumination).

Wspomniana technologia NILT stanowi modyfikację metody DIFOTI. Technologia NILT, której przedstawicielem jest DIAGNOcam, wykorzystuje zjawisko transiluminacji, podobnie jak w przypadku technologii DIFOTI, którą reprezentuje urządzenie o tej samej nazwie. Różnią się one między sobą przede wszystkim długością fali promieniowania elektromagnetycznego, ponieważ w konstrukcji DIFOTI zastosowano światło widzialne, natomiast w NILT – podczerwień, czyli światło niewidzialne (13) (Ryc. 1).

Na początku XX wieku grupa badaczy z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Francisco, opublikowała szereg prac dotyczących zastosowania technologii NILT w diagnostyce próchnicy (14–19). Ustalono, że poziom rozproszenia światła w szkliwie jest odwrotnie proporcjonalny do długości fali promieniowania elektromagnetycznego (20). Zgodnie ze wzorem matematycznym oznacza to, że im dłuższa fala, tym mniejsze rozproszenie, dzięki czemu promieniowanie może dotrzeć na większą głębokość (14). Szkliwo charakteryzuje się dużą przezrocznością w podczerwieni. Współczynnik rozpraszania dla tej tkanki jest od 20 do 30 razy niższy dla długości fali promieniowania 1310 nm i 1550 nm niż dla długości fali odpowiadających światłu widzialnemu (15). Wysoka przezroczność oznacza, że wewnętrzna struktura danej substancji jest bardziej dostrzegalna, oraz że każda materia, która cechuje się małą przezrocznością jest widoczna jako ciemne miejsce. Kiedy następuje demineralizacja, współczynnik rozpraszania światła wzrasta, dzięki czemu widoczny jest kontrast pomiędzy szkliwem zdrowym a zdemineralizowanym (18). Autorzy wspomnianych prac wskazują również, że szkliwo jest przezroczne, podczas gdy zębina dużo bardziej rozprasza światło (21, 22). W badaniach wykazano, że ubytki na powierzchniach stycznych mogą być uwidocznione przez przeświecanie pomiędzy punktami stycznymi. Należy to robić nie bezpośrednio, lecz kierując końcówkę nieco poniżej korony, blisko połączenia szkliwno-cementowego, w kierunku

near-infrared light transillumination (NILT), represents one of the most promising devices.

NILT is a modification of the DIFOTI method. NILT technology represented by DIAGNOcam works on the principle of transillumination, similar to the DIFOTI technology represented by the device of the same name. They differ mainly in the wavelength of electromagnetic radiation; the DIFOTI structure uses visible light, while NILT uses infrared, i.e., invisible light (13) (Fig. 1).

At the beginning of the 20th century, a group of researchers from the University of California, San Francisco, published a series of papers on the use of NILT in the diagnosis of caries (14–19). It was found that the level of light scattering in enamel is inversely proportional to the wavelength of electromagnetic radiation (20). According to the mathematical formula, this means that the longer the wavelength, the smaller the scattering, so that the radiation can reach a greater depth (14). Enamel is highly transparent in infrared. The scattering factor for this tissue is 20 to 30 times lower for the radiation wavelengths of 1310 nm and 1550 nm than for the wavelengths corresponding to visible light (15). High transparency means that the internal structure of the substance is more visible, and that any matter that has a low transparency appears as a dark spot. When demineralization occurs, the light scattering factor increases, so that the contrast between healthy and demineralized glaze is visible (18). The authors also indicate that the enamel is transparent, while the dentin diffuses the light far more (21, 22). The research has shown that defects on contact surfaces can be visualized by translucence between contact points. This should be done not directly, but by pointing the tip slightly below the crown, close to the cement – enamel junction, towards the chewing surface, both in vivo and in vitro (15, 18, 23) (Fig. 2).

DIAGNOcam was introduced to the European market in 2012, and a year later in the United States as CariVu (24). The operation of this system is based on the use of a wavelength of 780 nm and a power of 1 mW (25). It is a portable device consisting of a light source, a USB connection and two overlays mounted on the handpiece – a smaller one for premolars and a larger one for molars. Images are read in real time by means of a standard PC with installed Kavo software. Teeth are examined after their surfaces have been thoroughly cleaned of tartar and plaque deposits and carefully dried to eliminate artifacts. The tooth is then placed over the examined tooth from the vestibular, lingual or palatal side (Fig. 3).

The light source is activated by pressing the button on the handle. The light passes through the tooth tissue and is received by the CCD receptor, after which the data appears as an image on the screen of the computer to which the device is connected. The electromagnetic wavelength used in the device is part of the so-called “Optical window” of tissues, or the wavelength range that allows better

powierzchni zużęcej, zarówno w warunkach in vivo, jak i in vitro (15, 18, 23) (Ryc. 2).

Urządzenie DIAGNOcam zostało wprowadzone na rynek europejski w 2012 roku, a rok później w Stanach Zjednoczonych jako CariVu (24). Jego działanie jest oparte na wykorzystaniu fali długości 780 nm i mocy 1 mW (25). Jest to aparat przenośny składający się ze źródła światła, połączenia USB oraz z dwóch nakładek osadzanych na prostnicy – mniejszej do zębów przedtrzonowych oraz większej do zębów trzonowych. Do podłączenia i odczytu obrazów w czasie rzeczywistym służy standardowy komputer PC z zainstalowanym oprogramowaniem firmy Kavo. Zęby bada się po dokładnym oczyszczeniu ich powierzchni ze złogów kamienia i płytki nazębnej oraz po starannym osuszeniu w celu eliminacji artefaktów. Następnie nakładką obejmuje się badany ząb od strony przedstonkowej oraz językowej lub podniebiennej (Ryc. 3).

Przyciskiem na rękojeści uruchamia się źródło światła. Światło przechodzi przez tkanki zęba i następnie jest odbierane przez receptor CCD, po czym dane ukazują się w postaci obrazu na ekranie komputera, do którego podłączone jest urządzenie. Długość fali elektromagnetycznej zastosowana w urządzeniu jest częścią tzw. „okna optycznego” tkanek, to znaczy przedziału długości fali, która umożliwia lepszą przezierność i głębokość penetracji promieniowania, a także lepszą jakość obrazu w porównaniu do światła widzialnego (25). Dzięki obrazowaniu od strony zużęcej badający, zmieniając ustawienie końcówki, jest w stanie określić dokładną lokalizację ubytku na powierzchni stycznej i w efekcie ustalić najlepszy dostęp do opracowania ubytku od zużęcej strony.

W ostatnich latach opublikowano wiele prac na temat zabiegów przeprowadzonych z zastosowaniem DIAGNOcam-u, które miały na celu wykrywanie próchnicy zębów stałych zarówno na powierzchniach stycznych (13, 26–38), jak i zużęcych (39–41). Zdecydowana większość doniesień dotyczy diagnostyki próchnicy pierwotnej, choć zamieszczono jedną, której tematem jest diagnostyka próchnicy wtórnej (38).

Wśród artykułów dotyczących oceny powierzchni stycznych, które są najtrudniejsze do diagnozowania w trakcie leczenia ortodontycznego aparatami stałymi, znalazły się prace prowadzone



Rycina 1. Urządzenie DIAGNOcam wraz z kablem USB. Zdjęcie uzyskane dzięki uprzejmości firmy Kavo.

Figure 1. The DIAGNOcam with USB cable. Photo courtesy of the Kavo company.

Score	Diagnosis & criteria for proximal surfaces	Probable diagnostic/ treatment needs
0	Sound surface No signs of less translucent enamel or dentin detectable	No active dental intervention - Patient-based prevention & self-management - Regular, risk-related diagnostic check-ups & professional prevention
1a	Enamel caries First detectable signs of less translucent enamel	Preventive intervention - Patient-based prevention & self-management - Regular, risk-related diagnostic check-ups & professional prevention
1b	Enamel caries Less translucent enamel is clearly detectable	Preventive or minimal invasive intervention - Patient-based prevention & self-management - Caries infiltration AND/ OR - Regular, risk-related diagnostic check-ups & professional prevention
1c	Enamel caries Less translucent enamel reaching the enamel-dentin junction	Minimal invasive intervention - Patient-based prevention & self-management - Caries infiltration AND/ OR - Regular, risk-related diagnostic check-ups & professional prevention
2a	Dentin caries Less translucent enamel involves the enamel-dentin junction	Minimal invasive or operative intervention - Patient-based prevention & self-management - Bitewing radiography to determine lesion progression into dentin - Caries infiltration OR restoration - Regular, risk-related diagnostic check-ups & professional prevention
2b	Dentin caries Enamel, enamel-dentin junction and dentin are affected by less translucent hard tissue	Operative intervention - Patient-based prevention & self-management - Bitewing radiography to determine lesion progression into dentin - Restoration - Regular, risk-related diagnostic check-ups & professional prevention
3	Cavitated dentin caries Enamel, enamel-dentin junction and dentin are affected by less translucent hard tissue and, in addition, a cavity is detectable	Operative intervention - Patient-based prevention & self-management - Bitewing radiography to determine lesion progression into dentin - Restoration - Regular, risk-related diagnostic check-ups & professional prevention

Rycina 2. Skala do interpretacji wyników badania aparatem DIAGNOcam.

Figure 2. Scale for interpretation of test results with the DIAGNOcam.

Application of DIAGNOcam in the diagnosis of dental caries in patients with orthodontic treatment

w warunkach in vitro (13, 32–36) oraz badania kliniczne (26–29, 31, 37, 42).

W większości obserwacji, gdzie badania prowadzono w warunkach laboratoryjnych, autorzy ocenili, że DIAGNOcam jest urządzeniem bardziej skutecznym niż badanie radiologiczne (13, 32, 34, 35). W publikacji Maia i wsp. porównano ze sobą badanie z wykorzystaniem technologii NILT oraz zdjęcia zgryzowo-skrzydłowe, oceniając wczesną próchnicę szkliwa (32). W przypadku zastosowania NILT wykryto 88% zmian próchnicowych, natomiast zdrowe powierzchnie zostały rozpoznane w 72%. Dla porównania, w przypadku zdjęć skrzydłowo-zgryzowych zdiagnozowano od 35 do 53% występujących zmian, natomiast bez próchnicy prawidłowo zdiagnozowano od 50% do 72% powierzchni. Podobne wyniki uzyskano w badaniach Lederer i wsp. (34). Autorzy dokonali oceny wyników uzyskanych w efekcie badania powierzchni stycznych zębów za pomocą DIAGNOcam-u oraz radiografii cyfrowej i zauważyli, że DIAGNOcam jest bardziej czuły w przypadku wykrywania próchnicy zębiny. W przypadku zmian w szkliwie na zdjęciach radiologicznych z 11 ubytków widoczne były tylko dwa, natomiast DIAGNOcam poprawnie wskazał 2/3 obecnych zmian próchnicowych. Naukowcy podkreślają jednak, że nie można bezkrytycznie odnosić wyników badań prowadzonych w warunkach laboratoryjnych do tych uzyskanych w warunkach klinicznych (Ryc. 3).

Analogiczną pracę, podobnie jak dwie wcześniej opisane publikacje, którą przeprowadzono w warunkach in vitro, ale na amerykańskiej wersji DIAGNOcam, wykonali Abogazalah i wsp. (13). Wyniki tego badania wykazały, że zmiany w wewnętrznej warstwie szkliwa były bardziej widoczne niż te zlokalizowane w jej zewnętrznej części, co według autora sugeruje, że zwiększona demineralizacja może wpływać na wzrost poziomu rozproszenia i absorpcji światła.



Rycina 3. Obraz próchnicy zębiny w zębie 45 w trakcie badania DIAGNOcam, zdjęcie uzyskane dzięki uprzejmości firmy Kavo.

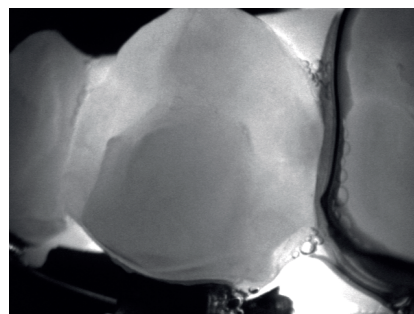
Figure 3. Image of dentin caries in tooth 45 during DIAGNOcam examination. Photo courtesy of the Kavo company.

translucency and penetration depth of the radiation, as well as better image quality compared to visible light (25). Thanks to imaging from the chewing side, the examiner can change the position of the tip to determine the exact location of the defect on the proximal surface and, as a result, establish the best access for preparation of the defect from the chewing side.

In recent years, many studies have been published on the procedures performed with the use of DIAGNOcam, which were aimed at detecting caries in permanent teeth on both the contact (13, 26–38) and chewing surfaces (39–41). The vast majority of reports concern the diagnosis of primary caries, although there is one which discusses the diagnosis of secondary caries (38).

Articles on the assessment of contact surfaces, which are the most difficult to diagnose during orthodontic treatment with fixed appliances, include in vitro studies (13, 32–36) and clinical trials (26–29, 31, 37, 42).

In most of the observations, where the tests were carried out in laboratory conditions, the authors assessed that the DIAGNOcam is more effective than radiological examination (13, 32, 34, 35). Maia et al. compared the use of NILT technology and bitewing images, assessing early tooth decay (32). NILT allowed to detect 88% of carious lesions, while healthy surfaces were recognized in 72%. For comparison, bitewing images allowed to diagnose 35% to 53% of the lesions, while without caries, 50% to 72% of the area was diagnosed correctly. Similar results were obtained in the studies by Lederer et al. (34) The authors assessed the results obtained as an effect of examining the contact surfaces of the teeth with DIAGNOcam and digital radiography and noted that DIAGNOcam is more sensitive in detecting dentin caries. Only 2 changes in enamel were visible on radiographs of 11 cavities, while the DIAGNOcam correctly indicated 2/3 of the present caries lesions. However, scientists emphasize



Rycina 4. Zdjęcie zęba 35 z zastosowaniem kamery DIAGNOcam. Widoczna zmiana próchnicowa w szkliwie i zębnie na powierzchni dystalnej zęba oraz w szkliwie na powierzchni mezjalnej. Archiwum własne.

Figure 4. Image of tooth 35 using the DIAGNOcam. Visible caries in enamel and dentine on the distal surface of the tooth and in enamel on the mesial surface of the tooth. Own archive.

Ciekawe badania przeprowadzili Litzenburger i wsp., którzy oceniali, jak bardzo pomiary w warunkach laboratoryjnych z zastosowaniem technologii NILT i zdjęć zgryzowo-skrzydłowych różnią się w zależności od osoby, która przeprowadza te badania (35). W pracy wzięło udział 12 lekarzy o różnej specjalizacji i długości stażu zawodowego, a każda próba była ślepa, randomizowana i odbywała się z czterotygodniową przerwą, co dodatkowo wpłynęło pozytywnie na wiarygodność wyników. Okazało się, że dane otrzymane przez wszystkich oceniających były do siebie bardzo zbliżone, co wskazuje, że pomiary uzyskane za pomocą DIAGNOcam-u nie są uzależnione od długości stażu zawodowego i doświadczenia klinicznego osoby badającej, w porównaniu do metody radiologicznej.

Prace, o których wspomniano, przeprowadzone w warunkach *in vitro*, stanowią ogromnie ważny etap badań naukowych, ale nie odzwierciedlają warunków w jamie ustnej, dlatego należy traktować je z pewną ostrożnością. Nieprzerwanie trwają badania nad udoskonaleniem tego modelu, który wymaga nowoczesnych technik laboratoryjnych (36, 43). Należy pamiętać, że na poziom rozproszenia światła wpływa rodzaj materiału przez które przechodzi fala elektromagnetyczna. Dlatego naukowcy w poszukiwaniu dobrego modelu *in vitro* skupiają się na zastosowaniu odpowiedniego materiału, który stanowiłby imitację tkanek otaczających ząb i w podobny sposób rozpraszał światło (43).

Przeprowadzenie badań w naturalnych warunkach jamy ustnej w celu oceny skuteczności DIAGNOcam-u w wykrywaniu próchnicy na powierzchniach stycznych zębów stałych pozwalało eliminować wszelkie nieprawidłowości. Jedną z pierwszych prac tego typu było badanie pilotażowe autorstwa Sochtig i wsp. Autorzy przebadali 130 dzieci z pełnym uzębieniem stałym. Wszyscy pacjenci mieli wykonane badanie stomatologiczne oraz zdjęcie zgryzowo-skrzydłowe, co stanowiło złoty standard tego badania. U 65% pacjentów przebadanych DIAGNOcam-em wykryto 127 zmian próchnicowych na powierzchniach stycznych i żujących sięgających zębiny. Z uwagi na fakt, że wszystkie ubytki przekraczały połączenie szkliwno-zębinowe, Sochtig jako metodę potwierdzającą odczyty zastosowała leczenie inwazyjne. Mechaniczne opracowanie ubytków potwierdziło występowanie próchnicy w 93,5% zmian wykrytych przez DIAGNOcam. Zdaniem autorów badanie DIAGNOcam-em stanowi dobrą metodę wspomagającą klasyczne badanie stomatologiczne, dzięki której możliwa jest redukcja ilości wykonywanych zdjęć rentgenowskich. Nie jest jednak w stanie zastąpić zdjęć radiologicznych, ponieważ badanie tym urządzeniem jest ograniczone tylko do tkanek samego zęba oraz nie daje informacji dotyczących stanu tkanek otaczających (24).

Porównania technologii NILT *in vivo* i zdjęć radiologicznych dokonali również Kuhnisch i wsp. (27). Dodatkowo do badania włączono system DIAGNOdent Pen, działający na zasadzie fluorescencji. Analiza wyników wykazała, że

that the results of tests conducted in laboratory conditions cannot be indiscriminately related to those obtained in a clinical setting (Fig. 3).

A paper similar to the two previous publications, which was carried out *in vitro*, but on the American version of DIAGNOcam, was performed by Abogazalah et al. The results demonstrated that changes in the inner enamel layer were more visible than those located in the outer part, which the author believes suggests that increased demineralization may increase the level of light scattering and absorption.

Interesting studies were carried out by Litzenburger et al., who assessed how much the measurements in laboratory conditions with the use of NILT technology and bitewing images differ depending on the examiner (35). The analysis included 12 doctors of various specializations and professional experience; each trial was blind, randomized and took place with a four-week break, which further contributed to the credibility of the results. It turned out that the data obtained by all the evaluators were very similar, which indicates that the measurements obtained by the DIAGNOcam are not dependent on the length of professional placement and clinical experience of the examiner, compared to the radiological method.

The papers mentioned above, carried out *in vitro*, constitute an extremely important stage of scientific research, but they do not reflect the conditions in the oral cavity, and therefore they should be treated with some caution. Ongoing studies investigate improvements to this model, which requires modern laboratory techniques (36, 43). It should be remembered that the level of light scattering is influenced by the type of material through which the electromagnetic wave passes. Therefore, the search for a good *in vitro* model conducted by researchers focuses on the use of an appropriate material that would imitate the tissues surrounding the tooth and scatter light in a similar way (43).

Conducting tests in the natural conditions of the oral cavity in order to assess the effectiveness of DIAGNOcam in detecting caries on the contact surfaces of permanent teeth allowed to eliminate any abnormalities. One of the first studies of this type was a pilot trial by Sochtig et al. The authors examined 130 children with full permanent dentition. All patients had a dental examination and a bitewing image, which was the gold standard of this examination. In 65% of patients examined with DIAGNOcam, 127 carious lesions were detected on the contact and chewing surfaces reaching the dentin. Because all cavities exceeded the enamel-dentine junction, Sochtig used invasive treatment to confirm the readings. Mechanical preparation of the cavities confirmed the presence of caries in 93.5% of lesions detected by DIAGNOcam. It is the opinion of the authors that DIAGNOcam examination is a good method supporting classic dental examination, which allows to reduce the number of X-ray images taken. However, it cannot replace radiographic images, because examination with this device is limited only

Application of DIAGNOcam in the diagnosis of dental caries in patients with orthodontic treatment

technologia NILT jest metodą bardziej czułą, w porównaniu do urządzenia działającego na zasadzie fluorescencji i potwierdziła, że podobnie czuła, jak zdjęcia zgryzowo-skrzydłowe. Analogiczne zależności zbadali Ozkan i wsp. (28), którzy, podobnie jak w pracy autorstwa Kuhnisch i wsp. (27), oceniali ubytki w zębinie i jako złoty standard zastosowali otwarcie ubytku. W pracy tej również oprócz zdjęć radiologicznych i DIAGNOcam-u oceniono DIAGNOdent Pen. Inwazyjne leczenie przeprowadzono w przypadku, gdy obydwoje badaczy było zgodnych co do obecności próchnicy. Spośród ocenianych metod technologia NILT i zdjęcia radiologiczne wykryły najwięcej, bo aż 83% zmian próchnicowych w zębinie. DIAGNOdent Pen oraz badanie wizualne uzyskały podobne, niskie wyniki czułości, na poziomie 60% i 54%. Natomiast DIAGNOcam i DIAGNOdent Pen wykazały się niską swoistością, ponieważ jedynie 20% zdrowych powierzchni zostało oznaczonych za pomocą tych urządzeń jako zdrowe. Nieco inną grupą badawczą zastosowali w klinicznym badaniu retrospektywnym Abdelaziz i wsp. (26), którzy poddali ocenie studentów stomatologii, jako grupę o niskim ryzyku próchnicy. Ponownej oceny, wraz z porównaniem wyników, dokonano po dwóch latach. Dla zmian znajdujących się w zębinie uzyskano zbliżone wyniki dla zdjęć skrzydłowo-zgryzowych i DIAGNOcam-u, natomiast w przypadku obszaru szkliwa za pomocą DIAGNOcam-u potwierdzono więcej zmian. Według autorów badania w przypadku wykrywania ubytków na powierzchniach stycznych w zębinie DIAGNOcam był tak samo skuteczny, jak zdjęcia zgryzowo-skrzydłowe. Natomiast w przypadku zmian zlokalizowanych w szkliwie DIAGNOcam wykrywał próchnicę na wcześniejszym stopniu zaawansowania. Ponadto wyniki badań wskazały, że pomiary z zastosowaniem DIAGNOcam-u umożliwiają ocenę głębokości ubytku. Bardzo pozytywne wyniki dotyczące czułości DIAGNOcam-u uzyskali Baltacıoglu i wsp. (31). Wskazali oni że, DIAGNOcam mógł być zastosowany jako metoda z wyboru do potwierdzania braku próchnicy w sytuacjach, gdzie skuteczność diagnostyki za pomocą zdjęć zgryzowo-skrzydłowych jest wątpliwa. Badania Russotto i wsp. czy Berg i wsp. sugerują, że w przypadku zdjęć radiologicznych występuje większe prawdopodobieństwo uzyskania wyników fałszywie pozytywnych dla wczesnych zmian w szkliwie, niż NILT (37, 29). Oznacza to, że przy zastosowaniu zdjęć radiologicznych częściej wykrywa się próchnicę w szkliwie (mimo jej faktycznego braku), niż w przypadku zastosowania urządzenia działającego na zasadzie techniki NILT (Ryc. 4).

Uzupełniając doniesienia dotyczące DIAGNOcam-u w kontekście skuteczności technologii NILT w wykrywaniu próchnicy obejmującej zębinę na powierzchniach stycznych, można przytoczyć metaanalizę autorstwa Marmaneu-Menero i wsp. z początku 2020 roku (44). Spośród wielu prac wybrano 11 badań (13, 27, 28, 31–34, 45, 46). Do analizy jakościowej włączono prace przeprowadzone zarówno w warunkach *in vivo*, jak i *in vitro*, a ocenie poddano próchnicę w zębinie. Zgodnie

to the tissues of the tooth and provides no information about the condition of the surrounding tissues (24).

Comparisons of *in vivo* NILT technology and radiographic images were also made by Kuhnisch et al (27). The study also included the DIAGNOdent Pen system, which operates on the principle of fluorescence. Analysis of the results revealed that NILT is a more sensitive method compared to the fluorescence device and that it is similarly sensitive to the bitewing images. Analogous relationships were investigated by Ozkan et al. (28) who, similarly to the work by Kuhnisch et al. (27), assessed cavities in dentin and used opening of the cavity as the gold standard. This study, apart from radiological and DIAGNOcam images, also involved assessment of the DIAGNOdent Pen. Invasive treatment was performed when both investigators agreed about the presence of caries. Among the assessed methods, NILT and radiological images detected the biggest share – 83% – of carious lesions in dentin. The DIAGNOdent Pen and visual examination obtained similar, low sensitivity results of 60% and 54%. In contrast, the DIAGNOcam and the DIAGNOdent Pen had low specificity, as merely 20% of healthy surfaces were marked as healthy. A slightly different research group was used in a clinical retrospective study by Abdelaziz et al. (26) who assessed dental students as a group with a low risk of caries. Reassessment and comparison of the results were made after two years. Similar outcomes were obtained for lesions in the dentin for both bitewing images and DIAGNOcam, while more lesions were confirmed with DIAGNOcam in the enamel area. According to the authors of the study, DIAGNOcam was as effective in detecting defects on the contact surfaces in dentin as the bitewing images. However, DIAGNOcam detected caries at an earlier stage in the case of enamel lesions. Moreover, the test results indicated that measurements with DIAGNOcam enable assessment of the depth of the defect. Very positive results concerning the sensitivity of DIAGNOcam were obtained by Baltacıoglu et al. (31) who indicated that DIAGNOcam could be used as the method of choice for confirming the absence of caries when the effectiveness of the diagnosis using bitewing images is questionable. Studies by Russotto et al. and Berg et al. suggest that the probability of obtaining false positive results with radiographic images for early enamel changes is greater than that of NILT (37, 29). This means that caries in the enamel is more often detected (despite its actual absence) with radiographic images than in the case of using an NILT-based device (Fig. 4).

The meta-analysis by Marmaneu-Menero et al. from the beginning of 2020 can be cited as a complement to the reports on DIAGNOcam in the context of the effectiveness of NILT in detecting dental caries on the proximal surfaces (44). Eleven studies were selected from a large number of works (13, 27, 28, 31–34, 45, 46). Both *in vivo* and *in vitro* studies were included in the qualitative analysis, and dentin caries were assessed. According to the results of the

z wynikami metaanalizy przeciętnie DIAGNOcam wykrywał 69% zmian próchnicowych, a prawidłowo wskazał 89% zdrowych powierzchni bez objawów próchnicy. Na podstawie analizy danych statystycznych naukowcy wyciągnęli wniosek, że NILT jest metodą o wysokiej skuteczności w diagnozowaniu ubytków na powierzchniach stycznych w zębinie, ale nie ma też jednoznacznych dowodów na to, że technologia NILT może zastąpić zdjęcia zgryzowo-skrzydłowe.

Podsumowując, wyniki badań różnią się między sobą w zależności od warunków prowadzenia pomiarów, rodzaju ocenianej powierzchni oraz od grupy badawczej. Jak już wspomniano, w trakcie leczenia ortodontycznego aparatami stałymi zdecydowanie najtrudniejszymi powierzchniami do oceny są powierzchnie styczne oraz powierzchnie wokół zamków ortodontycznych. Obecność dodatkowych elementów retencyjnych w aparacie stałym ma znaczący wpływ na działanie i efektywność różnych metod diagnostyki próchnicy. Bardzo ważne jest, że w przypadku diagnostyki z zastosowaniem systemu DIAGNOcam metalowe elementy aparatu, czyli zamki, łuki oraz metalowe ligatury nie zakłócają działania urządzenia, dlatego ten system można zastosować przypadkowo pacjentów użytkujących stałe aparaty ortodontyczne. Metalowe elementy aparatu, takie jak pierścienie i łuki, utrudniają interpretację zdjęć skrzydłowo-zgryzowych i dlatego zdjęcia radiologiczne nie są efektywne w diagnostyce próchnicy na powierzchniach stycznych (25). Konieczne jest więc usunięcie ich przed wykonaniem badania. Warto wskazać także na dodatkowe możliwości zastosowania DIAGNOcam-u u kobiet w ciąży i u dzieci z uwagi na brak promieniowania jonizującego. Dzięki temu możliwe są częstsze kontrole i ocena stanu uzębienia pod kątem potrzeb leczenia zachowawczego jako uzupełnienie standardowego badania konwencjonalnego. Ponadto u osób z refluksem i nasilonym odruchem wymiotnym metoda może zostać zastosowana z uwagi na bardziej przyjazną formę badania niż zdjęcia rentgenowskie. Urządzenie to, jak każde, ma również swoje wady techniczne. Lekarz, który jednocześnie bada pacjenta i analizuje obraz pojawiający się w czasie rzeczywistym na ekranie komputera mimowolnie wykonuje niewielkie ruchy kamerą w ustach pacjenta, co prowadzi do zapisywania niechcianych obrazów. Trzeba także pamiętać o wskazaniach dotyczących zastosowania DIAGNOcam-u, mając na uwadze, że nie uzyskamy diagnozy dotyczącej tkanek otaczających ząb.

Wnioski

Pierwsze doświadczenia kliniczne związane z pracą DIAGNOcam-em przyniosły obiecujące wyniki. W wybranych przypadkach aparat może być alternatywą dla zdjęć zgryzowo-skrzydłowych przydatnym w wykrywaniu próchnicy początkowej i obejmującej zębinę (25). Narzędzie, pomimo określonych słabości, stanowi jedno z wiodących systemów diagnostyki dostępnych aktualnie na rynku. W dalszym ciągu

meta-analysis, DIAGNOcam detected on average 69% of carious lesions, and correctly indicated 89% of healthy surfaces without caries symptoms. Based on the analysis of statistical data, the researchers concluded that NILT is a highly effective method for diagnosing dentine contact defects, but there is no conclusive evidence that NILT could replace bitewing images.

To conclude, the results differ depending on the measurement conditions, the type of the assessed surface, and the research group. As already mentioned, the most challenging diagnostic surfaces during orthodontic treatment with fixed appliances include the contact surfaces and areas around orthodontic brackets. Additional retention elements in the fixed appliance have a significant impact on the operation and effectiveness of various methods of caries diagnosis. Importantly, diagnostics with the DIAGNOcam system is not associated with interference of the metal parts of the apparatus such as brackets, arches and metal ligatures, with the operation of the device, therefore this system can be used in patients using fixed orthodontic appliances. The metal parts of the apparatus, such as rings and arches, hinder the interpretation of bitewing images, and hence, radiographs are ineffective in the diagnosis of caries on the proximal surfaces (25). It is therefore imperative to remove them before the test. It is also worth pointing to additional possibilities of using DIAGNOcam in pregnant women and in children due to the lack of ionizing radiation. As a result, it is possible to perform more frequent dentition checks and to assess its condition in terms of the need for conservative treatment as a supplement to standard conventional examination. Also, this method can be used in people with reflux and overactive gag reflex due to the more friendly form of examination than x-rays. Like any other device, this one also has its own technical drawbacks. The doctor who performs patient examination and real-time image analysis on the computer screen makes minor, involuntarily movements of the camera in the patient's mouth, thereby recording unwanted images. However, it is also important to remember about the indications for the use of DIAGNOcam, bearing in mind that a diagnosis of the tissues surrounding the tooth will not be obtained.

Conclusions

The first clinical experiences related to DIAGNOcam demonstrated promising results. In selected cases, the device may be an alternative to bitewing images, which are useful in the detection of initial and dentin caries (25). Despite certain weaknesses, this tool is one of the leading diagnostic systems currently available on the market. Intensive research is still underway to improve efficiency and accuracy. Perhaps in the future, forecasts regarding the possibility of a complete replacement of radiological images by DIAGNOcam will prove realistic. Such a solution would constitute

Application of DIAGNOcam in the diagnosis of dental caries in patients with orthodontic treatment

trwają intensywne badania nad poprawą skuteczności i dokładności tego urządzenia. Być może w przyszłości prognozy dotyczące możliwości całkowitego zastąpienia zdjęć radiologicznych przez DIAGNOcam okażą się realne. Takie rozwiązanie stanowiłoby dobrą alternatywę dla grupy pacjentów ortodontycznych w znacznej części reprezentowanej przez osoby młodociane, u których redukcja promieniowania jonizującego jest wyjątkowo ważna. Aktualnie ta technologia stanowi istotną metodę pomocniczą, znacznie poprawiając dokładność wyników uzyskanych za pomocą złotego standardu diagnostyki próchnicy, czyli badania konwencjonalnego połączonego z badaniem radiologicznym.

a good alternative for the group of orthodontic patients, largely represented by adolescents, for whom the reduction of ionizing radiation is extremely important. Currently, this technology represents an important auxiliary method, significantly improving the accuracy of results obtained with the gold standard of caries diagnostics, which is conventional diagnostics combined with radiological examination.

Piśmiennictwo / References

- Twetman S, Axelsson S, Dahlen G, Espelid I, Mejare I, Norlund A. Adjunct methods for caries detection: a systematic review of literature. *Acta Odontol Scand* 2013; 71: 388-97.
- Kidd EA, Fejerskov O. What constitutes dental caries? Histopathology of carious enamel and dentin related to the action of cariogenic biofilms. *J Dent Res* 2004; 83: 35-8.
- Chapman JA, Roberts WE, Eckert GJ, Kula KS, González-Cabezas C. Risk factors for incidence and severity of white spot lesions during treatment with fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138: 188-94.
- Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod* 1982; 81: 93-8.
- Animireddy D, Reddy Bekkem VT, Vallala P, Kotha SB, Ankireddy S, Mohammad N. Evaluation of pH, buffering capacity, viscosity and flow rate levels of saliva in caries-free, minimal caries and nursing caries children: An in vivo study. *Contemp Clin Dent* 2014; 5: 324-8.
- Heymann GC, Grauer D. A contemporary review of white spot lesions in orthodontics. *J Esthet Restor Dent* 2013; 25: 85-95.
- Artun J, Brobakken BO. Prevalence of carious white spots after orthodontic treatment with multibonded appliances. *Eur J Orthod* 1986; 8: 229-34.
- Lovrov S, Hertrich K, Hirschfelder U. Enamel Demineralization during Fixed Orthodontic Treatment - Incidence and Correlation to Various Oral-hygiene Parameters. *J Orofac Orthop* 2007; 68: 353-63.
- Enaia M, Bock N, Ruf S. White-spot lesions during multibracket appliance treatment: A challenge for clinical excellence. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 140: 17-24.
10. Richter AE, Arruda AO, Peters MC, Sohn W. Incidence of caries lesions among patients treated with comprehensive orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139: 657-64.
- Tufekci E, Dixon JS, Gunsolley JC, Lindauer SJ. Prevalence of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances. *Angle Orthod* 2011; 81: 206-10.
- Ogaard B, Rølla G, Arends J, ten Cate JM. Orthodontic appliances and enamel demineralization. Part 2. Prevention and treatment of lesions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988; 94: 123-8.
13. Abogazalah N, Eckert GJ, Ando M. In vitro performance of near infrared light transillumination at 780-nm and digital radiography for detection of non-cavitated approximal caries. *J Dent* 2017; 63: 44-50.
14. Fried D, Featherstone JD, Darling CL, Jones RS, Ngaotheppitak P, Buhler CM. Early caries imaging and monitoring with near-infrared light. *Dent Clin North Am* 2005; 49: 771-93.
15. Jones R, Huynh G, Jones G, Fried D. Near-infrared transillumination at 1310-nm for the imaging of early dental decay. *Opt Express* 2003; 11: 2259-65.
16. Fried D, Staninec M, Darling CL, Lee C, Kang H, Chan KH. In vivo Near-IR Imaging of Occlusal Lesions at 1310-nm. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng* 2011; 7884: 78840B1.
17. Chung S, Fried D, Staninec M, Darling CL. Near infrared imaging of teeth at wavelengths between 1200 and 1600 nm. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng* 2011; 7884: 78840X.
18. Staninec M, Lee C, Darling CL, Fried D. In vivo near-IR imaging of approximal dental decay at 1,310 nm. *Lasers Surg Med* 2010; 42: 292-8.
19. Simon JC, Lucas SA, Staninec M, Tom H, Chan KH, Darling CL. Near-IR transillumination and reflectance imaging at 1,300 nm and 1,500-1,700 nm for in vivo caries detection. *Lasers Surg Med* 2016; 48: 828-36.
20. Fried D, Glena RE, Featherstone JDB, Seka W. Nature of light scattering in dental enamel and dentin at visible and near-infrared wavelengths. *Appl Opt* 1995; 34: 1278-85.
21. Wu J, Fried D. High contrast near-infrared polarized reflectance images of demineralization on tooth buccal and occlusal surfaces at lambda = 1310-nm. *Lasers Surg Med* 2009; 41: 208-13.
22. Darling CL, Huynh GD, Fried D. Light scattering properties of natural and artificially demineralized dental enamel at 1310 nm. *J Biomed Optics* 2006; 11: 34023.
23. Fried D, Staninec M, Darling CL. Near-infrared imaging of dental decay at 1310 nm. *J Laser Dent* 2010; 18: 8-16.
24. Sochtig F, Hickel R, Kuhnisch J. Caries detection and diagnostics with near-infrared light transillumination: clinical experiences. *Quintessence Int* 2014; 45: 531-8.
25. Abdelaziz M, Krejci I. DIAGNOcam-a Near Infrared Digital Imaging Transillumination (NIDIT) technology. *Int J Esthet Dent* 2015; 10: 158-65.

26. Abdelaziz M, Krejci I, Perneger T, Feilzer A, Vazquez L. Near infrared transillumination compared with radiography to detect and monitor proximal caries: A clinical retrospective study. *J Dent* 2018; 70: 40-5.
27. Kuhnisch J, Sochtig F, Pitchika V, Laubender R, Neuhaus KW, Lussi A. In vivo validation of near-infrared light transillumination for interproximal dentin caries detection. *Clin Oral Investig* 2016; 20: 821-9.
28. Ozkan G, Guzel KGU. Clinical evaluation of near-infrared light transillumination in approximal dentin caries detection. *Lasers Med Sci* 2017; 32: 1417-22.
29. Berg SC, Stahl JM, Lien W, Slack CM, Vandewalle KS. A clinical study comparing digital radiography and near-infrared transillumination in caries detection. *J Esthet Restor Dent* 2018; 30: 39-44.
30. Melo M, Pascual A, Camps I, Ata-Ali F, Ata-Ali J. Combined Near-Infrared Light Transillumination and Direct Digital Radiography Increases Diagnostic In Approximal Caries. *Sci Rep* 2019; 9: 14224.
31. Baltacioglu IH, Orhan K. Comparison of diagnostic methods for early interproximal caries detection with near-infrared light transillumination: an in vivo study. *BMC Oral Health* 2017; 17: 130.
32. Maia AM, Karlsson L, Margulis W, Gomes AS. Evaluation of two imaging techniques: near-infrared transillumination and dental radiographs for the detection of early approximal enamel caries. *Dentomaxillofac Radiol* 2011; 40: 429-33.
33. Abogazalah N, Eckert GJ, Ando M. In vitro visual and visible light transillumination methods for detection of natural non-cavitated approximal caries. *Clin Oral Investig* 2019; 23: 1287-94.
34. Lederer A, Kunzelmann KH, Heck K, Hickel R, Litzenburger F. In vitro validation of near-infrared transillumination at 780 nm for the detection of caries on proximal surfaces. *Clin Oral Investig* 2019; 23: 3933-40.
35. Litzenburger F, Heck K, Pitchika V, Neuhaus KW, Jost FN, Hickel R. Inter- and intraexaminer reliability of bitewing radiography and near-infrared light transillumination for proximal caries detection and assessment. *Dentomaxillofac Radiol* 2018; 47: 20170292.
36. Lederer A, Kunzelmann KH, Hickel R, Litzenburger F. Transillumination and HDR Imaging for Proximal Caries Detection. *J Dent Res* 2018; 97: 844-9.
37. Rusotto F, Tirone F, Salzano S, Borga FC, Paolino DS, Ferraro A, Botasso S. Clinical evaluation of near-infrared light transillumination (NIRT) as an interproximal caries detection tool in a large sample of patients in a private practice. *J Radiol Imaging Technol* 2016; 1: 1-5.
38. Elhennawy K, Askar H, Jost-Brinkmann PG, Reda S, Al-Abdi A, Paris S, et al. In vitro performance of the DIAGNOcam for detecting proximal carious lesions adjacent to composite restorations. *J Dent* 2018; 72: 39-43.
39. Bussaneli DG, Restrepo M, Boldieri T, Pretel H, Mancini MW, Santos-Pinto L, Cassia Loiola Cordeiro R. Assessment of a new infrared laser transillumination technology (808 nm) for the detection of occlusal caries-an in vitro study. *Lasers Med Sci* 2015; 30: 1873-9.
40. Schaefer G, Pitchika V, Litzenburger F, Hickel R, Kuhnisch J. Evaluation of occlusal caries detection and assessment by visual inspection, digital bitewing radiography and near-infrared light transillumination. *Clin Oral Investig* 2018; 22: 2431-8.
41. Tassoker M, Sener 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: 25-31.
42. Melo M, Pascual A, Camps I, Ata-Ali F, Ata-Ali J. Combined Near-Infrared Light Transillumination and Direct Digital Radiography Increases Diagnostic In Approximal Caries. *Sci Rep* 2019; 9: 14224.
43. Abogazalah N, Ando M. Alternative methods to visual and radiographic examinations for approximal caries detection. *J Oral Sci* 2017; 59: 315-22.
44. Marmaneu-Menero A, Iranzo-Cortes JE, Almerich-Torres T, Ortola-Siscar JC, Montiel-Company JM, Almerich-Silla JM. Diagnostic Validity of Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination (DIFOTI) and Near-Infrared Light Transillumination (NILT) for Caries in Dentine. *J Clin Med* 2020; 9.
45. Astvaldsdottir A, Ahlund K, Holbrook WP, de Verdier B, Traeaus S. Approximal Caries Detection by DIFOTI: In Vitro Comparison of Diagnostic Accuracy/Efficacy with Film and Digital Radiography. *Int J Dent* 2012; 2012: 326401.
46. Chawla N, Messer LB, Adams GG, Manton DJ. An in vitro comparison of detection methods for approximal carious lesions in primary molars. *Caries Res* 2012; 46: 161-9.