Diagnostyka próchnicy powierzchni stycznych – przegląd piśmiennictwa

Diagnostics of approximal caries – literature review

Paweł Berczyński¹, Anna Gmerek², Jadwiga Buczkowska-Radlińska¹

¹ Katedra i Zakład Stomatologii Zachowawczej i Endodoncji Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie
al. Powstańców Wlkp. 72, 70-111 Szczecin
Kierownik: prof. dr hab. n. med. *Jadwiga Buczkowska-Radlińska*

² Zakład Stomatologii Zachowawczej Przedklinicznej i Endodoncji Przedklinicznej
al. Powstańców Wlkp. 72, 70-111 Szczecin
Kierownik: prof. dr hab. n. med. *Mariusz Lipski*

SUMMARY

The most important issue in modern cariology is the early diagnostics of carious lesions, because only early detected lesions can be treated with as little intervention as possible. This is extremely difficult on approximal surfaces because of their anatomy, late onset of pain, and very few clinical symptoms. Modern

diagnostic methods make dentists' everyday work easier, often detecting lesions unseen during visual examination.

This work presents a review of the literature on the subject of modern diagnostic methods that can be used to detect approximal caries.

Key words: incipient caries, diagnostics of approximal caries, radiovisiography, DIAGNOdent, DIAGNOcam.

STRESZCZENIE

Najważniejszym problemem we współczesnej kariologii jest wczesna diagnostyka zmian próchnicowych, ponieważ tylko szybko wykryta zmiana może być leczona minimalnie interwencyjnie. Na powierzchniach stycznych jest to szczególnie trudne zadanie, m.in. z powodu ich anatomii, późno występujących dolegliwości bólowych i skąpych objawów klinicznych. Nowoczesne metody diagnostyczne bardzo ułatwiają codzienną

pracę lekarza dentysty, często wykrywając zmiany niewidoczne w badaniu wizualnym.

Praca stanowi przegląd piśmiennictwa na temat współczesnych metod, które można zastosować do diagnozowania próchnicy powierzchni stycznych.

Słowa kluczowe: plama próchnicowa, diagnostyka powierzchni stycznych, radiowizjografia, DIAGNOdent, DIAGNOcam.

WSTĘP

Termin „diagnostyka próchnicy” jest często stosowany jako synonim „wykrywania klinicznych oznak uszkodzenia tkanek spowodowanych przez chorobę”, jednak gdy należy określić sposób leczenia, uwaga powinna być skupiona na stopniu aktywności próchnicy, ponieważ to od jej nasilenia zależy postępowanie kliniczne.

Głównym problemem w diagnostyce próchnicy pierwotnej powierzchni stycznych jest niedostępność badanej powierzchni przy wykorzystaniu metody wizualno-dotykowej, najpowszechniej stosowanej w gabinecie stomatologicznym. Ten rodzaj próchnicy rozwija się pomiędzy brzegiem dziąsła a punktem stycznym, zachowując znamieny dla powierzchni gładkich kształt ubytku w formie trójkąta wierzchołkiem skierowanego do połączenia szkliwno-zębinowego. Dość charakterystycznym objawem jest późne występowanie doznań subiektywnych, zgłaszanych przez pacjenta w wywiadzie. Bardzo często, jeżeli takie skargi występują, jest już za późno na leczenie nieinwazyjne. Plama próchnicowa występuje po 14 dniach

nieprzerwanej demineralizacji i widoczna jest dopiero po osuszeniu powierzchni. Po 3–4 tygodniach zmiana mikroskopowo składa się z 4 warstw i jest widoczna bez osuszania. Za kresdowo biały kolor zmiany odpowiedzialna jest jej wewnętrzna porowatość spowodowana ubytkiem substancji mineralnych. Największy ubytek występuje w korpusie zmiany. Charakterystyczną cechą próchnicy szkliwa jest pokrycie początkowego uszkodzenia warstwą względnie niezmienioną. Przyczyna tego fenomenu nie została do końca jednoznacznie wyjaśniona. W warunkach spadku pH do wartości 5,5 w miejsce hydroksyapatytu może zostać wbudowany fluoroapatyt o niższym, krytycznym pH równym 4,5. To właśnie nienaruszona warstwa powierzchniowa zmiany, posiadająca kanały dyfuzyjne dla przepływu i wymiany jonów, umożliwia zastosowanie leczenia remineralizacyjnego [1].

Początkowa zmiana próchnicowa przebiega pod postacią plamy próchnicowej (biała lub brunatna), prowadząc dalej do zajęcia coraz większej ilości tkanek zęba, powodując ubytek szkliwa i zębiny, a w konsekwencji zapalenie miazgi. Najistotniejsze dla przerwania tego procesu jest wykrycie obecności

stadium początkowego i zatrzymanie go przez odpowiednie, nieinwazyjne leczenie. Plama próchnicowa stwarza bardzo duże problemy diagnostyczne, w szczególności, jeżeli zlokalizowana jest na powierzchni niedostępnej dla badania klinicznego. Część metod zaproponowanych w piśmiennictwie, które mają zapewnić dostęp do takiej zmiany, jest niechętnie stosowana przez lekarzy praktyków. Należy do nich użycie ortodontycznego separatora, którego zastosowanie wiąże się z ponowną wizytą stomatologiczną, a w przypadku zębów stałych może powodować znaczny dyskomfort.

Każda zastosowana metoda diagnostyczna musi charakteryzować się takimi cechami, jak:

- czułość – definiowana jako zdolność wykrycia wszystkich zmian próchnicowych;
- swoistość, specyficzność – brak fałszywie dodatnich rozpoznaw próchnicy przy faktycznym jej braku;
- wiarygodność – powtarzalność wyników; test może być wielokrotnie stosowany z takim samym wynikiem. Gdy ten sam badacz powtarza test i osiąga ten sam rezultat, uważa się, że test jest wiarygodny – zachowujący zgodność w odniesieniu do tego samego badacza (*intraexaminer reliability*). Gdy kilku badaczy przeprowadza ten sam test i uzyskuje zgodne wyniki, wówczas mówi się o wiarygodności między badaczami (*interexaminer reliability*);
- prawomocność – potwierdza, że zastosowany test mierzy dokładnie to, czego się oczekuje; przekonujący test odzwierciedla dokładnie stan choroby.

Pomocą w zakresie diagnostyki są obecnie produkowane nowoczesne urządzenia diagnostyczne, które powinny cechować się:

- wysokim obiektywizmem pomiarów,
- zdolnością precyzyjnego ustalenia zmian ilościowych,
- satysfakcjonującym kompromisem między czułością a swoistością metody.

TRADYCYJNE BADANIE KLINICZNE

Najczęściej stosowaną do niedawna skalą oceny badania klinicznego była skala zaproponowana przez Światową Organizację Zdrowia (World Health Organization):

- 0 – brak zmian;
- 1 – próchnica powierzchowna – w badaniu klinicznym stwierdza się utratę połysku, zmatowienie szkliwa, subtelne zmiany barwy (kredowobiała, brunatna lub szara) i/lub zmianę transparentności, dostrzegalne od strony policzkowej i/lub jamy ustnej właściwej, ewentualnie także od powierzchni żującej;
- 2 – próchnica sięgająca głębokości zębiny – silniej zaznaczone zmiany barwy i przezierności szkliwa na znacznie większym obszarze, przeświecanie zmienionej próchnicowo zębiny przez warstwę zachowującego ciągłość szkliwa; zmiany wyraźnie dostrzegalne w badaniu od strony powierzchni żującej oraz od strony policzkowej i/lub jamy ustnej właściwej.

W celu ujednolicenia systemu diagnostyki próchnicy w 2007 r. wprowadzono Międzynarodowy System Wykrywania i Oceny Próchnicy (International Caries Detection &

Assessment System – ICDAS II) [2]. Dla diagnostyki powierzchni stycznych kształtuje się on następująco:

Kod 0 – zdrowa powierzchnia zęba, brak zmian translucencji szkliwa po osuszeniu powietrzem przez 5 s.

Kod 1 – pierwsza dostrzegalna wizualnie zmiana w szkliwie widoczna jest tylko po osuszeniu jako nieprzezierność próchnicowa (biała lub brązowa) na powierzchni policzkowej lub językowej; jest niewidoczna na wilgotnej powierzchni.

Kod 2 – wyraźna zmiana w szkliwie widoczna na wilgotnej powierzchni; próchnicowa nieprzezierność lub przebarwienie, które jest jeszcze bardziej widoczne po osuszeniu powierzchni zęba; zmianę widać przy bezpośrednim oglądaniu powierzchni policzkowej lub językowej, natomiast przy oglądaniu z kierunku okluzyjnego, widoczna jest jako ograniczony do szkliwa cień znajdujący się pod krawędzią brzeżną.

Kod 3 – załamanie się szkliwa z powodu próchnicy, z brakiem dostrzegalnej zębiny: po osuszeniu przez 5 s, przy oglądaniu z kierunku policzkowego lub językowego, uwidacznia się wyraźna utrata integralności szkliwa; w razie wątpliwości przesuwamy się zgłębnikiem z kuleczką delikatnie po powierzchni, w celu potwierdzenia utraty integralności szkliwa.

Kod 4 – ciemny cień znajdujący się pod miejscowo odłamanym lub nienaruszonym szkliwem: cień przebarwionej zębiny widoczny jest przez nienaruszoną krawędź brzeżną, policzkową lub językową ścianę szkliwa; zmiana jest łatwiej dostrzegalna, gdy ząb jest wilgotny; ciemna barwa wynika z zabarwienia próchnicowej zębiny na kolor szary, niebieski lub brązowy.

Kod 5 – rozległy ubytek z dostrzegalną zębina: ubytek w nieprzeziernym lub przebarwionym szkliwie odsłaniający zębina; w razie wątpliwości lub potwierdzenia oceny wizualnej zgłębnik z kuleczką przesuwamy się wzdłuż powierzchni i wykrywa ubytek w zębnie; dno ubytku znajduje się w zębnie.

Kod 6 – rozległy ubytek z dostrzegalną zębina: ewidentna utrata struktury zęba, ubytek jest głęboki i szeroki; zębina jest wyraźnie dostrzegalna na ścianach i dnie ubytku; krawędź brzeżna może być zachowana lub odłamana; ubytek obejmuje przynajmniej 1/2 powierzchni zęba lub osiąga miazgę.

Używanie zgłębnika do diagnostyki powierzchni zmienionych próchnicowo nie jest obecnie polecane. Już na początku lat 90. XX w. Penning i wsp. oraz Lussi zauważyli, że zgłębnikowanie cechuje się niską czułością [3] i prowadzi do pominięcia znacznej liczby zębów z próchnicą [4]. Zgłębnikowanie nie ma wpływu na zdrowe szkliwo, jednak uszkodzane są plamy próchnicowe, czyli miejsca, w których demineralizacja osiągnęła 200–300 µm [5]. Głębokość uszkodzenia zależy od przyłożonej siły [6]. Często zamiast zgłębnika zalecane jest stosowanie małego wydrążacza lub tępej sondy bez nacisku.

Pitts donosi, że posługując się jedynie podstawowym badaniem klinicznym, można wykryć mniej niż 50% wszystkich zmian na powierzchniach stycznych spośród wykrytych w wyniku połączenia badań klinicznych i radiologicznych, a samo zastosowanie zdjęć skrzydłowo-zgryzowych pozwala wykryć aż 90% zmian [7]. Ekstrand i wsp., którzy porównywali badanie kliniczne (ICDAS) z radiologicznym w warunkach in vitro, są zdania, że w przypadkach, gdy zmiana

próchnicowa na powierzchni stycznej jest dobrze dostępna w badaniu, to wówczas metoda wzrokowa jest bardziej powtarzalna i umożliwia lepszą ocenę głębokości zmiany niż badanie radiologiczne [8]. Niewiele jest publikacji porównujących czułość metody wizualno-dotykowej z zastosowaniem lup stomatologicznych i bez nich. *Haak i wsp.* doszli do wniosku, że lupy stomatologiczne lub mikroskop nie powodują wzrostu czułości diagnostyki, jeżeli stosujące je osoby są niedoświadczone w korzystaniu z tego typu pomocy [9]. Zapoznając się jednak z wynikami *Kielbassa i wsp.*, można założyć, że praca w powiększeniu w lepszym stopniu pozwala zauważyć ubytek tkanek twardych zęba. Autorzy badając zależność występowania ubytku od zaawansowania zmian radiologicznych na 285 usuniętych zębach, osiągnęli lepsze wyniki przy użyciu powiększenia. Ciekawym wydaje się być fakt, że ubytek tkanek był obecny na 10% powierzchni zdiagnozowanych za pośrednictwem badania radiologicznego jako zdrowe [10].

TRANSILUMINACJA OPTYCZNA I CYFROWA FOTI/DI-FOTI

Transiluminacja, inaczej diafanoskopia, to metoda wykorzystywana w medycynie od dwóch wieków. W stomatologii stosowana jest do prześwietlania tkanek twardych, pozwalając na ocenę ich ciągłości. Jest pomocna w wykrywaniu pęknięć, nadłamań szkliska oraz lokalizacji kamienia nad- i poddziąsłowego. Pomimo braku doniesień na temat innych zastosowań, producenci podają również możliwość diagnozowania próchnicy wtórnej, kontroli jakości wypełnień, lokalizacji komory zęba czy wykrywanie złamanych w kanale narzędzi. Światłem stosowanym historycznie do diagnostyki transiluminacją było światło żarowe. Niestety, używając takich aparatów jak Pantostat, Astom czy Unistom, nie można było wykorzystać pełnych możliwości tej metody, ponieważ światło emitowane przez te urządzenia było za słabe, aby stosować je do odcinków bocznych uzębienia. Dopiero wraz z opracowaniem metody światłowodowej FOTI (*fibre optic transillumination*) oraz jej późniejszej modyfikacji metodą DI-FOTI (*digital imaging fibre optic transillumination*) transiluminacja dostarcza precyzyjnych i łatwych do interpretacji danych diagnostycznych.

Do prześwietlania powierzchni stycznych metodą FOTI można wykorzystać światłowody lamp polimeryzacyjnych lub specjalne transiluminatory stomatologiczne. Do tych ostatnich należą takie urządzenia, jak Nova-Omnilite firmy Demetron czy DIALux firmy KaVo [11, 12].

Badanie transiluminacyjne powinno być przeprowadzone przy zgaszonej lampie unitu, na zębach oczyszczonych i dobrze osuszonych. Końcówkę światłowodu umieszcza się w przestrzeniach międzyzębowych od strony przedsionka bądź jamy ustnej właściwej. Według *Kruszyńskiej-Rosady* linijne cienie mogą sugerować pęknięcia czy nadłamań szkliska lub nieusuńnięte złogi kamienia nazębnego. O obecności próchnicy mogą świadczyć szersze cienie o kształtach figur geometrycznych. W zależności od głębokości może to być prostokąt (*c. incipiens*, *c. superficialis*), trójkąt (*c. media*) lub trapez (*c. profunda*). Jednak

Kruszyńska-Rosada zauważa, że powyższa klasyfikacja jest trudna do zastosowania klinicznego [11]. Największą wadą, często zarzucaną przez autorów publikacji, jest brak powtarzalności wyników badań i różne możliwości ich interpretacji – jest to subiektywna metoda diagnostyczna [13]. Piśmiennictwo nie zawsze donosiło o niezawodności tej metody. Pojawiały się wskazania o niskiej czułości metody FOTI [14, 15]. Badania przeprowadzone przez *Chłapowską* i *Żmijewską*, porównujące wykrywanie próchnicy na powierzchniach stycznych różnymi metodami, wykazały, że najbardziej czułą metodą charakteryzują się zdjęcia skrzydłowo-zgryzowe (27,1%), nieco mniej FOTI (20,6%), a metoda wizualno-dotykowa osiągnęła jedynie 17%. *Chłapowska* i *Żmijewska* zaznaczają jednak, że w przypadkach nakładania się na siebie powierzchni stycznych (*overlapping*) metoda FOTI może być przydatna i pomocna w ich diagnozowaniu [16].

Aby sprostać wymaganiom współczesnej diagnostyki, do urządzenia FOTI dołożono receptor ze sprzężeniem ładunkowym (*charge coupled device* – CCD), który zastąpił ludzkie oko. Receptor ten zawiera dużą ilość fotokomórek odbierających emitowane przez końcówkę diagnostyczną światło, zamieniając energię fotonów w prąd elektryczny. Prąd ten następnie jest transmitowany do wideoprocesora, który przekształcając go na wartości koloru, wyświetla badany ząb na monitorze. W ten sposób powstała metoda DI-FOTI.

Urządzeniem korzystającym z technologii DI-FOTI jest aparat DIAGNOcam firmy KaVo. Światło laserowe o długości fali równej 780 nm przenika przez tkanki zęba, a następnie odbierane jest przez kamerę i przekazywane na ekran monitora. Dzięki rozbudowanemu oprogramowaniu możliwa jest pełna archiwizacja danych, a także przyporządkowanie wyników do danego zęba. Według producenta badanie można wykonać na nieoczyszczonych zębach. Najważniejszą zaletą wydaje się być brak promieniowania jonizującego, co umożliwia przeprowadzenie diagnostyki u kobiet ciężarnych oraz dzieci. Urządzenie jest od niedawna dostępne na rynku, stąd brak publikacji na temat jego skuteczności diagnostycznej.

Bardzo ciekawe obserwacje przeprowadzili w 2005 r. *Young* i *Featherstone*. Był to eksperyment trwający 14 tygodni, w którym autorzy badali za pośrednictwem DI-FOTI oraz zdjęć radiologicznych sztucznie wytworzone ogniska demineralizacyjne w warunkach *in vitro*. Badanie to wykazało, że stosując metodę DI-FOTI, nie byli w stanie określić dokładnej głębokości zmiany na żadnym z etapów obserwacji, w przeciwieństwie do badania radiologicznego. Na uwagę zasługuje jednak fakt, że technika ta wykrywa zmiany już po 2 tygodniach od początku eksperymentu, co niemożliwe było przy korzystaniu z RTG [17]. Potwierdza to także badanie przeprowadzone przez *Ástvaldsdóttir i wsp.* w 2012 r. Dowiedli oni, że w warunkach *in vitro* wczesne zmiany na powierzchniach stycznych lepiej diagnozowane są za pomocą metody DI-FOTI niż metod radiologicznych. W badaniu uczestniczyło aż 8 obserwatorów, spośród których tylko 2 wcześniej publikowało prace dotyczące diagnostyki próchnicy. Wykrywali oni próchnicę na powierzchniach stycznych 56 usuniętych przedtrzonowców, których ustawienie miało imitować łuk zębowy.

Posługiwali się przy tym metodą DI-FOTI oraz konwencjonalną i cyfrową radiologią. Każdy z nich oceniał obraz dwukrotnie z tygodniową przerwą, posługując się skalą 0–4. Badaniem referencyjnym było badanie histologiczne [18]. Liczne doniesienia z piśmiennictwa donoszą, że metoda transiluminacji powinna być traktowana raczej jako badanie dodatkowe niż takie, które może zastąpić, np. badanie RTG. *Bin-Shuwaish i wsp.* podają, że połączenie tych dwóch metod podwyższa czułość diagnostyki zmian dochodzących do zębiny, a czułość samej metody DI-FOTI określili na 84%. Należy jednak pamiętać, że badanie dotyczyło przypadków z próchnicą sięgającą do zębiny; brak było zębów zdrowych bądź ze zmianami zlokalizowanymi tylko w szkliwie [19].

POLARYZACYJNA SPÓJNA OPTYCZNA TOMOGRAFIA PS-OCT

Kolejną metodą diagnostyki wykorzystującą zjawiska optyczne jest polaryzacyjna spójna optyczna tomografia (*polarisation-sensitive optical coherence tomography* – PS-OCT). Jest ona nieinwazyjna, wolna od promieniowania i oparta o przechwytywanie trójwymiarowych obrazów z optycznie rozpraszających ośrodków. Technika ta korzysta ze światła o długości fali = 1310 nm. Do tej pory optyczna koherencyjna tomografia stosowana była z powodzeniem w gastroenterologii, okuliście i stomatologii. Pierwszy raz opisana została przez Fujimoto i wsp. w 1991 r. [20]. Zasada działania PS-OCT jest taka sama, jak w metodzie ultradźwiękowej, jednak fala dźwiękowa została zastąpiona falą świetlną, która w przeciwieństwie do tej pierwszej rozchodzi się we wszystkich ośrodkach. Metoda ta nie wymaga stosowania substancji wspomagającej przewodzenie, co jest niezbędne w ultrasonografii. Dwu- lub trójwymiarowy obraz może zostać zapisany w szarości albo wariacie kolorowym i ma doskonałą rozdzielczość. Dzięki tym właściwościom możliwe jest zmierzenie nawet najmniejszych struktur anatomicznych [12, 21]. *Baek i wsp.* w swoich badaniach mierzyli wartość wydłużenia więzadeł ożębnej u szczurów, których siekacze zostały obciążone ortodontycznymi siłami o wartości 0; 0,5 i 10 g. Porównywali skuteczność metody radiologicznej i PS-OCT. W wynikach wykazano olbrzymią przewagę drugiej z tych metod [22]. Głównymi, niepodważalnymi zaletami PS-OCT jest obrazowanie struktur w czasie rzeczywistym [23] oraz wspaniała dokładność sięgająca 20 µm [20]. *Shane i wsp.* w swoich badaniach uzyskali bardzo dobre rezultaty w wykrywaniu próchnicy na powierzchniach żujących. Skuteczne w tych badaniach było również określenie głębokości zmiany, co jest niewątpliwą zaletą nad metodami fluorescencyjnymi [24]. Polaryzacyjna spójna optyczna tomografia może służyć także do monitorowania procesów demineralizacyjnych oraz remineralizacyjnych [25]. Ta obiecująca metoda jest w fazie rozwoju i niestety brak jest obecnie badań porównujących jej czułość, czy swoistość z innymi metodami diagnostycznymi, co może być spowodowane wysokim kosztem aparatury.

DIAGNODENT 2095 ORAZ DIAGNODENT PEN 2190

Wprowadzony w 1998 r. aparat DIAGNOdent firmy KaVo do swojego działania wykorzystuje zjawisko fluorescencji. Starsza wersja oznaczona numerem 2095 przystosowana była do diagnozowania bruzd oraz powierzchni gładkich. W nowszej, wprowadzonej w 2005 r. bezprzewodowej wersji, nazwanej DIAGNOdent Pen 2190, pojawiła się opcja diagnozowania powierzchni stycznych. W urządzeniu zastosowano dwie szafirowe, w pełni obracalne końcówki. Pierwsza ma kształt stożka i służy do wykrywania próchnicy na powierzchni zgryzowej oraz gładkiej, druga o kształcie klina umożliwia odchylenie promienia lasera o 100° [26]. DIAGNOdent Pen wyposażony jest dodatkowo w końcówkę Perio umożliwiającą wykrycie płytki nazębnej oraz kamienia poddziąsłowego. Laser diodowy wykorzystany w tym urządzeniu, charakteryzujący się mocą 1 mW, emituje podczerwień o długości fali 655 nm, która odpowiedzialna jest za wzbudzenie atomów badanej powierzchni, czego następstwem jest emisja światła. Zjawisko to nazywamy fluorescencją. W piśmiennictwie można znaleźć doniesienia, że udaną diagnostykę przeprowadzono również przy użyciu fali o długości 488 nm [27]. Próchnicowo zmienione tkanki zęba, w których zawarte są porfiryny – produkty metabolizmu bakterii, pod wpływem DIAGNOdentu emitują falę świetlną o długości większej niż zaabsorbowana. Ta odbierana jest przez fotodiodę z filtrem pasmowo-przepustowym i przetwarzana na wartość cyfrową 0–99. Operator informowany jest o wyniku akustycznie oraz za pośrednictwem wyświetlacza, na którym prezentowany jest wynik. Dzięki komunikacji przez łącze podczerwieni, wynik badania przesyłany jest także na wyświetlacz zewnętrzny, co umożliwia pacjentowi obserwację. Podczas badania rejestrowana jest wartość chwilowa i maksymalna. Wyniki badań *Ástvaldsdóttir i wsp.* dowiodły, że to właśnie porfiryny odpowiedzialne są za zwiększenie fluorescencji, a nie poziom demineralizacji tkanek [28]. W interpretacji wyniku pomocne są wytyczne producenta lub 4-stopniowa skala Hibsta [12]:

0–8 – brak próchnicy;

9–15 – zmiany ograniczone do zewnętrznej połowy grubości szkliwa;

16–30 – zmiany sięgające od wewnętrznej połowy warstwy szkliwa do granicy szkliwno-zębinowej;

powyżej 30 – próchnica zębiny.

Skala dostarczona przez producenta do urządzenia DIAGNOdent Pen dla badania powierzchni żujących i gładkich jest odmienna i przedstawia się następująco:

0–12 – tkanki zdrowe – normalne zabiegi profilaktyczne;

13–24 – początkowa demineralizacja – zaawansowane zabiegi profilaktyczne;

powyżej 24 – zmiana próchnicowa – minimalnie inwazyjne leczenie.

W diagnostyce powierzchni stycznych stosuje się następującą skalę:

0–7 – tkanki zdrowe – standardowe metody profilaktyczne;

8–16 – początkowa demineralizacja – zaawansowane zabiegi profilaktyczne;

powyżej 16 – zmiana próchnicowa – minimalnie inwazyjne leczenie.

Przed każdorazowym badaniem należy skalibrować urządzenie poprzez przyłożenie końcówki do ceramicznego wzorca, aby nie zaniżyć wyników. Dodatkowo producent zaleca, aby przed badaniem przyłożyć końcówkę do zdrowego szkliwa. Czynniki, które mają istotny wpływ na uzyskany wynik, są złoży nazębne, obecność przebarwień oraz defektów jakościowych szkliwa [26, 29]. Przed badaniem zęb należy oczyścić przy użyciu past bezfluorowych, dokładnie wypłukując ich resztki, ponieważ jak podaje *Buczkowska-Radlińska i Mayschak*, dokładne oczyszczenie pozwala zwiększyć poziom czułości z 66,6% do 90,9%, a swoistość z 26,78% do 89,7% [30]. Podobnego zdania jest *Socha i wsp.*, którzy swoje badania przeprowadzili na 40 zębach przedtrzonowych. Diagnostyce zostały poddane tylko bruźdy. Posłużono się dwoma modelami DIAGNOdentu – 2095 oraz 2190. Dokonywano 2-krotnych pomiarów, przed zastosowaniem profesjonalnego oczyszczenia oraz po nim. W przypadku obydwu urządzeń wyniki wykazały wzrost czułości po oczyszczaniu [31].

Bardzo ciekawe wyniki osiągnęli *Chen i wsp.*, którzy badając powierzchnie styczne zębów mlecznych *in vivo*, doszli do wniosku, że DIAGNOdent Pen może zostać użyty w przypadku niepełnoletnich pacjentów zamiast zdjęć skrzydłowo-zgryzowych. Czułość DIAGNOdentu wynosiła 0,56 przy swoistości 0,95, natomiast zdjęcia skrzydłowo-zgryzowego 0,64 przy swoistości 0,97 dla zmian o charakterze białej plamy. Dla porównania czułość metody wzrokowej wynosiła jedynie 0,02 przy swoistości 0,94. Badanie to obejmowało 256 powierzchni stycznych. Na 39 powierzchniach wykryto próchnicę początkową, a 89 posiadało ubytek [32].

Z badań przeprowadzonych przez *Kuhnish i wsp.* wynika, że nie należy porównywać wyników badań przeprowadzonych za pomocą urządzeń DIAGNOdent i DIAGNOdent Pen. Badacze ci prowadzili pomiary na powierzchniach żujących, a zastosowany do tego DIAGNOdent Pen pokazywał znacznie wyższe wartości [33]. Według *Moriyama i wsp.* DIAGNOdent Pen ma mniej powtarzalne wyniki niż DIAGNOdent 2095. Może to być wynikiem zastosowania kruchej sondy wykonanej z szafiru. Zwrócono również uwagę, że obecnie urządzenie DIAGNOdent powinno znaleźć szersze zastosowanie w badaniach monitorujących procesy demineralizacji oraz remineralizacji [34]. Dla zastosowania prawidłowego leczenia najważniejsze jest określenie wartości granicznej, przy której próchnica obejmuje zębinę. Zarówno w skali Hibsta, jak i Lussiego w przypadku starszej wersji DIAGNOdentu, tą wartością jest 30. Należy jednak zauważyć, że niektóre źródła określają wartość progową na 18 w warunkach wilgotnych i 21 po osuszeniu zęba [35]. Dla urządzenia DIAGNOdent Pen producent podaje, że wartość graniczna kształtuje się na poziomie 17. Większość autorów jest przychylna stwierdzeniom, że badanie DIAGNOdentem powinno być diagnostycznym badaniem dodatkowym, ponieważ z powodu tych ograniczeń istnieje duże ryzyko wyników fałszywie pozytywnych [26, 30]. Naturalnym jest, że badanie

wzrokowe charakteryzujące się niską czułością, ale wysoką swoistością, może zostać uzupełnione badaniem dodatkowym DIAGNOdentem.

MIDWEST CARIES I.D.

Urządzenie firmy Dentsply, oprócz diagnostyki powierzchni żujących, ma zapewniać zdolność wykrywania zmian na powierzchniach aproksymalnych. Źródłem światła jest dioda LED emitująca światło w zakresie podczerwieni, które w ocenie producenta może dochodzić do głębszych warstw tkanek zęba. W praktyce producenci chcieli uzyskać możliwość diagnostyki powierzchni stycznych od strony powierzchni żujących. Wynik badania jest podawany w formie akustycznej oraz poprzez zmianę koloru diody na wyświetlaczu urządzenia. Skala dostarczona przez producenta przedstawia się następująco:

0 – brak próchnicy (zielone światło, brak sygnału dźwiękowego);

1 – próchnica szkliwa (czerwone światło, powolny sygnał dźwiękowy);

2 – próchnica w zewnętrznej warstwie zębiny (czerwone światło, średnioszybki sygnał dźwiękowy);

3 – próchnica głęboka (czerwone światło, szybki sygnał dźwiękowy).

Neuhaus i wsp. przeprowadzili badanie *in vitro* na 120 usuniętych trzonowcach, bez widocznego ubytku czy obecnego wypełnienia. W badaniu uczestniczyło 2 obserwatorów, którzy diagnozowali zęby przy użyciu metody wizualnej (ICDAS), DIAGNOdentu Pen oraz urządzenia Midwest Caries I.D. Pomiary zostały powtórzone po tygodniu przerwy, a badaniem referencyjnym była ocena histologiczna zmian próchnicowych. Autorzy dowiedli, że Midwest nie może być rekomendowany w diagnostyce próchnicy na powierzchni stycznej. Niska czułość tego urządzenia wynosząca 0,07 przy swoistości 0,96, dla próchnicy osiagającej zębinę może wiązać się ze zbyt dużą utratą sygnału. Jednocześnie warto zauważyć, że najlepszą czułością w tym badaniu wykazało się zdjęcie radiologiczne połączone z badaniem klinicznym ICDAS [36]. Aby móc określić stopień przydatności urządzenia, potrzebna jest większa liczba przeprowadzonych badań

RENTGENODIAGNOSTYKA

Zdjęcie rentgenowskie jest przydatnym narzędziem w diagnostyce układu stomatognatycznego, w tym również diagnostyce próchnicy. Ubytki próchnicowe można wykryć w miejscach, w których nastąpiła demineralizacja twardych tkanek zęba sięgająca głębokości 0,5 mm, przy demineralizacji przekraczającej 5% [37]. Już w 1986 r. *Pitts i Renson* na podstawie swoich badań stwierdzili, że zdjęcia skrzydłowo-zgryzowe nie pozwalają na wykrycie wczesnych zmian próchnicowych na powierzchniach stycznych [38]. Potwierdzili to w 1995 r. *Eksstrand i wsp.* [39]. Jeśli zmianę wykryto w badaniu radiologicznym, to zwykle proces próchnicowy rozwijał się już w zębinie.

Trudności diagnostyczne pojawiają się w wypadku nakładania powierzchni stycznych oraz rozległych wypełnień, które swoim zasięgiem mogą przysłaniać ogniska próchnicy, głównie wtórnej [27]. Do wykrywania wczesnych zmian nie nadają się też zdjęcia pantomograficzne [40]. Sam kształt i zasięg zmiany ma również bardzo duży wpływ na obrazowanie radiologiczne. Przykładem jest płytka, ale stosunkowo szeroka zmiana próchnicowa, usytuowana na powierzchni stycznej, tworząca obraz głębszej zmiany, w porównaniu ze stosunkowo głęboką zmianą, której szerokość przy powierzchni jest względnie wąska [35].

Słaba jakość obrazu, długi czas oczekiwania na zdjęcie, ale przede wszystkim troska o zdrowie pacjenta, skłoniły badaczy do szukania nowszych, doskonalszych technik obrazowania. Obrazowanie cyfrowe zostało wprowadzone do radiologii w 1987 r. przez Francisa Mouyena. Opatentował on swój wynalazek, a nazwa systemu – radiowizjografia – została zarezerwowana dla sprzętu produkowanego przez firmę Trophy Radiologie (podobne rozwiązania innych firm noszą nazwę radiografii cyfrowej). Tradycyjną kliszę zastąpiono czujnikiem CCD – detektorem promieniowania. Przykładem metody pośredniej jest Digora, która wykorzystuje specjalny skaner do odczytania obrazu. Cyfryzacja umożliwiła zmniejszenie dawki pochłanianego promieniowania 10-krotnie, obraz stał się dużo dokładniejszy, a możliwość analizy i przetwarzania obrazu na monitorze komputera znacznie ułatwia postawienie prawidłowej diagnozy. Radiografia pozwala także na zapisywanie obrazu, prowadzenie dokumentacji elektronicznej, monitorowanie zmian, a także konsultację na odległość [41]. W radiografii cyfrowej każdy piksel może przyjąć 256 wartości w skali szarości (0–255), a wzmocnienie lub osłabienie kontrastu i jasności pozwala uwidocznić struktury, które nie ujawniły się na konwencjonalnym filmie. Przydatna jest również funkcja powiększenia czy konwersja obrazu do pozytywu [42], jednakże z badań *Różyło-Kalinowskiej i wsp.* wynika, że obrys zniszczenia tkanek występujący w próchnicy pierwotnej, najlepiej widoczny jest w opcji negatywowej [43]. Podstawowymi ograniczeniami, oprócz wymienionego nakładania się powierzchni stycznych, jest słaba wykrywalność ubytków I i V klasy wg Blacka oraz brak możliwości rozróżnienia ubytków na powierzchniach językowych i przedsionkowych [44]. Przy ocenie zdjęcia na monitorze należy pamiętać, aby skala ocenianego zdjęcia wynosiła 1:1 lub 1:2. *Haak i wsp.* prowadzili badania, których celem była ocena wpływu skali wyświetlanego zdjęcia na czułość diagnostyki powierzchni stycznych. Swoje badanie przeprowadzili na 160 zębach przedtrzonowych i trzonowych, których cyfrowe zdjęcia oceniane były przez 6 obserwatorów, na 2 różnych typach monitorów. Autorzy nie stwierdzili wpływu modelu monitora na czułość diagnostyczną zdjęć, jednak istotna statystycznie różnica kształtowała się pomiędzy skalą zdjęcia 1:7 a 1:1 i 1:2. Dzięki tym ostatnim diagnostyka była bardziej czuła [45].

Perendyk i wsp. badali zastosowanie radiografii cyfrowej w diagnostyce powierzchni stycznych uzębień mieszanego u dzieci w wieku 5–13 lat. Posługując się metodą cyfrową, wykryli oni o 22,53% więcej zmian w porównaniu z badaniem klinicznym. Autorzy zalecają, aby w przypadku pacjentów

w wieku rozwojowym badanie kliniczne uzupełniać wykonaniem zdjęcia skrzydłowo-zgryzowego [46]. *Mirska-Miętek* zdiagnozowała 3190 powierzchni stycznych, posługując się metodą wizualno-dotykową, kamerą wewnątrzustną, transiluminacją oraz zdjęciem skrzydłowo-zgryzowym, z których zmiany próchnicowe obecne były na $\frac{1}{3}$ łącznej liczby wszystkich powierzchni. Najwyższą czułość wykazało badanie radiologiczne, dzięki któremu udało się wykryć 74,3% zmian w szkliwie oraz 11,5% w zębiny. Największe nasilenie choroby próchnicowej wykazano dla pierwszych trzonowców żuchwy [47].

Warunki ekspozycji podlegają standaryzacji, dzięki czemu znacznie wpływają one na powtarzalność uzyskiwanych zdjęć oraz możliwość długofalowej obserwacji pacjenta [48]. Dużo większą powtarzalność daje stosowanie pozycjonerów [49], aczkolwiek nie zawsze umożliwiają one wykonanie podobnych zdjęć. Modyfikacja pozycjonera poprawia ponowne ułożenie czytelnika lub kliszy [50]. Powyższe założenia spełnia ukształtowanie kęsa zwarcowego z masy typu „putty” [51, 52]. Taka standaryzacja geometryczna projekcji jest preferowana w cyfrowej rentgenodiagnostyce [50, 53], szczególnie gdy wyznacza ona więcej punktów wspólnych w porównywanych obrazach [53].

Radiografia subtrakcyjna jest jedną z najnowocześniejszych technik radiologicznych. Aby wykorzystać tę metodę, powinno się dysponować dwoma identycznymi pod względem ekspozycji zdjęciami, różniącymi się jedynie czasem wykonania. Wówczas stosuje się subtrakcję (odejmowanie) nałożonych obrazów, dzięki czemu zapisane wartości dla poszczególnych pikseli są porównywane i odejmowane [54, 55]. Subtrakcja wymaga małej różnicy kąta projekcji pomiędzy porównywanymi obrazami, ale też doświadczenia osoby oceniającej [56]. Ten sposób obrazowania początkowych zmian jest dużo dokładniejszy, jednak nie jest rutynowo wykorzystywany, prawdopodobnie z powodu trudności z zestrojeniem obrazów początkowych.

W ostatnim czasie badano również skuteczność diagnostowania powierzchni stycznych za pośrednictwem tomografii wiązki stożkowej – CBCT. *Wenzel i wsp.* badając *in vitro* 257 powierzchni stycznych z obecnymi ubytkami, wykazali, że badanie CBCT (3D Accuitomo FPD80) jest znacznie bardziej czułe w diagnozowaniu tego stanu w porównaniu do systemów radiografii cyfrowej (Digora Optime oraz Digota Toto CMOS). W badaniu brało udział 6 obserwatorów, którzy poza diagnostyką radiologiczną oceniali także obecność ubytku, posługując się tylko silnym światłem [57]. Analizując inne badania przeprowadzone w warunkach *in vitro*, w większości stwierdzono, że CBCT nie wykazuje większej czułości wykrywania początkowych zmian próchnicowych w porównaniu do konwencjonalnych i cyfrowych systemów radiologicznych [58, 59, 60, 61, 62, 63]. Tylko jeden artykuł zawierał informację, że dzięki tomografii można z większym prawdopodobieństwem określić głębokość zmiany [64]. W innym autorzy opisują, że badanie to jest czulsze w wykrywaniu zmian obecnych w zębiny w porównaniu do systemów z czujnikiem CCD [59].

Podsumowując, należy stwierdzić, że lekarz dentysta powinien posiadać wiele metod diagnostycznych, ponieważ żadna z zaprezentowanych, stosowana samodzielnie, nie gwarantuje

stuprocentowego sukcesu postawienia prawidłowej diagnozy. Wszystkie mają swoje wady i zalety, dlatego tylko zastosowanie kilku z nich może przybliżyć lekarza do prawidłowego rozpoznania stanu tkanek przed podjęciem leczenia.

PIŚMIENNICTWO

- Kaczmarek U.: Patologia próchnicy. In: Stomatologia zachowawcza z endodoncją. Zarys kliniczny. Eds.: Z. Jańczuk, U. Kaczmarek, M. Lipski. PZWL, Warszawa 2014, 213–227.
- ICDAS Foundation. International Caries Detection and Assessment. <https://www.icdas.org/home> (12.11.2015).
- Penning C., van Amerongen J.P., Seef R.E., ten Cate J.M.: Validity of probing for fissure caries diagnosis. *Caries Res.* 1992, 26 (6), 445–449.
- Lussi A.: Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res.* 1993, 27 (5), 409–416.
- Zarzecka J., Kęsek B., Gołda T., Wieczorek B.: Współczesne poglądy na leczenie wczesnych zmian próchnicowych. *Mag Stom.* 2003, 13 (4), 30–32.
- Yassin O.M.: In vitro studies of the effect of a dental explorer on the formation of an artificial carious lesion. *ASDC J Dent Child.* 1995, 62 (2), 111–117.
- Pitts N.B.: The use of bitewing radiographs in the management of dental caries: scientific and practical considerations. *Dentomaxillofac Radiol.* 1996, 25 (1), 5–16.
- Ekstrand K.R., Luna L.E., Promisiero L., Cortes A., Cuevas S., Reyes J.F. et al.: The reliability and accuracy of two methods for proximal caries detection and depth on directly visible proximal surfaces: an in vitro study. *Caries Res.* 2011, 45 (2), 93–99.
- Haak R., Wicht M.J., Hellmich M., Gossmann A., Noack M.J.: The validity of proximal caries detection using magnifying visual aids. *Caries Res.* 2002, 36 (4), 249–255.
- Kielbassa A.M., Paris S., Lussi A., Meyer-Lueckel H.: Evaluation of cavitations in proximal caries lesions at various magnification levels in vitro. *J Dent.* 2006, 34 (10), 817–822.
- Kruszyńska-Rosada M.: Wykorzystanie transiluminacji w diagnostyce stomatologicznej. *Prz Stom Wieku Rozw.* 1998, 2/3, 25–28.
- Tanasiewicz M.: Próchnica zębów. Wybrane problemy diagnostyki, leczenia i zapobiegania. Wyd. Elamed, Katowice 2009.
- Podsiadła-Urban G., Cieszek-Buk M.: Diagnostyka wczesnych zmian próchnicowych. Przegląd współczesnych metod diagnostycznych. Część III. *Mag Stom.* 2011, 9, 79–84.
- Verdonschot E.H., Bronkhorst E.M., Wenzel A.: Approximal caries diagnosis using fiber-optic transillumination: a mathematical adjustment to improve validity. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1991, 19 (6), 329–332.
- Vaarkamp J., Bosch J.J., Verdonschot E.H., Bronkhorst E.M.: The real performance of bitewing radiography and fiber-optic transillumination in approximal caries diagnosis. *J Dent Res.* 2000, 79 (10), 1747–1751.
- Chłapowska J., Żmijewska C.: Diagnostyka próchnicy powierzchni stycznych w badaniu klinicznym, transiluminacyjnym i radiologicznym. *Stom Współcz.* 1999, 6 (4), 32–35.
- Young D.A., Featherstone J.D.: Digital imaging fiber-optic transillumination, F-speed radiographic film and depth of approximal lesions. *J Am Dent Assoc.* 2005, 136 (12), 1682–1687.
- Ástvaldsdóttir Á., Ahlund K., Holbrook W.P., de Verdier B., Tranæus S.: Approximal caries detection by DIFOTI: in vitro comparison of diagnostic accuracy/efficiency with film and digital radiography. *Int J Dent.* 2012, 2012, 326401. doi: 10.1155/2012/326401. Epub 2012 Nov. 4.
- Bin-Shuwaish, Yaman P., Dennison J., Neiva G.: The correlation of DIFOTI to clinical and radiographic images in Class II carious lesions. *J Am Dent Assoc.* 2008, 139 (10), 1374–1381.
- Huang D., Swanson E.A., Lin C.P., Schuman J.S., Stinson W.G., Chang W. et al.: Optical coherence tomography. *Science.* 1991, 254, 1178–1181.
- Tanasiewicz M., Węglarz W., Gruwel L.H., Trzcionka A.: Lokalizacja ubytków próchnicowych z wykorzystaniem technik obrazowania magnetyczno-rezonansowego. *Mag Stom.* 2008, 18 (4), 32–37.
- Baek J.H., Na J., Lee B.H., Choi E., Son W.S.: Optical approach to the periodontal ligament under orthodontic tooth movement: A preliminary study with optical coherence tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009, 135 (2), 252–259.
- Wojtkowski M., Srinivasan V., Fujimoto J.G., Ko T., Schuman J.S., Kowalczyk A. et al.: Three-dimensional retinal imaging with high-speed ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *Ophthalmology.* 2005, 112 (10), 1734–1746.
- Douglas S.M., Fried D., Darling C.L.: Imaging natural occlusal caries lesions with optical coherence tomography. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng.* 2010, 7549, 75490N. doi: 10.1117/12.849344.
- Lee C., Darling C.L., Fried D.: Polarization sensitive optical coherence tomographic imaging of artificial demineralization on exposed surfaces of tooth roots. *Dent Mater.* 2009, 25 (6), 721–728.
- Tomasik M., Mirska-Miętek M., Lipski M.: Zastosowanie urządzenia DIAGNOdent w stomatologii – możliwości i ograniczenia. *Mag Stom.* 2008, 5, 27–29.
- Nowosielska A., Marciniak A., Zawadzka E.: Nowoczesne metody diagnostyki próchnicy zębów. *Nowa Stomatol.* 2003, 1 (23), 27–32.
- Ástvaldsdóttir Á., Tranæus S., Karlsson L., Holbrook W.P.: DIAGNOdent measurements of cultures of selected oral bacteria and demineralized enamel. *Acta Odontol Scand.* 2010, 68 (3), 148–153.
- Mielczarek A., Kwiatkowska A.: Aktualne koncepcje diagnostyki próchnicy. *Stom Współcz.* 2005, 12 (4), 9–14.
- Buczkowska-Radlińska J., Mayschak W.: Przydatność fluorescencji laserowej w wykrywaniu wczesnych stadiów próchnicy bruzd. *Czas Stomatol.* 2004, 9, 555–559.
- Socha A., Gałęska M., Skomro P., Opalko K.: Ocena zaawansowania choroby próchnicowej zębów stałych za pomocą urządzeń DIAGNOdent i DIAGNOdent Pen 2190. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica.* 2009, 15 (3), 235–237.
- Chen J., Qin M., Ma W., Ge L.: A clinical study of a laser fluorescence device for the detection of approximal caries in primary molars. *Int J Paediatr Dent.* 2012, 22 (2), 132–138.
- Kuhnish J., Bucher K., Hickel R.: Reproducibility of DIAGNOdent 2095 and DIAGNOdent Pen 2195 measurements: results from an In vitro study on occlusal sites. *Eur J Oral Sci.* 2007, 115 (3), 206–211.
- Moriyama C.M., Rodrigues J.A., Lussi A., Diniz M.B.: Effectiveness of fluorescence-based methods to detect in situ demineralization and remineralization on smooth surfaces. *Caries Res.* 2014, 48 (6), 507–514.
- Fejerskov O., Kidd E.: Próchnica zębów – choroba próchnicowa i postępowanie kliniczne. Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2006.
- Neuhaus K.W., Ciucchi P., Rodrigues J.A., Hug I., Emerich M., Lussi A.: Diagnostic performance of a new red light LED device for approximal caries detection. *Lasers Med Sci.* 2015, 30 (5), 1443–1447.
- Zarzecka J., Kęsek B., Gołda T., Wieczorek B.: Współczesne poglądy na leczenie wczesnych zmian próchnicowych. *Mag Stom.* 2003, 13 (4), 30–32.
- Pitts N.B., Renson C.E.: Image analysis of bitewing radiographs a histologically validated comparison with Visual assessments of radiolucency depth in enamel. *Br Dent J.* 1986, 22, 160, 6, 205–209.
- Ekstrand K.R., Kuzmina I., Bjørndal L., Thylstrup A.: Relationship between external and histologic feature of progressive stages of caries in the occlusal fossa. *Caries Res.* 1995, 29, 4, 243–250.
- Młosek K., Kozłowski J.: Diagnostyka radiologiczna próchnicy zębów. Stan obecny i perspektywy rozwoju. *Czas Stomatol.* 1987, 40, 783–796.
- Podsiadła-Urban G., Cieszek-Buk M.: Diagnostyka wczesnych zmian próchnicowych. Przegląd współczesnych metod diagnostycznych. Część I. *Mag Stom.* 2011, 5, 52–61.
- Pawlaczyk-Kamieńska T., Żmijewska C.: Metody badań stosowane w diagnozowaniu próchnicy powierzchni stycznych zębów bocznych. *Pozn Stom.* 1998, 25, 121–125.
- Różyło-Kalinowska I., Jurkiewicz-Mazurek M., Zadora R., Michalska A., Różyło T.K.: Radiografia cyfrowa jako skuteczna metoda uzupełniająca badanie kliniczne w diagnozowaniu próchnicy powierzchni stycznych zębów bocznych. *Nowa Stom.* 2002, 1, 14–17.
- Krasny K., Sałacińska A., Markiewicz H.: Ocena skuteczności diagnostycznej radiografii cyfrowej w rozpoznaniu ubytków próchnicowych. *Nowa Stom.* 2000, 3, 13, 6–8.
- Haak R., Wicht M.J., Nowak G., Hellmich M.: Influence of displayed image size on radiographic detection of approximal caries. *Dentomaxillofac Radiol.* 2003, 32 (4), 242–246.
- Perendyk J., Goliński A., Remiszewski A.: Zastosowanie radiografii cyfrowej we wczesnej diagnostyce próchnicy powierzchni stycznych w uzębieniu pacjentów w wieku rozwojowym. *Stomatol Współcz.* 1996, 5 (2), 111–113.
- Mirska-Miętek M.: Diagnozowanie zmian próchnicowych na powierzchniach stycznych zębów stałych. *Ann Acad Med Stetin.* 2010, 56 (2), 70–79.

48. Thun-Szretter K, Markiewicz H, Czerwiński K, Leitner D.: Systemy cyfrowego obrazowania rentgenowskiego w radiologii stomatologicznej – alternatywa konwencjonalnych zdjęć wewnątrzustnych zębowych. Digital X-ray imaging systems in dental radiology – an alternative to intraoral dental radiographs. *Czas Stomatol.* 1996, 49 (8), 579–585.
49. Potter B.J., Shrout M.K., Harrell J.C.: Reproducibility of beam alignment using different bite-wing radiographic techniques. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995, 79 (4), 532–535.
50. Caprio L.C., Hausmann E., Dunford R.G., Allen K.M., Christersson L.A.: Evaluation of a simple modified radiographic alignment system for routine use. *J Periodontol.* 1994, 65 (1), 62–67.
51. Kozakiewicz M., Wilamski M.: Technika standaryzacji zewnątrzustnych zdjęć rentgenowskich. *Czas Stomatol.* 1999, 52 (10), 673–677.
52. Kulczyk T.: Indywidualna modyfikacja pozycjonera do wykonywania powtarzalnych zdjęć okołowierzchołkowych techniką kąta prostego. *Mag Stom.* 2004, 5 (14), 76–77.
53. Aagaard E., Donslund C., Wenzel A., Sewerin I.: Performance for obtaining maximal gain from a program for digital subtraction radiography. *Scand J Dent Res.* 1991, 99 (2), 166–172.
54. Lehmann T.M., Gröndahl H.G., Benn D.K.: Computer-based registration for digital subtraction in dental radiology. *Dentomaxillofac Radiol.* 2000, 29 (6), 323–346.
55. Bittar-Cortez J.A., Passeri L.A., de Almeida S.M., Haiter-Neto F.: Comparison of peri-implant bone level assessment in conventional radiography and digital subtraction images. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006, 35 (4), 258–262.
56. Wenzel A., Anthonisen P.N., Juul M.B.: Reproducibility in the assessment of caries lesion behaviour a comparison between conventional film and subtraction radiography. *Caries Res.* 2000, 34 (3), 214–218.
57. Wenzel A., Hirsch E., Christensen J., Matzen L.H., Scaf G., Frydenberg M.: Detection of cavitated approximal surfaces using cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2013, 42 (1).
58. Tsuchida R., Araki K., Okano T.: Evaluation of a limited cone-beam volumetric imaging system comparison with film radiography in detecting incipient proximal caries. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007, 104 (3), 412–416.
59. Young S.M., Lee J.T., Hodges R.J., Chang T.L., Elashoff D.A., White S.C.: A comparative study of high-resolution cone beam computed tomography and charge-coupled device sensors for detecting caries. *Dentomaxillofac Radiol.* 2009, 38 (7), 445–451.
60. Haiter-Neto F., Wenzel A., Gotfredsen E.: Diagnostic accuracy of cone beam computed tomography scans compared with intraoral image modalities for detection of caries lesions. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008, 37, 18–22.
61. Senel B., Kanburoglu K., Uçok O., Yüksel S.P., Ozen T., Avsever H.: Diagnostic accuracy of different imaging modalities in detection of proximal caries. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010, 39 (8), 501–511.
62. Qu X., Li G., Zhang Z., Ma X.: Detection accuracy of in vitro approximal caries by cone beam computed tomography images. *Eur J Radiol.* 2011, 79 (2), 24–27.
63. Kayipmaz S., Sezgin O.S., Saricaoğlu S.T., Can G.: An in vitro comparison of diagnostic abilities of conventional radiography, storage phosphor, and cone beam computed tomography to determine occlusal and approximal caries. *Eur J Radiol.* 2011, 80 (2), 478–482.
64. Akdeniz B.G., Gröndahl H.G., Magnusson B.: Accuracy of proximal caries depth measurements: comparison between limited cone beam computed tomography, storage phosphor and film radiography. *Caries Res.* 2006, 40 (2), 202–207.