

POMORSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY W SZCZECINIE



lek. dent. Joanna Falkowska

**Porównanie odporności na wyptukiwanie materiałów używanych
do wstecznego wypełniania kanałów korzeniowych**

Rozprawa doktorska w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu

Dyscyplina nauki medyczne

Promotor: prof. dr hab. n. med. Mariusz Lipski

Szczecin 2023 r.

Serdecznie dziękuję mojemu Promotorowi,
Panu prof. dr hab. n. med. Mariuszowi Lipskiemu
za nieustającą motywację do pisania,
zaufanie oraz bezcenne wskazówki
podczas powstawania niniejszej pracy

SPIS TREŚCI

SPIS TREŚCI	3
AUTOREFERAT	4
1. Imię i nazwisko	5
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe	5
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	5
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego.....	5
A. Tytuł osiągnięcia naukowego	5
B. Autorzy, tytuły publikacji, nazwa wydawnictwa, rok wydania	5
5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze	6
A. Wykaz innych opublikowanych prac naukowych	6
B. Streszczenia zjazdowe	6
6. Streszczenie osiągnięcia naukowego	8
7. Streszczenia prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego	39
8. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego	44
A. Falkowska, J.; Dura, W.; Marek, E.; Krukowska-Zaorska, A.; Lipski, M. Porównanie wypłukiwania nowych materiałów do wstecznego wypełnienia kanałów korzeniowych. Stomatol. Współcz., 2023 , vol. 30, nr 1, s. 8-16.	
B. Falkowska, J.; Chady, T.; Dura, W.; Drożdżik, A.; Tomasik, M.; Marek, E.; Safranow, K.; Lipski, M. The washout resistance of bioactive root-end filling materials. Materials, 2023 , vol. 16, nr 17, 5757.	
B. 1. Streszczenie celu, materiału i metod, wyników i wniosków	46
9. Oświadczenia współautorów prac dotyczące ich udziału w powstaniu prac.....	59

Joanna Falkowska

POMORSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY W SZCZECINIE
ZAKŁAD I KATEDRA STOMATOLOGII ZACHOWAWCZEJ PRZEDKLINICZNEJ
I ENDODONCJI PRZEDKLINICZNEJ

AUTOREFERAT

SZCZECIN 2023

1. **IMIĘ I NAZWISKO:** Joanna Falkowska

2. **POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE**

28.06.2017 r. – Dyplom lekarza dentysty, Wydział Lekarsko-Stomatologiczny, kierunek lekarsko-dentystyczny, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

3. **INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH**

od 1.10.2018 r. – wykładowca, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

4. **WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO**

A. tytuł osiągnięcia naukowego:

Ocena odporności na wypłukiwanie materiałów używanych do wstecznego wypełniania kanałów korzeniowych

Osiągnięcie zostało udokumentowane cyklem dwóch publikacji. Obie publikacje są pracami oryginalnymi (prace badawcze), opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych

Sumaryczny Impact Factor (IF) wynosi: 3,4; punktacja MEiN: 160

B. Autorzy, tytuł publikacji, nazwa wydawnictwa, rok wydania

1) Falkowska, J.; Dura, W.; Marek, E.; Krukowska-Zaorska, A.; Lipski, M. Porównanie wypłukiwania nowych materiałów do wstecznego wypełnienia kanałów korzeniowych. *Stomatol. Współcz.*, **2023**, vol. 30, nr 1, s. 8-16.

punktacja MEiN: 20

2) Falkowska, J.; Chady, T.; Dura, W.; Drożdżik, A.; Tomasik, M.; Marek, E.; Safranow, K.; Lipski, M. The washout resistance of bioactive root-end filling materials. *Materials*, **2023**, vol. 16, nr 17, 5757.

IF: 3,4; punktacja MEiN: 140

5. POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE

A. Wykaz innych opublikowanych prac naukowych

1) Chamarczuk, A.; Falkowska, J. Zastosowanie biodruku 3D w stomatologii – przegląd piśmiennictwa. *Mag. Stomatol.* **2022**, R. 32, nr 6, s. 10-13.

punktacja MEiN: 5

2) Trybek, G.; Chamarczuk, A.; Falkowska, J.; Grzegorzewska, M.; Preuss, O.; Aniko-Włodarczyk, M. Intraoral odontogenic abscesses in patients of The Department of Oral Surgery at the Pomeranian Medical University in Szczecin: 7 years of observation = Wewnątrzustne ropnie zębopochodne u pacjentów Zakładu Chirurgii Stomatologicznej Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie- obserwacje 7-letnie. *Post. Hig.* **2018**, vol. 72, s. 491-498

IF: 1,106; punktacja MEiN: 15

B. Streszczenia zjazdowe

1) Chamarczuk, A.; Falkowska, J.; Masiuk, H.; Jursa-Kulesza, J. Wpływ czasu przechowywania ćwieków gutaperkowych zawierających w swoim składzie oktenidynę na ich skuteczność przeciwko *Candida albicans*. Badanie wstępne. *Realna Stomatologia - Konferencja Naukowa, Kurs Medyczny, Szczecin, 9-11 czerwca 2022 r.*

2) Falkowska, J.; Chamarczuk, A.; Kaczała, M.; Lipski, M. Przeciwgrzybiczne właściwości ćwieków gutaperkowych zawierających w swoim składzie środki przeciwdrobnoustrojowe. Doniesienie wstępne. *Realna Stomatologia - Międzynarodowa Kursokonferencja, Szczecin, 25-26 maja 2018 r.*

3) Chamarczuk, A.; Falkowska, J. Zastosowanie probiotyków w profilaktyce próchnicy zębów u dzieci - przegląd piśmiennictwa. *Realna Stomatologia. Międzynarodowa Kursokonferencja, Szczecin, 25-26 maja 2018 r.*

4) Falkowska, J.; Dura, W. Wpływ dwu roztworów do usuwania warstwy mazistej na dokładność pomiaru długości roboczej z użyciem aparatu DentaPort Root ZX badanie in vitro. *Realna stomatologia premium - Kursokonferencja 1-2 grudnia 2017 r., Szczecin.*

5) Grzegorzewska, M.; Falkowska, J.; Chamarczuk, A. Zastosowanie autorskiej aplikacji Anaesthesia3D na urządzenia mobilne po przestrzennej wizualizacji zakresu znieczulenia miejscowego w stomatologii. *XLVII Ogólnopolska Konferencja Naukowa Studentów Uczelni Medycznych w Szczecinie, 1-2 grudnia 2016 roku. Książka abstraktów.*

Streszczenia artykułów

- 1) Falkowska, J. Owrzodzenie języka jako pierwszy objaw gruźlicy utajonej –opis przypadku. *Mag. Stomatol.* **2019**, R. 29, nr 7-8, s. 98-99. Streszcz. art.: A case report of a tongue ulcer presented as the first sign of occult tuberculosis. [Aut.] Kim S. Y., Byun J. S., Choi J. K., Jung J. K. *BMC Oral Health*, 2019, vol. 19, nr 1, s. 67.
- 2) Falkowska, J. Pacjentka z alergią na metale leczona z zastosowaniem protezy na wszczepach tytanowych - opis przypadku z co najmniej 4-letnią obserwacją. *Mag. Stomatol.* **2019**, R. 29, nr 2, s. 94-95. Streszcz. art.: Metal allergy patient treated by titanium implant denture: A case report with at least 4-year follow-up. [Aut.] Yan H., Afroz S., Dalanon J., Goto N., Hosoki M., Matsuka Y., *Otorhinolaryngol.*, 2018, vol. 6, nr 10, s. 1972-1977.
- 3) Falkowska, J. Samoistny ropień mózgu spowodowany przez *Bacillus subtilis* u immunokompetentnego pacjenta płci męskiej: opis przypadku i przegląd literatury. *Mag. Stomatol.* **2019**, R. 29, nr 4, s. 98-99. Streszcz. art.: Spontaneous cerebral abscess due to *Bacillus subtilis* in an immunocompetent male patient: A case report and review of literature. [Aut.] Tsonis I. Karamani L. Xaplanteri P. Kolonitsiou F. Zampakis P. Gatzounis G. Marangos M. Assimakopoulos S.F. *World J. Clin. Cases*, 2018, vol. 6, nr 16, s. 1169-1174.

6. STRESZCZENIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

6.1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój endodoncji obserwowany w ostatnich latach polegający na pojawieniu się nowych materiałów, narzędzi i urządzeń oraz związanych z nimi technik umożliwił lekarzom denty stom skuteczniejsze i bardziej przewidywalne tzw. konwencjonalne (od strony korony, ang. *ortograde root canal treatment*) leczenie endodontyczne zębów. Niekiedy jednak konwencjonalne leczenie endodontyczne okazuje się trudne do przeprowadzenia lub wręcz niemożliwe i wówczas jedynym zabiegiem, który może pozwolić na zachowanie zęba w jamie ustnej jest resekcja wierzchołka korzenia (ang. *apicoectomy*) [Kim i wsp. 2006, Łęski i wsp. 2008]. Ten chirurgiczny zabieg polega na odcięciu wierzchołka korzenia, usunięciu zmienionych zapalnie tkanek przyzębia wierzchołkowego, wstecznym opracowaniu kanału i szczelnym wypełnieniu wypreparowanego ubytku [Kim i wsp. 2006, Piątowska i wsp. 1995, Starzycki i wsp. 2005].

Przez wiele lat zabieg resekcji wierzchołka korzenia wykonywano wyłącznie w przypadku zębów jednokorzeniowych, choć już od pewnego czasu, dzięki postępowi w zakresie chirurgii wierzchołka (ang. *apical surgery*) polegającemu na wprowadzeniu do stomatologii tomografii komputerowej, mikroskopu zabiegowego czy urządzeń ultradźwiękowych możliwe stało się wykonywanie tej procedury w przypadku zębów przedtrzonowych jak i trzonowych [Low i wsp. 2008, Savan i wsp. 2002, Waškowska i wsp. 2007, Rud i wsp. 2001, Kozakiewicz i wsp. 2001]. Urządzenia o których mowa, poza zwiększeniem precyzji wykonywanego zabiegu, ograniczyły również znacznie jego inwazyjność, co nie pozostało bez wpływu na skuteczność resekcji. Jak wynika z wielu badań klinicznych zabiegi mikrochirurgiczne zapewniają wyższy odsetek pozytywnych wyników leczenia w porównaniu z zabiegami wykonywanymi sposobem tradycyjnym [Tsisis i wsp. 2006, Song i wsp. 2012, von Arx i wsp. 2012, Setzer i wsp. 2010, Song i wsp. 2013]. Po zabiegu mikrochirurgicznym, głównie ze względu na mniejszą jego radykalność, również szybciej przebiega gojenie tkanek miękkich i mniej występuje powikłań pozabiegowych [Kim i wsp. 2006, Myciński i wsp. 2010]. Bardzo ważną czynnością wykonywaną w trakcie zabiegu resekcji jest wypełnienie wsteczne kanału, które ma za zadanie oddzielić światło kanału od tkanek przyzębia wierzchołkowego. Obecnie uważa się, że wsteczne wypełnienie powinno

być zakładane rutynowo [Rud i wsp. 2001, Kozakiewicz i wsp. 2001, Tsesis i wsp. 2006], choć przed laty, w przypadku prawidłowo opracowanego kanału i szczelnego jego wypełnienia od strony korony, rezygnowano ze wstecznego opracowania i wypełnienia wypreparowanego ubytku wychodząc z założenia, że jest to zabieg drogi, czasochłonny i trudny technicznie [Bramwell i wsp. 1986, Grung i wsp. 1990, Kaplan i wsp. 1982].

O ile uzyskano konsens odnośnie rutynowego wstecznego wypełniania po wykonanym zabiegu odcięcia wierzchołka korzenia, to nadal trwa dyskusja nad wyborem materiału, który zapewniłby szczelne odizolowanie jamy zęba od tkanek okołowierzchołkowych. W przeszłości materiałem powszechnie stosowanym do wstecznego wypełnienia kanałów był amalgamat, który po raz pierwszy zastosowano w tym celu pod koniec XIX wieku [cyt. Harrison i wsp. 1997]. Obecnie kwestionowane jest stosowanie tego materiału z powodu nieodpowiedniej szczelności oraz braku biogodności. Co więcej odchodzi się także od jego stosowania w rekonstrukcji tkanek, głównie ze względu na narażenie lekarzy i pacjentów na kontakt z rtęcią oraz ze względu na zanieczyszczenie środowiska [Higa i wsp. 1994, Inoue i wsp. 1991, Torabinejad i wsp. 1997, Torpe i wsp. 1996, Banaszek i wsp. 2000, Sapota i wsp. 2010]. Stomatolodzy nie używają również stosowanych wcześniej dość powszechnie cementów szkło-jonomerowych, cementów szkło-jonomerowych modyfikowanych żywicą, cermetów, materiałów złożonych, cementów polikarboksylowych, gutaperki, złotej folii oraz cementów tlenkowo-cynkowo-eugenolowych, choć preparaty na bazie tego ostatniego związku, tj. Intermediate Restorative Material (IRM, Dentsply Sirona, USA) czy Superethoxy Benzoic Acid (Super EBA, Harry Bosworth CO, USA) cieszą się jeszcze pewną popularnością wśród amerykańskich stomatologów [Kohli i wsp. 2018].

Od ponad ćwierćwiecza w dość powszechnym użytku jest cement MTA (Mineral Trioxide Aggregate). Początkowo używany był okazjonalnie do wstecznego wypełnienia kanału, ale zyskał z czasem na popularności i obecnie jest materiałem z wyboru. Materiał ten pod względem chemicznym jest hydraulicznym cementem krzemowo-wapniowym. Poza krzemianami dwu- i trójwapniowym, które przede wszystkim decydują o jego bioaktywności, zawiera w swoim składzie również glinian trójwapniowy, tlenek wapnia, glinian tetrawapniowy żelaza oraz tlenek bizmutu, który jest do niego dodawany w celu uwidocznienia cementu na zdjęciach rentgenowskich. Aby uzyskać pastę o odpowiedniej konsystencji należy go mieszać (występuje w postaci proszku) z wodą w stosunku 3:1 [Parirokh i wsp.

2010, Zarzecka i wsp. 2003]. Oryginalny materiał ProRoot MTA (Dentsply Maillefer, USA) wiązał stosunkowo długo (od kilkudziesięciu minut do ponad 4 godzin); nowsze wersje wiążą krócej; w zależności od producenta od 12-15 do kilkudziesięciu minut (np. MTA Angelus, Angelus, Brazylia). Materiał jest dość trudny do założenia; aplikację ułatwiają specjalne instrumenty (np. pistolety do MTA). Ponieważ ma konsystencję błota nie należy go intensywnie upychać w ubytku; nadmiary zaleca się usunąć wilgotną, bawełnianą gazą. Kontakt z wilgocią, w tym z krwią nie zaburza wiązania [Zarzecka i wsp. 2003]. Materiał jest zalecany do wstecznego wypełniania kanału, ponieważ wykazuje bioaktywność polegającą na inicjowaniu cementogenezy. W badaniach histologicznych poza cementogenezą obserwowano również pojawianie się włókien Sharpeya włącznie z tworzeniem szpary ozębnowej w okolicy resekowanej [Torabinejad i wsp. 1997, Torabinejad i wsp. 1998]. Mineral Trioxide Aggregate indukuje także osteoblasty do tworzenia tkanki kostnej [Torabinejad i wsp. 1998]. Zjawisko tworzenia cementu na powierzchni MTA czy też stymulowanie kości do gojenia nie jest do końca wyjaśnione. Uważa się, że decydującą rolę w tych procesach odgrywają jony Ca^{++} oraz OH^- . Uwalniane przez długi czas z materiału zapewniają odpowiednie (zasadowe) środowisko konieczne dla procesów reparacyjnych/regeneracyjnych [Parirokh i wsp. 2010]. Niestety MTA nie jest pozbawiony wad. W związku z zawartością tlenku bizmutu (w pierwotnej wersji również związków żelaza) może przebarwiać zarówno tkanki twarde (zębinę) jak i miękkie (dziąsło) [Parirokh i wsp. 2010, Zarzecka i wsp. 2003, Torabinejad i wsp. 1995, Torabinejad i wsp. 2009]. Mimo że wiąże przy dostępie wilgoci, to w początkowej fazie wiązania, tj. dopóki jest miękki może ulegać wypłukiwaniu (ang. washout) w wyniku kontaktu z płynami (np. solą fizjologiczną używaną do płukania jamy resekcyjnej w celu usunięcia ew. pozostałości materiału) czy krwią napływająca do niszy po wykonanym zabiegu [Torabinejad i wsp. 1997, Torabinejad i wsp. 1998]. MTA uzyskuje się z cementu portlandzkiego, czyli materiału naturalnego i mimo oczyszczania w trakcie produkcji zawsze zawiera w swoim składzie związki chemiczne wykazujące cytotoksyczność [Torabinejad i wsp. 1995, Torabinejad i wsp. 2009, Duarte i wsp. 2005]. Z tych właśnie powodów wprowadzono na rynek materiały syntetyczne, które w odróżnieniu od MTA uzyskiwanego z naturalnego cementu portlandzkiego nie przebarwiają tkanek zęba (zamiast tlenku bizmutu zawierają tlenek tantalu lub cyrkonu), są biozgodne (nie zawierają zanieczyszczeń, gdyż uzyskuje się je na drodze syntezy) oraz według informacji producenta charakteryzują się odpornością na wypłukiwanie. Niektóre z nich są

produkowane w postaci proszku i płynu i podobnie jak MTA wymagają mieszania; inne mają postać pasty gotowej do użytku [Abusrewil i wsp. 2005, Jitaru i wsp. 2016, Świątłowska-Bajzert i wsp. 2020]. W celu poprawy wyników klinicznych leczenia opracowano wiele nowych materiałów z krzemianu wapnia.

Syntetycznym cementem zawierającym głównie krzemian trójwapniowy jest preparat Biodentine® (Septodont, Saint Maur des Fossés, Francja), wprowadzony na rynek w 2009 roku. Biodentine składa się z proszku (głównie krzemiany wapnia) oraz płynu (woda z chlorkiem wapnia i rozpuszczalnym polimerem). Proszek znajduje się w kapsułce, a płyn w ampułce. Proszek z płynem miesza się z wykorzystaniem wstrząsarki przez 30 s używając 4000–4200 obr./min. Według producenta czas wiązania wynosi około 12-15 min [Kot i wsp. 2022]. Jednak niektórzy autorzy [Kaup i wsp. 2015] oszacowali ostateczny czas wiązania tego materiału na 85 min. Konsystencja Biodentine jest podobna do konsystencji cementu fosforowego, co sprawia, że Biodentine jest łatwy w aplikacji [Lipski i wsp. 2018]. Podobnie jak w przypadku MTA, Biodentine zaleca się do pośredniego/bezpośredniego przykrycia miazgi, pulpotomii, apeksogenezy, apeksyfikacji, zamykania perforacji korzenia i korony, naprawy resorpcji i wstecznego wypełniania kanału korzeniowego [Lipski i wsp. 2018, Rajasekharan i wsp. 2018, Harms i wsp. 2019]. Ponieważ Biodentine został wprowadzony na rynek pod koniec 2009 roku, do tej pory opublikowano wiele badań laboratoryjnych dotyczących tego materiału. Piśmiennictwo wciąż nie jest jednak jednoznaczne co do wyższości Biodentine nad MTA jako materiału do wstecznego wypełniania kanałów. Niektóre badania wykazały lepszą szczelność wypełnień wykonanych z Biodentine niż MTA, podczas gdy inne badania nie potwierdziły wyższości Biodentine lub wykazały, że jest gorszy od MTA w przypadku jego zastosowania do wstecznego wypełniania. Niedawno opublikowana metaanaliza wykazała brak naukowych dowodów na wyższość Biodentine nad MTA jako materiału do wstecznego wypełnienia kanału [Al-Nazhan i wsp. 2022].

Zarówno MTA (np. ProRoot MTA, MTA Angelus), jak i Biodentine są cementami krzemianowo-wapniowymi. W procesie wiązania cementu bardzo ważną reakcją jest hydratacja, której głównym produktem jest hydrat krzemianu wapnia. Niektórzy autorzy prowadzą badania nad wpływem glinu na efektywność tej reakcji. Chociaż obecność glinu może wpływać na wydajność reakcji, może również zmniejszać jego biogodność i wydłużać czas wiązania. Wśród badanych materiałów glin występuje w materiałach typu MTA,

natomiast w pełni syntetyczny Biodentine go nie zawiera [Al-Nazhan i wsp. 2022, Salha i wsp. 2023].

Innym nowo opracowanym typem materiału bioaktywnego do wstecznego wypełniania kanałów jest EndoCem Zr (Maruchi, Wonju, Korea). Został wprowadzony jako cement pucolanowy (naturalnie występujący materiał krzemionkowo-glinowy pochodzenia wulkanicznego) [Silva i wsp. 2023]. EndoCem Zr charakteryzuje się krótkim czasem wiązania wynoszącym 4 minuty oraz korzystnymi właściwościami manipulacyjnymi [Silva i wsp. 2023, Sharma i wsp. 2020]. Proszek po zmieszaniu z wodą ulega reakcji, efektem której jest hydrat krzemianu wapnia, podobny do powstającego w wyniku uwodnienia MTA. EndoCem/EndoCem Zr szybko twardnieje pomimo braku przyspieszacza wiązania. Szybsze wiązanie materiału jest prawdopodobnie spowodowane małymi cząstkami cementu, a tym samym większą powierzchnią kontaktu z wodą [Kim i wsp. 2014, Choi i wsp. 2013]. Ma niski potencjał przebarwienia tkanek zęba, ponieważ zawiera tlenek cyrkonu zamiast konwencjonalnego tlenku bizmutu [Sharma i wsp. 2020]. Jednak badania in vitro wykazały, że Endocem Zr jest bardziej cytotoksyczny i związany z niższą ekspresją VEGF i ANG w porównaniu z Mineral Trioxide Aggregate [Chung i wsp. 2016], co zostało potwierdzone analizą histopatologiczną w zwierzęcym modelu pulpotomii. W cytowanym badaniu wykazano większą odpowiedź zapalną w porównaniu z mineralnym agregatem trójtlenkowym [Lee i wsp. 2017].

Niedawno na rynku stomatologicznym pojawił się nowy typ MTA - MTA Repair High Plasticity (MTA HP, Angelus, Londrina, Brazylia). Materiał jest dość podobny do swojego pierwowzoru (MTA Angelus), ale zawiera wolframian wapnia (CaWO_4) jako środek kontrastujący oraz płyn, który stanowi woda i plastyfikator [Palczewska-Komsa i wsp. 2021, Barczak i wsp. 2020]. Ta nowa kompozycja zachowuje właściwości chemiczne oryginalnego MTA, ale zmienia jego właściwości fizyczne (plastyczność), ułatwiając łatwiejszą aplikację materiału w porównaniu do tradycyjnego MTA [Barczak i wsp. 2020, Galarça i wsp. 2018]. MTA HP w porównaniu do ProRoot MTA wiąże szybciej (12 min) [Palczewska-Komsa i wsp. 2021]. Szybsze wiązanie tego cementu krzemianowo-wapniowego tłumaczy się w literaturze dużą powierzchnią cząstek proszku i brakiem faz siarczanowych [Jimenez-Sanchez i wsp. 2019].

Kolejnym cementów zalecanym do wstecznego wypełniania kanałów jest RetroMTA (BioMTA, Korea). Cement rozrabia się łącząc proszek z płynem i bardzo delikatnie mieszając.

Materiał ten zawiera w swoim składzie węglan wapnia, dwutlenek krzemu, tlenek glinu oraz kompleks cyrkonu wapnia [Kang i wsp. 2021]. Czas wstępnego wiązania wynosi 180 sekund, natomiast czas ostatecznego wiązania to 360 sekund. Zgodnie z opisem producenta cement ten szybko wiąże, nie przebarwia tkanek, nie zawiera w swoim składzie metali ciężkich, jest biozgodny i odporny na wyflukiwanie. Retro MTA ma wprowadzić w swojej nazwie „MTA”, ale nie jest produktem pochodzenia naturalnego. Podobnie jak Biodentine jest w pełni syntetycznym produktem.

Innym materiałem o podobnym zastosowaniu jest Well-Root PT (Vericom, Korea). Ma postać gotowej do użytku pasty o gęstej konsystencji zawierającej w swoim składzie: glinokrzemian wapnia, tlenek cyrkonu, wypełniacz oraz środek zagęszczający [Ashi i wsp. 2022]. Czas wiązania to 20 minut [Lipski i wsp. 2022]. Zgodnie z danymi producenta posiada właściwości przeciwbakteryjne w związku z niskim pH, jest biokompatybilny, nie kurczy się w trakcie wiązania a forma gotowej pasty sprawia, że jest łatwy w użyciu. Liczne badania wykazały korzystne właściwości chemiczne oraz bioaktywność porównywalną z konwencjonalnymi materiałami typu MTA [Ashi i wsp. 2022, Back i wsp. 2022, Kim i wsp. 2022].

Jak wynika z przeglądu piśmiennictwa aktualnie najczęściej stosowanymi materiałami do wstecznego wypełniania kanałów są cementy krzemowo-wapniowe względnie materiały zawierające w swoim składzie inne biologicznie aktywne związki chemiczne. W odróżnieniu od wcześniej stosowanych materiałów, poza niekwestionowaną biozgodnością i bioaktywnością, doskonale wiążą w wilgotnym środowisku; co więcej wilgoć w trakcie twardnienia jest jak najbardziej pożądana, gdyż zapewnia prawidłowy przebieg reakcji wiązania. W tym miejscu należy jednak zwrócić uwagę na fakt ich stosunkowo długiego wiązania i tym samym podatność na wyflukanie (ang. *washout*). Termin ten wywodzi się z dyscypliny nauk inżynierijno-technicznych i jest często używany w stomatologii opisując zjawisko wyflukiwania się materiałów stosowanych do wypełnień w trakcie ich wiązania. *Washout* – pojęcie oznaczające wymywanie spoiwa świeżo rozrobionych cementów przy kontakcie z płynami [Wang i wsp. 2007, Megahed, i wsp. 2016] należy odróżnić od rozpuszczania się materiałów (ang. *solubility*), które dotyczy materiałów związanych [Cavenago i wsp. 2014].

Zasadniczo problem wymywania materiałów, czyli ich *washout'u* dotyczy tylko takich zabiegów, w których nie jest możliwe odizolowanie materiału od środowiska wilgotnego w

trakcie jego wiązania. Typowym przykładem jest zabieg resekcji, w przypadku którego po wypełnieniu wstecznym kanału najczęściej przepłukuje się jamę resekcyjną solą fizjologiczną. Niezwiązany materiał może zostać również wypłukany przez krew, która w pewnym momencie zaczyna napływać do jamy resekcyjnej z okolicznych tkanek. Uwzględniając ten fakt materiał stosowany do wstecznego wypełnienia powinien zatem wiązać w obecności wilgoci nie ulegając jednocześnie wypłukiwaniu w wyniku kontaktu z płynem.

W celu oceny odporności na wypłukiwanie materiałów podatnych na wypłukiwanie opracowano odpowiednie metody, które są standardowo stosowane w badaniach nad wymywaniem cementów używanych w budownictwie [Sonebi i wsp. 1999]. Testy te nie są jednak przydatne w stomatologii, ponieważ stworzono je do pomiarów próbek o istotnie większej wadze i objętości niż te stosowane w stomatologii. Wielu badaczy do tej pory próbowało opracować różnego rodzaju testy, które okazałyby się przydatne do oceny wypłukiwania materiałów stomatologicznych [Grech i wsp. 2013, Formosa i wsp. 2012, Choi i wsp. 2013, Jang i wsp. 2013]. I tak Grech i wsp. [2013] opracowali metodę polegającą na ocenie utraty materiału w następstwie zanurzenia go w roztworze. W tym celu skonstruowali specjalne urządzenie, którego podstawowym elementem jest cylinder wykonany z siatki. Doświadczenie polega na umieszczeniu w tym cylindrze niezwiązanego materiału, a następnie na umieszczeniu go w roztworze. W chwili, gdy cylinder znajdzie się w płynie zostaje zwolniona blokada i pojemnik wraz z materiałem zaczyna swobodnie opadać na dno. Po 15 s cylinder zostaje wyciągnięty z roztworu w celu osuszenia. Znając masę cylindra bez materiału (1), a następnie wraz z materiałem (2) i po przeprowadzonym doświadczeniu (3) bez problemu można określić masę wypłukanego cementu. Inny sposób oceny utraty wypłukanego materiału zaproponowali Jang i wsp. [2013]. W cytowanym badaniu wypełniano ocenianymi materiałami cylindryczne ubytki, a następnie zanurzono próbki w pojemnikach z wodą. Utraty wypełnień dokonano po dobie oglądając powierzchnię wypełnień w elektronowym mikroskopie skaningowym. Natomiast Choi i wsp. [2013] po wypełnieniu zagłębień w płytkach ze sztucznego tworzywa poddali je działaniu strumienia roztworu ze strzykawki, tak jak to czyni się zazwyczaj podczas zabiegu resekcji w warunkach klinicznych. Podobnie jak w przypadku badania w SEM dokonali oceny wizualnej jakości wypełnień, tj. obecności kraterowatych zgłębień w obrębie powierzchni wypełnień jak i przylegania wypełnień do ścian ubytku; nie posłużyli się jednak obrazami z mikroskopu

elektronowego, lecz zdjęciami wykonanymi w dużym powiększeniu za pomocą aparatu fotograficznego wyposażonego w odpowiedni obiektyw.

Ponieważ, jak już wspomniano powyżej, nie ma jednej standardowej metody badania odporności na wypłukiwanie świeżo rozrobionych materiałów stomatologicznych, na potrzeby tego badania opracowano własną metodę oceny wymywania, która następnie zastosowano do zbadania odporności na wypłukiwanie dostępnych na rynku materiałów do wstecznego wypełniania kanałów korzeniowych.

6.2. Cel pracy

Celem badania była ocena odporności na wypłukiwanie względnie nowych cementów krzemowo-wapniowych: Biodentine, EndoCem ZR, RetroMTA, MTA HP i Well-Root PT w porównaniu ze stosowanymi od wielu lat na rynku konwencjonalnymi hydraulicznymi cementami krzemowo-wapniowy typu MTA (MTA Angelus White i MTA Angelus Grey) oraz modyfikowanym cementem na bazie tlenku cynku IRM. Jak już wspomniano, na potrzeby badania opracowano własną metodę oceny wymywania.

6.3. Materiał i metody

Ocenie poddano następujące materiały:

1. Biodentine (Septodont, Saint Maur-des-Fossés, Cedex, Francja)
2. Endocem EndoCem Zr (Maruchi, Wonju, Korea),
3. MTA HP (Angelus, Londrina, Brazylia)
4. RetroMTA (BioMTA, Seul, Korea),
5. Well-Root PT (Vericom, Gangwon-Do, Korea),
6. MTA Angelus White (Angelus, Londrina, Brazil),
7. MTA Angelus Grey (Angelus, Londrina, Brazil),
8. IRM (IRM; Dentsply Sirona, Charlotte, USA).

Materiały dostępne w postaci proszku w zależności od preparatu mieszano z odpowiednim płynem lub wodą destylowaną. Materiały mieszano na szklanej płytce za pomocą metalowej łopatkki. Przestrzegano proporcji proszku do płynu oraz czasu mieszania podanego w instrukcjach przez producentów. Uwzględniano wszelkie zalecenia wytwórców np. w przypadku materiału RetroMTA 0,3 g proszku delikatnie zmieszano z 3 kroplami roztworu pozostawiając proszek do nasiąknięcia roztworem przez 20 sekund. Preparat Well-Root PT nie wymagał przygotowania, ponieważ jest produkowany w postaci pasty gotowej do aplikacji. Materiał Biodentine jest konfekcjonowany w kapsułce (proszek) i ampułce (płyn). Zgodnie z zaleceniami 5 kropli dedykowanego płynu dodawano do kapsułki zawierającej proszek, a następnie po zamknięciu kapsułki mieszano we wstrząsarce (Silver MIX, GC Dental, Japonia) przez 30 s.

Skład chemiczny i sposób przygotowania poszczególnych materiałów przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Skład badanych materiałów

Materiał	Producent	Skład	Sposób mieszania
IRM	Dentsply Sirona, Charlotte, USA	proszek: tlenek cynku, polimetakrylanu metylu (PMMA), pigment płyn: eugenol, kwas octowy	1 miarka proszku + 1 kropla destylowanej wody (mieszane ręcznie na płytce szklanej używając metalowej łypatki przez 30 s)
MTA Angelus White	Angelus, Londrina, Brazylia	proszek: krzemian trójwapniowy, krzemian dwuwapniowy, glinian trójwapniowy, żelazoglinian trójwapniowy, tlenek wapnia, tlenek bizmutu płyn: woda destylowana	2 płaskie miarki proszku + 3 krople pływu (mieszane ręcznie na płytce szklanej używając metalowej łypatki przez 30 s)
Biodentine	Septodont, Saint-Maur- des-Fossés Cedex, Francja	proszek: krzemian trójwapniowy, krzemian dwuwapniowy, węglan wapnia, tlenek żelaza, tlenek cyrkonu płyn: chlorek wapnia jako przyspieszacz wiązania, polimer rozpuszczalny w wodzie – środek redukujący potrzebną ilość wody, woda	Kapsułka z 0,7 g proszku + 5 kropli pływu (mieszać we wstrząsarce; 30 s; 4000–4200 rpm)
EndoCem Zr	Maruchi, Wonju, Korea	proszek: tlenek wapnia, dwutlenek krzemu, tlenek glinu, tlenek magnezu, tlenek żelaza, tlenek cyrkonu płyn: woda destylowana	0,3 g proszku + 0.12 ml pływu (mieszane ręcznie na płytce szklanej używając metalowej łypatki przez 30 s)
MTA HP	Angelus, Londrina, Brazylia	proszek: krzemian trójwapniowy, krzemian dwuwapniowy, glinian, tlenek wapnia i wolframian wapnia płyn: woda i plastyfikator	kapsułka z 0,085 g proszku + 2 krople pływu (mieszane ręcznie na płytkie szklanej używając metalowej łypatki przez 30 s)
RetroMTA	BioMTA, Seul, Korea	węglan wapnia, dwutlenek krzemu, tlenek glinu, kompleks wapniowo-cyrkonowy	0,3g proszku RetroMTA + 3 krople roztworu. Delikatnie zwilżyć używając plastikowej szpatułki przez 20 s. Odczekać do momentu zniknięcia błyszczącej powierzchni.
Well-Root PT	Vericom, Gangwon-Do, Korea	Glinokrzemian wapnia, tlenek cyrkonu, związek zagęszczający	Gotowa do użytku pasta..
MTA Angelus Grey	Angelus, Londrina, Brazylia	proszek: krzemian trójwapniowy, krzemian dwuwapniowy, glinian trójwapniowy, żelazoglinian trójwapniowy, tlenek wapnia, tlenek bizmutu, tlenek glinu, tlenek magnezu, tlenek żelaza płyn: woda destylowana	Proszek mieszany z wodą w proporcji proszek/woda 3:1 (mieszane ręcznie na płytce szklanej używając metalowej łypatki przez 30 s)

Tab. 1. Composition of the tested materials

Material	Manufacturer	Ingredients	Mixing
IRM	Dentsply Sirona, Charlotte, USA	powder: zinc oxide, poly-methyl methacrylate (PMMA) powder, pigment liquid: eugenol, acetic acid	1 spoon of powder + 1 drop of distilled water (mixed manually on glass slab using metal spatula, 30 s)
MTA Angelus White	Angelus, Londrina, Brazil	powder: tricalcium silicate, dicalcium silicate, tricalcium aluminate, ferroaluminate tricalcium, calcium oxide, bismuth oxide liquid: distilled water	2 level scoops of powder + 3 drops of liquid (mixed manually on glass slab using metal spatula, 30 s)
Biodentine	Septodont, Saint-Maur- des-Fossés Cedex, France	powder: tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium carbonate and oxide filler, iron oxide shade, and zirconium oxide liquid: calcium chloride as an accelerator, hydrosoluble polymer water-reducing agent, water	0.7 g capsule of powder + 5 drops of liquid (mixed in the triturator; 30 s; 4000–4200 rpm)
EndoCem Zr	Maruchi, Wonju, Korea	powder: calcium oxide, silicon dioxide, aluminum oxide, magnesium oxide, ferrous oxide, zirconium oxide liquid: distilled water	0.3 g of powder + 0.12 mL (mixed manually on glass slab using metal spatula; 30 s)
MTA HP	Angelus, Londrina, Brazil	powder: tricalcium silicate, dicalcium silicate, tricalcium aluminate, calcium oxide, and calcium tungstate liquid: water and plasticizer	0.085 g capsules of powder + 2 drops of liquid (mixed manually on glass slab using metal spatula; 30 s)
RetroMTA	BioMTA, Seoul, Korea	calcium carbonate, silicon dioxide, aluminium oxide, calcium zirconia complex	Pour 0.3g of RetroMTA powder and make 3 drops of wetting solution. Wet it gently with a plastic spatula for 20 s. Wait until the shiny surface disappears.
Well-Root PT	Vericom, Gangwon-Do, Korea	Calcium aluminosilicate, zirconium oxide, thickener	Premixed ready-to-use paste without <i>mixing</i> process.
MTA Angelus Grey	Angelus, Londrina, Brazil	powder: tricalcium silicate, dicalcium silicate, tricalcium aluminate, ferroaluminate tricalcium, calcium oxide, bismuth oxide, aluminum oxide, magnesium oxide, ferrous oxide liquid: distilled water	Powder mixed with liquid with powder/liquid ratio 3:1 (mixed manually on glass slab using metal spatula, 30 s)

Doświadczenie 1

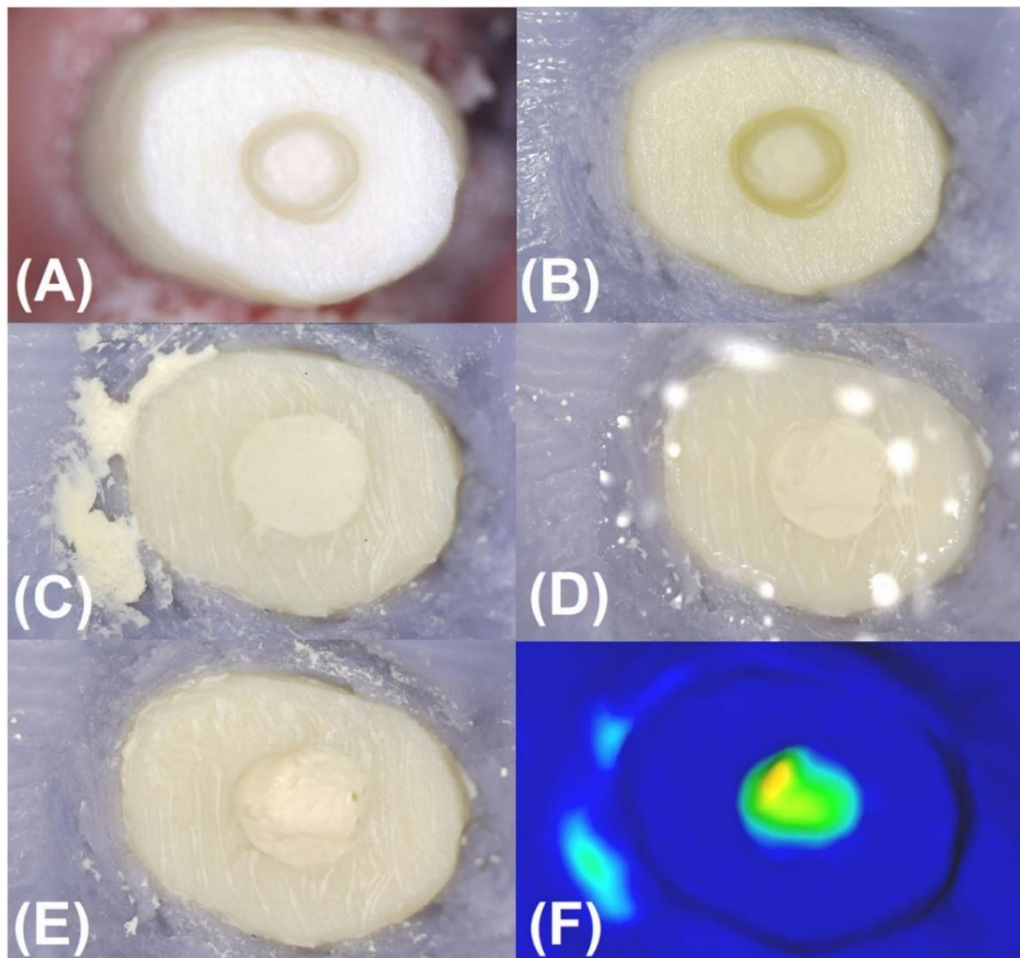
Do oceny odporności badanych materiałów na wypłukiwanie użyto akrylowych bloczków (odpowiednio opracowanych akrylowych zębów siecznych dolnych umieszczonych w modelu żuchwy), w których wypreparowano ubytki w wymiarach 1,2 mm x 3 mm (średnica i głębokość) (ryc. 1 A). Następnie za pomocą masy wyciskowej zasymulowano tkanki dna niszy resekcyjnej. Oceniane materiały aplikowano do ubytków natychmiast po ich przygotowaniu używając w tym celu pistoletu MTA+gun (Cerkamed, Polska) i kondensowano za pomocą upychadła do wstecznego wypełniania kanałów retro filing plugger No. 1 (Medesy SRL, Włochy); czas wypełniania nie przekraczał 30 s. W sumie przygotowano 111 próbek (po 12 w przypadku RetroMTA, Well-Root PT, MTA Angelus Grey i po 15 w przypadku IRM, MTA Angelus White, Biodentine, EndoCem Zr, MTA HP) (ryc. 1 B). Wypełnienia sfotografowano w pow. x60 za pomocą mikroskopu stereoskopowego (QX3+ Computer Microscope, Matell Inc., USA oraz Levenhuk, Inc., Tampa, FL, USA) (czas potrzebny do wykonania zdjęcia wynosił 1 min.) i przystąpiono do symulacji płukania. Płucząc starano się nie kierować strumienia roztworu na wypełnienie, ale na masę wyciskową wokół resekowanej powierzchni (powierzchnia bloczka akrylowego, w którym wypreparowany ubytek został wypełniony badanym materiałem). Do płukania użyto strzykawki i krótkiej kaniuli. W przypadku jednego bloczka stosowano 10 ml 0,9% roztworu NaCl o temperaturze pokojowej; czas płukania: 30 s. Następnie model wraz z bloczkiem zanurzono w 0,9% roztworze NaCl o temperaturze ok. 34°C symulującym krew napływającą do niszy po skrwawieniu. Model przetrzymywano w wilgotnym środowisku 15 minut, po czym wyciągano go z płynu, bardzo delikatnie osuszano nie dotykając wypełnienia i ponownie wykonywano zdjęcie.

Na podstawie porównania fotografii („przed” i „po”) trzy wykalibrowane osoby określiły stopień destrukcji wypełnień przyjmując 3-stopniową skalę (ryc. 2):

Ocena 1 - materiał szczelnie przylega do ścian; nie stwierdza się ubytków w obrębie materiału świadczących o jego wypłukaniu,

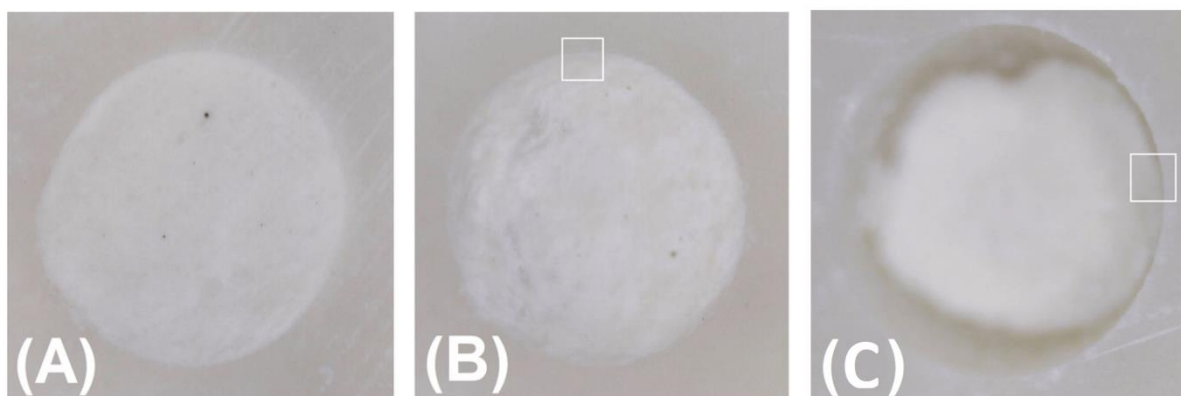
Ocena 2 - nie obserwuje się szczeliny między materiałem a ścianą; widoczne ubytki materiału świadczące o jego wypłukaniu,

Ocena 3 - obecność szczeliny pomiędzy wypełnieniem a ścianą kanału; w obrębie materiału widoczne ubytki świadczące o jego wytlukaniu.



Ryc. 1. (A) Korona zęba siecznego żuchwy (plastikowy bloczek) po opracowaniu na wzór resekowanego wierzchołka korzenia z preparacją kanału o wymiarach 1,2 mm x 3 mm (średnica i głębokość). (B) Dno łoża kostnego symulowano za pomocą silikonowej masy wyciskowej. (C) Wstecznie wypreparowany ubytek wypełniony materiałem. (D) Płukanie zresekowanej powierzchni korzenia i sztucznego łoża kostnego. (E) Częściowe wytlukanie materiału. (F) Model (mapa kolorów) w postaci mapy głębi uzyskany w wyniku nałożenia skanów.

Fig. 1. (A) The crown of the mandibular incisor (plastic block) after preparation to resemble the resected root with a root-end preparation of 1.2 mm × 3 mm (diameter and depth). (B) The bottom of the bony crypts were simulated with the use of silicone impression material. (C) Root-end preparation filled with retrograde material. (D) Rinsing of the resected root surface and the artificial bony crypt. (E) Partial rinsing of the material from the root-end preparation. (F) The colour model in the form of a depth map obtained as a result of imposing scans.



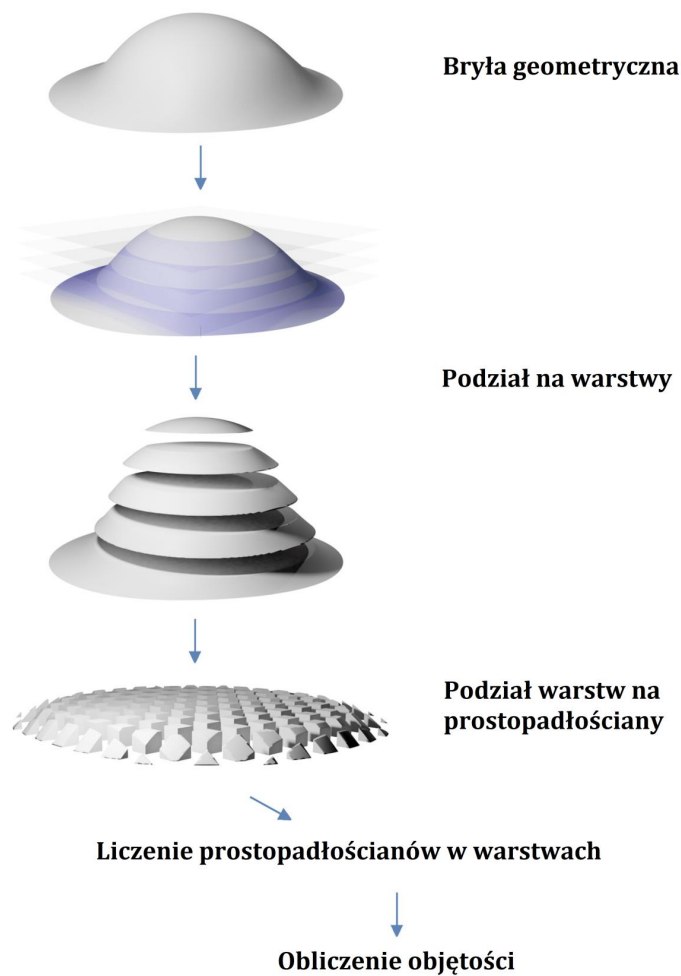
Ryc. 2. Kryteria oceny wypłukania materiału: A. Materiał szczelnie przylega do ścian ubytku; nie stwierdza się ubytków w obrębie materiału świadczących o jego wypłukaniu (ocena 1), B. Nie obserwuje się szczeliny między materiałem a ścianą; widoczne ubytki materiału świadczące o jego wypłukaniu (ocena 2), C. Obecność szczeliny pomiędzy wypełnieniem a ścianą kanału; w obrębie materiału widoczne ubytki świadczące o jego wypłukaniu (ocena 3).

Fig. 2. Grading criteria of material washout: A. Close marginal approximation of the filling material to the wall of preparation, no defect area (washout area) on the surface of material (grade 1), B. No spacing defects present at the material-wall interface, defect area (washout area) on the surface of material (grade 2), C. Presence of spacing defects at the material-wall interface, defect area (washout area) on the surface of material (grade 3).

Doświadczenie 2

Podczas tego doświadczenia zastosowano identyczną metodykę jak w doświadczeniu 1 (użyto takiej samej liczby próbek), przy czym poza sfotografowaniem wypełnień dodatkowo je skanowano. Pierwsze skanowanie wykonano bezpośrednio po wypełnieniu ubytku i jego sfotografowaniu, drugie po płukaniu i leżakowaniu bloczka w roztworze symulującym krew. Do skanowania użyto urządzenia KaVo ARCTICA AutoScan (Kavo, Niemcy). Wykonanie zdjęcia oraz skanowanie było dość czasochłonne, więc do płukania przystępowano dopiero po 3 minutach. Identycznie jak w doświadczeniu 1 dokonano oceny destrukcji wypełnień zgodnie z metodyką opisaną powyżej. Dodatkowo dokonano ilościowej oceny wypłukanego materiału względnie przyrostu objętości nakładając na siebie skany zarejestrowane przed i po płukaniu. Powstał w ten sposób model ubytku materiału lub przyrostu objętości w postaci mapy głębokości (tablicy dwuwymiarowej z podanymi głębokościami ubytku w danym punkcie) (ryc. 1 F). Model ubytku podzielono na warstwy, a warstwy na prostopadłościany o

jednakowej objętości (ryc. 3). Następnie policzono liczbę prostopadłościanów i przemnożono uzyskany wynik przez objętość sześcianu. Wyznaczono w ten sposób przybliżoną objętość bryły. Objętość podano w mm^3 oraz jako % w stosunku do wypełnienia (walca o średnicy 1,2 mm i wysokości 3 mm). Dodatkowo wyliczono średnią wartość z tablicy mapy głębokości, co stanowi średnią głębokość ubytku (wysokość w przypadku przyrostu objętości).



Ryc. 3. Schematyczny rysunek ilościowego oszacowania objętości bryły geometrycznej.

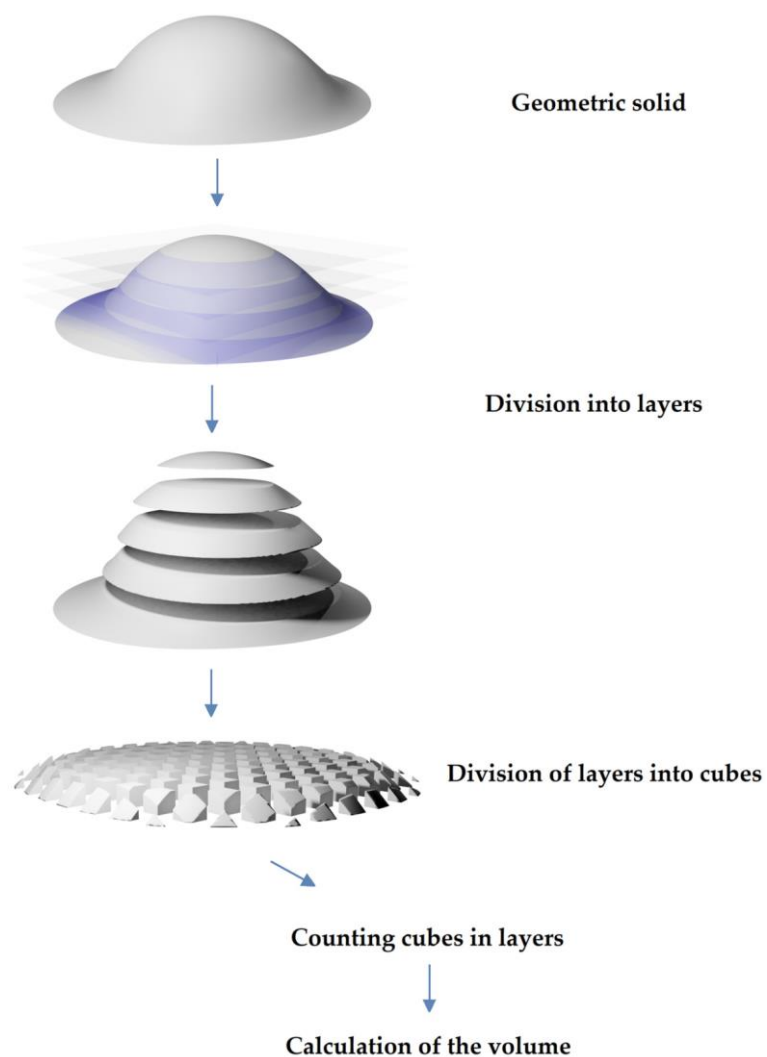


Fig. 3. Schematic drawing of quantitative estimation of the volume of the geometric solid.

Analiza statystyczna

W celu określenia zgodności ocen obliczono wartość statystyki Kappa (zgodność w %). Wyniki oceny wizualnej poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem testu W Shapiro-Wilka w celu sprawdzenia normalności rozkładu wartości w przypadku poszczególnych materiałów. Istotność różnic badanego parametru pomiędzy badanymi materiałami analizowano z użyciem testu ANOVA rang Kruskala-Wallisa ($p \leq 0,05$). W przypadku oceny ilościowej w analizie danych zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA oraz test istotności różnic Student-Newman-Keuls ($p < 0,05$).

6.4. Wyniki

Ocena wizualna

Wizualna ocena wypełnień wykazała destrukcję wypełnień w przypadku preparatów Biodentine i RetroMTA. W przypadku IRM, Well-Root PT, MTA Angelus Grey, MTA Angelus White, MTA HP oraz EndoCem Zr nie stwierdzono destrukcji wypełnień bądź obserwowano ją w przypadku pojedynczych wypełnień (tab. 2). Zgodność pomiędzy poszczególnym ocenianymi określono jako bardzo dobrą (współczynnik Kappa wahał się od 0,861 do 1).

Tab. 2. Rozkład ocen (oraz procent) przyznanych przez trzech badaczy dla każdego materiału

Tab. 2. Distribution of scores (percentages) pooled from three examiners for each material

Experiment/ Eksperyment	Material/ Materiał	Score, n (%) Ocena, n (%)		
		1	2	3
1	IRM ^a	45 (100)		
	EndoCem Zr ^a	44 (97.78)	1 (2.22)	
	MTA HP ^a	43 (95.56)	2 (4.44)	
	MTA Angelus White ^a	41 (91.11)	4 (8.88)	
	Biodentine ^b		13 (28.89)	32 (71.11)
	RetroMTA ^b		15 (41.67)	21 (58.33)
	Well-Root PT ^a	36 (100)		
	MTA Angelus Grey ^a	36 (100)		
2	IRM ^a	45 (100)		
	EndoCem ZR ^a	45 (100)		
	MTA HP ^a	44 (97.78)	1 (2.22)	
	MTA Angelus White ^a	44 (97.78)	1 (2.22)	
	Biodentine ^b		8 (17.78)	37 (82.22)
	RetroMTA ^b		18 (50)	18 (50)
	Well-Root PT ^a	36 (100)		
	MTA Angelus Grey ^a	36 (100)		

Różne litery oznaczają istotne różnice między materiałami (a vs. b: $p < 0,0001$ dla obu eksperymentów, test Kruskala-Wallis dla średniego wyniku ocenianych). Nie stwierdzono istotnych różnic między materiałami wskazanymi przez a ($p > 0,5$ dla obu eksperymentów). Nie stwierdzono istotnych różnic między doświadczeniami 1 i 2 dla żadnego z badanych materiałów ($p > 0,3$, test Manna-Whitneya).

Different letters indicate significant differences between materials (a vs. b: $p < 0.0001$ for both experiments, Kruskal-Wallis test for mean score of the evaluators). No significant differences were found between materials indicated by a ($p > 0.5$ for both experiments). There were no significant differences between experiments 1 and 2 for any of the studied materials ($p > 0.3$, Mann-Whitney test).

Ocena ilościowa

Ocena ilościowa wyptukanego materiału potwierdziła obserwacje mikroskopowe poczynione w przypadku preparatu RetroMTA i Biodentine. Średnia objętość utraconego materiału RetroMTA wyniosła $0,2237 \text{ mm}^3$, co w przeliczeniu na tzw. średnią głębokość wyniosło $0,1933 \text{ mm}$, a preparatu Biodentine odpowiednio $0,2521 \text{ mm}^3$ i $0,2230 \text{ mm}$. Wypełnienia z materiału Well-Root PT nie ulegały wyptukananiu, lecz powiększały nieznacznie swoją objętość. Średni przyrost objętości wyniósł $0,0565 \text{ mm}^3$, co w przeliczeniu na średnią wysokość wyniosło $0,0488 \text{ mm}$. MTA Angelus Grey uległ wyptukananiu w nieznacznym stopniu; średnia objętość utraconego wypełnianie wyniosła $0,0298 \text{ mm}^3$, co w przeliczeniu na tzw. średnią głębokość wyniosło $0,0258 \text{ mm}$. Nieznaczne różnice zaobserwowano też w przypadku materiałów MTA Angelus White oraz EndoCem Zr, gdzie różnice w objętości wynosiły odpowiednio $0,0305 \text{ mm}^3$ i $0,018 \text{ mm}^3$. W przeliczeniu na tzw. średnią głębokość wartości te wyniosły odpowiednio $0,027 \text{ mm}$ i $0,0159 \text{ mm}$. Materiał MTA HP wykazał się utratą objętości $0,0185 \text{ mm}^3$, co wyniosło w przeliczeniu na tzw. średnią głębokość - $0,0163 \text{ mm}$. Najmniejszą różnicę objętości zaobserwowano w przypadku materiału IRM - $0,0149 \text{ mm}^3$, co w przeliczeniu na średnią głębokość wyniosło $0,0132 \text{ mm}$ (tab. 3, ryc. 4).

Tab. 3. Wyniki ilościowej oceny wyptukanego materiału

Oceniany materiał	Średnia \pm odchylenie standardowe		
	Różnica objętości (w mm^3)	% w stosunku do całej objętości wypełnienia	Średnia głębokość/wysokość (w mm)
RetroMTA ^a	$0,2237 \pm 0,0319$	$6,5989 \pm 0,9410$	$0,1933 \pm 0,0276$
Well-Root PT*	$0,0565 \pm 0,0041$	$1,6675 \pm 0,1210$	$0,0488 \pm 0,0035$
MTA Angelus Grey ^b	$0,0298 \pm 0,0123$	$0,8782 \pm 0,3614$	$0,0258 \pm 0,0106$
IRM ^c	$0,0149 \pm 0,0021$	$0,4392 \pm 0,0605$	$0,0132 \pm 0,0018$
EndoCem Zr ^c	$0,0180 \pm 0,0009$	$0,5300 \pm 0,0271$	$0,0159 \pm 0,0008$
MTA HP ^c	$0,0185 \pm 0,0029$	$0,5442 \pm 0,0885$	$0,0163 \pm 0,0026$
MTA Angelus White ^b	$0,0305 \pm 0,0089$	$0,9004 \pm 0,2627$	$0,0270 \pm 0,0079$
Biodentine ^a	$0,2521 \pm 0,0338$	$7,4332 \pm 0,9967$	$0,2230 \pm 0,0299$

* W przypadku materiału Well-Root PT stwierdzono ekspansję materiału, a nie utratę

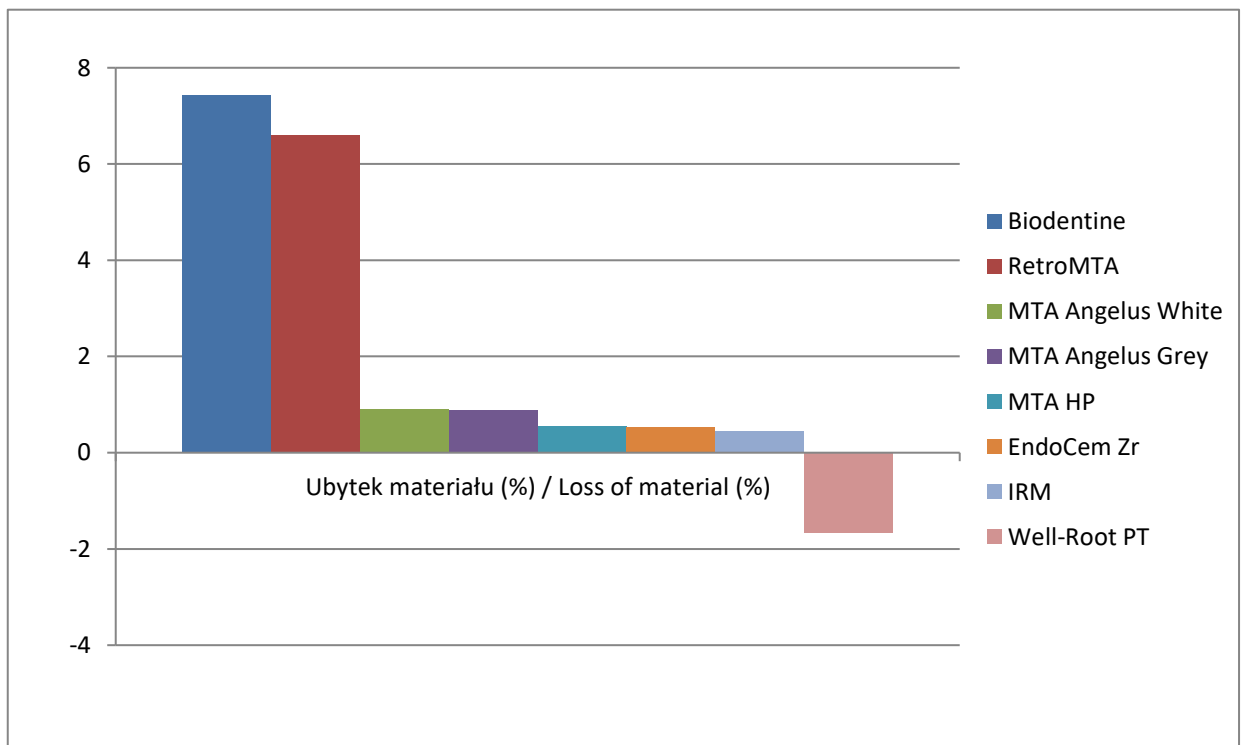
Różne litery oznaczają istotne różnice ($p < 0,05$, ANOVA, a następnie test post hoc Tukeya dla wartości przekształconych logarymicznie) między materiałami (b vs a: $p < 0,005$, c vs a i c vs b: $p = 0,00013$). Nie stwierdzono istotnych różnic między trzema materiałami oznaczonymi przez „a”.

Tab. 3. The results of the quantitative assessment of washed out material

Material	Washout		
	Mean volumetric change \pm SD (in mm ³)	Mean volumetric change \pm SD (in %)	Mean depth \pm SD (in mm)
RetroMTA ^a	0.2237 \pm 0.0319	6.5989 \pm 0.9410	0.1933 \pm 0.0276
Well-Root PT*	0.0565 \pm 0.0041	1.6675 \pm 0.1210	0.0488 \pm 0.0035
MTA Angelus Grey ^b	0.0298 \pm 0.0123	0.8782 \pm 0.3614	0.0258 \pm 0.0106
IRM ^c	0.0149 \pm 0.0021	0.4392 \pm 0.0605	0.0132 \pm 0.0018
EndoCem Zr ^c	0.0180 \pm 0.0009	0.5300 \pm 0.0271	0.0159 \pm 0.0008
MTA HP ^c	0.0185 \pm 0.0029	0.5442 \pm 0.0885	0.0163 \pm 0.0026
MTA Angelus White ^b	0.0305 \pm 0.0089	0.9004 \pm 0.2627	0.0270 \pm 0.0079
Biodentine ^a	0.2521 \pm 0.0338	7.4332 \pm 0.9967	0.2230 \pm 0.0299

*In the case of Well-Root PT material, material expansion, not loss, was observed.

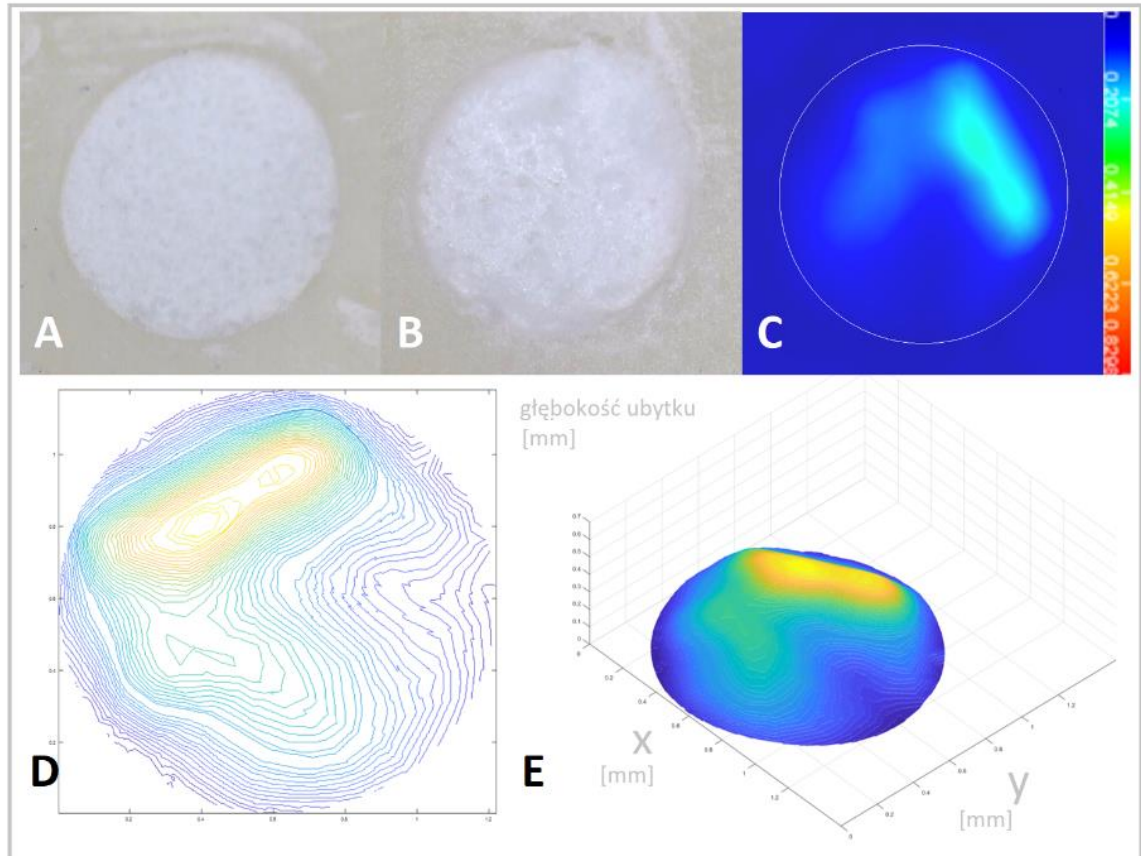
Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$, ANOVA followed by Tukey's post hoc test for log- transformed values) between materials (b vs. a: $p < 0.005$; c vs. a and c vs. b: $p = 0.00013$; no significant differences were found between three materials denoted by "a"), so the ranking of materials from best performance down is a > b > c (IRM, EndoCem Zr, MTA HP > MTA Angelus > Biodentine).



Ryc. 4. Wykres obrazujący ubytek materiału (w przypadku materiału Well-Root PT przyrost objętości) w stosunku do objętości wypełnienia (%).

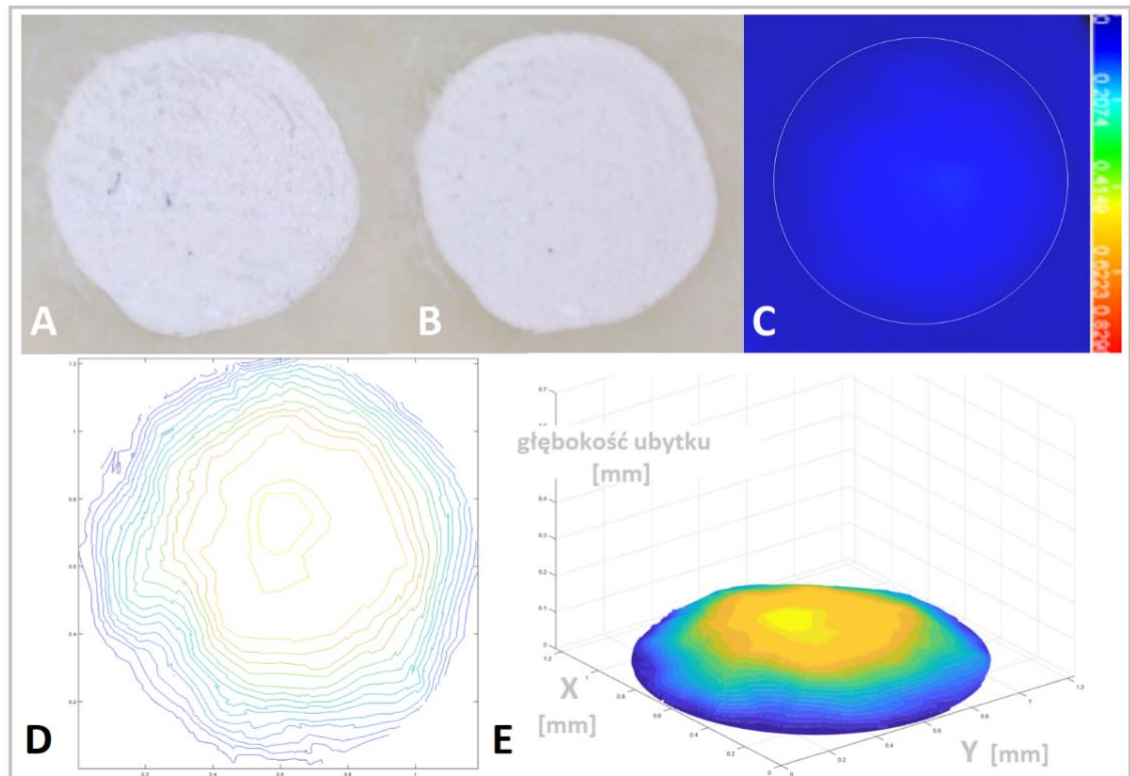
Fig. 4. Graph showing material loss (in case of Well-Root PT increase of material volume) in relation to filling volume (%).

Ryciny 5-9 przedstawiają obrazy zarejestrowane w mikroskopie, mapy głębokości (ang. depth map) ubytków (wyfłukanego materiału lub przyrostu objętości) oraz izolinie i wykresy 3D głębokości ubytków dotyczące ocenianych materiałów.



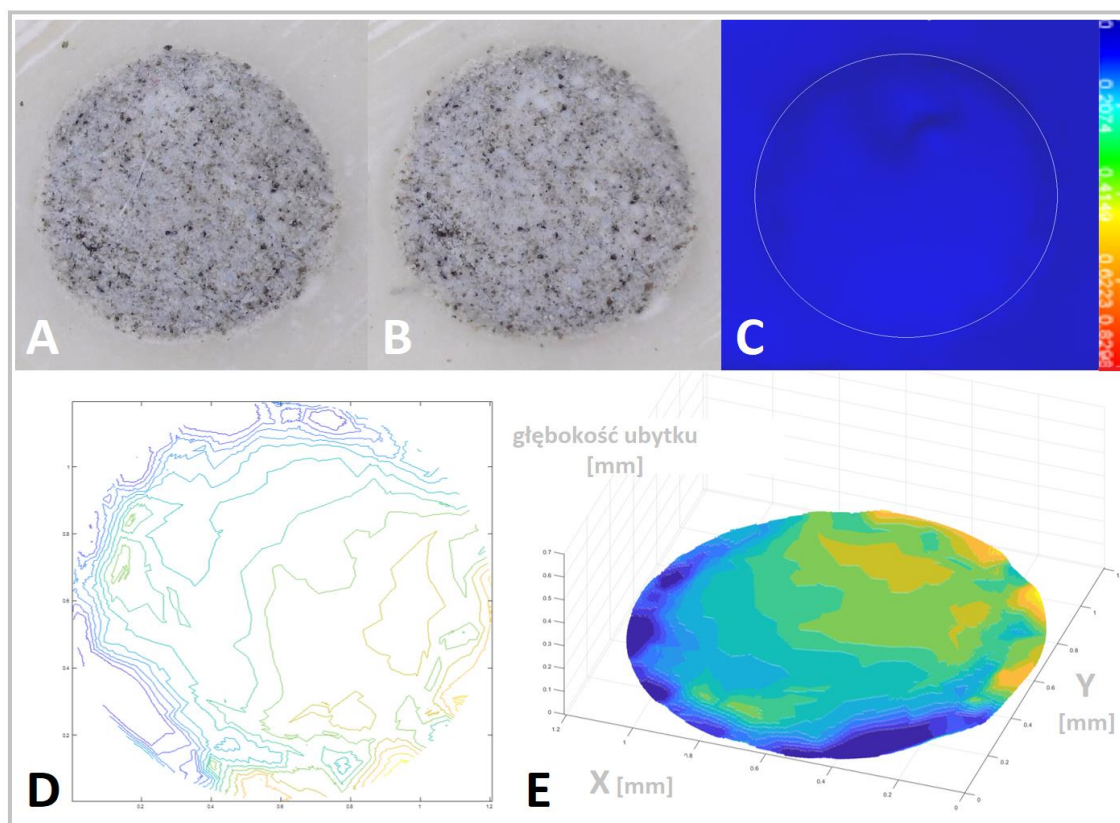
Ryc. 5. Preparat RetroMTA: A. Zdjęcie wykonane przed płukaniem i zanurzeniem w roztworze; B. Zdjęcie wykonane po płukaniu i leżakowaniu próbki w roztworze - wypełnienie szczelnie przylega do ścian; widoczny ubytek materiału świadczący o jego wyfłukaniu; C. mapa głębokości (ang. depth map) ubytku (wyfłukanego materiału); D. izolinie obrazujące głębokość ubytku; E. wykres 3D głębokości ubytku.

Fig. 5. RetroMTA: A. Picture taken before rinsing and immersion in solution; B. Picture taken after rinsing and immersion of the sample in the solution – the filling adheres tightly to the walls; visible loss of material indicating the washout. C. depth map of the cavity (washed out material); D. Isolines showing the depth of the defect; E. 3D chart of the depth of the defect.



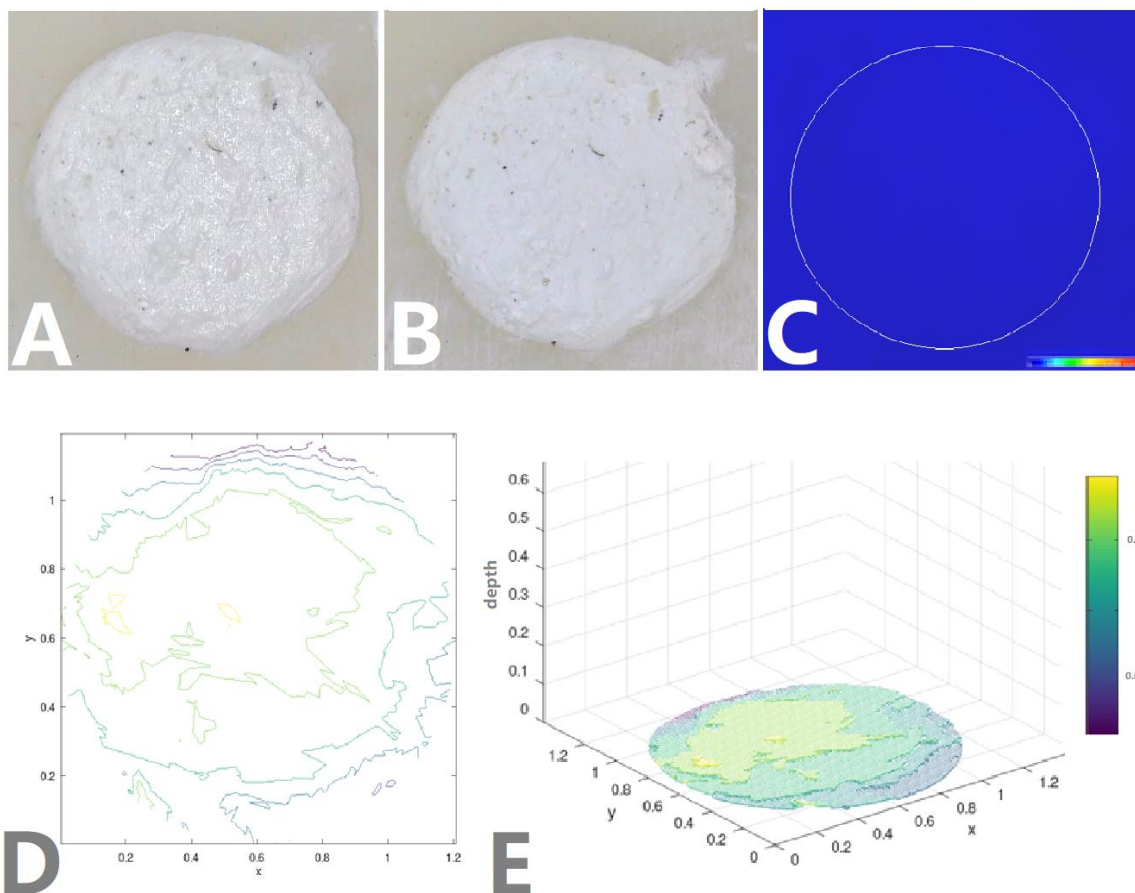
Ryc. 6. Preparat Well-Root PT: A. Zdjęcie wykonane przed płukaniem i zanurzeniem w roztworze; B. Zdjęcie wykonane po płukaniu i leżakowaniu próbki w roztworze - wypełnienie ścielnie przylega do ścian; nie stwierdza się ubytków w obrębie materiału świadczących o jego wypłukaniu; C. Mapa głębokości (ang. depth map) ubytku (w tym przypadku przyrostu objętości); D. Izolinie obrazujące głębokość ubytku (w tym przypadku wysokość); E. Wykres 3D głębokości ubytku (wysokości).

Fig. 6. Well-Root PT: A. Picture taken before rinsing and immersion in solution; B. Picture taken after rinsing and immersion of the sample in the solution – the filling adheres tightly to the walls; there is no loss of the material that could indicate its washout. C. Depth map of the cavity (in this case, volume gain); D. Isolines showing the depth of the defect (height in this case); E. 3D chart of the defect depth (height).



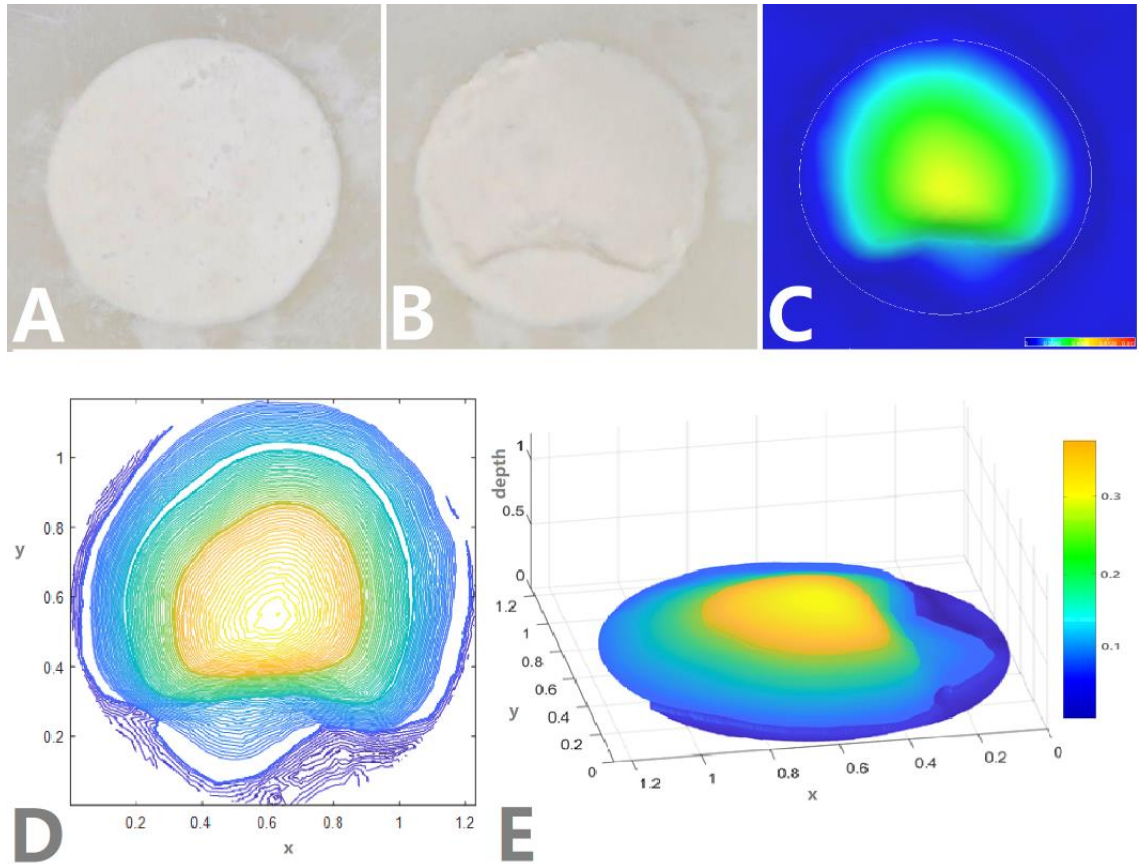
Ryc. 7. Preparat MTA Angelus Grey: A. Zdjęcie wykonane przed płukaniem i zanurzeniem w roztworze; B. Zdjęcie wykonane po płukaniu i leżakowaniu próbki w roztworze - wypełnienie szczelnie przylega do ścian; nie stwierdza się ubytków w obrębie materiału świadczących o jego wypłukaniu; C. Mapa głębokości (ang. depth map) ubytku (wypłukanego materiału); D. Izolinie obrazujące głębokość ubytku; E. Wykres 3D głębokości ubytku.

Fig. 7. MTA Angelus Grey: A. Picture taken before rinsing and immersion in solution; B. Picture taken after rinsing and immersion of the sample in the solution – the filling adheres tightly to the walls; there is no loss of the material that could indicate its washout. C. Depth map of the cavity (washed out material); D. Isolines showing the depth of the defect; E. 3D chart of the depth of the defect.



Ryc. 8. Preparat IRM: A. Zdjęcie wykonane przed płukaniem i zanurzeniem w roztworze; B. Zdjęcie wykonane po płukaniu i leżakowaniu próbki w roztworze - wypełnienie ścielnie przylega do ścian; widoczny ubytek w obrębie materiału świadczący o jego wypłukaniu; C. Mapa głębokości (ang. depth map) ubytku (wypłukanego materiału); D. Izolinie obrazujące głębokość ubytku; E. Wykres 3D głębokości ubytku.

Fig. 8. IRM: A. The image taken before rinsing and immersion in solution; B. The image taken after rinsing and immersion of the sample in the solution – filling adheres tightly to the walls, visible loss of material indicating the washout; C. Depth map of the cavity (washed out material); D. Isolines showing the depth of the defect; E. 3D chart of the depth of the defect.



Ryc. 9. Preparat Biodentine: A. Zdjęcie wykonane przed płukaniem i zanurzeniem w roztworze; B. Zdjęcie wykonane po płukaniu i leżakowaniu próbki w roztworze - wypełnienie szczelnie przylega do ścian; widoczny ubytek w obrębie materiału świadczących o jego wypłukaniu; C. Mapa głębokości (ang. depth map) ubytku (wypłukanego materiału); D. Izolinie obrazujące głębokość ubytku; E. Wykres 3D głębokości ubytku.

Fig. 9. Biodentine: A. The image taken before rinsing and immersion in solution; B. The image taken after rinsing and immersion of the sample in the solution – filling adheres tightly to the walls, visible loss of material indicating the washout; C. Depth map of the cavity (washed out material); D. Isolines showing the depth of the defect; E. 3D chart of the depth of the defect.

6.5. Wnioski

Uzyskane w badaniu własnym wyniki pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Wypłukiwanie cementów używanych do wstecznego wypełniania kanałów jest cechą indywidualną i typową dla danego materiału.
2. Wydłużenie czasu pomiędzy założeniem wypełnień a płukaniem z 1 minuty do 3 minut nie wpływa istotnie na wypłukiwanie ocenianych cementów.
3. Konwencjonalne preparaty typu MTA (MTA Angelus Grey i MTA Angelus White) są względnie odporne na „washout” ulegając wypłukaniu w nieznacznym stopniu.
4. Materiały Biodentine i RetroMTA cechuje podatność na wypłukiwanie, co jest niepokojące i wymaga dalszych badań.
5. Materiał Well-Root PT jest odporny na wypłukiwanie ulegając nawet niewielkiej ekspansji podczas wiązania.

6.6. Piśmienictwo

1. Kim S, Kratchman S. Modern endodontic surgery concepts and practice: a review. *J Endod.* 2006; 32(6): 601–623.
2. Łęski M. Mikrochirurgia endodontyczna. *Mag Stomatol.* 2008; 18(11): 26-32.
3. Piątowska D. Współczesne poglądy na zabieg resekcji wierzchołka korzenia zęba. *Mag Stomatol.* 1995; 5(5): 24–25.
4. Starzycki P. Resekcja wierzchołka korzenia zęba. *Mag Stomatol.* 2005; 15(1): 53–55.
5. Low KM, Dula K, Beurgin W i wsp. Comparison of periapical radiography and limited cone-beam tomography in posterior maxillary teeth referred for apical surgery. *J Endod.* 2008; 34(5): 557–562.
6. Savan A, Janus R. Analiza zabiegów resekcji wierzchołka korzenia zęba, przeprowadzonych w Zakładzie Chirurgii IS AM w Poznaniu, w okresie 1990–2000. *Pozn Stomatol.* 2002; 29: 211–217.
7. Waśkowska J, Zawilska A, Puchała P i wsp. Resekcje wierzchołków korzeni zębów bocznych szczęki i żuchwy w materiale Katedry i Zakładu Chirurgii Stomatologicznej ŚAM. *Mag Stomatol.* 2007; 17(5): 62–65.
8. Rud J, Rud V, Munksgaard EC. Periapical healing of mandibular molars after root-end sealing with dentine-bonded composite. *Int Endod J.* 2001; 34(2): 285–92.
9. Kozakiewicz M, Arkuszewski P, Skotnicka E. Resekcje wierzchołków korzeni zębów bocznych. *Mag Stomatol.* 2001; 11(9): 10–14.
10. Tsesis I, Rosen E, Schwartz-Arad D i wsp. Retrospective evaluation of surgical endodontic treatment: traditional versus modern technique. *J Endod.* 2006; 32(4): 412–416.
11. Song M, Chung W, Lee SJ i wsp. Long-term outcome of the cases classified as successes based on short-term follow-up in endodontic microsurgery. *J Endod.* 2012; 38(9) 1192–1196.
12. von Arx T, Jensen SS, Hanni S i wsp. Five-year longitudinal assessment of the prognosis of apical microsurgery. *J Endod.* 2012; 38(5): 570–579.
13. Setzer FC, Shah SB, Kohli MR i wsp. Outcome of endodontic surgery: a meta-analysis of the literature—part 1: Comparison of traditional root-end surgery and endodontic microsurgery. *J Endod.* 2010; 36(11): 1757–1765.
14. Song M, Kim SG, Lee SJ i wsp. Prognostic factors of clinical outcomes in endodontic microsurgery: a prospective study. *J Endod.* 2013; 39(12): 1491–1497.
15. Myciński P, Zarzecka J. Mikrochirurgia endodontyczna a chirurgia klasyczna. *Mag Stomatol.* 2010; 20(7/8): 70–73.

16. Christiansen R, Kirkevang LL, Hørsted-Bindslev P i wsp. Randomized clinical trial of root-end resection followed by root-end filling with mineral trioxide aggregate or smoothing of the orthograde gutta-percha root filling: 1-year follow-up. *Int Endod J.* 2009; 42(2): 105–114.
17. Anderson RW, Pashley DH, Pantera EA. Longitudinal evaluation of the seal of endodontic retrofillings. *J Endod.* 1990; 16(7): 307-310.
18. Tuggle ST, Anderson RW, Pantera EA i wsp. A dye penetration study of retrofiling materials. *J Endod.* 1989; 15(3): 122-124.
19. Vertucci FJ, Beatty RG. Apical leakage associated with retrofiling techniques: a dye study. *J Endod.* 1986; 12(8): 331-336.
20. Bramwell JD, Hicks ML. Sealing ability of four retrofilling techniques. *J Endod.* 1986; 12(3): 95-100.
21. Grung B, Molven O, Halse A. Periapical surgery in a Norwegian country hospital: Follow-up findings of 477 teeth. *J Endod.* 1990; 16(9): 411-447.
22. Kaplan SD, Tanzilli JP, Raphael D i wsp. A comparison of the marginal leakage of retrograde techniques. *Oral Surg.* 1982; 54(5): 583-585.
23. Harrison JW, Johnson SA. Excisional wound healing following the use of IRM as a Root-end filling material. *J Endod.* 1997; 23(1): 20-26.
24. Higa RK, Torabinejad M, McKendry DJ i wsp. The effect of storage time on the degree of dye leakage of root-end filling materials. *Int Endod J.* 1994; 27(5): 252-256.
25. Inoue S, Yoshimura M, Tinkle JS i wsp. A 24-week study of the microleakage of four retrofilling materials using a fluid filtration method. *J Endod.* 1991; 17(8): 369-375.
26. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry DJ i wsp. Histologic assessment of Mineral Trioxide Aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endod.* 1997; 23(4): 225-228.
27. Trope M, Lost C, Schmitz HJ i wsp. Healing of apical periodontitis in dogs after apicoectomy and retrofilling with various filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1996; 81(2): 221-228.
28. Banaszek K, Klimek L, Pawlicka H. Wsteczne wypełnienie z amalgamatu – ocena metodą liniowej penetracji barwnika. *Nowa Stomatol.* 2000; 5(1/2): 9–12.
29. Sapota A, Skrzypińska-Gawrysiak M. Pary rtęci i jej związki nieorganiczne. *PiMOŚP.* 2010; 3(65): 85–149.
30. Kohli MR, Berenji H, Setzer FC i wsp. Outcome of endodontic surgery: a meta-analysis of the literature—part 3: comparison of endodontic microsurgical techniques with 2 different root-end filling materials. *J Endod.* 2018; 44(6): 923-931.

31. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review-Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod.* 2010; 36(1): 16-27.
32. Zarzecka J, Gończowski K. Zastosowanie materiału MTA (Mineral Trioxide Aggregate-Dentisply, Tulsa Dental, USA) w zabiegach z zakresu mikrochirurgii endodontycznej – przegląd piśmiennictwa. *Poradnik Stomatol.* 2003; 3(1): 6-8 .
33. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry DJ i wsp. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endod.* 1997; 23(4): 225-228.
34. Torabinejad M, Pitt Ford TR, Abedi HR i wsp. Tissue reaction to implanted root-end filling materials in tibia and mandible of guinea pigs. *J Endod.* 1998; 24(7): 468-471.
35. Torabinejad M, Hong C, McDonald F i wsp. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 1995; 21(7): 349–353.
36. Torabinejad M, Walton RE. *Endodontics: Principles and Practice.* Saunders. 2009.
37. Duarte MAH, Demarchi ACCO, Yamashita JC i wsp. Arsenic release provided by MTA and Portland cement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005; 99(5): 648–650.
38. Abusrewil SM, McLean W, Scott JA. The use of bioceramics as root-end filling materials in periradicular surgery: A literature review. *Saudi Dent J.* 2018; 30(4): 273-282.
39. Jitaru S, Hodisan I, Timis L i wsp. The use of bioceramics in endodontics - literature review. *Clujul Med.* 2016; 89(4): 470-473.
40. Świątłowska-Bajzert M. Specjalista radzi: materiały bioceramiczne w postaci jednej pasty. *Mag Stomatol.* 2020; 30(11): 76-78.
41. Kang CM, Seong S, Song JS i wsp. The role of hydraulic silicate cements on long-term properties and biocompatibility of partial pulpotomy in permanent teeth. *Materials.* 2021; 14(2), 305.
42. Ashi T, Mancino D, Hardan L i wsp. Physicochemical and antibacterial properties of bioactive retrograde filling materials. *Bioengineering.* 2022; 9(11): 624.
43. Lipski M, Bilbin J, Świątłowska-Bajzert M. Materiały bioceramiczne używane do zamknięcia szerokiego otworu wierzchołkowego. *Mag Stomatol.* 2022; 32(5): 84-86.
44. Kim D, Lee H, Chung M i wsp. Effects of fast- and slow-setting calcium silicate-based root-end filling materials on the outcome of endodontic microsurgery: a retrospective study up to 6 years. *Clin Oral Investig.* 2020; 24(1): 247-255.
45. Bio-C Repair. Ulotka producenta.
46. Choi Y, Park S-J, Lee S-H i wsp. Biological effects and washout resistance of a newly developed fast-setting pozzolan cement. *J Endod.* 2013; 39(4): 467–472

47. Formosa L, Mallia B, Camilleri J. A quantitative method for determining the anti washout characteristics of cement-based dental materials including mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2013; 46(2): 179–186.
48. Grech L, B. Mallia, J. Camilleri. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dent mater.* 2013; 2(9): 20–28
49. Chong BS, Pitt Ford TR, Hudson MB. A prospective clinical study of mineral trioxide aggregate and IRM when used as root-end filling materials in endodontic surgery. *Int Endod J.* 2003; 36(8): 520-526.
50. Lindeboom JA, Frenken JW, Kroon FH i wsp. A comparative prospective randomized clinical study of MTA and IRM as root-end filling materials in single-rooted teeth in endodontic surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005; 100(4): 495-500.
51. Christiansen R, Kirkevang LL, Horsted-Bindslev P i wsp. Randomized clinical trial of root-end resection followed by root-end filling with mineral trioxide aggregate or smoothing of the orthograde gutta-percha root filling 1-year follow-up. *Int Endod J.* 2009; 42(2): 105-114.
52. Kruse C, Spin-Neto R, Christiansen R i wsp. Periapical bone healing after apicectomy with and without retrograde root filling with mineral trioxide aggregate: A 6-year follow-up of a randomized controlled trial. *J Endod.* 2016; 42(4): 533-537.
53. von Arx T, Jensen SS, Hanni S. Clinical and radiographic assessment of various predictors for healing outcome 1 year after periapical surgery. *J Endod* 2007; 33(2): 123-128.
54. Campi LB, Torres FFE, Rodrigues EM i wsp. Physicochemical and biological properties of new tricalcium silicate-based repair material doped with fluoride ions and zirconium oxide as radiopacifier. *Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2022; 110(4): 862-870.
55. Zordan-Bronzel CL, Tanomaru-Filho M, Torres FFE i wsp. Physicochemical properties, cytocompatibility and antibiofilm activity of a new calcium silicate sealer. *Braz Dent J.* 2021; 32(4): 8-18.
56. Torres FFE, Zordan-Bronzel CL, Guerreiro-Tanomaru JM i wsp. Effect of immersion in distilled water or phosphate-buffered saline on the solubility, volumetric change and presence of voids within new calcium silicate-based root canal sealers. *Int Endod J.* 2020; 53(3): 385-391.
57. Zordan-Bronzel CL, Esteves Torres FF, Tanomaru-Filho M i wsp. Evaluation of physicochemical properties of a new calcium silicate-based sealer, Bio-C Sealer. *J Endod.* 2019; 45(10): 1248-1252.
58. Spili P, Parashos P, Messer HH. The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. *J Endod.* 2005; 31(12): 845-850.
59. Souter NJ, Messer HH. Complications associated with fractured file removal using an

ultrasonic technique. J Endod. 2005; 31(6): 450-542.

60. Cheung GSP, Peng B, Bian Z i wsp. Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: fractographic examination. Int Endod J. 2005; 38(11): 802-809.

7. Streszczenia prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

Publikacja 1

Porównanie wyflukiwania nowych materiałów do wstecznego wypełnienia kanałów korzeniowych

Falkowska, J.; Dura, W.; Marek, E.; Krukowska-Zaorska, A.; Lipski, M. *Stomatol. Współcz.* **2023**, vol. 30, nr 1, s. 8-16.

Streszczenie

Wprowadzenie: Celem badania była ocena odporności na wyflukiwanie preparatów RetroMTA i Well-Root PT w porównaniu z cementem krzemowo-wapniowy MTA Angelus Grey.

Materiał i metody: Do oceny odporności badanych materiałów na wyflukiwanie użyto akrylowych bloczków, w których wypreparowano ubytki w wymiarach 1,2 mm x 3 mm (średnica i głębokość). Wypreparowane ubytki wypełniano ocenianymi materiałami i po sfotografowaniu (doświadczenie 1) lub sfotografowaniu i zeskanowaniu (doświadczenie 2) poddano płukaniu, a następnie umieszczono w rozworze na 15 min. Po wyciągnięciu próbek z płynu i osuszeniu ponownie je fotografowano (fotografowano i skanowano). Na podstawie zdjęć oceniono stopień destrukcji wypełnień, a na podstawie nałożonych skanów objętość wyflukanych materiałów.

Wyniki: Ocena wizualna destrukcji wypełnień wykazała ich uszkodzenie wyłącznie w przypadku materiału RetroMTA. Wypełnienia wykonane z preparatów Well-Root PT jak i MTA Angelus Grey okazały się odporne na wyflukiwanie. Ocena ilościowa potwierdziła obserwacje mikroskopowe poczynione w przypadku preparatu RetroMTA. Średnia objętość utraconego materiału wyniosła 0,2237 mm³. Wypełnienia z materiału Well-Root PT nie ulegały wyflukaniu, lecz powiększały nieznacznie swoją objętość. Średni przyrost objętości wyniósł 0,0565 mm³. MTA Angelus Grey ulegał wyflukaniu w nieznacznym stopniu; średnia objętość utraconego wypełniania wyniosła 0,0298 mm³.

Wnioski: Materiał Well-Root PT jest odporny na wyflukiwanie ulegając nawet niewielkiej ekspansji podczas wiązania. Materiał RetroMTA jest podatny na wyflukiwanie, co jest

niepokojące i wymaga dalszych badań. Materiał MTA Angelus jest względnie odporny na „washout” wypłukując się w nieznacznym stopniu.

Abstract

Introduction: The aim of the study was to evaluate the washout resistance of RetroMTA and Well-Root PT in comparison with MTA Angelus Gray calcium silicate cement.

Material and methods: To assess the washout resistance of the tested materials, acrylic blocks were used, in which cavities of 1.2 mm x 3 mm (diameter and depth) were prepared. The prepared cavities were filled with the evaluated materials and, after photographing (experiment 1) or photographing and digital scanning (experiment 2), they were rinsed and then placed in the solution for 15 min. After removing the samples from the liquid and drying them, they were photographed again (photographed and scanned). The degree of destruction of the fillings was assessed based on the photos and the volume of washed materials was assessed based on digital scanning and imaging superimposition.

Results: Visual assessment of the destruction of the restorations showed damage only in the case of the RetroMTA. Well-Root PT and MTA Angelus Grey restorations proved to be washout resistant. The quantification confirmed RetroMTA observations made under the microscope. The average volume of material lost was 0.2237 mm³. Well-Root PT restorations did not wash out, but increased their volume slightly. The average volume increase was 0.0565 mm³. MTA Angelus Grey was slightly washed out; the average volume of lost filling was 0.0298 mm³.

Conclusion: Well-Root PT is resistant to washout, even slightly expanding during setting. RetroMTA is prone to washout, it is concerning and requires further research. MTA Angelus is relatively washout resistant, washing out to a slight extent.

Publikacja 2

The washout resistance of bioactive root-end filling materials

Falkowska, J.; Chady, T.; Dura, W.; Drożdżik, A.; Tomasik, M.; Marek, E.; Safranow, K.; Lipski, M.. *Materials*. 2023, vol. 16, nr 17

Streszczenie

Wprowadzenie: Szybkowiązące cementy na bazie krzemianu wapnia powstały na potrzeby mikrochirurgii endodontycznej w celu ułatwienia wstecznego wypełniania kanałów. Celem tego badania in vitro było zbadanie odporności na washout (wmywanie) stosunkowo szybko wiążących materiałów (Biodentine, EndoCem Zr i MTA HP) w porównaniu z MTA Angelus White i IRM.

Materiał i metody: Odporność na wmywanie oceniano za pomocą modeli symulujących wstecznie opracowane kanały korzeniowe (wypreparowane ubytki) o wymiarach 1,2 mm x 3 mm (średnica i głębokość). Ogółem wykonano 150 wypełnień (po 30 z każdego materiału) Siedemdziesiąt pięć wypełnień (po 15 z każdego materiału) sfotografowano pod mikroskopem, a następnie przepłukano i zanurzono w soli fizjologicznej na 15 minut. Po tym czasie modele wyjęto, wysuszono i ponownie sfotografowano pod mikroskopem. Pozostałe 75 próbek (po 15 dla każdego materiału) sfotografowano pod mikroskopem i zeskanowano. Następnie próbki przepłukano i zanurzono w ciepłej soli fizjologicznej na 15 minut, po czym modele wyjęto, sfotografowano pod mikroskopem i ponownie zeskanowano. Na podstawie fotografii oceniano przyleganie materiałów do ścian wstecznie wypreparowanych ubytków i destrukcję powierzchni wypełnień. Odporność na „washout” materiału oceniano ilościowo poprzez nałożenie skanów wykonanych przed i po płukaniu.

Wyniki: Płukanie i zanurzanie próbek w płynie symulującym krew bezpośrednio po wypełnieniu nie spowodowało rozpadu wypełnień wykonanych z IRM, MTA Angelus White, EndoCem Zr i MTA HP. Po przeprowadzeniu procedury płukania po 3 minutach od wypełnienia również nie zaobserwowano destrukcji wypełnień wykonanych z tych cementów. Natomiast wypełnienia wykonane z Biodentine uległy znacznemu uszkodzeniu zarówno podczas płukania bezpośrednio po aplikacji materiału do ubytku, jak i po 3 minutach od wypełnienia. Ilościowa ocena wypłukanego materiału wykazała niewielką utratę IRM, EndoCem Zr i MTA HP (odpowiednio IRM 0,0149 mm³, EndoCem Zr 0,018 mm³ oraz

MTA HP 0,0185 mm³). Nieco większy ubytek materiału zaobserwowano w przypadku MTA Angelus White (0,0305 mm³). Natomiast płukanie i zanurzanie w roztworze imitującym krew wypełnień wykonanych z Biodentine do znacznego zniszczenia wypełnień (różnica objętości 0,2521 mm³).

Wnioski: W warunkach przeprowadzonych badań oceniane materiały, poza materiałem Biodentine, wykazały dobrą lub stosunkowo dobrą odporność na wmywanie. Materiał Biodentine ulegał znacznemu wypłukaniu zarówno po 1 jak i po 3 minutach od wypełnienia, co budzi niepokój i wymaga dalszych badań.

Abstract

Introduction: Fast-setting calcium silicate-based cements were developed for the convenience of the retrograde filling during endodontic microsurgery. This in vitro study aimed to investigate the effect of irrigation on the washout of relatively fast-setting materials (Biodentine, EndoCem Zr, and MTA HP) in comparison with MTA Angelus White and IRM in an apicectomy model.

Material and methods: Washout resistance was assessed using artificial root-end preparations 1.2 mm x 3 mm (diameter and depth) in plastic blocks. In total, 150 samples (30 for each material) of freshly prepared materials were placed in artificial root ends. Seventy-five fillings (15 of each material) were photographed using a microscope and then irrigated and immersed in saline for 15 minutes. After this time, the models were removed, dried, and photographed again under a microscope. The remaining 75 samples (15 of each material) were photographed under a microscope and scanned. Then, the samples were flushed and immersed in warm saline for 15 minutes, after which the models were removed, photographed under the microscope, and scanned again. The adaption of the retrograde materials to the walls of root-end preparations and the disintegration of root-end fillings were evaluated on the basis of the photographs. The washed material was quantified by superimposing the scans recorded before and after rinsing.

Results: Rinsing and immersing the samples in the simulated blood liquid immediately after root-end filling did not disintegrate the fillings made of IRM, MTA Angelus White, EndoCem MTA Zr, and MTA HP. No disintegration of fillings made of these materials occurred when the rinsing procedure was performed 3 minutes after applying the materials to the root-end

cavities. On the other hand, root-end fillings made of Biodentine suffered significant damage both when rinsing was performed immediately after the application of materials into the root-end cavity and 3 minutes after filling. There was no significant effect of the time from application to rinsing on the degree of damage. Quantitative assessment of washed material resulted in a slight loss of IRM, EndoCem MTA Zr and MTA HP (IRM 0,0149 mm³, EndoCem Zr 0,018 mm³ and MTA HP 0,0185 mm³). Slightly greater washout was observed with restorations made of MTA Angelus White(0,0305 mm³). However, rinsing and immersion of Biodentine restorations in a solution simulating blood resulted in their significant destruction (mean volumetric change 0,2521 mm³).

Conclusion: Under the conditions of the current study, the evaluated materials, excluding Biodentine, showed good or relatively good washout resistance. The Biodentine material was washed both 1 and 3 min after filling, which is a cause for concern and requires further research.

8. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

8. A. Falkowska, J.; Dura, W.; Marek, E.; Krukowska-Zaorska, A.; Lipski, M. Porównanie wypłukiwania nowych materiałów do wstecznego wypełnienia kanałów korzeniowych. *Stomatol. Współcz.*, **2023**, vol. 30, nr 1, s. 8-16.

8. B. Falkowska, J.; Chady, T.; Dura, W.; Drożdżik, A.; Tomasik, M.; Marek, E.; Safranow, K.; Lipski, M. The washout resistance of bioactive root-end filling materials. *Materials*, **2023**, vol. 16, nr 17, 5757.

8. B. 1. Streszczenie celu, materiału i metod, wyników i wniosków

1. Cel

Celem tego badania in vitro było zbadanie odporności na washout (wymywanie) stosunkowo szybko wiążących materiałów do wstecznego wypełniania kanałów (Biodentine, EndoCem Zr i MTA HP) w porównaniu z MTA Angelus White i IRM, które są dostępne na rynku od wielu lat.

2. Materiały i metody

W badaniu wykorzystano następujące materiały:

1. Intermediate Restorative Material (IRM; Dentsply Sirona, Charlotte, USA).
2. MTA Angelus White (Angelus, Londrina, Brazylia)
3. Biodentine (Septodont, Saint Maur-des-Fossés, Cedex, Francja),
4. EndoCem Zr (Maruchi, Wonju, Korea),
5. MTA HP (Angelus, Londrina, Brazylia).

Proszek IRM, MTA Angelus White, EndoCem Zr i MTA HP mieszano ręcznie z płynem zgodnie z zaleceniami producenta. Biodentine mieszano we wstrząsarce (Silver MIX, GC Dental, Japonia) przez 30 sekund. Skład użytych materiałów przedstawiono w tabeli 1.

2. 1. Ocena odporności na wyłukiwanie

Odporność na wymywanie oceniono stosując plastikowe bloczki, w których wypreparowano ubytki o wymiarach 1,2 mm x 3 mm (średnica i głębokość odpowiadająca średnicy i wysokości cylindra). W tym celu wykorzystano zęby sieczne fantomowe umieszczone w modelu żuchwy (Frasaco, Tettang, Niemcy), które oszlifowane tak, by przypominały wyglądem wierzchołki korzeni (ryc. 1 A), a za pomocą silikonowej masy wyciskowej odtworzono otaczające tkanki (ryc. 1 B). Łącznie wykonano 150 próbek (po 30 dla każdego materiału) ze świeżo rozrobionych materiałów, które umieszczono w wypreparowanych ubytkach (ryc. 1 C). Czas aplikacji każdego materiału wynosił 30 sekund. Materiały umieszczono w plastikowych bloczkach za pomocą MTA+ Applicator (Cerkamed, Polska) oraz kondensowano pluggerem retro nr 1 (Medesy SRL, Włochy).

Tab. 1. Skład badanych materiałów

Material	Producent	Skład	Sposób mieszania
IRM	Dentsply Sirona, Charlotte, USA	proszek: tlenek cynku, polimetakrylanu metylu (PMMA), pigment płyn: eugenol, kwas octowy	1 miarka proszku + 1 kropla płynu (mieszane ręcznie na płytce szklanej używając metalowej łopatki przez 30 s)
MTA Angelus White	Angelus, Londrina, PR, Brazylia	proszek: krzemian trójwapniowy, krzemian dwuwapniowy, glinian trójwapniowy, żelazoglinian trójwapniowy, tlenek wapnia, tlenek bizmutu płyn: woda destylowana	2 płaskie miarki proszku + 3 krople płynu (mieszane ręcznie na płytce szklanej używając metalowej łopatki przez 30 s)
Biodentine	Septodont, Saint-Maur- des-Fossés Cedex, Francja	proszek: krzemian trójwapniowy, krzemian dwuwapniowy, węglan wapnia, tlenek żelaza, tlenek cyrkonu płyn: chlorek wapnia jako przyspieszacz wiązania, polimer rozpuszczalny w wodzie – środek redukujący wodę, woda	Kapsułka z 0,7 g proszku + 5 kropli płynu (mieszać we wstrząsarce; 30 s; 4000–4200 rpm)
EndoCem Zr	Maruchi, Wonju, Korea	proszek: tlenek wapnia, dwutlenek krzemu, tlenek glinu, tlenek magnezu, tlenek żelaza, tlenek cyrkonu płyn: woda destylowana	0,3 g proszku + 0,12 ml płynu (mieszane ręcznie na płytce szklanej używając metalowej łopatki przez 30 s)
MTA HP	Angelus, Londrina, PR, Brazylia	proszek: krzemian trójwapniowy, krzemian dwuwapniowy, glinian, tlenek wapnia i wolframian wapnia płyn: woda i plastyfikator	kapsułka z 0,085 g proszku + 2 krople płynu (mieszane ręcznie na płytkce szklanej używając metalowej łopatki przez 30 s)
RetroMTA	BioMTA, Seoul, Korea	węglan wapnia, dwutlenek krzemu, tlenek glinu, kompleks wapniowo-cyrkonowy.	0,3g proszku RetroMTA + 3 krople roztworu. Delikatnie zwilżyć używając plastikowej szpatułki przez 20 s. Odczekać do momentu zniknięcia błyszczącej powierzchni.
Well-Root PT	Vericom, Gangwon-Do, Korea	Glinokrzemian wapnia, tlenek cyrkonu, zagęszczacz.	Gotowa do użytku pasta.
MTA Angelus Grey	Angelus, Londrina, PR, Brazylia	proszek: krzemian trójwapniowy, krzemian dwuwapniowy, glinian trójwapniowy, żelazoglinian trójwapniowy, tlenek wapnia, tlenek bizmutu, tlenek glinu, tlenek magnezu, tlenek żelaza płyn : woda destylowana	Proszek zmieszano z wodą w proporcji proszek/woda 3:1 (mieszane ręcznie na płytce szklanej używając metalowej łopatki przez 30 s)

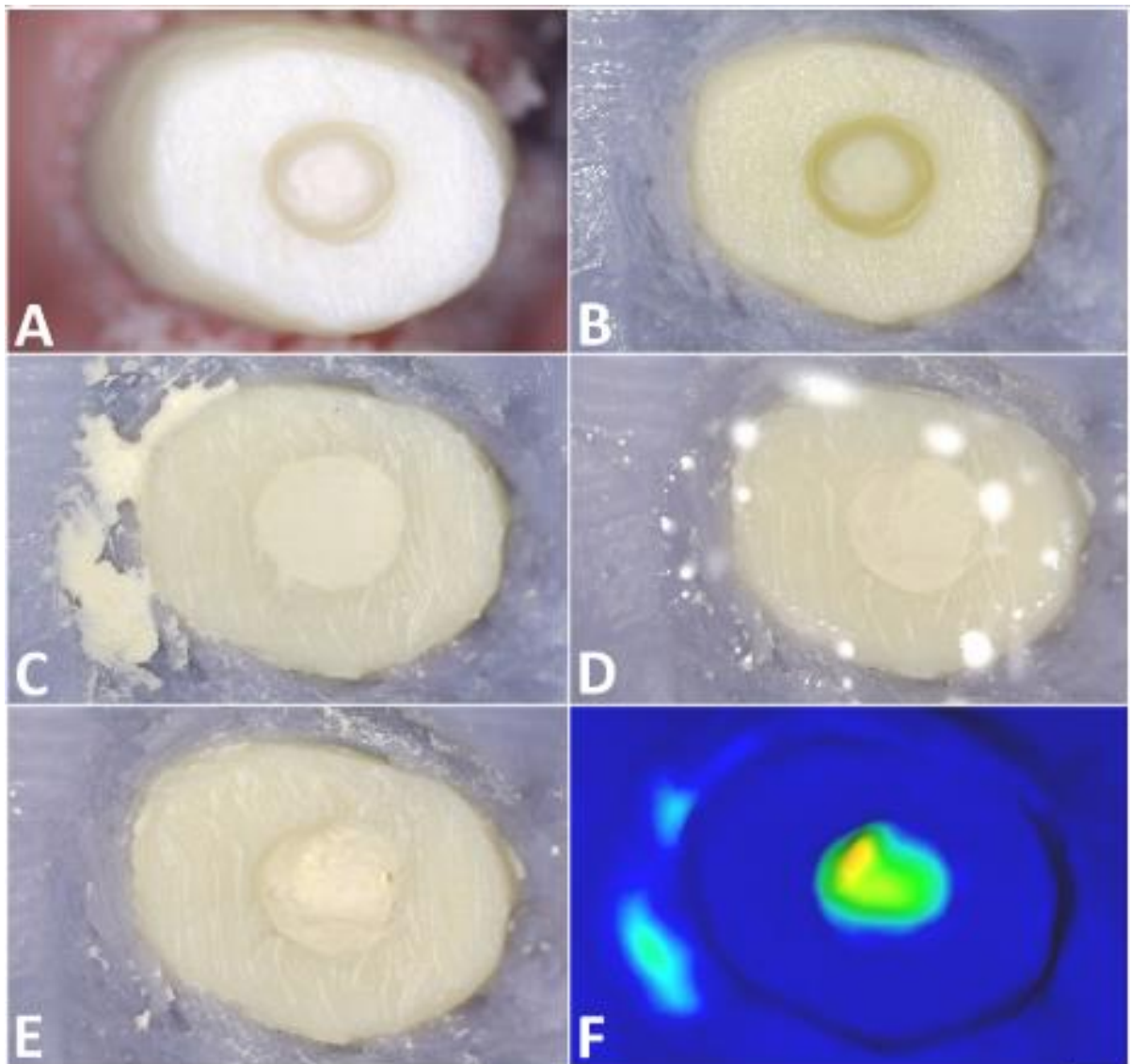
2. 1. 1. Eksperyment 1

Siedemdziesiąt pięć próbek (po 15 z każdego materiału) sfotografowano z zastosowaniem mikroskopu (Levenhuk DTX 90, LEVENHUK, Tampa, USA) przy 60-krotnym powiększeniu. Rozdzielczość mikroskopu została wyznaczona eksperymentalnie za pomocą szkiełka mikroskopowego ze skalą mikrometryczną, która wynosiła 10 μm . Ponadto część wypełnień obejrzano z użyciem mikroskopów o rozdzielczości lepszej niż 10 μm (Digital Microscope VHX-700, Keyence, Osaka, Japonia i Digital Micro Hardness Tester, model: MHVD-1000IS, INNOVATEST, Wiry, Polska); z zastosowaniem tych mikroskopów oceniano powierzchnię styku materiału ze ścianą ubytku. Stwierdzono, że szerokość najwęższych szczelin zarejestrowanych za pomocą mikroskopów stosowanych w badaniu wahała się od 7-8 do 20-25 μm . Jeżeli jakość wypełnienia budziła wątpliwości, nie było ono oceniane tylko wymieniane na nowe. Fotografię wypełnienia (próbki przygotowywano pojedynczo i fotografowano pojedynczo) wykonywano bezpośrednio po zakończeniu aplikacji materiału (czas wykonania fotografii wynosił maksymalnie 60 s) po czym natychmiast rozpoczynano płukanie. W tym celu za pomocą jednorazowej strzykawki i igły o średnicy 0,8 mm i długości 12 mm, przez 15 sekund aplikowano 5 ml soli fizjologicznej (o temperaturze otoczenia). Płukanie wykonano tak, jak standardowo wykonuje się w warunkach klinicznych, tj. strumień soli fizjologicznej kierowano na obrzeża bloczka, by płyn obmywał resekowaną powierzchnię, a nie działał bezpośrednio na cement (ryc. 1 D). Po symulacji płukania jamy resekcyjnej modele zanurzano w ciepłej soli fizjologicznej (34°C) na 15 minut (symulacja wypełniania jamy krwią). Po tym czasie modele zostały wyjęte i delikatnie osuszone bez dotykania wypełnień, a następnie ponownie sfotografowane pod mikroskopem (ryc. 1 E).

2. 1. 2. Eksperyment 2

Pozostałe 75 próbek (po 15 z każdego materiału) wykorzystano w poniżej opisanym doświadczeniu. Oprócz fotografowania próbek pod mikroskopem, dodatkowo skanowano powierzchnię wypełnień za pomocą stomatologicznego skanera 3D KaVo ARCTICA AutoScan (KaVo, Biberach, Niemcy). Skanowanie i fotografowanie trwało 3 minuty, co można przyjąć za czas ochrony przed wilgocią w warunkach klinicznych. Następnie próbki przepłukiwano w taki sam sposób jak w eksperymencie 1 i zanurzano w ciepłej soli fizjologicznej na 15 minut, po czym modele wyjmowano i fotografowano pod mikroskopem oraz ponownie skanowano

za pomocą skanera 3D (KaVo ARCTICA AutoScan). Następnie skany nałożono na siebie w celu uzyskania barwnego modelu przedstawiającego mapę głębi (ryc. 1 F).



Ryc. 1. A. Korona zęba siecznego żuchwy (plastikowy bloczek) po opracowaniu na wzór korzenia z wypreparowanym ubytkiem o wymiarach 1,2 mm x 3 mm (średnica i głębokość). B. Dno jamy resekcyjnej zasymulowano za pomocą silikonowej masy wyciskowej. C. Ubytek wypełniony materiałem. D. Płukanie zresekowanej powierzchni korzenia i sztucznej jamy resekcyjnej. E. Częściowe wypłukanie materiału. F. Model w postaci mapy głębi uzyskany w wyniku nałożenia skanów.

2. 2. Analiza jakościowa dezintegracji wypełnień i adaptacji brzeżnej materiałów do ścian wypreparowanych ubytków

Na podstawie zdjęć oceniono adaptację wypełnień do ścian wypreparowanych ubytków oraz dezintegrację ocenianych materiałów. W sumie 150 fotografii próbek w grupach 1–10 (po 15 zdjęć w każdej) zostało ocenionych przez trzech oceniających, którzy przed badaniem zostali poddani kalibracji. Każdy oceniający przyznał niezależną ocenę nie posiadając wiedzy odnośnie ocen przyznanych przez innych oceniających.

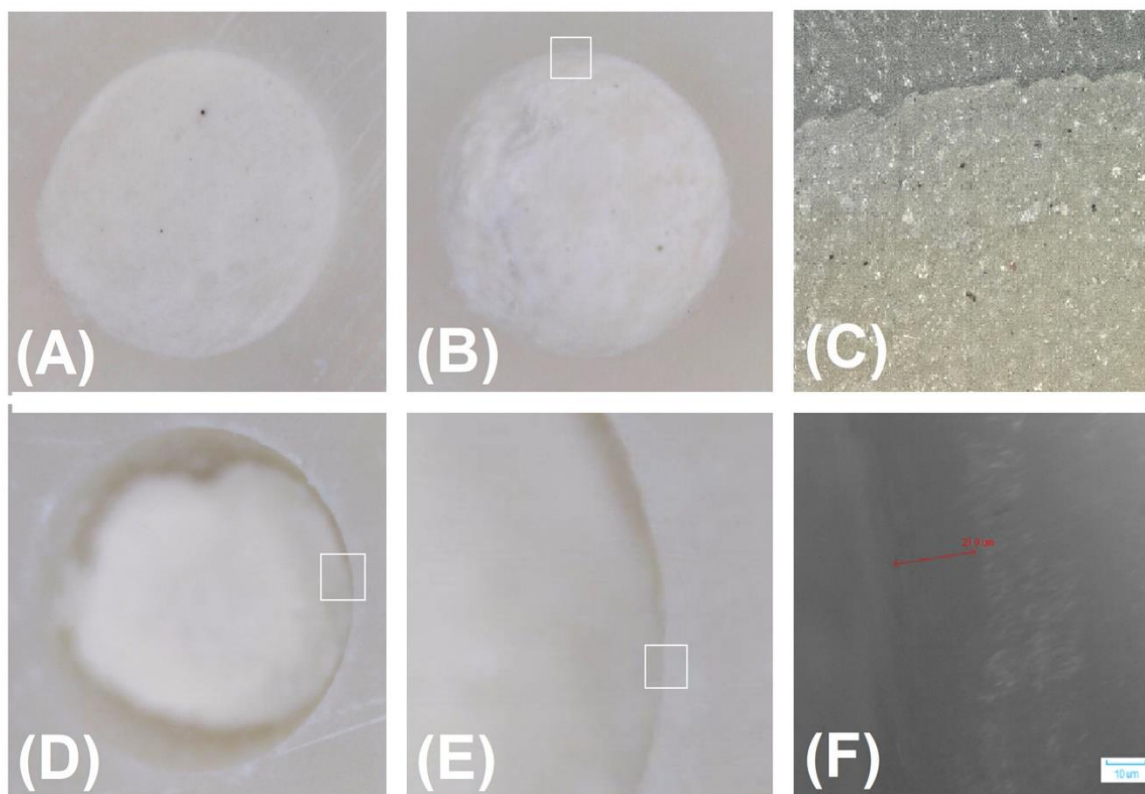
Analizy jakościowej adaptacji brzeżnej cementów do ścian ubytków i utraty (wypłukania) powierzchni wypełnień dokonano stosując następujące kryteria oceny:

Ocena 1: Szczelne przyleganie brzeżne materiału wypełniającego do ściany preparacji, brak ubytków na styku materiał-ściana, brak utraty (wypłukania) materiału

Ocena 2: Brak defektów na styku materiału ze ścianą, widoczna utrata (wypłukanie) materiału

Ocena 3: Obecność defektów na styku materiał-ściana oraz widoczna utrata (wypłukanie) materiału

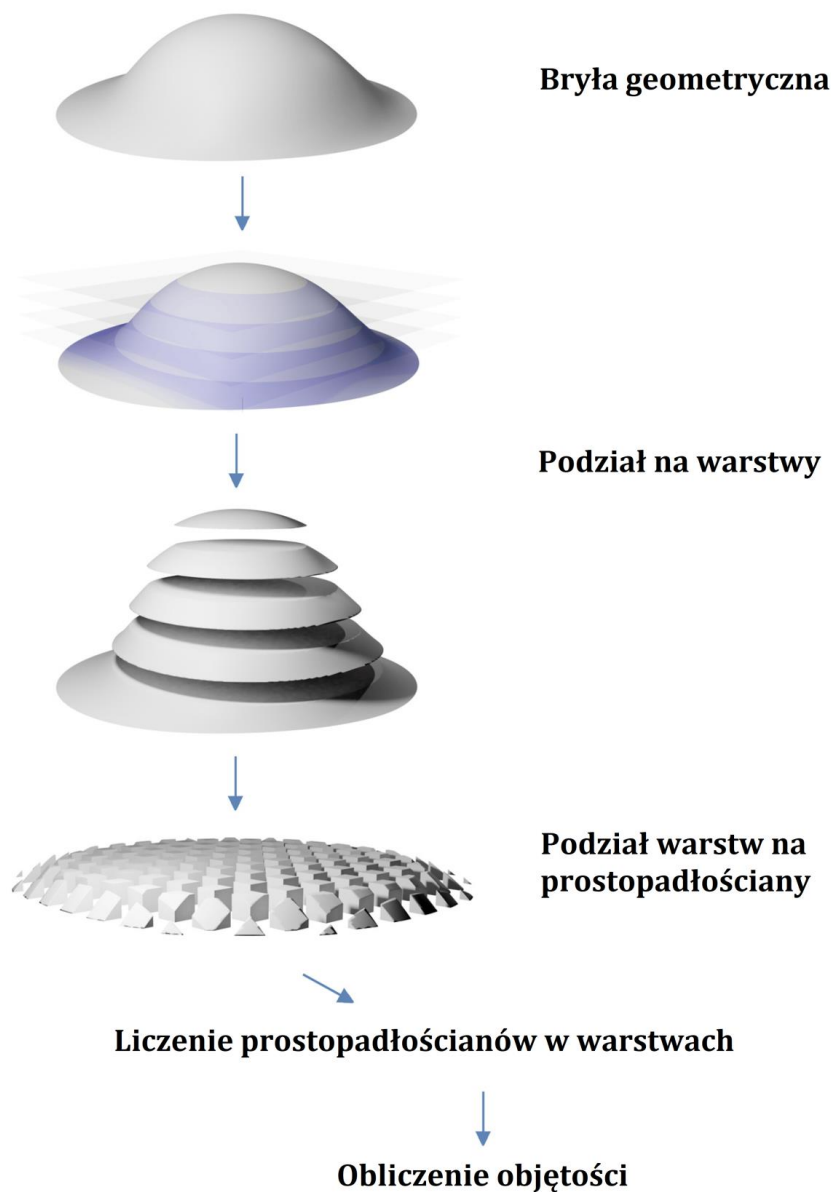
Kryteria oceny stworzono na podstawie kryteriów opisanych przez Tran i wsp.



Ryc. 2. Kryteria jakościowej adaptacji brzeżnej cementów do ścian ubytków i utraty (wypłukania) powierzchni wypełnień: (A) Ocena 1: Szczelne przyleganie brzeżne materiału wypełniającego do ściany preparacji, brak ubytku wypełnienia na styku materiał-ściana, brak utraty (wypłukania) powierzchni materiału. (B) Ocena 2: Brak defektów (pustych obszarów) na styku materiału ze ścianą, widoczna utrata (wypłukanie) materiału. (C) Powiększony obraz obszaru zaznaczonego na (B) — dobre przyleganie brzeżne materiału wypełniającego do ściany wypreparowanego ubytku (zdjęcie wykonane przy powiększeniu 500× z zastosowaniem mikroskopu cyfrowego VHX-7000, Keyence, Osaka, Japonia). (D) Ocena 3: Obecność defektów (pustych obszarów) na styku materiał-ściana oraz widoczna utrata (wypłukanie) powierzchni materiału. (E) Powiększony obraz obszaru zaznaczonego na (D) — znaczny washout materiału. (F) Powiększony widok prostokąta zaznaczonego w (E) — szczelina pomiędzy materiałem a ścianą ma szerokość 21 µm (zdjęcie wykonane przy powiększeniu 500× z użyciem cyfrowego mikrotwardościomierza, model: MHVD-1000IS, INNOVATEST, Wiry, Polska).

2. 3. Ilościowa ocena objętości wypłukanego materiału

Wypłukany materiał oznaczano ilościowo przez nałożenie skanów zarejestrowanych przed i po płukaniu. W ten sposób powstał model defektu/ubytku (bryła geometryczna) w postaci mapy głębi (dwuwymiarowej tabeli z głębokościami ubytku w danym punkcie). Bryłę geometryczną podzielono na warstwy, a warstwy na prostopadłościany o równej objętości. Następnie policzono liczbę prostopadłościanów, a wynik pomnożono przez objętość prostopadłościanu. W ten sposób określono przybliżoną objętość bryły. Objętość podana jest w mm^3 oraz w procentach dotyczących wypełnienia (walec o średnicy 1,2 mm i wysokości 3 mm). Dodatkowo obliczono średnią głębokość powstałego ubytku (ryc. 3).



Ryc. 3. Schematyczny rysunek ilościowego oszacowania objętości bryły geometrycznej.

2. 4. Analiza statystyczna

Porównania między materiałami lub między eksperymentami dokonano za pomocą nieparametrycznego testu Kruskala-Wallisa lub testu Manna-Whitneya. Jako miarę zgodności ocen osób oceniających zastosowano ważoną kappa. Ilościowe wartości wypłukiwania przedstawiono jako średnie z odchyleniem standardowym (SD). Porównano je między materiałami za pomocą ANOVA, a następnie testu post hoc Tukeya po przeprowadzeniu transformacji logarytmicznej w celu uzyskania homoskedastyczności ($p > 0,05$, test Levene'a) i normalności rozkładów ($p > 0,1$, test Shapiro-Wilka) niezbędnych do analizy parametrycznej. Wynik uznano za statystycznie istotny przy $p < 0,05$. Do analiz statystycznych wykorzystano program Statistica 13.

3. Wyniki

3. 1. Analiza jakościowa przylegania wypełnień do wypreparowanych ubytków i dezintegracji ich powierzchni

Płukanie i zanurzanie próbek w płynie symulującym krew bezpośrednio po wypełnieniu wypreparowanych ubytków nie powodowało dezintegracji wypełnień wykonanych z IRM, MTA Angelus White, EndoCem MTA Zr i MTA HP (tab. 2). Do dezintegracji wypełnień wykonanych z tych materiałów nie doszło także, gdy płukanie przeprowadzono po 3 minutach od aplikacji materiałów (ryc. 2-5). Natomiast znacznemu uszkodzeniu uległy wypełnienia wykonane z Biodentine zarówno przy płukaniu bezpośrednio po aplikacji materiału, jak i po 3 minutach od wypełnienia (tab. 2, ryc. 6). Nie stwierdzono istotnej różnicy w stopniu uszkodzenia w zależności od czasu, jaki mijał od aplikacji do płukania. Stwierdzono bardzo dobrą zgodność między trzema oceniającymi (tab. 3).

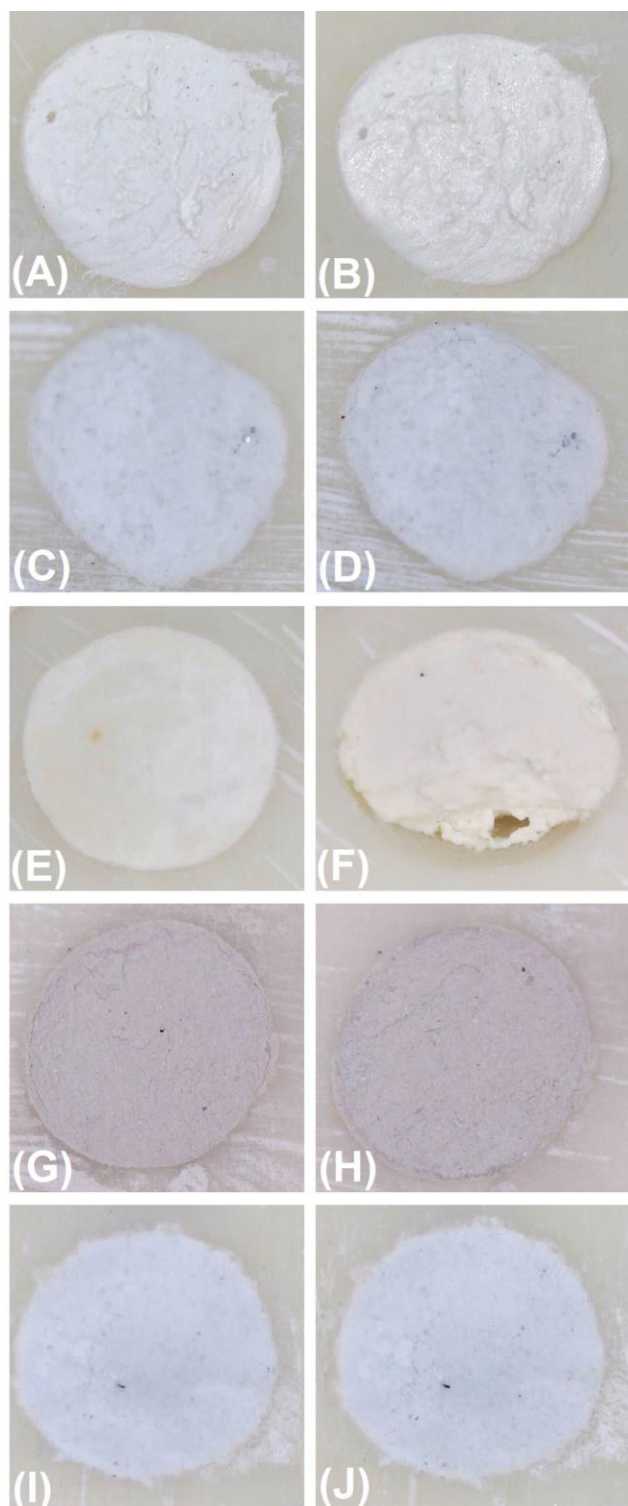
Tab. 2. Rozkład ocen (procentowy) przyznanych przez oceniających dla każdego materiału

Eksperyment	Materiał	Ocena, n (%)		
		1	2	3
1	IRM ^a	45 (100)		
	EndoCem Zr ^a	44 (97,78)	1 (2,22)	
	MTA HP ^a	43 (95,56)	2 (4,44)	
	MTA Angelus White ^a	41 (91,11)	4 (8,88)	
	Biodentine ^b		13 (28,89)	32 (71,11)
2	IRM ^a	45 (100)		
	EndoCem ZR ^a	45 (100)		
	MTA HP ^a	44 (97,78)	1 (2,22)	
	MTA Angelus White ^a	44 (97,78)	1 (2,22)	
	Biodentine ^b		8 (17,78)	37 (82,22)

Różne litery oznaczają istotne różnice między materiałami (a vs. b: $p < 0,0001$ dla obu eksperymentów, test Kruskala-Wallisa dla średniego wyniku oceniających). Nie stwierdzono istotnych różnic między materiałami wskazanymi przez a ($p > 0,5$ dla obu eksperymentów). Nie stwierdzono istotnych różnic między doświadczeniami 1 i 2 dla żadnego z badanych materiałów ($p > 0,3$, test Manna-Whitneya)

Tab. 3. Zgodność ocen przyznanych przez osoby oceniające wypełnienia

Eksperyment	Porównania	Ważona Kappa	Zgodność
1	Oceniający 1 vs 2	0,861	Bardzo dobra
	Oceniający 1 vs 3	0,890	Bardzo dobra
	Oceniający 2 vs 3	0,898	Bardzo dobra
2	Oceniający 1 vs 2	0,924	Bardzo dobra
	Oceniający 1 vs 3	0,922	Bardzo dobra
	Oceniający 2 vs 3	0,922	Bardzo dobra



Ryc. 4. Adaptacja brzeżna cementów do ścian ubytków i utrata (wypłukanie) powierzchni wypełnień. (A) – IRM przed i (B) po płukaniu i zanurzeniu w roztworze; (C) MTA Angelus White przed i (D) po płukaniu i zanurzeniu w roztworze; (E) Biodentine przed i (F) po płukaniu i zanurzeniu w roztworze; (G) EndoCem MTA Zr przed i (H) po płukaniu i zanurzeniu w roztworze; (I) MTA HP przed i (J) po płukaniu i zanurzeniu w roztworze.

3. 2. Ilościowa ocena wyplukanego materiału

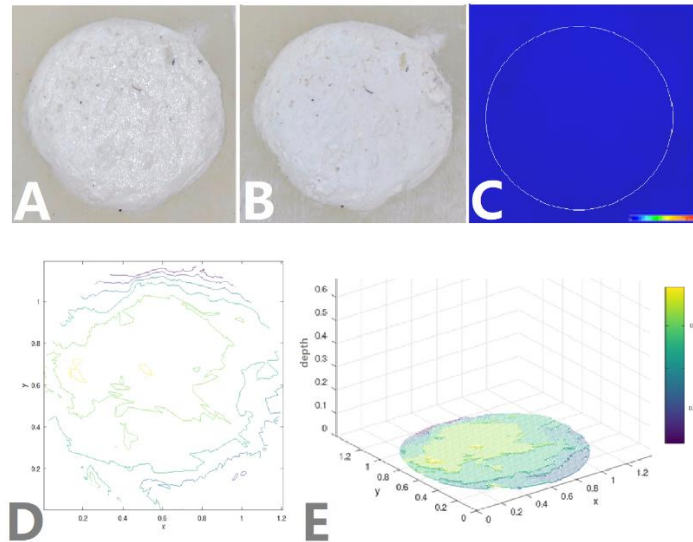
Płukanie i zanurzanie próbek w symulowanym roztworze krwi spowodowało niewielką ubytek IRM, EndoCem MTA Zr i MTA HP. Nieco większe wyplukanie zaobserwowano w przypadku wypełnień wykonanych z MTA Angelus White. Natomiast płukanie i zanurzenie wypełnień z materiału Biodentine w symulowanym roztworze krwi spowodowało znaczne wyplukanie materiału. Przekładając te objętości na głębokości ubytku, jaki powstał w następstwie wyplukania materiału zarejestrowano średnie głębokości wahające się od 0,0132 (IRM) do 0,2230 mm (Biodentine). Analiza statystyczna wykazała statystycznie istotne różnice między MTA Angelus White a pozostałymi materiałami oraz między Biodentine a innymi materiałami (tab. 4).

Tab. 4. Wyniki oceny ilościowej wyplukanych materiałów

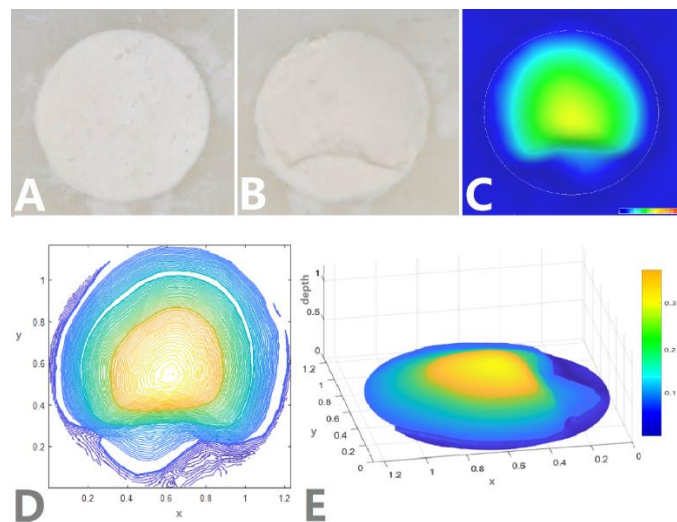
Materiał	Washout		
	Średnia zmiana objętości ± SD (in mm ³)	Średnia zmiana objętości ± SD (in %)	Średnia głębokość ± SD (in mm)
IRM	0,0149 ^a ± 0,0021	0,4392 ^a ± 0,0605	0,0132 ^a ± 0,0018
EndoCem Zr	0,0180 ^a ± 0,0009	0,5300 ^a ± 0,0271	0,0159 ^a ± 0,0008
MTA HP	0,0185 ^a ± 0,0029	0,5442 ^a ± 0,0885	0,0163 ^a ± 0,0026
MTA Angelus	0,0305 ^b ± 0,0089	0,9004 ^b ± 0,2627	0,0270 ^b ± 0,0079
Biodentine	0,2521 ^c ± 0,0338	7,4332 ^c ± 0,9967	0,2230 ^c ± 0,0299

Różne litery oznaczają istotne różnice ($p < 0,05$, ANOVA, a następnie test post hoc Tukeya dla wartości przekształconych logarytmicznie) między materiałami (b vs a: $p < 0,005$, c vs a i c vs b: $p = 0,00013$). Nie stwierdzono istotnych różnic między trzema materiałami oznaczonymi przez „a”.

Ryciny 5 i 6 przedstawiają obrazy wykonane spod mikroskopu, mapę głębokości ubytku (materiał wyplukany), izolynie przedstawiające głębokość ubytku oraz wykres 3D głębokości ubytku z przypadku IRM (najmniejsze zmiany objętościowe) i Biodentine (największe zmiany objętościowe).



Ryc. 5. IRM. A – zdjęcie wykonane przed płukaniem i zanurzeniem w roztworze; B – zdjęcie wykonane po płukaniu i zanurzeniu próbki w roztworze – wypełnienie dobrze przylega do ścian wypreparowanego ubytku, brak widocznej utraty materiału; C – mapa głębokości ubytku; D – izolinie pokazujące głębokość defektu; E – wykres 3D.



Ryc. 6. Biodentine. A – zdjęcie wykonane przed płukaniem i zanurzeniem w roztworze; B – zdjęcie wykonane po wypłukaniu i zanurzeniu próbki w roztworze – wypełnienie dobrze przylega do ścianek, widoczne ubytki materiału świadczące o wypłukaniu; C – mapa głębokości ubytku (materiał wypłukany); D – izolinie pokazujące głębokość defektu; E – wykres 3D.

5. Wnioski

W warunkach obecnego badania oceniane materiały, poza Biodentine, wykazywały dobrą lub stosunkowo dobrą odporność na wyplukiwanie. Materiał Biodentine uległ wyplukaniu zarówno po 1, jak i 3 min po wypełnieniu, co jest niepokojące i wymaga dalszych badań.

9.