Czy można bezpośrednio po związaniu materiału Biodentine przystąpić do odtworzenia tkanek zęba z zastosowaniem systemu samotrawiącego?

Is it possible to immediately proceed to restore tooth structure using a self-etching adhesive system after Biodentine setting?

Katarzyna Kot¹✉, Alicja Nowicka², Mariusz Lipski¹

¹ Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Katedra i Zakład Stomatologii Zachowawczej Przedklinicznej i Endodoncji Przedklinicznej, al. Powstańców Wlkp. 72, 70-111 Szczecin

² Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Katedra i Zakład Stomatologii Zachowawczej i Endodoncji, al. Powstańców Wlkp. 72, 70-111 Szczecin
✉ katarzynakot84@tlen.pl

ABSTRACT

Introduction: Biodentine is a bioactive dentin substitute which be used to cover the exposed pulp, and for simultaneous dentin reconstruction during a single visit.

The aim of this study was to evaluate cavity walls which were covered by an adhesive system directly after the setting of Biodentine (15 min. after its mixing), and 24 h after setting in a scanning electron microscope.

Materials and methods: Six extracted human premolars were used in this study. Black's I class cavity were prepared on the occlusal surface. The bottom of the cavities was covered with Biodentine. The teeth were then divided into 2 groups of 3 teeth each. In group 1, the Prelude adhesive system (Danville, USA) was used 15 min. after the mixing of Biodentine. In group 2, the same procedure was applied after 24 h.

Results: Scanning electron microscope (SEM) examination of the cavity walls in group 1 showed the presence of numerous particles covering the surface of the dentin and enamel. Energy dispersive spectrometry (EDS microanalysis) confirmed the presence of silicon and aluminium, which are components of Biodentine. In group 2, the walls of the cavity were free from contamination. Energy dispersive spectrometry analysis revealed the presence of elements typical of dental tissue.

Conclusions: Biodentine does not set sufficiently after 15 min. after mixing, so an adhesive system cannot be safely used when Biodentine is applied as a base.

Keywords: Biodentine; self-etching adhesive systems; SEM; EDS microanalysis.

ABSTRAKT

Wstęp: Materiał Biodentine nazywany jest bioaktywnym substytutem zębiny i może być stosowany do przykrycia odsłoniętej miazgi i jednoczesnej odbudowy zębiny w tzw. metodzie jednoseansowej.

Celem pracy była ocena w elektronowym mikroskopie skaningowym ścian ubytku, na które zastosowano system wiążący bezpośrednio po związaniu materiału Biodentine (po 15 min od jego przygotowania) oraz po 24 godz. od jego związania.

Materiały i metody: Do badania posłużyło 6 ludzkich zębów przedtrzonowych, w których na powierzchni żującej wypreparowano ubytki kl. I Blacka. Dno ubytków przykryto materiałem Biodentine. Następnie zęby podzielono na 2 grupy po 3 zęby w każdej. W grupie I, po upływie 15 min od momentu przygotowania materiału Biodentine, zastosowano system wiążący

Prelude (Danville, USA). W grupie II zastosowano identyczną procedurę po 24 godz.

Wyniki: Obserwacje ścian ubytku wykonane w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) wykazały w grupie I obecność licznych drobin pokrywających powierzchnię zębiny i szkliwa. Mikroanaliza spektroskopii dyspersji energii (*energy dispersive spectrometry* – EDS) potwierdziła m.in. obecność krzemu i glinu występujących w materiale Biodentine. W grupie II ściany ubytku były wolne od zanieczyszczeń. Analiza EDS wykazała obecność pierwiastków typowych dla tkanek zęba.

Wnioski: Materiał Biodentine po 15 min od przygotowania nie ulega związaniu w takim stopniu, by można było bezpiecznie stosować system wiążący w przypadku użycia Biodentine jako podkładu.

Słowa kluczowe: Biodentine; systemy wiążące; SEM; mikroanaliza EDS.

WSTĘP

Dzięki wykorzystaniu wiedzy na temat zjawiska adhezji faktem stało się wprowadzenie nowych technologii odtwórczych i przełamanie wielu barier ograniczających postęp w materiałoznawstwie stomatologicznym. To właśnie dokonania w dziedzinie

adhezji okazały się motorem rewolucyjnych zmian otwierających nowe możliwości terapeutyczne w stomatologii. Ostatecznym celem adhezyjnego połączenia rekonstrukcji z tkankami zęba jest osiągnięcie ścisłej adaptacji materiału odtwórczego do tkanek zęba. Zadanie to jest trudne z racji odmiennych właściwości wiążących dla szkliwa w porównaniu z zębina [1, 2].

W ciągu wielu lat wprowadzano kolejne generacje systemów wiążących, różniących się przede wszystkim mechanizmem działania [3, 4]. Najnowsze osiągnięcie w dziedzinie stomatologicznych środków adhezyjnych oparte jest na uproszczeniu i skróceniu czasu aplikacji środka. Samotrawiące systemy adhezyjne nie wymagają wytrawiania oddzielnym preparatem kwasowym, gdyż jednocześnie uzdatniają i przygotowują one szkliwo i zębinę poprzez infiltrację i częściowe rozpuszczanie warstwy mazistej i hydroksyapatytu z wytworzeniem warstwy hybrydowej [5, 6, 7].

W 1993 r. do leczenia stomatologicznego wprowadzono preparat ProRoot MTA (Dentsply Maillefer, USA), który znalazł zastosowanie podczas zabiegu przykrycia pośredniego i bezpośredniego, pulpotomii częściowej i całkowitej, a także zamykania perforacji korzenia oraz wstecznego wypełniania kanału korzeniowego [8, 9, 10, 11]. Obecnie na rynku jest wiele produktów o zbliżonej do pierwowzoru budowie i w związku z powyższym właściwościami chemicznymi i fizycznymi. Ponieważ materiały te wiążą w ciągu kilku godzin, dalsze leczenie (leczenie endodontyczne, odbudowa korony zęba) może być kontynuowane dopiero podczas kolejnej wizyty. Ostatnio na rynku pojawiły się nowe materiały o biogodności MTA, lecz pozbawione jego wad. Jednym z nich jest materiał Biodentine (Septodont, Francja), który składa się z proszku i płynu. Proszek zawiera głównie krzemian trójwapniowy ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), węglan wapnia (CaCO_3) i dwutlenek cyrkonu (ZrO_2). Płyn zawiera wodny roztwór chlorku wapnia (CaCl_2) [12, 13, 14]. Czas wiązania Biodentine wynosi ok. 12 min. Ze względu na szybki czas wiązania, zgodnie z zaleceniami producenta, jak i niektórych autorów, może być stosowany do przykrycia odsłoniętej miazgi i jednoczesnej odbudowy zębiny w tzw. metodzie jednoseansowej, gdy odbudowa korony, np. z użyciem systemu wiążącego i materiału złożonego, następuje na tej samej wizycie, bezpośrednio po związaniu materiału, tj. po ok. 12–15 min [15, 16].

Własne spostrzeżenia kliniczne sugerują niezadowolający stopień związania materiału Biodentine po upływie podawanego przez producenta czasu, co może mieć wpływ na jakość rekonstrukcji wykonanej podczas tej samej wizyty.

Celem pracy była ocena w elektronowym mikroskopie skaningowym ścian ubytku, na które zastosowano system wiążący bezpośrednio po związaniu materiału Biodentine (po 15 min od jego przygotowania) oraz po 24 godz. od jego związania.

MATERIAŁY I METODY

Do badania posłużyło 6 ludzkich zębów przedtrzonowych usuniętych ze względów ortodontycznych. Bezpośrednio po ekstrakcji korony zębów odcięto na wysokości szyjki zęba. Następnie w obrębie powierzchni żującej wypreparowano ubytki kl. I wg Blacka ze ścianami ustawionymi rozbieżnie w kierunku wejścia do ubytku (tak jak pod wkład koronowy). Preparacji dokonano z użyciem wiertel diamentowych w kształcie kulki osadzonych w kątnicy wiertki turbinowej oraz wiertel węglkowych osadzonych w kątnicy mikrosilnika. W trakcie preparacji stosowano chłodzenie wodnopowietrzne. Ogółem

wypreparowano 6 ubytków o głębokości 4–5 mm, których dno przykryto materiałem Biodentine. Materiał wprowadzano do ubytku za pomocą pistoletu używanego do aplikacji amalgamatu, starając się nie dotknąć ścian ubytku. Po umieszczeniu materiał lekko kondensowano za pomocą upychadła kulkowego. Następnie zęby podzielono na 2 grupy po 3 zęby w każdej.

W grupie I, po upływie 15 minut od momentu przygotowania materiału Biodentine, na nieprzykrytą materiałem zębinę, jak i szkliwo zastosowano system wiążący Prelude (Danville, USA). Prelude Primer zgodnie z zaleceniami producenta wcierało przez 10 s, unikając kontaktu aplikatora z materiałem Biodentine i delikatnie rozdmuchano powietrzem. Następnie przez 10 s wcierało Prelude Adhesive, rozdmuchano powietrzem i naświetlano lampą polimeryzującą The Cure Cordless II (Spring, USA) przez 10 s.

W grupie II zastosowano identyczną procedurę, z tym że zabieg odroczone o 24 godz., umieszczając zęby na ten okres w szczelnie zamkniętym pojemniku.

W dalszej kolejności dokonano obserwacji w elektronowym mikroskopie skaningowym środowiskowym JSM 5600LV (Jeol, Japonia). Wybrane ściany ubytku obejrzano w powiększeniu 550x oraz dokonano mikroanalizy spektroskopii dyspersji energii (*energy dispersive spectrometry* – EDS) wybranych obszarów.

WYNIKI

W grupie I podczas aplikacji Prelude Primer zaobserwowano nieuzbrojonym okiem, że w wyniku niezamierzonego kontaktu tego preparatu z materiałem Biodentine (primer spływał na materiał) powstawała zawiesina. Zastosowanie lekkiego strumienia powietrza powodowało jej rozprowadzenie po powierzchni ścian ubytku i prawdopodobnie odparowanie rozpuszczalnika. Podczas aplikacji Prelude Adhesive nie obserwowano gołym okiem jakichkolwiek reakcji. Powierzchnia ściany ubytku sprawiała wrażenie czystej.

W grupie II, zarówno podczas aplikacji Prelude Primer, jak i Prelude Adhesive, nie obserwowano nieuzbrojonym okiem jakichkolwiek interakcji. I w tej grupie po spolimeryzowaniu systemu wiążącego ściana sprawiała wrażenie czystej.

Obserwacje ścian ubytku wykonane w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) wykazały w grupie I obecność licznych drobin pokrywających powierzchnię zębiny i szkliwa (ryc. 1). Mikroanaliza EDS potwierdziła m.in. obecność krzemu i glinu występujących w materiale Biodentine (ryc. 2).

W grupie II ściany ubytku były wolne od tego typu zanieczyszczeń (ryc. 3). Analiza EDS wykazała obecność pierwiastków typowych dla tkanek zęba (ryc. 4). Sporadycznie wykrywano piki dla krzemu.

DYSKUSJA

Ze względu na właściwości mechaniczne zbliżone do zębiny materiał Biodentine nazywany jest bioaktywnym substytutem zębiny [17, 18, 19]. Charakteryzuje się dobrą twardością, dużą

RYCINA 1. Powierzchnia ścian ubytku w grupie I. Widoczne liczne zanieczyszczenia

RYCINA 2. Mikroanaliza spektroskopii dyspersji energii z obszaru zaznaczonego na rycinie 1 (Spectrum 3). Obecność krzemu i glinu wstępującego w materiale Biodentine

RYCINA 3. Powierzchnia ścian ubytku w grupie II. Brak widocznych zanieczyszczeń

RYCINA 4. Mikroanaliza spektroskopii dyspersji energii z obszaru zaznaczonego na ryc. 3 (Spectrum 3). Obecność pierwiastków występujących w tkankach zęba

gęstością i małą porowatością, a także wytrzymałością na ściskanie i zgniatanie [15, 16, 18]. Dodatkową zaletą Biodentine jest czas wiązania (ok. 12 min). Należy jednak zwrócić uwagę, iż po upływie tego czasu materiał nie posiada wystarczającej twardości, którą osiąga dopiero po 30 dniach. Jednak zgodnie z zaleceniami producenta materiał Biodentine bezpośrednio po związaniu, tj. po 12 min od rozrobienia, może zostać pokryty warstwą materiału złożonego po wcześniejszym zastosowaniu odpowiedniego czynnika łączącego.

Najważniejszym czynnikiem mającym wpływ na trwałość i przewidywalność odbudowy z użyciem systemu wiążącego jest wytrzymałość połączenia pomiędzy wypełnieniem a szkliwem/zębina, a także pomiędzy materiałem odtwórczym a podkładem [20, 21]. Na wielkość wytrzymałości połączenia pomiędzy zębina a materiałem kompozytowym ma wpływ kilka czynników, tj.: właściwości samego materiału złożonego, rodzaj systemu wiążącego oraz jakość warstwy hybrydowej, która odpowiedzialna jest za zmniejszenie nadwrażliwości pozabiegowej, polepszenie szczelności brzeżnej, a także kompensację siły skurczu polimeryzacyjnego materiału kompozytowego podczas polimeryzacji [22, 23]. W badaniu własnym w przypadku grupy I ocena w mikroskopie skaningowym wykazała obecność licznych drobin pokrywających powierzchnię zębiny i szkliwa. Mikroanaliza EDS wykazała obecność

m.in. krzemu i glinu. Pierwiastki te nie występują w tkankach zęba, natomiast wchodzi w skład materiału Biodentine, co sugeruje, że zaobserwowane w grupie I zanieczyszczenia to drobin materiału Biodentine. Zanieczyszczenie warstwy hybrydowej niewidocznymi gołym okiem drobinami materiału Biodentine może negatywnie wpłynąć na jakość połączenia materiału złożonego z tkankami zęba; w tym celu niezbędne jest przeprowadzenie odrębnego badania. Natomiast opisywanych zanieczyszczeń nie obserwowano na ścianach ubytku w grupie II, tj. w przypadku, gdy system wiążący zastosowano po 24 godz. od przygotowania materiału. Powyższe obserwacje jak i fakt, iż analiza EDS nie wykazała obecności na ścianach ubytku obecności pierwiastków wchodzących w skład Biodentine (sporadycznie rejestrowano piki dla krzemu), sugerują, że zastosowany w badaniu materiał wiąże po 24 godz. w stopniu uniemożliwiającym interakcje zachodzące w przypadku ew. kontaktu primera z cementem świeżo rozrobionym.

Od dłuższego czasu trwają prace nad poprawieniem adhezji materiałów kompozytowych zarówno do szkliwa, jak i zębiny poprzez unowocześnienie i udoskonalenie systemów wiążących. Samotrawiące systemy adhezyjne nie wymagają wytrawiania oddzielnym preparatem kwasowym, gdyż w swoim składzie zawierają wodne roztwory kwasowych monomerów, które są odpowiedzialne za przygotowanie powierzchni

szkliwa i zębiny [3, 4, 5, 6, 7]. Do tej pory pojawiły się jedynie nieliczne publikacje dotyczące wpływu wytrawiania kwasem fosforowym na strukturę i właściwości mechaniczne materiału MTA [24, 25] oraz Biodentine [12, 26]. W przypadku MTA wytrawienie powierzchni 37% kwasem fosforowym po 4 godz. od rozrobienia materiału w znaczący sposób obniżyło wytrzymałość materiału na ściskanie oraz zmniejszyło jego mikrotwardość w porównaniu z grupą, w której do aplikacji wytrawiacza przystąpiono po 24 i 96 godz. od zmieszania proszku z wodą [25]. Badania przeprowadzone przez Camilleri [12] wykazały zmiany zarówno strukturalne, jak i chemiczne w materiale Biodentine po trwającym 20 s wytrawieniu 37% kwasem fosforowym w porównaniu z grupą kontrolną, której nie poddano działaniu wytrawiacza. W przypadku Biodentine po aplikacji wytrawiacza obserwowano niższy stosunek wapnia do krzemu oraz zmniejszenie wysokości piku przy chlorku w porównaniu z grupą kontrolną. Natomiast w obu grupach trawienie kwasem nie wpłynęło na mikrotwardość materiału. Elnaghy [26] ocenił wpływ kwasowości środowiska na parametry fizykomechaniczne Biodentine i białego MTA. Grupę I stanowiło 60 cylindrów wypełnionych Biodentine, natomiast grupę II – 60 cylindrów wypełnionych białym MTA. Każdą z grup podzielono na 4 podgrupy w zależności od pH środowiska (odpowiednio 7,4; 6,4; 5,4 i 4,4). Po upływie 7 dni próbki umyto i osuszono, a następnie poddano ocenie ich mikrotwardość i wytrzymałość na ściskanie. Wyniki wykazały, że mikrotwardość materiału Biodentine była znacząco wyższa w porównaniu z białym MTA we wszystkich podgrupach. Zaobserwowano również, iż spadek pH środowiska obniża mikrotwardość zarówno materiału Biodentine, jak i białego MTA. Wytrzymałość materiałów na ściskanie po ekspozycji na coraz niższe pH również ulega zmniejszeniu. W badaniu własnym użyto systemu samotrawiącego Prelude zgodnie z zaleceniami producenta. W grupie I system wiążący aplikowano po 15 min od przygotowania materiału Biodentine, natomiast w grupie II zabieg odroczone o 24 godz. W grupie I, po naniesieniu Prelude Primer, zaobserwowano, że w wyniku kontaktu tego preparatu z materiałem Biodentine powstawała zawiesina. W grupie II, po aplikacji Prelude Primer, nie obserwowano jakichkolwiek interakcji. Pojawienie się zawiesiny w grupie I może świadczyć o reakcji chemicznej zachodzącej pomiędzy primerem a materiałem Biodentine. W tym miejscu należy zaznaczyć, że primer ma odczyn kwasowy (pH ok. 2–3), a Biodentine zasadowy (pH ok. 12). Po upływie 24 godz. od przygotowania preparatu Biodentine nie obserwowano okiem nieuzbrojonym jakichkolwiek interakcji.

Trwałość wypełnienia ma istotny wpływ na powodzenia leczenia stomatologicznego i w dużej mierze zależy od wytrzymałości połączenia materiału z tkankami zęba. Badania laboratoryjne wykazały, że wytrzymałość połączenia jest wystarczająca 17–20 MPa [20, 27, 28]. Powszechnie do oceny ilościowej siły adhezji materiałów wypełniających do tkanek zęba wykorzystuje się metodę ścinania (*shear bond strength* – SBS) oraz metodę zrywania (*microtensile bond strength* – μ TBS). Metoda ścinania wymieniana jest również w metodologii badań nad materiałami na bazie krzemianu trójwapniowego [19, 20, 28,

29, 30]. Odobaş i wsp. [29] oceniali wytrzymałość połączenia materiału Biodentine z materiałem kompozytowym po zastosowaniu trzech różnych systemów wiążących. Do badania wykorzystali Prime&Bond® NT (stosowany w technice total-etch), 2-etapowy samotrawiący Clearfil SE Bond oraz jedno-etapowy samotrawiący Clearfil S3 Bond. Oceny dokonywali po upływie 12 min oraz 24 godz. od przygotowania materiału Biodentine. Największą wytrzymałość połączenia (19,559 MPa) materiału Biodentine z materiałem kompozytowym obserwowali w przypadku systemu wiążącego Clearfil SE Bond po 24 godz. Najniższe wartości (9,127 MPa) zaobserwowali w grupie, w której zastosowano system Prime&Bond® NT po 12 min od przygotowania Biodentine. Autorzy nie stwierdzili statystycznie istotnych różnic pomiędzy badanymi grupami po 12 min i 24 godz. Odmienne wyniki uzyskali Krawczyk-Stuss i wsp. [19] w badaniu oceniającym wytrzymałość połączenia Biodentine z materiałem kompozytowym w zależności od czasu aplikacji i rodzaju systemu wiążącego. Do badań użyto w grupie I systemu adhezyjnego IV generacji (Optibond® FL), w grupie II systemu adhezyjnego V generacji (Adper Single Bond®), a w grupie III samotrawiącego systemu VI generacji (Clearfil S3 Bond®). Po 12 min od rozrobienia materiału Biodentine największą wytrzymałość połączenia odnotowano dla samotrawiącego systemu Clearfil S3 Bond®. Natomiast zarówno po 7 dniach, jak i po 28 dniach nie obserwowano statystycznie istotnych różnic w wytrzymałości połączenia. CanTekin i Avci [20] ocenili siłę wiązania kompozytów na bazie metakrylanów (Aelite All Purpose Body) i siloranów (Filtek Silorane) oraz konwencjonalnych cementów szkłoionomerycznych (GC Fuji IX) z materiałem Biodentine i MTA. Badania przeprowadzili po całkowitym związaniu materiałów, dla Biodentine po upływie 15 min i po 96 godz. dla MTA. Najwyższą wartość zaobserwowali dla połączenia kompozytu na bazie metakrylanów z materiałem Biodentine (17,7 MPa), natomiast najniższą dla konwencjonalnego cementu szkłoionomerycznego z MTA (5,8 MPa). Dla porównania wytrzymałość połączenia między materiałem MTA a kompozytem na bazie metakrylanów wynosiła 8,9 MPa. Niestety, autorzy nie podają, jakiego systemu wiążącego użyli w badaniu. Neelakantan i wsp. [31] zbadali wytrzymałość połączenia materiału kompozytowego z białym MTA po zastosowaniu różnych protokołów adhezyjnych. Zwrócili szczególną uwagę na pH i rodzaj rozpuszczalnika użytego w systemie wiążącym. Natomiast Bayrak i wsp. [28] sugerują, iż rodzaj rozpuszczalnika oraz zawartość wypełniacza w systemie adhezyjnym może mieć większy wpływ na wartość wytrzymałości połączenia niż jego pH. Niskie pH systemu wiążącego przyczynia się do zmniejszenia wytrzymałości połączenia. Należy zwrócić uwagę, iż kwaśne środowisko dodatkowo może mieć negatywny wpływ na właściwości mechaniczne materiałów podkładowych.

WNIOSKI

Uzyskane wyniki sugerują, że materiał Biodentine po 15 min od przygotowania nie ulega związaniu w takim stopniu, by

w przypadku użycia go jako podkładu można było bezpiecznie, tj. bez obawy interakcji, stosować system wiążący na zębinę i szkliwo. Odroczenie odbudowy korony zęba o 24 godz. wydaje się w zupełności wystarczające. Ocena wpływu zanieczyszczeń na połączenie odbudowy z tkankami zęba wymaga wykonania dodatkowych badań.

PIŚMIENNICTWO

1. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 2003;28:215-35.
2. Perdigão J. Dentin bonding as function of dentin structure. *Dent Clin North Am* 2002;46:1-25.
3. Swift EJ Jr. Dentin/enamel adhesives: review of literature. *Pediatr Dent* 2002;24:456-61.
4. Armstrong SR, Vargas MA, Fang Q, Laffoon JE. Microtensile bond strength of a total-etch 3-step, total-etch 2-step, self-etch 2-step, and a self-etch 1-step dentin bonding system through 15-month water storage. *J Adhes Dent* 2003;5:47-56.
5. Perdigão J, Geraldini S. Bonding characteristics of self-etching adhesives to intact vs. prepared enamel. *J Esthet Restor Dent* 2003;15:32-42.
6. Sensi LG, Lopes GC, Monteiro S Jr, Banatieri LN, Vieira LC. Dentin bond strength of self-etching primers/adhesives. *Oper Dent* 2005;30:63-8.
7. Mazurek K. Adhezyjne cementowanie uzupełnień ceramicznych – kondycjonowanie powierzchni biorących udział w łączeniu. *Protet Stomatol* 2014;64:216-22.
8. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 1993;19:541-4.
9. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review. Part I: Chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod* 2010;36:16-27.
10. Torabinejad M, Parirokh M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review. Part II: Leakage and biocompatibility investigations. *J Endod* 2010;36:190-202.
11. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review. Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod* 2010;36:400-13.
12. Camilleri J. Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *J Dent* 2013;41:600-10.
13. Rajasekharan S, Martens LC, Cauwels RG, Verbeeck RM. Biodentine material characteristics and clinical applications: a review of the literature. *Eur Arch Paediatr Dent* 2014;15:147-58.
14. Bortoluzzi EA, Broon NJ, Bramante CM, Felipe WT, Tanomaru Filho M, Esberard RM. The influence of calcium chloride on the setting time, solubility, disintegration, and pH of mineral trioxide aggregate and white Portland cement with a radiopacifier. *J Endod* 2009;35:550-4.
15. Malkondu Ö, Karapinar Kazandağ M, Kazazoğlu E. A review on Biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. *BioMed Res Int* 2014;2014:160951. doi: 10.1155/2014/160951.
16. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dent Mater* 2013;29:20-8.
17. Nowicka A, Lipski M, Postek-Stefańska L, Wysoczyńska-Jankowicz I, Lichota D, Sporniak-Tutak K, et al. Pokrycie bezpośrednie miazgi zębów stałych z użyciem preparatu Biodentine – doniesienie wstępne. *Mag Stomatol* 2012;22:30-7.
18. Koubi G, Colon P, Franquin JC, Hartmann A, Richard G, Faure MO, et al. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth – a prospective study. *Clin Oral Investig* 2013;17:243-9.
19. Krawczyk-Stuss M, Ostrowska A, Łapińska B, Nowak J, Bołtacz-Rzepkowska E. Wytrzymałość połączenia Biodentine ze światłoutwardzalnym materiałem kompozytowym w zależności od czasu aplikacji i rodzaju systemu adhezyjnego. *Dent Med Probl* 2015;52:434-9.
20. Cantekin K, Avci S. Evaluation of shear bond strength of two resin-based composites and glass ionomer cement to pure tricalcium silicate-based cement (Biodentine). *J Appl Oral Sci* 2014;22(4):302-6.
21. Olek A, Cynkier J. Metody oceny połączenia materiałów złożonych z tkankami zęba – przegląd piśmiennictwa. *Dent Med Probl* 2011;48:86-96.
22. Perdigão J. New developments in dental adhesion. *Dent Clin North Am* 2007;51:333-57.
23. D'Arcangelo C, Vanini L, Prosperi GD, Di Bussolo G, De Angelis F, D'Amario M. The influence of adhesive thickness on the microtensile bond strength of the three adhesive systems. *J Adhes Dent* 2009;11:109-15.
24. Giuliani V, Nieri M, Pace R, Pagavino G. Effects of pH on surface hardness and microstructure of mineral trioxide aggregate and Aureoseal: an in vitro study. *J Endod* 2010;36:1883-6.
25. Kayahan M, Nekoofar M, Kazandağ M, Canpolat C, Malkondu O, Kaptan F, et al. Effect of acid-etching procedure on selected physical properties of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2009;42:1004-14.
26. Elnaghy AM. Influence of acidic environment on properties of Biodentine and White Mineral Trioxide Aggregate: a comparative study. *J Endod* 2014;40:953-7.
27. Al-Sarheed MA. Evaluation of shear bond strength and SEM observation of all-in-one self-etching primer used for bonding of fissure sealants. *J Contemp Dent Pract* 2006;7:9-16.
28. Bayrak S, Tunç ES, Saroğlu I, Eğinmez T. Shear bond strengths of different adhesive systems to white mineral trioxide aggregate. *Dent Mater J* 2009;28:62-7.
29. Odabaş ME, Bani M, Tirali RE. Shear bond strengths of different adhesive systems to Biodentine. *Sci World J* 2013;2013:626103. doi: 10.1155/2013/626103.
30. Altunsoy M, Tanriver M, Ok E, Kucukyilmaz E. Shear bond strength of a self-adhering flowable composite and flowable base composite to mineral trioxide aggregate, calcium-enriched mixture cement, and Biodentine. *J Endod* 2015;41:1691-5.
31. Neelakantan P, Grotra D, Subbarao CV, Garcia-Godoy F. The shear bond strength of resin-based composite to white mineral trioxide aggregate. *J Am Dent Assoc* 2012;143:40-5.