

Przegląd cementów stosowanych w protetyce stomatologicznej

Dental cements in prosthodontics – a review

Yurii Tkach, Dominika Gawlak

**Katedra i Zakład Protetyki Stomatologicznej, Uniwersyteckie Centrum Stomatologii,
Warszawski Uniwersytet Medyczny**

Department of Prosthodontics, Medical University of Warsaw

Kierownik: prof. dr hab. n. med. *Jolanta Kostrzewa-Janicka*

HASŁA INDEKSOWE:

klasyfikacja, właściwości, protetyka stomatologiczna, cement dentystyczny, trendy w stomatologii

KEY WORDS:

classification, properties, dental prosthetics, dental cement, trends in dentistry

Streszczenie

Cementy dentystyczne stosowane w protetyce stomatologicznej służą do czasowego lub stałego osadzania uzupełnień protetycznych. Powinny charakteryzować się określonymi właściwościami fizycznymi, chemicznymi, adhezyjnymi i biologicznymi, m.in. niezmiennością kształtu, antyseptycznością, odpowiednią strukturą i grubością warstwy, odpornością na działanie czynników środowiska jamy ustnej, a także biokompatybilnością. Zastosowanie innowacyjnych technologii i materiałów w procesie produkcji prowadzi do poprawy jakości cementów, co znacznie ułatwia wykonywanie prac protetycznych.

Wyróżnia się dwie główne grupy cementów: na bazie wody (cynkowo-fosforanowe, cynkowo-polikarboksylowe oraz gładjonomerowe) oraz na bazie żywicy. Obecnie dużym zainteresowaniem cieszą się także nowoczesne cementy bioaktywne, wspomagające regenerację tkanek, oraz modyfikowane nanosrebrem, wykazujące działanie przeciwdrobnoustrojowe, zmniejszające ryzyko rozwoju próchnicy. Wybór odpowiedniego cementu dentystycznego nie jest jednak prosty ze względu na rosnącą liczbę dostępnych materiałów i zależy od parametrów cementu,

Summary

Dental cements are used in prosthodontics for temporary and permanent placement of prosthetic restorations. The ideal characteristics of cement should include specific physical, chemical, adhesive and biological properties, such as shape invariability, antisepticity, appropriate structure and layer thickness, resistance to oral environmental factors and biocompatibility. Using innovative technologies and materials in the production process leads to improved quality of cements, which significantly facilitates prosthetic care in dentistry.

Cements are classified into two main groups: water-based (zinc phosphate, zinc polycarboxylate and glass ionomer) and resin-based materials. Modern solutions include bioactive cements that support tissue regeneration, as well as nanosilver-modified cements with antimicrobial effect, reducing the risk of dental caries. However, the selection of appropriate dental cement is not straightforward due to the growing number of available materials. It depends on the parameters of the cement, the type of prosthetic restoration and the condition of the periodontal tissues of the patient.

rodzaju uzupełnienia protetycznego oraz stanu tkanek przyzębia pacjenta.

Celem artykułu jest przedstawienie rodzajów i właściwości cementów stosowanych do osadzania stałych uzupełnień protetycznych. Omówione zagadnienia ułatwią specjalistom dobrać cementu odpowiedniego do konkretnego przypadku klinicznego, co skróci okres rehabilitacji oraz zwiększy komfort i zadowolenie pacjenta.

Wstęp

Rodzaje stosowanych w protetyce materiałów i technik radykalnie zmieniały się na przestrzeni ostatnich dekad. Wraz ze zwiększającą się dostępnością leczenia protetycznego i potrzebą zachowania zarówno estetyki, jak i funkcjonalności uzębienia, materiały dentystyczne podlegają coraz bardziej rygorystycznym wymaganiom biologicznym i fizycznym. Należy do nich, m.in. niezmienność kształtu, antyseptyczność, brak porowatości i kruchości, odporność na działanie czynników środowiska jamy ustnej, a także nieszkodliwość dla żywych tkanek.

Cementy dentystyczne są materiałami wykorzystywanymi pomocniczo w pracowniach protetycznych oraz podczas zabiegów klinicznych do rekonstrukcji zarówno zębów filarowych, jak i ograniczonego czasowo lub stałego osadzania protez stałych, w tym licówek, mostów, koron i wkładów. Ich stosowanie ma na celu zapewnienie retencji uzupełnieniom protetycznym.¹ W zależności od przeznaczenia cementu i wskazań do stosowania jego fabryczna postać i sposób użycia mogą się różnić (np. pasty, płyny, proszki, kapsułki).

Sam moment cementowania stałych uzupełnień protetycznych jest ostatnim, a jednocześnie kluczowym etapem pracy stomatologicznej. Od jakości jego wykonania zależy w dużym stopniu komfort i zadowolenie pacjenta, co bezpośrednio wpływa na okres rehabilitacji. Wszelkie błędy popełnione na tym etapie (w

The aim of this article is to discuss the types and properties of cements used for the placement of permanent prosthetic restorations. The presented issues may help dentists select the appropriate cement for a specific clinical case, which will shorten the rehabilitation period and increase the comfort and satisfaction of the patient.

tym również niska jakość zastosowanych materiałów) mogą więc zniweczyć wcześniejszą pracę lekarza i/lub technika.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie i omówienie właściwości chemicznych, fizycznych, adhezyjnych, a także estetycznych materiałów stosowanych do cementowania stałych uzupełnień protetycznych. Takie zestawienie informacji ułatwi podjęcie właściwej decyzji klinicznej dotyczącej wyboru odpowiedniego materiału, pozwalającego na uzyskanie trwałego efektu.

Zarys historyczny

Historia stosowania substancji cementujących w stomatologii i protetyce sięga końca XIX wieku, jednak największy rozkwit w tej dziedzinie nastąpił na przestrzeni ostatnich 50-ciu lat.² Początkowo za złoty standard trwałych cementów dentystycznych uznawany był fosforan cynku. Na jego korzyść przemawiała trwałość i przystępna cena.² Dopiero w latach 60-tych ubiegłego wieku, gdy potrzeba uzupełniania braków w uzębieniu stała się powszechniejsza, a dostęp do niektórych materiałów łatwiejszy, na rynek wprowadzono polikarboksylan cynku.³ Dużym przełomem w dziedzinie protetyki było wynalezienie w latach 70-tych cementu glasonomerowego (GIC, ang. glass ionomer cement) i cementu glasonomerowego modyfikowanego żywicą.^{2,3} Materiały te z czasem ulepszono, aby uzyskiwać jeszcze trwalsze i bardziej estetyczne efekty.⁴ Dopiero

w pierwszej dekadzie XXI wieku opracowano samoadhezyjny cement na bazie żywicy, co pozwoliło na znaczne uproszczenie procedury klinicznej. W 2009 roku wprowadzono do użytku materiał o właściwościach bioaktywnych – cement glinowo-wapniowy / giasjonomerowy (CaAl/GI, ang. calcium aluminate/glass ionomer cement).¹

Obecnie uważa się, że idealny cement powinien być biokompatybilny, trwały (w tym również odporny na działanie czynników chemicznych i termicznych), antybakteryjny, estetyczny, nierozpuszczalny, a także wytrzymały na rozciąganie i ściskanie.⁵ Nie mniej istotny jest czas wiązania materiału. Niestety, jak dotąd nie udało się wynaleźć cementu, który spełniałby wszystkie wymienione wymagania.

Rodzaje cementów do uzupełnień protetycznych

Wybór środka wiążącego bezpośrednio przekłada się na trwałość stałych uzupełnień protetycznych. Podjęcie tej decyzji nie jest jednak proste, nawet dla doświadczonego praktyka, ze względu na rosnącą liczbę dostępnych na rynku cementów. Podstawowa klasyfikacja tych materiałów została oparta na ich składzie chemicznym i zastosowaniu.⁶

Cementy dentystyczne przeznaczone są do:

- tymczasowego osadzania – na bazie oleju lub bezolejowe. Do niedawna większość z nich zawierała eugenol. W praktyce cementy do tymczasowego osadzania wyróżniają się słabszymi właściwościami

fizycznymi i większą grubością warstwy w porównaniu do materiałów zawierających wodę lub polimery,⁷⁻¹⁰

- stałego osadzania – na bazie wody lub żywicy (tab 1). Cementy wodne podlegają kwaśnej reakcji krzepnięcia, nie są adhezyjne lub mogą cechować się niską siłą wiązania z twardymi tkankami zęba.¹¹⁻¹³

Charakterystyka cementów

Każdy rodzaj cementu przeznaczonego do stałych uzupełnień protetycznych charakteryzuje się innymi właściwościami biologicznymi, fizycznymi, adhezyjnymi, a to z kolei przekłada się na odmienne możliwości jego zastosowania. Znajomość zarówno zalet, jak i wad wykorzystania poszczególnych typów cementu pozwoli na zachowanie odpowiednich środków ostrożności.¹⁴

Cementy na bazie wody

Cementy cynkowo-fosforanowe zaliczane są do najstarszych materiałów wiążących stosowanych w praktyce stomatologicznej i protetycznej. Zaczęto wykorzystywać je w 1878 roku i przez długi czas stanowiły złoty standard w mocowaniu uzupełnień, a w wielu gabinetach nadal cieszą się dużym zainteresowaniem. Ten rodzaj cementów stosuje się powszechnie do cementowania koron metalowych, metalowo-ceramicznych oraz z tlenku glinu.^{5,15}

Do zalet stosowania cementów cynkowo-fosforanowych zalicza się przede wszystkim odpowiednią izolację termiczną (związaną

T a b e l a 1. Rodzaje cementów przeznaczonych do stałych uzupełnień protetycznych

Cementy na bazie wody	Cementy na bazie żywicy
• cynkowo-fosforanowe – cynkowo-polikarboksylowe – giasjonomerowe (GIC): – konwencjonalne, – modyfikowane żywicą	• adhezyjne/samoadhezyjne • utwardzane chemicznie – utwardzane światłem, – podwójnie utwardzalne

z grubością cementowania w zakresie od ok. 25 do 40 mikrometrów), a także dużą retencję mechaniczną.¹⁶⁻²⁰ Materiał ten nie jest jednak pozbawiony wad, wśród których należy wymienić wysoką rozpuszczalność w jamie ustnej, ryzyko rozwoju zapalenia tkanki miazgi (ze względu na niskie pH w momencie cementowania), niską wytrzymałość na rozciąganie, a także brak aktywności przeciwpróchnicznej.²¹

Cementy cynkowo-polikarboksylowe rozpoczęły nową erę w stomatologii.²² Cechują się nieco lepszymi parametrami niż materiały cynkowo-fosforanowe, ale mają niską wytrzymałość na ściskanie. Charakteryzują się dużą lepkością (co może utrudniać obróbkę) i słabą rozpuszczalnością w jamie ustnej, a grubość powłoki mieści się w zakresie od 16 do 48 mikrometrów. Co ważne, nie działają drażniąco na miazgę zęba i są biokompatybilne. Ich zaletą jest specyficzna adhezja do zęba, ze względu na możliwość tworzenia wiązań chelatujących z wapniem.²³⁻²⁵ Cementy polikarboksylowe zapewniają jednak mniejszą retencję niż ich poprzednicy.²⁶

Polikarboksylan cynku jest przeznaczony głównie do osadzania koron metalowych, metalowo-ceramicznych i porcelanowych. Warto zaznaczyć, że taki rodzaj cementu stosuje się często u pacjentów, u których w wywiadzie stwierdzono nadwrażliwość pozabiegową.⁵

Cementy glasjonomerowe, inaczej szklano-jonomerowe, zaliczane są do cementów najnowszej generacji. Początkowo, w latach 70 ubiegłego wieku, stosowano je jako materiał uzupełniający, a dopiero z czasem zaczęto wykorzystywać jako środek cementujący.²⁷⁻²⁹ W protetyce cementy glasjonomerowe służą przede wszystkim do osadzania mostów i koron (zwłaszcza metalowych, metalowo-ceramicznych), a także do rekonstrukcji uszkodzonych tkanek zęba oraz do nadbudowy na wkładach koronowo-korzeniowych.^{5,30}

Glasjonomer wytwarzany jest z drobno zmielonego szkła aluminokrzemowego,

zmieszanego z wodnym roztworem kwasów polikarboksylowych.³¹ Materiał ten wyróżnia się dużą wytrzymałością na rozciąganie oraz ściskanie, niskim współczynnikiem rozszerzalności cieplnej oraz właściwościami przeciwpróchnicznymi, przyczyniającymi się do remineralizacji tkanek zęba. Ta ostatnia właściwość związana jest ze stopniowym uwalnianiem jonów w wodnym środowisku jamy ustnej.³¹⁻³³

Cementy glasjonomerowe są półprzezroczyste, nieco mniej rozpuszczalne niż fosforan cynku.³⁴ Natomiast jedną z ich wad jest niskie pH (ok. 3,5), co rodzi pewne problemy kliniczne, takie jak pojawienie się nadwrażliwości u pacjentów z obniżonym progiem wrażliwości na ból. Ponadto wytrzymałość tworzyw glasjonomerowych zmniejsza się w przypadku wczesnej ekspozycji na wilgoć z powodu wymywania kationów i erozji. Prowadzi to do zwiększonego ryzyka powstawania pęknięć, wiążącego się z koniecznością zabezpieczenia materiału, np. za pomocą lakieru lub wazeliny, we wczesnym okresie wiązania.⁵

Cementy glasjonomerowe modyfikowane żywicą, podobnie jak materiały glasjonomerowe, przylegają do zęba dzięki tworzeniu wiązań jonowych w wyniku reakcji chelatowania grup karboksylowych wapniem i fosforem, ale ich siła wiązania jest nieco większa, dzięki obecności części kompozytowej.³⁵⁻³⁷ Cementy glasjonomerowe modyfikowane żywicą są stosowane w praktyce klinicznej od ponad 30 lat, przede wszystkim do mocowania koron i mostów, metalowo-ceramicznych, wkładów metalowych, uzupełnień z tlenku cyrkonu, a nawet aparatów ortodontycznych.⁵

Największymi zaletami cementów modyfikowanych żywicą są: duża odporność na pękanie i zużycie, mniejsza podatność na wilgoć, mniejsza rozpuszczalność i grubość powłoki.³⁵ Tym, co przemawia na ich korzyść, jest również odpowiednia przyczepność i lepsza odporność na rozpuszczalność. Natomiast do ich

głównych wad zaliczyć można tendencję do rozszerzania się pod wpływem wody, co w niektórych warunkach może prowadzić do złamania uzupełnienia.^{38,39}

Cementy na bazie żywicy

Cementy na bazie żywicy, inaczej żywiczne, to stosunkowo nowa grupa materiałów przeznaczonych do osadzania zarówno koron, mostów adhezyjnych, konstrukcji z tlenku cyrkonu, wkładów, nakładów ceramicznych, jak i licówek.^{40,41} Charakteryzują się lepszymi właściwościami mechanicznymi i fizycznymi niż materiały glazjonomerowe, a ponadto są nierozpuszczalne.^{42,43} Klinicyści posiadający doświadczenie w pracy z cementami na bazie żywicy podkreślają ich liczne zalety, takie jak: wysoka odporność na ściskanie i zginanie,

wysoka twardość, możliwość modyfikacji odcienia i koloru, duża retencja, a także niski współczynnik rozszerzalności cieplnej.⁴⁴⁻⁴⁶

Cementy na bazie żywicy dzielą się na samoadhezyjne i adhezyjne.^{5,47-50} Według innej klasyfikacji, uwzględniającej różnice w procesie polimeryzacji materiału, funkcjonuje podział na cementy utwardzane chemicznie, utwardzane światłem i podwójnie utwardzalne.^{51,52} Charakterystykę właściwości cementów na bazie żywicy przedstawiono w tabeli 2.

Pomimo wielu zalet wynikających ze stosowania cementów żywicznych, należy również wspomnieć o ich wadach. Zalicza się do nich, m.in. brak ochrony przed rozwojem wtórnej próchnicy, niską biokompatybilność i zwiększone ryzyko pojawienia się reakcji alergicznych.⁵³⁻⁵⁷

T a b e l a 2. Właściwości cementów na bazie żywicy

Rodzaj cementu	Właściwości
Adhezyjne	- Konieczność wcześniejszego wytrawienia zęba kwasem fosforowym, co powoduje demineralizację zębiny na głębokość 3–5 μm. W dalszym etapie niezbędne jest zastosowanie systemu wiążącego, który zapewnia dużą wytrzymałość połączenia cementu z tkankami zęba – rzędu 20–30 MPa - Lepsze uszczelnienie brzeżne niż w przypadku cementów cynkowo-fosforanowych - Trudności w stosowaniu w przypadku łączenia uzupełnień z brzegami poddziąsłowymi
Samoadhezyjne	- Brak konieczności wytrawienia zęba kwasem fosforowym (z wyjątkiem preparacji w szkliwie) - Doskonałe właściwości mechaniczne i optyczne - Silna adhezja do powierzchni zęba i innych materiałów - Łączą się spontanicznie ze szkliwem i zębiną, ale wytrzymałość tego połączenia na ogół nie przekracza 5-10 MPa
Utwardzane chemicznie	- Polimeryzują w wyniku reakcji chemicznej - Niższa stabilność koloru - Powolne i stopniowe twardnienie
Utwardzane światłem	- Polimeryzują dzięki aktywacji fal świetlnych - Większa stabilność koloru - Kontrolowany czas polimeryzacji w porównaniu z materiałami utwardzanymi chemicznie
Podwójnie utwardzalne	- Polimeryzują dzięki reakcji chemicznej i falam świetlnym - Niska skuteczność w przypadku grubych struktur tlenku cyrkonu

Nowoczesne materiały oparte na nanotechnologii

Nanotechnologia, czyli technologia wykorzystująca struktury o rozmiarach nanometrycznych, jest jedną z najdynamiczniej rozwijających się dziedzin nauki. Z jej osiągnięć korzysta również nowoczesna stomatologia i protetyka. W ostatnich dekadach dużym zainteresowaniem cieszy się nanosrebro (srebro koloidalne), dodawane do cementów zarówno na bazie wody, jak i żywicy. Powstają wówczas cementy modyfikowane nanosrebrem.⁵⁸⁻⁶⁰ Dodatek jonów srebra (Ag⁺) o przeciwdrobnoustrojowym działaniu przekłada się na zmniejszenie ryzyka kolonizacji drobnoustrojami, np. *Streptococcus mutans*, odpowiedzialnymi za rozwój próchnicy, co zwiększa bezpieczeństwo pacjenta. Badania wykazały duże znaczenie jonów srebra w powstawaniu biofilmu w jamie ustnej o właściwościach biobójczych, przeciwadhezyjnych oraz przeciwzapalnych.⁶¹⁻⁶³

Obecnie trwają badania nad ustaleniem optymalnego stężenia nanosrebra w materiałach przeznaczonych do protez dentystycznych. Wyniki zaprezentowane przez *Strzelecką* i wsp. sugerują, że najkorzystniejsza jest zawartość 0,3% wag. nanosrebra.⁶⁴ Taka wartość nie wpływa negatywnie na właściwości mechaniczne materiału, a jednocześnie cechuje się działaniem bakteriobójczym i grzybobójczym. Z kolei *Jowkar* i wsp. zaobserwowali ulepszone właściwości mechaniczne i większą wytrzymałość cementów glasonomerowych wzbogaconych o 0,2% wag. nanosrebra. Badacze zasugerowali, że materiał ten może być szczególnie przydatny do odbudowywania miejsc o większym naprężeniu.⁶⁵

Podsumowanie

Długoterminowy wynik leczenia protetycznego zależy od doświadczenia specjalisty, rodzaju zastosowanego materiału, a także technologii wykorzystywanej w gabinecie. Wybór

cementu jako środka wiążącego nie zawsze jest oczywisty – lekarz lub technik powinni uwzględnić szereg czynników, nie tylko rodzaj uzupełnienia protetycznego i tworzywo, z którego jest wykonane, ale także indywidualne predyspozycje osoby leczonej, w tym stan tkanek przyzębia. Równie ważne są parametry cementu, przede wszystkim właściwa grubość warstwy oraz wytrzymałość na ściskanie i zginanie. Nowoczesne cementy przeznaczone do stałych uzupełnień protetycznych charakteryzują się coraz lepszą jakością, jednak wciąż pozostaje wiele ograniczeń w ich stosowaniu. Istnieje zatem potrzeba dalszych badań nad technologiami wytwarzania innowacyjnych materiałów, które pozwolą na uzyskanie jeszcze lepszych efektów klinicznych.

Piśmiennictwo

1. *Leung GK, Wong AW, Chu CH, Yu OY*: Update on dental luting materials. *Dent J (Basel)* 2022; 10(11): 208. doi: 10.3390/dj10110208
2. *Hill EE*: Dental cements for definitive luting: A review and practical clinical considerations. *Dent Clin North Am* 2007; 51(3): 643-658. doi: 10.1016/j.cden.2007.04.002
3. *Sunico-Segarra M, Segarra, A*: The evolution of cements for indirect restorations from luting to bonding. In: *A practical clinical guide to resin cements*. Springer 2015; 3-7. doi: 10.1007/978-3-662-43842-8_1
4. *Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ*: Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent* 1998; 80(3): 280-301. doi: 10.1016/s0022-3913(98)70128-3
5. *Heboyan A, Vardanyan A, Karobari MI*, et al.: Dental luting cements: an updated comprehensive review. *Molecules* 2023; 28(4): 1619. doi: 10.3390/molecules28041619
6. *Pameijer CH*: A review of luting agents. *Int J Dent* 2012; 2012: 752861. doi: 10.1155/2012/752861

7. Hotz P, Schlatter D, Lussi A: Beeinflussung der Polymerisation von Kompositmaterialien durch eugenolhaltige Provisorien [The modification of the polymerization of composite materials by eugenol-containing temporary fillings]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1992; 102(12): 1461-1466.
8. Ganss C, Jung M: Effect of eugenol-containing temporary cements on bond strength of composite to dentin. *Oper Dent* 1998; 23(2): 55-62.
9. Wingo K: A review of dental cements. *J Vet Dent* 2018; 35(1): 18-27. doi: 10.1177/0898756418755339
10. Garcia IM, Leitune VCB, Ibrahim MS, et al.: Determining the effects of eugenol on the bond strength of resin-based restorative materials to dentin: a meta-analysis of the literature. *Appl Sci* 2020; 10(3): 1070. doi: 10.3390/app10031070
11. Hiraishi N, Kitasako Y, Nikaido T, Foxton RM, Tagami J, Nomura S: Acidity of conventional luting cements and their diffusion through bovine dentine. *Int Endod J* 2003; 36(9): 622-628. doi: 10.1046/j.1365-2591.2003.00700.x
12. Sokolowski G, Szczesio A, Bociong K, et al.: Dental resin cements – the influence of water sorption on contraction stress changes and hydroscopic expansion. *Materials (Basel)* 2018; 11(6): 973. doi: 10.3390/ma11060973
13. Ghodsi S, Arzani S, Shekarian M, Aghamohseni M: Cement selection criteria for full coverage restorations: A comprehensive review of literature. *J Clin Exp Dent* 2021; 13(11): e1154-e1161. doi: 10.4317/jced.58671
14. Cadenaro M, Josic U, Maravić T, et al.: Progress in dental adhesive materials. *J Dent Res* 2023; 102(3): 254-262. doi: 10.1177/00220345221145673
15. Pegoraro TA, da Silva NR, Carvalho RM: Cements for use in esthetic dentistry. *Dent Clin North Am* 2007; 51(2): 453-471. doi: 10.1016/j.cden.2007.02.003
16. Oilo G: Luting cements: A review and comparison. *Int Dent J* 1991; 41(2): 81-88.
17. Hill EE, Lott J: A clinically focused discussion of luting materials. *Aust Dent J* 2011; 56, Suppl 1: 67-76. doi: 10.1111/j.1834-7819.2010.01297.x
18. Mehl C, Harder S, Steiner M, Vollrath O, Kern M: Influence of cement film thickness on the retention of implant-retained crowns. *J Prosthodont* 2013; 22(8): 618-625. doi: 10.1111/jopr.12058
19. Masaka N, Yoneda S, Masaka K: An up to 43-year longitudinal study of fixed prosthetic restorations retained with 4-META/MMA-TBB resin cement or zinc phosphate cement. *J Prosthet Dent* 2023; 129(1): 83-88. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.04.004
20. Tribst JPM, Dos Santos AFC, da Cruz Santos G, et al.: Effect of cement layer thickness on the immediate and long-term bond strength and residual stress between lithium disilicate glass-ceramic and human dentin. *Materials (Basel)* 2021; 14(18): 5153. doi: 10.3390/ma14185153
21. Fakiha Z, Al-Aujan A, Al-Shamrani S: Retention of cast posts cemented with zinc phosphate cement using different cementing techniques. *J Prosthodont* 2001; 10(1): 37-41. doi: 10.1111/j.1532-849x.2001.00037.x
22. Smith DC: Dental cements. *Curr Opin Dent* 1991; 1(2): 228-234
23. Wilson AD: The nature of the zinc polycarboxylate cement matrix. *J Biomed Mater Res* 1982; 16(5): 549-557. doi: 10.1002/jbm.820160503
24. Akinmade AO, Nicholson JW: Effect of adhesive layer thickness on the bond strength of a zinc polycarboxylate dental cement. *Biomaterials* 1995; 16(2): 149-154. doi: 10.1016/0142-9612(95)98279-n
25. Ali MN, Edwards M, Nicholson JW: Zinc polycarboxylate dental cement for the controlled release of an active organic substance: proof of concept. *J Mater Sci Mater Med* 2010; 21(4): 1249-1253. doi: 10.1007/

- s10856-009-3957-0
26. *Aladag A, Sahan MH, Akkus NO, Aktas R*: Retention of luting agents used for implant-supported restorations: A comparative in-vitro study. *Niger J Clin Pract* 2020; 23(8): 1073-1078. doi: 10.4103/njcp.njcp_590_19
 27. *Wilson AD*: Glass-ionomer cement – origins, development and future. *Clin Mater* 1991; 7(4): 275-282. doi: 10.1016/0267-6605(91)90070-v
 28. *Nicholson JW*: Glass-ionomers in medicine and dentistry. *Proc Inst Mech Eng H* 1998; 212(2): 121-126. doi: 10.1243/0954411981533890
 29. *Sidhu SK, Nicholson JW*: A review of glass-ionomer cements for clinical dentistry. *J Funct Biomater* 2016; 7(3): 16. doi: 10.3390/jfb7030016
 30. *Khoroushi M, Keshani F*: A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. *Dent Res J (Isfahan)* 2013; 10(4): 411-420.
 31. *Francisconi LF, Scaffa PM, de Barros VR, Coutinho M, Francisconi PA*: Glass ionomer cements and their role in the restoration of non-carious cervical lesions. *J Appl Oral Sci* 2009; 17(5): 364-369. doi: 10.1590/s1678-77572009000500003
 32. *Krämer N, Schmidt M, Lückner S, Domann E, Frankenberger R*: Glass ionomer cement inhibits secondary caries in an in vitro biofilm model. *Clin Oral Investig* 2018; 22(2): 1019-1031. doi: 10.1007/s00784-017-2184-1
 33. *Bahsi E, Sagmak S, Dayi B, Cellik O, Akkus Z*: The evaluation of microleakage and fluoride release of different types of glass ionomer cements. *Niger J Clin Pract* 2019; 22(7): 961-970. doi: 10.4103/njcp.njcp_644_18
 34. *Brito CR, Velasco LG, Bonini GA, Imparato JC, Raggio DP*: Glass ionomer cement hardness after different materials for surface protection. *J Biomed Mater Res A* 2010; 93(1): 243-246. doi: 10.1002/jbm.a.32524
 35. *Mickenautsch S, Tyas MJ, Yengopal V, Oliveira LB, Bönecker M*: Absence of carious lesions at margins of glass-ionomer cement (GIC) and resin-modified GIC restorations: A systematic review. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2010; 18(3): 139-145.
 36. *Kielbassa AM, Oehme EP, Shakavets N, Wolgin M*: In vitro wear of (resin-coated) high-viscosity glass ionomer cements and glass hybrid restorative systems. *J Dent* 2021; 105: 103554. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103554
 37. *Malhotra S, Bhullar KK, Kaur S, Malhotra M, Kaur R, Handa A*: Comparative evaluation of compressive strength and flexural strength of GC gold hybrid, GIC conventional and resin-modified glass-ionomer cement. *J Pharm Bioallied Sci* 2022; 14(Suppl 1): S214-S216. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_134_22
 38. *Brenes-Alvarado A, Cury JA*: Fluoride release from glass ionomer cement and resin-modified glass ionomer cement materials under conditions mimicking the caries process. *Oper Dent* 2021; 46(4): 457-466. doi: 10.2341/19-296-L
 39. *Heboyan A, Avetisyan A, Karobari MI, et al.*: Tooth root resorption: A review. *Sci Prog* 2022; 105(3): 368504221109217. doi: 10.1177/00368504221109217
 40. *Maravić T, Mazzitelli C, Mancuso E, et al.*: Resin composite cements: Current status and a novel classification proposal. *J Esthet Restor Dent* 2023; 35(7): 1085-1097. doi: 10.1111/jerd.13036
 41. *Maletin A, Knežević MJ, Koprivica DĐ, et al.*: Dental resin-based luting materials-review. *Polymers (Basel)* 2023; 15(20): 4156. doi: 10.3390/polym15204156
 42. *Nakabayashi N, Watanabe A, Gendusa NJ*: Dentin adhesion of „modified” 4-META/MMA-TBB resin: function of HEMA. *Dent Mater* 1992; 8(4): 259-264. doi: 10.1016/0109-5641(92)90096-u
 43. *Karkera R, Raj AP, Isaac L, Mustafa M, Reddy RN, Thomas M*: Comparison of the solubility of conventional luting cements with that of the polyacid modified composite luting

- cement and resin-modified glass ionomer cement. *J Contemp Dent Pract* 2016; 17(12): 1016-1021.
44. *Akehashi S, Takahashi R, Nikaido T, Burrow MF, Tagami J*: Enhancement of dentin bond strength of resin cement using new resin coating materials. *Dent Mater J* 2019; 38(6): 955-962. doi: 10.4012/dmj.2018-328
45. *Wiedenmann F, Becker F, Eichberger M, Stawarczyk B*: Measuring the polymerization stress of self-adhesive resin composite cements by crack propagation. *Clin Oral Investig* 2021; 25(3): 1011-1018. doi: 10.1007/s00784-020-03391-5
46. *El-Deeb HA, Mobarak EH*: Repair bond strength of high-viscosity glass-ionomer cements using resin composite bonded with light- and self-cured adhesive systems. *Oper Dent* 2021; 46(1): 45-53. doi: 10.2341/19-186-L
47. *Eltoukhy RI, Elkaffas AA, Ali AI, Mahmoud SH*: Indirect resin composite inlays cemented with a self-adhesive, self-etch or a conventional resin cement luting agent: A 5 years prospective clinical evaluation. *J Dent* 2021; 112: 103740. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103740
48. *Al-Saleh M, El-Mowafy O, Tam L, Fenton A*: Microleakage of posterior composite restorations lined with self-adhesive resin cements. *Oper Dent* 2010; 35(5): 556-563. doi: 10.2341/09-189-L
49. *Farah CS, Orton VG, Collard SM*: Shear bond strength of chemical and light-cured glass ionomer cements bonded to resin composites. *Aust Dent J* 1998; 43(2): 81-86. doi: 10.1111/j.1834-7819.1998.tb06095.x
50. *Favarão J, Oliveira D, Zanini MM, Rocha MG, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti M*: Effect of curing-light attenuation on color stability and physical and chemical properties of resin cements containing different photoinitiators. *J Mech Behav Biomed Mater* 2021; 113: 104110. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104110
51. *Aldhafyan M, Silikas N, Watts DC*: Influence of curing modes on thermal stability, hardness development and network integrity of dual-cure resin cements. *Dent Mater* 2021; 37(12): 1854-1864. doi: 10.1016/j.dental.2021.09.016
52. *Mazzitelli C, Maravic T, Mancuso E, et al.*: Influence of the activation mode on long-term bond strength and endogenous enzymatic activity of dual-cure resin cements. *Clin Oral Investig* 2022; 26(2): 1683-1694. doi: 10.1007/s00784-021-04141-x
53. *Nagamine M, Itota T, Torii Y, Irie M, Staninec M, Inoue K*: Effect of resin-modified glass ionomer cements on secondary caries. *Am J Dent* 1997; 10(4): 173-178.
54. *Tam LE, Chan GP, Yim D*: In vitro caries inhibition effects by conventional and resin-modified glass-ionomer restorations. *Oper Dent* 1997; 22(1): 4-14.
55. *Pontes EC, Soares DG, Hebling J, Costa CA*: Cytotoxicity of resin-based luting cements to pulp cells. *Am J Dent* 2014; 27(5): 237-244.
56. *da Fonseca Roberti Garcia L, Pontes EC, Basso FG, Hebling J, de Souza Costa CA, Soares DG*: Transdental cytotoxicity of resin-based luting cements to pulp cells. *Clin Oral Investig* 2016; 20(7): 1559-1566. doi: 10.1007/s00784-015-1630-1
57. *da Silva DC, Vaz LG, Tavares WLF, Vieira LQ, de Oliveira RR, Sobrinho APR*: Cytotoxicity of two self-adhesive resin cements and their interference in the phagocytic activity of murine macrophages. *Restor Dent Endod* 2022; 47(3): e31. doi: 10.5395/rde.2022.47.e31
58. *Magalhães AP, Moreira FC, Alves DR, et al.*: Silver nanoparticles in resin luting cements: Antibacterial and physiochemical properties. *J Clin Exp Dent* 2016; 8(4): e415-e422. doi: 10.4317/jced.52983
59. *Hamdy TM*: Evaluation of compressive strength, surface microhardness, solubility and antimicrobial effect of glass ionomer dental cement reinforced with silver doped

- carbon nanotube fillers. *BMC Oral Health* 2023; 23(1): 777. doi: 10.1186/s12903-023-03542-6
60. Guo T, Wang D, Gao SS: Incorporating nanosilver with glass ionomer cement: A literature review. *J Dent* 2024; 149: 105288. doi: 10.1016/j.jdent.2024.105288
61. Lansdown AB: *Silver. I: Its antibacterial properties and mechanism of action.* *J Wound Care* 2002; 11(4): 125-130. doi: 10.12968/jowc.2002.11.4.26389
62. Chaloupka K, Malam Y, Seifalian AM: Nanosilver as a new generation of nanoparticle in biomedical applications. *Trends Biotechnol* 2010; 28(11): 580-588. doi: 10.1016/j.tibtech.2010.07.006
63. Secinti KD, Özalp H, Attar A, Sargon MF: Nanoparticle silver ion coatings inhibit biofilm formation on titanium implants. *J Clin Neurosci* 2011; 18(3): 391-395. doi: 10.1016/j.jocn.2010.06.022
64. Strzelecka K, Szczesio-Włodarczyk A, Kopacz K, Kula ZM: Influence of nanosilver addition on the mechanical properties of acrylic material used for the manufacture of dental prostheses. *Prosthodontics* 2023; 73(4): 350-358. doi: 10.5114/ps/177085
65. Jowkar Z, Jowkar M, Shafiei F: Mechanical and dentin bond strength properties of the nanosilver enriched glass ionomer cement. *J Clin Exp Dent* 2019; 11(3): e275-e281. doi: 10.4317/jced.55522

Zaakceptowano do druku: 8.06.2025 r.

Adres autorów: 02-097 Warszawa, ul. Binieckiego 6.

© Zarząd Główny PTS 2025.