

To cite this article:

Stawicka Alicja, Szyszko Jan, Kowalczyk Mateusz, Wężowicz Gabriela: Uwalnianie fluoru oraz zdolność do ponownego nasycania fluorem konwencjonalnych cementów szkło-jonomerowych i szkło-jonomerów modyfikowanych żywicą (RMGI/RMGIC) stosowanych w ubytkach: przegląd systematyczny badań *in vitro* i *in situ*. Fluoride release and recharge from conventional glass-ionomer cements versus resin-modified glass-ionomers (RMGI/RMGIC) used for dental restorations: a systematic review of *in-vitro* and *in-situ* evidence. Nowa Stomatol/New Dentistry Journal 2026;31(3):148-166. DOI: 10.25121/NS.2026.31.3.148

To link to this article:

<https://doi.org/10.25121/NS.2026.31.3.148>

*ALICJA STAWICKA¹, JAN SZYSZKO², MATEUSZ KOWALCZYK³, GABRIELA WĘŻOWICZ⁴

Uwalnianie fluoru oraz zdolność do ponownego nasycania fluorem konwencjonalnych cementów szkło-jonomerowych i szkło-jonomerów modyfikowanych żywicą (RMGI/RMGIC) stosowanych w ubytkach: przegląd systematyczny badań *in vitro* i *in situ*

Fluoride release and recharge from conventional glass-ionomer cements versus resin-modified glass-ionomers (RMGI/RMGIC) used for dental restorations: a systematic review of *in-vitro* and *in-situ* evidence

¹Dentist Intern, Małgorzata Piętowska Dental Services, Warsaw

Lekarz Dentysta Stażysta, Usługi Stomatologiczne Małgorzata Piętowska, Warszawa

²Dentist Intern, Laserdent, Warsaw

Lekarz Dentysta Stażysta, Laserdent, Warszawa

³Dentist Intern, Faculty of Medicine and Dentistry, Medical University of Warsaw

Lekarz Dentysta Stażysta, Wydział Lekarsko-Stomatologiczny, Warszawski Uniwersytet Medyczny

⁴Dentist Intern, Central Military Medical Clinic CePeLek SPZOZ, Warsaw

Lekarz Dentysta Stażysta, Centralna Wojskowa Przychodnia Lekarska CePeLek SPZOZ, Warszawa

SŁOWA KLUCZOWE:

cementy szkło-jonomerowe, RMGIC, jony fluorkowe, uwalnianie jonów fluorkowych, wychwyt zwrotny jonów fluorkowych

STRESZCZENIE

Uwalnianie jonów fluorkowych oraz ich późniejszy wychwyt zwrotny są istotnymi właściwościami materiałów szkło-jonomerowych, związanymi z ich potencjałem przeciwpróchnicowym. Wpływ ich modyfikacji resztami karboksylowymi polikwasu metakrylowego (RMGIC/RMGI) na te zjawiska pozostaje niejednoznaczny.

Przeprowadzono przegląd systematyczny zgodnie z PRISMA 2020. Wyszukiwano badania porównawcze konwencjonalnych cementów szkło-jonomerowych (GIC) oraz cementów szkło-jonomerowych modyfikowanych żywicą (RMGIC/RMGI) w bazach PubMed i Cochrane Library. Włączano badania *in vitro* i *in situ* raportujące ilościowo uwalnianie jonów fluorkowych (punktowe i/lub skumulowane) oraz/lub parametry wychwytu zwrotnego. Jakość badań *in vitro* oceniano narzędziem QUIN.

Do głównej syntezy włączono 10 badań, a dodatkowe prace wykorzystano do poszerzenia tła i dyskusji. W większości prac obserwowano wczesny wyrzut jonów w pierwszych 24-48 godzinach, a następnie fazę stabilizacji. Różnice między grupami zależały od rodzaju materiału, medium, pH, powierzchni próbki oraz protokołu przygotowania. Zdolność do wychwytu zwrotnego jonów fluorkowych była obecna w obu grupach, przy czym jej wielkość zależała od schematu ekspozycji na związki fluoru lub aniony fluorkowe.

Dostępne dowody wskazują na istotną heterogeniczność metodyczną badań porównujących GIC i RMGIC/RMGI, co ogranicza możliwość jednoznacznej oceny przewagi jednej grupy materiałów. Uwalnianie jonów fluorkowych i ich wychwyt zwrotny należy interpretować w kontekście rodzaju materiału, warunków środowiskowych i protokołu pomiaru; potrzebne są badania o ustandaryzowanych jednostkach (np. ppm F oraz $\mu\text{g F/cm}^2$), punktach czasowych i pełnym opisie składu sztucznej śliny.

KEYWORDS:

glass-ionomer cements, RMGIC, fluoride ions, fluoride ion release, fluoride recharge

SUMMARY

The release of fluoride ions and their subsequent recharge are important properties of glass ionomer materials associated with their anticaries potential. The effect of modification with methacrylic polyacid carboxyl groups, resulting in resin-modified glass-ionomer cements (RMGIC/RMGI), on these phenomena remains unclear.

A systematic review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines. Comparative studies of conventional glass-ionomer cements (GICs) and resin-modified glass-ionomer cements (RMGICs/RMGIs) were searched in the PubMed and Cochrane Library databases. In vitro and *in situ* studies quantitatively reporting fluoride ion release (point measurements and/or cumulative release) and/or fluoride recharge parameters were included. The quality of the *in vitro* studies was assessed using the QUIN tool.

Ten studies were included in the main synthesis, while additional studies were used to provide broader background information and support the discussion. Most studies demonstrated an initial burst of fluoride ion release during the first 24-48 hours, followed by a stabilization phase. Differences between the groups depended on the type of material, medium, pH, specimen surface area, and specimen preparation protocol. Both groups demonstrated the ability to recharge with fluoride ions, although the magnitude of this effect depended on the exposure protocol to fluoride compounds or fluoride anions.

The available evidence indicates substantial methodological heterogeneity among studies comparing GICs and RMGICs/RMGIs, limiting the possibility of unequivocally determining the superiority of either material group. Fluoride ion release and recharge should be interpreted in the context of the material type, environmental conditions, and measurement protocol. Further studies using standardized units (e.g., ppm F and $\mu\text{g F/cm}^2$), standardized time points, and comprehensive descriptions of artificial saliva composition are needed.

WSTĘP

Materiały szkło-jonomerowe należą do grupy materiałów odtwórczych o udokumentowanej zdolności do wymiany jonowej z otoczeniem. Uwalnianie jonów fluorkowych jest postrzegane jako czynnik sprzyjający ograniczeniu demineralizacji oraz wspomagający procesy remineralizacji, zwłaszcza w strefie kontaktu materiał–tkanki zęba (1-3). Kinetyka uwalniania jonów fluorkowych jest zwykle opisywana jako faza początkowego „wyrzutu” (ang. *burst release*) w ciągu pierwszych 24-48 godzin, po której następuje faza wolniejszego, względnie stabilnego uwalniania (4-10).

Konwencjonalne cementy szkło-jonomerowe (ang. *glass-ionomer cements* – GIC) wiążą przede wszystkim w reakcji kwas–zasada między fluoroaluminosilikatowym szkłem a polikwasem. Cementy szkło-jonomerowe modyfikowane żywicą (ang. *resin-modified glass-ionomer cements* – RMGIC/RMGI) łączą ten mechanizm z polimeryzacją monomerów, najczęściej HEMA i/lub innych monomerów metakrylanowych, przy jednoczesnym udziale reszt karboksylowych polikwasu metakrylowego w reakcji z fazą szklaną (1, 3). W niniejszej pracy zamiast nieprecyzyjnego określenia „przepuszczalność wody” przyjęto pojęcia sorpcji wody oraz

INTRODUCTION

Glass-ionomer materials belong to the group of restorative materials with a documented ability to exchange ions with their surrounding environment. Fluoride ion release is considered a factor that may help reduce demineralization and support remineralization processes, particularly at the material–tooth tissue interface (1-3). The kinetics of fluoride ion release are generally described as an initial “burst release” phase during the first 24-48 hours, followed by a phase of slower, relatively stable release (4-10).

Conventional glass-ionomer cements (GICs) primarily set through an acid–base reaction between fluoroaluminosilicate glass and polyacid. Resin-modified glass-ionomer cements (RMGICs/RMGIs) combine this mechanism with polymerization of monomers, most commonly HEMA and/or other methacrylate monomers, while the carboxyl groups of the methacrylic polyacid also participate in the reaction with the glass phase (1-3). In this study, instead of the imprecise term “water permeability”, the terms water sorption and water diffusion through the material matrix were adopted. These phenomena may affect the microstructure, ion transport pathways, and, consequently, the

dyfuzji wody przez matrycę materiału. Zjawiska te mogą wpływać na mikrostrukturę, drogi transportu jonów i w konsekwencji na kinetykę uwalniania anionów fluorkowych (1-3). W praktyce klinicznej różnice w kinetyce uwalniania jonów fluorkowych mogą mieć znaczenie m.in. u pacjentów z wysokim ryzykiem próchnicy, w uzupełnieniach przyszykowych oraz w sytuacjach wymagających dodatkowej ochrony tkanek twardych (1-3).

Istotnym uzupełnieniem koncepcji „materiału uwalniającego jony fluorkowe” jest jego zdolność do wychwytu zwrotnego, rozumiana jako zwiększenie późniejszego uwalniania jonów fluorkowych po ekspozycji materiału na zewnętrzne źródło związków fluoru lub anionów fluorkowych (np. płukanki, żele, pasty) (1, 11-18). W literaturze opisywane są protokoły wychwytu zwrotnego o dużym zróżnicowaniu (stężenia, czas ekspozycji, częstość powtórzeń), co utrudnia porównania międzybadaniowe (2, 9, 11, 13, 15-19).

CEL PRACY

Celem pracy jest systematyczne zestawienie i porównanie ilości oraz kinetyki uwalniania jonów fluorkowych z konwencjonalnych cementów szkło-jonomerowych (GIC) oraz cementów szkło-jonomerowych modyfikowanych żywicą (RMGIC/RMGI) stosowanych w ubytkach próchnicowych, z uwzględnieniem: 1) fazy wczesnej i późnej uwalniania oraz 2) zdolności do wychwytu zwrotnego i ponownego uwalniania jonów fluorkowych po ekspozycji na źródło związków fluoru (4-7, 11-15, 20).

MATERIAŁ I METODY

Protokół i raportowanie (PRISMA)

Przegląd przeprowadzono zgodnie z wytycznymi PRISMA 2020 (21). Protokół przeglądu opracowano przed rozpoczęciem selekcji pełnych tekstów. Ze względu na dominację badań *in vitro* rejestracja w PROSPERO nie została wykonana.

Kryteria włączenia i wykluczenia

Włączenie:

- badania porównawcze konwencjonalnych cementów szkło-jonomerowych (GIC) vs cementów szkło-jonomerowych modyfikowanych żywicą (RMGIC/RMGI),
- badania *in vitro* lub *in situ*,
- ilościowy pomiar uwalniania jonów fluorkowych (punktowo i/lub skumulowanie) i/lub pomiar wychwytu zwrotnego lub ponownego uwalniania po ekspozycji na związki fluoru,
- jasno opisany materiał (nazwa handlowa lub skład/typ),
- dostępne pełne teksty publikacji.

Wykluczenie:

- materiały zawierające reszty karboksylowe polikwasu metakrylowego lub kompozytowe bez fazy reakcji kwas-zasada typowej dla cementów szkło-jonomerowych, chyba że stanowiły grupę dodatkową w badaniu porównawczym,

kinetics of fluoride anion release (1-3). In clinical practice, differences in the kinetics of fluoride ion release may be relevant, among other situations, in patients at high risk of caries, in cervical restorations, and when additional protection of hard dental tissues is required (1-3).

An important complement to the concept of a “fluoride ion-releasing material” is its ability to undergo fluoride recharge, understood as an increase in subsequent fluoride ion release following exposure of the material to an external source of fluoride compounds or fluoride anions (e.g., mouthrinses, gels, or toothpastes) (1, 11-18). The literature describes highly heterogeneous fluoride recharge protocols, differing in concentration, exposure time, and frequency of application, which makes comparisons between studies difficult (2, 9, 11, 13, 15-19).

AIM

The aim of this study is to systematically compile and compare the amount and kinetics of fluoride ion release from conventional glass-ionomer cements (GICs) and resin-modified glass-ionomer cements (RMGICs/RMGIs) used in carious lesions, with consideration of: 1) the early and late phases of fluoride release and 2) the ability to undergo fluoride recharge and subsequent fluoride ion release following exposure to a source of fluoride compounds (4-7, 11-15, 20).

MATERIAL AND METHODS

Protocol and Reporting (PRISMA)

The review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines (21). The review protocol was developed before the full-text screening process began. Due to the predominance of *in vitro* studies, registration in PROSPERO was not performed.

Inclusion and Exclusion Criteria

Inclusion criteria:

- comparative studies of conventional glass-ionomer cements (GICs) versus resin-modified glass-ionomer cements (RMGICs/RMGIs),
- *in vitro* or *in situ* studies,
- quantitative measurement of fluoride ion release (point measurements and/or cumulative release) and/or measurement of fluoride recharge or subsequent fluoride release following exposure to fluoride compounds,
- clearly described material (commercial name or composition/type),
- full-text publication available.

Exclusion criteria:

- materials containing methacrylic polyacid carboxyl groups or composite materials without the acid-base reaction phase characteristic of glass-ionomer cements, unless they constituted an additional group in a comparative study,
- lack of quantitative data (qualitative descriptions only),

- brak danych ilościowych (wyłącznie opis jakościowy),
- prace przeglądowe (wykorzystywane wyłącznie do identyfikacji badań pierwotnych),
- duplikaty publikacji (wybierano najbardziej kompletną wersję danych),
- brak dostępności pełnych tekstów publikacji.

Źródła informacji i strategia wyszukiwania

Wyszukiwanie przeprowadzono w bazach PubMed oraz Cochrane Library. Uzupełniając przeszukano szarą literaturę (repozytoria dysertacji, preprinty, materiały konferencyjne, raporty techniczne) oraz bibliografie prac włączonych.

Zakres lat: bez ograniczeń (do dnia wyszukiwania: 30.01.2026 r.). Ograniczono do publikacji w języku angielskim i polskim.

Strategia dla PubMed obejmowała grupy pojęć: „glass ionomer cement/GIC”, „resin-modified glass ionomer/RMGIC/RMGI” oraz „fluoride release/fluoride uptake/fluoride recharge”. W Cochrane Library zastosowano analogiczną strukturę zapytania z użyciem tych samych grup pojęć oraz operatorów logicznych AND/OR. Dodatkowo przeprowadzono ręczne sprawdzenie piśmiennictwa badań włączonych i wyszukiwanie szarej literatury.

Selekcja badań

Cztery osoby niezależnie przeprowadziły screening tytułów i streszczeń, następnie ocenę pełnych tekstów.

Postępowanie w przypadku publikacji budzących wątpliwości kwalifikacyjne

W przypadku publikacji, których kwalifikacja do analizy nie była jednoznaczna, zastosowano dodatkowe kryteria decyzyjne. Do głównej syntezy porównawczej włączano wyłącznie badania, w których możliwe było bezpośrednie lub jednoznacznie interpretowalne zestawienie wyników dla konwencjonalnych cementów szkło-jonomerowych (GIC) oraz szkło-jonomerów modyfikowanych żywicą (RMGIC). Warunkiem włączenia było również przedstawienie ilościowych danych dotyczących uwalniania anionów fluorkowych lub ich wychwytu zwrotnego, z podaniem jednostek, punktów czasowych lub opisu pozwalającego na interpretację wyników w obrębie danej publikacji.

Publikacje nieuwzględniające bezpośredniego porównania GIC i RMGIC, dotyczące wyłącznie jednej grupy materiałów albo obejmujące materiały spoza klasy szkło-jonomerów, nie były włączane do głównej analizy porównawczej. Mogły natomiast zostać wykorzystane pomocniczo w części dyskusyjnej, jeżeli dostarczały istotnych informacji dotyczących mechanizmu uwalniania anionów fluorkowych, wychwytu zwrotnego anionów fluorkowych, wpływu medium, pH lub innych aspektów metodycznych. W przypadku rozbieżności decyzja o włączeniu lub wyłączeniu publikacji była podejmowana w drodze dyskusji autorów, z uwzględnieniem zgodności pracy z celem przeglądu oraz możliwości porównania wyników z pozostałymi badaniami.

- review articles (used solely to identify primary studies),
- duplicate publications (the most complete version of the data was selected),
- full text unavailable.

Information Sources and Search Strategy

The search was conducted in the PubMed and Cochrane Library databases. In addition, grey literature was searched, including dissertation repositories, preprints, conference materials, and technical reports, and the reference lists of the included studies were manually screened.

Date range: no restrictions (up to the search date: January 30, 2026). The search was limited to publications in English and Polish.

The PubMed search strategy included the following concept groups: “glass ionomer cement/GIC”, “resin-modified glass ionomer/RMGIC/RMGI”, and “fluoride release/fluoride uptake/fluoride recharge”. An analogous search structure using the same concept groups and Boolean AND/OR operators was applied in the Cochrane Library. In addition, the references of included studies were manually screened and grey literature was searched.

Study Selection

Four independent reviewers performed the screening of titles and abstracts, followed by full-text assessment.

Handling of Publications with Uncertain Eligibility

For publications whose eligibility for inclusion in the analysis was not unequivocal, additional decision criteria were applied. Only studies in which the results for conventional glass-ionomer cements (GICs) and resin-modified glass-ionomer cements (RMGICs) could be directly or unambiguously compared were included in the main comparative synthesis. An additional inclusion criterion was the availability of quantitative data on fluoride anion release or fluoride recharge, with reported units, time points, or a description allowing interpretation of the results within the given publication.

Publications that did not include a direct comparison of GICs and RMGICs, concerned only one material group, or involved materials outside the glass-ionomer class were not included in the main comparative analysis. However, they could be used as supplementary sources in the Discussion if they provided relevant information on the mechanisms of fluoride anion release, fluoride recharge, the influence of the medium or pH, or other methodological aspects. In cases of disagreement, the decision to include or exclude a publication was made through discussion among the authors, taking into account the consistency of the study with the aim of the review and the possibility of comparing its results with those of the other studies.

Data Extraction

The following data were extracted: material type (GIC/RMGIC/RMGI), commercial name, specimen preparation

Ekstrakcja danych

Ekstrahowano: typ materiału (GIC/RMGIC/RMGI), nazwę handlową, sposób przygotowania próbek (wymiar, powierzchnia), medium przechowywania, pH/temperaturę, metodę oznaczania anionów fluorkowych (np. elektroda jonoselektywna), zastosowanie buforu TISAB, punkty czasowe, jednostki (ppm F⁻, µg F⁻, µg F⁻/cm²), wyniki (średnia ± OS, a gdy nie były dostępne – zakres), protokoły wychwytu zwrotnego (źródło związków fluoru, stężenie, czas ekspozycji), a także informacje potrzebne do oceny ryzyka błędu.

Punkty końcowe

Pierwotny: ilość uwalnianych jonów fluorkowych (punktowo i/lub skumulowanie) w ustandaryzowanej jednostce na powierzchnię (preferowane µg F⁻/cm²) w czasie.

Wtórne:

- parametry wychwytu zwrotnego i ponownego uwalniania (zmiana tempa/ilości uwalniania po ekspozycji na związki fluoru lub ich aniony),
- wpływ medium (woda vs sztuczna ślina), pH oraz protokołu przygotowania,
- porównanie fazy wczesnej (0-48 h) i późnej (≥ 7 dni).

Ocena jakości badań

Jakość badań *in vitro* oceniono narzędziem QUIN (Quality Assessment Tool for In Vitro Studies) (22). Dla badań *in situ* zastosowano uzupełniającą ocenę ryzyka błędu (kryteria: randomizacja kolejności, zaślepienie pomiaru, kompletność danych, standaryzacja procedur).

Synteza danych

Ze względu na znaczną heterogeniczność metodyczną przeprowadzono syntezę narracyjną. Metaanalizy nie wykonano, ponieważ badania różniły się medium, pH, geometrią próbek, punktami czasowymi, jednostkami oraz kompletnością danych wariancji. Tam, gdzie było to możliwe, wyniki przeliczano do wspólnej jednostki (µg F⁻/cm²), jednak przeliczenia traktowano jako pomocnicze i nie łączono ich statystycznie.

Metody statystyczne: nie wykonywano nowej analizy statystycznej ani metaanalizy. Dane liczbowe przedstawiono opisowo jako wartości raportowane w publikacjach źródłowych. Średnie i odchylenia standardowe zachowano tam, gdzie były dostępne; jeżeli publikacja źródłowa podawała wyłącznie zakresy lub dane zagregowane, oznaczono to w tabelach i nie estymowano odchylenia standardowego na podstawie zakresu. Stosunek GIC/RMGIC lub GIC/RMGI obliczano jedynie jako pomocniczy wskaźnik kierunku różnic między grupami.

WYNIKI

W wyniku przeszukiwania baz danych zidentyfikowano 42 rekordy. Po usunięciu 5 duplikatów do etapu screeningu zakwalifikowano 37 pozycji, z czego 3 odrzucono na podstawie tytułu i streszczenia. Do oceny pełnotekstowej włączono

method (dimensions and surface area), storage medium, pH/temperature, method of fluoride anion determination (e.g., ion-selective electrode), use of TISAB buffer, time points, units (ppm F⁻, µg F⁻, µg F⁻/cm²), results (mean ± SD, or range when SD was unavailable), fluoride recharge protocols (source of fluoride compounds, concentration, exposure time), as well as information required for risk-of-bias assessment.

Outcomes

Primary outcome: amount of fluoride ion release (point measurements and/or cumulative release) expressed in a standardized unit per surface area (preferably µg F⁻/cm²) over time.

Secondary outcomes:

- fluoride recharge and subsequent fluoride release parameters (change in the rate/amount of release following exposure to fluoride compounds or fluoride anions),
- influence of the medium (water vs. artificial saliva), pH, and specimen preparation protocol,
- comparison of the early phase (0-48 h) and late phase (≥ 7 days).

Quality Assessment

The quality of the *in vitro* studies was assessed using the QUIN (Quality Assessment Tool for In Vitro Studies) tool (22). For *in situ* studies, a supplementary risk-of-bias assessment was performed based on the following criteria: randomization of the sequence, blinding of measurements, completeness of data, and standardization of procedures.

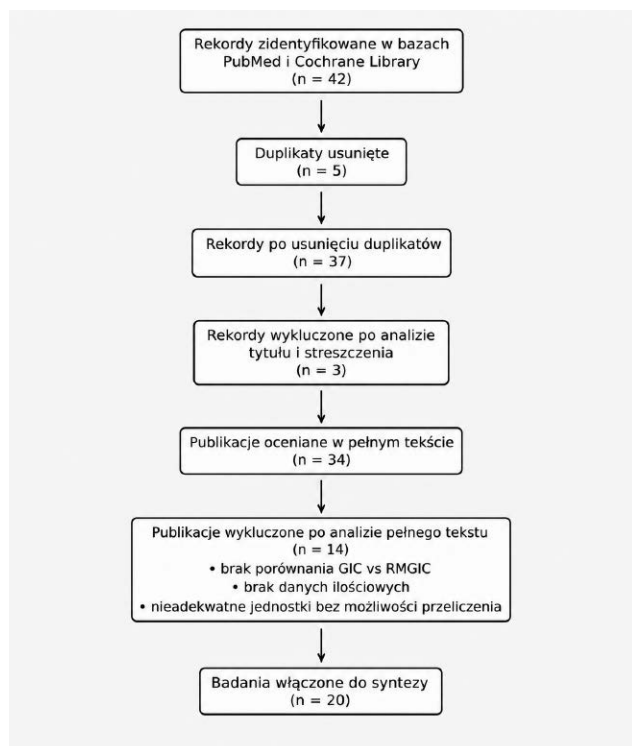
Data Synthesis

Due to substantial methodological heterogeneity, a narrative synthesis was performed. No meta-analysis was conducted because the studies differed in terms of storage medium, pH, specimen geometry, time points, measurement units, and completeness of variance data. Where possible, results were converted to a common unit (µg F⁻/cm²); however, these conversions were considered supplementary and the results were not statistically pooled.

Statistical methods: No new statistical analysis or meta-analysis was performed. Numerical data were presented descriptively as reported in the original publications. Means and standard deviations were retained when available; when the source publication reported only ranges or aggregated data, this was indicated in the tables and standard deviations were not estimated from the ranges. The GIC/RMGIC or GIC/RMGI ratio was calculated only as a supplementary indicator of the direction of differences between the groups.

RESULTS

The database search identified 42 records. After removal of 5 duplicates, 37 records proceeded to the screening stage, of which 3 were excluded based on the title and abstract.



Ryc. 1. Diagram przepływu PRISMA 2020 przedstawiający identyfikację, selekcję i włączenie badań do syntezy

34 publikacje, a 14 wykluczono po analizie pełnego tekstu. Ostatecznie do przeglądu włączono 20 badań (ryc. 1). Najczęstsze powody wykluczenia pełnych tekstów obejmowały: brak porównania GIC vs RMGIC/RMGI, brak danych ilościowych oraz nieadekwatne jednostki bez możliwości przeliczenia.

Charakterystyka badań

Badania obejmowały zarówno modele *in vitro* (próbki materiałów o zadanych wymiarach), jak i modele *in situ* (próbki eksponowane w jamie ustnej w aparatach/wyjmowanych szynach). Znaczna zmienność dotyczyła: medium przechowywania (woda, sztuczna ślina, roztwory buforowe), pH (stałe vs cykliczne), temperatury, częstotliwości wymiany medium, a także metody raportowania wyników (ppm F⁻, µg F⁻, µg F⁻/cm²) (tab. 1A, B). Informacje o zastosowaniu buforu TISAB zestawiono w sposób jednolity: wskazano je wtedy, gdy były podane w publikacji źródłowej, natomiast brak takiej informacji oznaczono jako „nie raportowano”.

Uwalnianie jonów fluorkowych: faza wczesna i późna

W większości badań obserwowano wyraźny wzrost uwalniania jonów fluorkowych w pierwszych 24-48 godzinach, interpretowany jako *burst release* (4-10). W części prac konwencjonalne GIC osiągały wyższe wartości w fazie wczesnej w porównaniu z RMGIC/RMGI, co może wynikać z różnic w rodzaju materiału, mikrostrukturze oraz dostępności fazy wodnej w matrycy (1, 3, 4, 8, 20). Potwierdzają to dane ilościowe zestawione w tabelach 2-5. W okresie

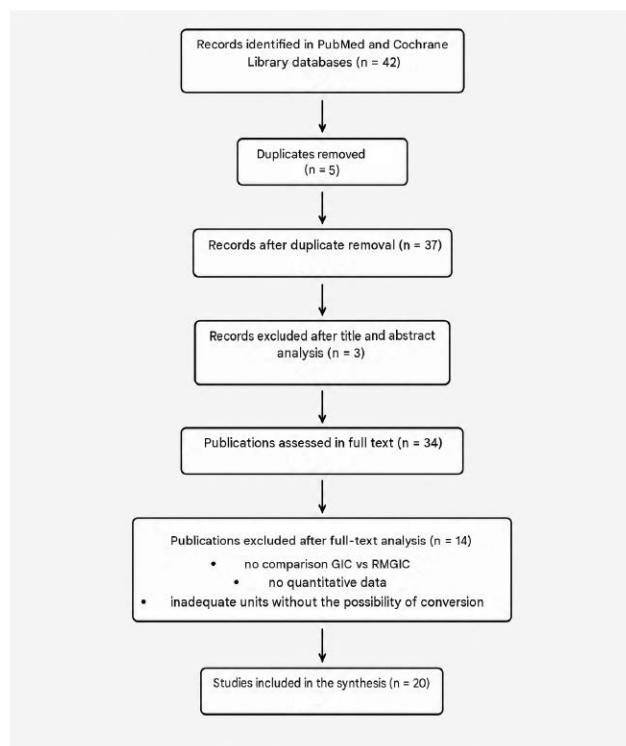


Fig. 1. PRISMA 2020 flow diagram illustrating the identification, screening, and inclusion of studies in the synthesis

Thirty-four publications underwent full-text assessment, and 14 were excluded after full-text analysis. Ultimately, 20 studies were included in the review (fig. 1). The most common reasons for full-text exclusion were lack of a GIC vs. RMGIC/RMGI comparison, lack of quantitative data, and inappropriate units that could not be converted.

Study Characteristics

The studies included both *in vitro* models (material specimens with predefined dimensions) and *in situ* models (specimens exposed to the oral environment using appliances or removable splints). Considerable variability was observed in the storage medium (water, artificial saliva, buffer solutions), pH (constant vs. cyclic), temperature, frequency of medium replacement, and method of reporting results (ppm F⁻, µg F⁻, µg F⁻/cm²) (tab. 1A, B). Information regarding the use of TISAB buffer was reported consistently: it was indicated when specified in the original publication, whereas the absence of such information was recorded as “not reported”.

Fluoride Ion Release: Early and Late Phases

Most studies demonstrated a pronounced increase in fluoride ion release during the first 24-48 hours, interpreted as a “burst release” phase (4-10). In some studies, conventional GICs reached higher values during the early phase compared with RMGICs/RMGIs, which may result from differences in material composition, microstructure, and the availability of the aqueous phase within the matrix (1, 3, 4, 8, 20). These findings are supported by the quantitative data presented in

Tab. 1A. Charakterystyka badań uwzględnionych w syntezie z określonymi punktami czasowymi (4-7, 8, 9, 11-15, 20)

Badanie	Projekt	Materiały GIC	Materiały RMGIC/ RMGI	Środowisko/protokół pomiaru F ⁻	Punkty czasowe
Cabral 2015 (20)	<i>in vitro</i>	Vidrion R; Vitro Fil; Vitro Molar; Bioglass R; Ketac Fil	Vitremer; Vitro Fil LC; Resiglass	model demin./remin. (pH-cycling); oznaczanie F ⁻ w eluacie (ISE); TISAB: nie raportowano w zestawieniu źródłowym)	dzień 1., dzień 2., dzień 7., dzień 15.; suma 15 dni
Marković 2008 (11)	<i>in vitro</i>	Fuji Triage; Fuji VIII; Fuji IX GP i inne materiały GIC	Fuji II LC; Ketac N100 i inne materiały RMGIC	roztwór soli fizjologicznej (I medium), roztwory kwasu mlekowego oraz kwasu solnego (II medium pH = 2,5; III medium pH = 5,5), roztwór fluorku sodu (IV medium); krótka ekspozycja na NaF jako etap wychwyty zwrotnego	7 dni + etap wychwyty zwrotnego
Upadhyay 2013 (4)	<i>in vitro</i>	konwencjonalny GIC	RMGI	woda dejonizowana; ISE; TISAB: nie raportowano w zestawieniu źródłowym	dzień 1., dzień 2., dzień 7., dzień 15., dzień 30.
Selimović- Dragaš 2013 (5)	<i>in vitro</i>	Fuji Triage; Fuji IX GP Fast; Ketac Silver	Fuji II LC; Fuji Plus; Vitrebond	wodny/salinowy eluat; ocena wczesnego uwalniania jonów fluorkowych	8 godzin i 24 godziny
Dziuk 2021 (6)	<i>in vitro</i>	Fuji ORTHO; Meron; Ketac Cem Easymix	Fuji ORTHO LC; Meron Plus QM	próbki na dyskach hydroksyapatytowych; TISAB III i woda bez jonów fluorkowych; 37°C	5 minut, 2 godziny, 24 godziny, 14 dni, 28 dni, 2-6 miesięcy
Nigam 2009 (7)	<i>in vitro</i>	Glass ionomer cement (Material I)	Resin modified glass ionomer cement (Material II)	3 media: woda, sztuczna ślina, pH-cycling; ISE + TISAB	dzień 1., dzień 2., dzień 5., dzień 9., dzień 15.
Kucukylmaz 2017 (12)	<i>in vitro</i>	GC Equia; GCP Glass Fill (HVGIC)	Ketac N100 (nanoionomer/RMGI)	przed ekspozycją/po ekspozycji na 1,23% żel APF; ISE; TISAB: nie raportowano w zestawieniu źródłowym	do 49 dni + etap ponownego uwalniania
Nagi 2018 (13)	<i>in vitro</i>	nie dotyczy/brak klasycznego GIC w porównaniu głównym	Fuji II LC; ACTIVA Bioactive-Restorative (enhanced RMGI)	woda dejonizowana; wychwyty zwrotny po ekspozycji na żel fluorkowy; TISAB: nie raportowano w zestawieniu źródłowym	1, 2, 7, 14, 21, 28 dni (przed wychwytem/ po wychwyty zwrotnym)
Jingarwar 2014 (9)	<i>in vitro</i>	GC2	Ketac N100; dodatkowo inne materiały odtwórcze	woda dejonizowana, sztuczna ślina i kwas mlekowy; ocena uwalniania/reabsorpcji	24 godziny, 7 i 15 dni oraz etap reabsorpcji

późniejszym ($\geq 7-28$ dni) różnice między grupami były mniejsze i często mieściły się w granicach zmienności wynikającej z warunków testu (2, 4, 7-9, 20). Badanie z długim okresem obserwacji (do 6 miesięcy) potwierdza utrzymywanie się uwalniania jonów fluorkowych w czasie, choć o malejącej intensywności (5) (tab. 3, 4) (ryc. 3-6).

Wyniki w największym stopniu różnicowały: 1) rodzaj materiału, 2) rodzaj medium oraz częstotliwość jego wymiany, 3) przeliczenie na powierzchnię próbki, 4) pH oraz protokoły cykli de-/remineralizacji (2, 4, 7-9, 18-20) (tab. 2-4, ryc. 2-6). W badaniach, w których raportowano wyniki na jednostkę powierzchni, obserwowano lepszą porównywalność między pracami, lecz nadal pozostawały różnice wynikające z geometrii próbek oraz sposobu polerowania (2, 4, 7-9, 19, 20).

tables 2-5. During the later period ($\geq 7-28$ days), differences between the groups were smaller and often fell within the range of variability attributable to the test conditions (2, 4, 7-9, 20). A study with a long follow-up period of up to 6 months confirmed that fluoride ion release persisted over time, although with progressively decreasing intensity (5) (tab. 3, 4; figs. 3-6).

The factors contributing most to differences in results were: 1) material type, 2) storage medium and frequency of medium replacement, 3) normalization to specimen surface area, and 4) pH and demineralization/remineralization cycle protocols (2, 4, 7-9, 18-20) (tab. 2-4; figs. 2-6). In studies reporting results per unit surface area, comparability between studies was improved; however, differences related

Tab. 1A. Characteristics of studies included in the synthesis with specific time points (4-7, 8, 9, 11-15, 20)

Test	Design	GIC Materials	RMGIC/RMGI Materials	Environment/protocol measurement F ⁻	Time points
Cabral 2015 (20)	<i>in vitro</i>	Vidrion R; Vitro Fil; VitroMolar; Bioglass R; Ketac Fil	Vitremer; Vitro Fil LC; Resiglass	demin./remin. model (pH-cycling); determination of F ⁻ in the eluate (ISE); TISAB: not reported in the source summary)	day 1, day 2, day 7, day 15; total 15 days
Markovic 2008 (11)	<i>in vitro</i>	Fuji Triage; Fuji VIII; Fuji IX GP and other GIC materials	Fuji II LC; Ketac N100 and other RMGIC materials	physiological saline solution (I medium), lactic acid and hydrochloric acid solutions (II medium pH = 2.5; III medium pH = 5.5), sodium fluoride solution (IV medium); short exposure to NaF as a reuptake step	7 days + reuptake stage
Upadhyay 2013 (4)	<i>in vitro</i>	conventional GIC	RMGI	deionized water; ISE; TISAB: not reported in the source statement	day 1, day 2, day 7, day 15, day 30.
Selimović-Dragaš 2013 (5)	<i>in vitro</i>	Fuji Triage; Fuji IX GP Fast; Ketac Silver	Fuji II LC; Fuji Plus; Vitrebond	aqueous/saline eluate; evaluation of early fluoride ion release	8 hours and 24 hours
Dziuk 2021 (6)	<i>in vitro</i>	Fuji ORTHO; Meron; Ketac Cem Easymix	Fuji ORTHO LC; Meron Plus QM	samples on hydroxyapatite discs; TISAB III and fluoride-free water; 37°C	5 minutes, 2 hours, 24 hours, 14 days, 28 days, 2-6 months
Nigam 2009 (7)	<i>in vitro</i>	Glass ionomer cement (Material I)	Resin modified glass ionomer cement (Material II)	3 media: water, artificial saliva, pH-cycling; ISE + TISAB	day 1, day 2, day 5, day 9, day 15.
Kucukyilmaz 2017 (12)	<i>in vitro</i>	GC Equia; GCP Glass Fill (HVGIC)	Ketac N100 (nanoionomer/RMGI)	before/after exposure to 1.23% APF gel; ISE; TISAB: not reported in the source summary	up to 49 days + re-release stage
Naked 2018 (13)	<i>in vitro</i>	not applicable/no classic GIC in the main comparison	Fuji II LC; ACTIVA Bioactive-Restorative (enhanced RMGI)	deionized water; reuptake after exposure to fluoride gel; TISAB: not reported in the source summary	1, 2, 7, 14, 21, 28 days (before uptake/after reuptake)
Jingarwar 2014 (9)	<i>in vitro</i>	GC2	Ketac N100; additionally other restorative materials	deionized water, artificial saliva, and lactic acid; release/reabsorption assessment	24 hours, 7 and 15 days and the reabsorption stage

Piśmiennictwo uzupełniające potwierdza, że porównania między materiałami powinny być interpretowane ostrożnie, ponieważ wyniki mogą zależeć nie tylko od klasy materiału, ale również od medium przechowywania, pH, sposobu przygotowania próbek, obecności powłoki ochronnej oraz typu materiału fluorkowego, np. GIC, RMGIC, GIOMER, kompomier lub sealant (1, 2, 8-10, 16-19, 23).

Zdolność do wychwytu zwrotnego jonów fluorkowych

Zdolność do wychwytu zwrotnego jonów fluorkowych była raportowana zarówno dla GIC, jak i RMGIC/RMGI (9, 11-19), jednak jej wielkość oraz kierunek zmian różniły się w zależności od zastosowanego protokołu i materiału (tab. 6, ryc. 8, 9). Najczęściej stosowano ekspozycję na roztwory NaF, żełe fluorkowe, pasty lub inne źródła związków fluoru o zróżnicowanym stężeniu i czasie kontaktu, po czym mierzono

to specimen geometry and polishing procedures remained (2, 4, 7-9, 19, 20).

Supplementary literature confirms that comparisons between materials should be interpreted cautiously because results may depend not only on material class but also on storage medium, pH, specimen preparation method, presence of a protective coating, and the type of fluoride-releasing material, such as GIC, RMGIC, giomer, compomer, or sealant (1, 2, 8-10, 16-19, 23).

Fluoride ion recharge capacity

The ability to undergo fluoride recharge was reported for both GICs and RMGICs/RMGIs (9, 11-19); however, the magnitude and direction of changes varied depending on the protocol and material used (tab. 6; figs. 8, 9). Most commonly, specimens were exposed to NaF solutions,

Tab. 1B. Charakterystyka badań uwzględnionych w syntezie bez pełnej charakterystyki czasowej (1, 2, 8-10, 14-19, 23)

Badanie	Projekt/rola w pracy	Materiały GIC	Materiały RMGIC/RMGI lub pokrewne	Środowisko/protokół
Islam 2025 (14)	<i>in vitro</i>	GIC (1 grupa)	RMGICL (liner); RMGICR (restorative)	pomiar uwalniania i wychwytu zwrotnego F ⁻ wg definicji autorów; elektroda fluorkowa + TISAB
Chung 1996 (15)	<i>in vivo</i> / <i>in situ</i>	nie dotyczy/badanie dotyczyło RMGIC w warunkach ortodontycznych	RMGIC do ortodoncji (wg dysertacji)	ocena uwalniania i poboru F ⁻ w warunkach klinicznych (ortodoncja)
Brenes-Alvarado 2021 (8)	<i>in vitro</i>	10 materiałów GIC	5 materiałów RMGIC	warunki pH-cycling imitujące proces próchnicowy; raportowanie wyników uwalniania jonów fluorkowych
Bansal 2015 (16)	<i>in vitro</i>	Fuji II	Fuji II LC; dodatkowo giomer i kompomer	ocena uwalniania i ponownego uwalniania po reabsorpcji; reżim profesjonalny i domowy
Mathias 2022 (17)	<i>in vitro</i>	GIC	RMGIC; dodatkowo inne materiały pediatryczne	porównanie uwalniania jonów fluorkowych przed i po reabsorpcji
Bayrak 2010 (18)	<i>in vitro</i>	materiały szkło-jonomerowe stosowane jako sealanty	materiały pokrewne stosowane jako uszczelniacze	ocena uwalniania/reabsorpcji z materiałów do uszczelniania bruzd
Mousavinasab 2009 (10)	<i>in vitro</i>	Fuji IX; Fuji II i inne GIC	materiały pokrewne: kompomer i giomer	woda dejonizowana; ocena uwalniania jonów fluorkowych
Nicholson 2023 (1)	przegląd	GIC	RMGIC oraz inne szkło-jonomery	praca przeglądowa dotycząca wymiany jonów fluorkowych i znaczenia klinicznego
Krajangta 2022 (19)	<i>in vitro</i>	wysokolepki GIC	nie dotyczy	wpływ powłoki ochronnej na uwalnianie/reabsorpcję
Nishanthine 2022 (23)	<i>in vitro</i>	GIC modyfikowany chitozanem	nie dotyczy	wpływ modyfikacji składu materiału na uwalnianie jonów fluorkowych
Kumari 2019 (2)	przegląd	materiały ART na bazie GIC	materiały pokrewne stosowane w ART	praca przeglądowa dotycząca czynników wpływających na uwalnianie jonów fluorkowych

Tab. 2. Cabral 2015: kinetyka uwalniania jonów fluorkowych ($\mu\text{g F}^-/\text{cm}^2$) w modelu pH-cycling (20)

Grupa	Dzień 1.	Dzień 2.	Dzień 7.	Dzień 15.	Suma 15 dni
GIC (średnia z 5 materiałów)	37,08 $\pm$ 12,29	23,54 $\pm$ 9,94	14,65 $\pm$ 6,42	12,05 $\pm$ 6,18	246,60 $\pm$ 102,36
RMGIC (średnia z 3 materiałów)	40,59 $\pm$ 10,81	26,07 $\pm$ 6,13	13,07 $\pm$ 2,85	9,14 $\pm$ 3,26	232,03 $\pm$ 44,12

Dane przedstawiono jako średnia $\pm$ OS. Średnie i OS obliczono na podstawie wartości średnich raportowanych dla poszczególnych materiałów w obrębie grupy: GIC, n = 5 materiałów; RMGIC, n = 3 materiały. Nie są to odchylenia standardowe z poziomu pojedynczych próbek

Tab. 3. Upadhyay 2013: uwalnianie jonów fluorkowych (ppm F⁻) w wodzie dejonizowanej (średnia $\pm$ OS) (4)

Grupa	Dzień 1. (ppm F ⁻)	Dzień 2. (ppm F ⁻)	Dzień 7. (ppm F ⁻)	Dzień 15. (ppm F ⁻)	Dzień 30. (ppm F ⁻)
GIC (konwencjonalny)	3,38 $\pm$ 0,42	0,88 $\pm$ 0,18	2,51 $\pm$ 0,37	1,42 $\pm$ 0,16	1,85 $\pm$ 0,10
RMGI	2,88 $\pm$ 0,49	0,77 $\pm$ 0,19	2,06 $\pm$ 0,18	2,02 $\pm$ 0,41	2,19 $\pm$ 0,15

OS – odchylenie standardowe

zwiększone uwalnianie jonów fluorkowych w kolejnych dobach (9, 11, 13, 15-19). Wielkość wychwytu zwrotnego była silnie zależna od schematu ekspozycji (jednorazowa vs powtarzalna), a także od warunków przechowywania między ekspozycjami (2, 9, 11, 13-19). W części badań RMGIC/RMGI wykazywały wychwyt zwrotny porównywalny z GIC, jednak w innych obserwowano niższą odpowiedź materiałów modyfikowanych żywicą (9, 12-14, 16, 17).

fluoride gels, toothpastes, or other sources of fluoride compounds at varying concentrations and exposure times, after which an increase in subsequent fluoride ion release was measured over the following days (9, 11, 13, 15-19). The magnitude of fluoride recharge was strongly dependent on the exposure protocol (single vs. repeated exposure) as well as the storage conditions between exposures (2, 9, 11, 13-19).

Tab. 1B. Characteristics of studies included in the synthesis without full time characterization (1, 2, 8-10, 14-19, 23)

Test	Project/ work role	GIC Materials	RMGIC/RMGI or related materials	Environment/protocol
Islam 2025 (14)	<i>in vitro</i>	GIC (1 group)	RMGICL (liner); RMGICR (restorative)	F ⁻ release and reuptake measurement according to authors' definitions; fluoride electrode + TISAB
Chung 1996 (15)	<i>in vivo/in situ</i>	not applicable/the study concerned RMGIC in orthodontic conditions	RMGIC for orthodontics (according to the dissertation)	evaluation of F ⁻ release and uptake in clinical conditions (orthodontics)
Brenes-Alvarado 2021 (8)	<i>in vitro</i>	10 GIC materials	5 RMGIC materials	cycling conditions imitating the caries process; reporting fluoride ion release results
Bansal 2015 (16)	<i>in vitro</i>	Fuji II	Fuji II LC; additionally giomer and compomer	Assessment of release and re-release after reabsorption; professional and home regimen
Mathias 2022 (17)	<i>in vitro</i>	GIC	RMGIC; plus other pediatric materials	comparison of fluoride ion release before and after reabsorption
Bayrak 2010 (18)	<i>in vitro</i>	glass ionomer materials used as sealants	related materials used as sealants	evaluation of release/reabsorption from fissure sealants
Mousavinasab 2009 (10)	<i>in vitro</i>	Fuji IX; Fuji II and other GICs	related materials: compomer and giomer	deionized water; evaluation of fluoride ion release
Nicholson 2023 (1)	review	GIC	RMGIC and other glass ionomers	a review of fluoride ion exchange and its clinical significance
Krajangta 2022 (19)	<i>in vitro</i>	high viscosity GIC	NO refers to	the effect of the protective coating on release/reabsorption
Nishanthine 2022 (23)	<i>in vitro</i>	Modified GIC chitosan	NO refers to	the effect of modifying the material composition on the release of fluoride ions
Kumari 2019 (2)	review	GIC-based ART materials	related materials used in ART	a review of factors influencing the release of fluoride ions

Tab. 2. Cabral 2015: Fluoride ion release kinetics ($\mu\text{g F}^-/\text{cm}^2$) in the pH-cycling model (20)

Group	Day 1.	Day 2.	Day 7.	Day 15.	Total 15 days
GIC (average of 5 materials)	37.08 $\pm$ 12.29	23.54 $\pm$ 9.94	14.65 $\pm$ 6.42	12.05 $\pm$ 6.18	246.60 $\pm$ 102.36
RMGIC (average of 3 materials)	40.59 $\pm$ 10.81	26.07 $\pm$ 6.13	13.07 $\pm$ 2.85	9.14 $\pm$ 3.26	232.03 $\pm$ 44.12

Data are presented as mean $\pm$ SD. Means and SD were calculated based on the average values reported for individual materials within the group: GIC, n = 5 materials; RMGIC, n = 3 materials. These are not standard deviations from the individual sample level

Tab. 3. Upadhyay 2013: Fluoride ion release (ppm F⁻) in deionized water (mean $\pm$ SD) (4)

Group	Day 1 (ppm F ⁻)	Day 2 (ppm F ⁻)	Day 7 (ppm F ⁻)	Day 15 (ppm F ⁻)	Day 30 (ppm F ⁻)
GIC (conventional)	3.38 $\pm$ 0.42	0.88 $\pm$ 0.18	2.51 $\pm$ 0.37	1.42 $\pm$ 0.16	1.85 $\pm$ 0.10
RMGI	2.88 $\pm$ 0.49	0.77 $\pm$ 0.19	2.06 $\pm$ 0.18	2.02 $\pm$ 0.41	2.19 $\pm$ 0.15

SD – standard deviation

Uzupełniając, Marković i wsp. oceniali zdolność wychwytu zwrotnego po krótkiej immersji w roztworze NaF (3 min) po 7 dniach przechowywania w różnych środowiskach o odmiennym pH, wskazując na wpływ środowiska na zawartość jonów fluorkowych w warstwie powierzchniowej materiału. Po immersji w roztworze NaF zaobserwowano wzrost stężenia fluoru na powierzchni wszystkich badanych materiałów, co potwierdza ich zdolność do reabsorpcji i ponownego uwalniania jonów fluorkowych. Efekt ten był szczególnie widoczny w próbkach

In some studies, RMGICs/RMGIs demonstrated fluoride recharge comparable to that of GICs, whereas others reported a lower response for resin-modified materials (9, 12-14, 16, 17).

As a supplementary finding, Marković et al. evaluated fluoride recharge capacity following short-term immersion in an NaF solution (3 min) after 7 days of storage in environments with different pH values, demonstrating the influence of the environment on fluoride content in the surface layer of the materials. Following immersion in the

Tab. 4. Nigam 2009: uwalnianie jonów fluorkowych ($\mu\text{g F}^-/\text{cm}^2$; wartości średnie) w trzech środowiskach (7)

Środowisko	Grupa	Dzień 1. (średnia)	Dzień 2. (średnia)	Dzień 5. (średnia)	Dzień 9. (średnia)	Dzień 15. (średnia)
Woda dejonizowana (Medium A)	GIC	57,97	26,622	36,034	38,196	39,156
Woda dejonizowana (Medium A)	RMGIC/RMGI	37,85	22,018	14,054	20,398	26,198
Sztuczna ślina (Medium B)	GIC	38,51	21,92	26,768	22,644	23,96
Sztuczna ślina (Medium B)	RMGIC/RMGI	30,884	10,064	6,618	7,464	9,564
Model pH-cycling (Medium C)	GIC	82,158	54,308	63,45	69,818	74,472
Model pH-cycling (Medium C)	RMGIC/RMGI	63,346	39,352	51,308	54,996	55,43

Tab. 5. Selimović-Dragaš 2013: wczesna faza uwalniania jonów fluorkowych (po 8 godzinach i 24 godzinach; $\mu\text{g/g}$, średnia $\pm$ OS) (5)

Typ materiału	Materiał	Po 8 godzinach	Po 24 godzinach
GIC	Fuji Triage	0,333 $\pm$ 0,200	0,392 $\pm$ 0,201
GIC	Fuji IX GP Fast	4,518 $\pm$ 4,654	3,425 $\pm$ 3,726
GIC	Ketac Silver	0,150 $\pm$ 0,106	0,229 $\pm$ 0,133
RMGIC	Fuji II LC	0,624 $\pm$ 0,332	1,265 $\pm$ 0,568
RMGIC	Fuji Plus	0,855 $\pm$ 0,385	1,731 $\pm$ 0,738
RMGIC	Vitrebond	9,962 $\pm$ 9,146	12,114 $\pm$ 10,590

OS – odchylenie standardowe

Tab. 6A. Kucukylmaz 2017: stężenie anionów fluorkowych w eluacie przed ekspozycją i po ekspozycji na żel APF (12)

Materiał	Typ materiału	Stężenie anionów fluorkowych w eluacie przed ekspozycją na żel APF, dzień 1. (ppm)	Stężenie anionów fluorkowych w eluacie po ekspozycji na żel APF, dzień 1. (ppm)
GC Equia	GIC/HVGIC	30,576 $\pm$ 6,064	7,643 $\pm$ 2,197
GCP Glass Fill	GIC/HVGIC z nanofluoro/hydroksyapatytem	15,974 $\pm$ 12,497	4,543 $\pm$ 3,072
Ketac N100	nano-RMGIC	1,650 $\pm$ 0,391	1,066 $\pm$ 0,222

Dane pochodzą z wartości średnich i odchyłeń standardowych (OS) raportowanych w tabelach 4 i 5 pracy Kucukylmaz i wsp. APF – 1,23% żel fluorkowo-fosforanowy; D1 – pierwszy dzień pomiaru danego etapu

Tab. 6B. Islam 2025: ilość anionów fluorkowych uwolnionych oraz związanych z etapem ich wychwytu zwrotnego

Materiał/grupa	Typ materiału	Ilość uwolnionych anionów fluorkowych w etapie uwalniania (mg)	Ilość anionów fluorkowych związana z etapem reabsorpcji (mg)
GIC	konwencjonalny cement szkło-jonomerowy	0,217 $\pm$ 0,009	-0,050 $\pm$ 0,030
RMGI L	liner RMGI	0,031 $\pm$ 0,002	0,090 $\pm$ 0,015
GIOMER	materiał typu GIOMER	0,070 $\pm$ 0,003	0,019 $\pm$ 0,009
Composite	kompozyt żywiczny	0,0030 $\pm$ 0,0008	0,022 $\pm$ 0,009
RMGI R	materiał odtwórczy RMGI	0,048 $\pm$ 0,005	-0,0500 $\pm$ 0,0001

Wartości odnoszą się do próbek o jednakowych wymiarach 5 $\times$ 5 $\times$ 2 mm. Wartości ujemne w kolumnie reabsorpcji pozostawiono zgodnie z definicją autorów badania; oznaczają ujemny bilans w etapie pomiaru wychwytu zwrotnego. Dane pochodzą z tabeli 3 pracy Islam i wsp.

przechowywanych wcześniej w środowisku o niskim pH, co wskazuje, że kwaśne warunki sprzyjają procesowi reabsorpcji. Niższe wartości pH powodowały również wzrost uwalniania fluoru, podczas gdy środowisko o wyższym pH ograniczało ten proces. Zjawisko to wiązano z nasilającą się degradacją powierzchni materiału w warunkach kwaśnych (11). Nagi i wsp. wykazali, że po ekspozycji na żel fluorkowy RMGI (Fuji II LC) utrzymuje wyższe wartości uwalniania

NaF solution, an increase in surface fluoride concentration was observed in all tested materials, confirming their ability to take up and subsequently release fluoride ions. This effect was particularly pronounced in specimens previously stored under low-pH conditions, suggesting that acidic conditions may promote the recharge process. Lower pH values also resulted in increased fluoride release, whereas a higher-pH environment limited this process. The phenomenon was

Tab. 4. Nigam 2009: fluoride ion release ($\mu\text{g F}^-/\text{cm}^2$; mean values) in three environments (7)

Environment	Group	Day 1 (average)	Day 2 (average)	Day 5 (average)	Day 9 (average)	Day 15 (average)
Deionized water (Medium A)	GIC	57.97	26.622	36.034	38.196	39.156
Deionized water (Medium A)	RMGIC/RMGI	37.85	22.018	14.054	20.398	26.198
Artificial saliva (Medium B)	GIC	38.51	21.92	26.768	22.644	23.96
Artificial saliva (Medium B)	RMGIC/RMGI	30.884	10.064	6.618	7.464	9.564
pH-cycling model (Medium C)	GIC	82.158	54.308	63.45	69.818	74.472
pH-cycling model (Medium C)	RMGIC/RMGI	63.346	39.352	51.308	54.996	55.43

Tab. 5. Selimović-Dragaš 2013: early phase of fluoride ion release (after 8 hours and 24 hours; $\mu\text{g/g}$, mean $\pm$ SD) (5)

Type material	Material	After 8 hours	After 24 hours
GIC	Fuji Triage	0.333 ± 0.200	0.392 ± 0.201
GIC	Fuji IX GP Fast	4.518 ± 4.654	3.425 ± 3.726
GIC	Ketac Silver	0.150 ± 0.106	0.229 ± 0.133
RMGIC	Fuji II LC	0.624 ± 0.332	1.265 ± 0.568
RMGIC	Fuji Plus	0.855 ± 0.385	1.731 ± 0.738
RMGIC	Vitrebond	9.962 ± 9.146	12.114 ± 10.590

SD – standard deviation

Tab. 6A. Ku cukyilmaz 2017: concentration of fluoride anions in the eluate before and after exposure to APF gel (12)

Material	Type material	Fluoride anion concentration in the eluate before exposure to APF gel, day 1 (ppm)	Fluoride anion concentration in the eluate after exposure to APF gel, day 1 (ppm)
GC Equia	GIC/HVGIC	30.576 ± 6.064	7.643 ± 2.197
G CP Glass Fill	GIC/HVGIC with nanofluoro/ hydroxyapatite	15.974 ± 12.497	4.543 ± 3.072
Ketac N100	nano-RMGIC	1.650 ± 0.391	1.066 ± 0.222

Data are from the mean values and standard deviations (SD) reported in Tables 4 and 5 of Kucukyilmaz et al.

APF – 1.23% fluoride-phosphate gel; D1 – first day of measurement of a given stage

Tab. 6B. Islam 2025: amount of fluoride anions released and bound to the reuptake step

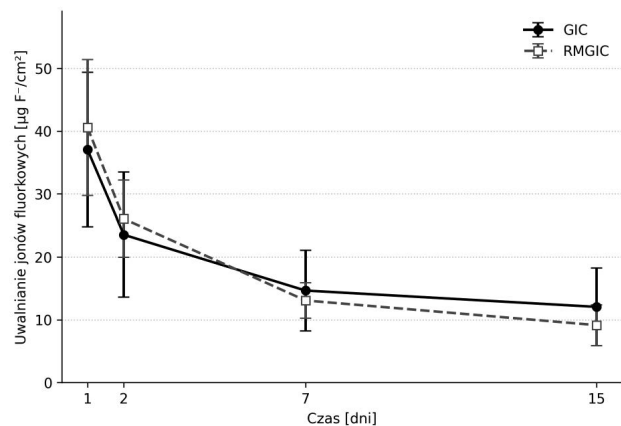
Material/ group	Type material	Amount of fluoride anions released in the release stage (mg)	Amount of fluoride anions associated with the reabsorption step (mg)
GIC	conventional glass ionomer cement	0.217 ± 0.009	-0.050 ± 0.030
RMGI L	RMGI liner	0.031 ± 0.002	0.090 ± 0.015
GIOMER	material GIOMER type	0.070 ± 0.003	0.019 ± 0.009
Composite	composite resinous	0.0030 ± 0.0008	0.022 ± 0.009
RMGI R	material RMGI reproductive	0.048 ± 0.005	-0.0500 ± 0.0001

Values refer to samples with uniform dimensions of $5 \times 5 \times 2$ mm. Negative values in the reabsorption column were retained as defined by the study authors; they indicate a negative balance in the reuptake measurement step. Data are from Table 3 of Islam et al.

jonów fluorkowych niż materiał typu enhanced RMGI w kolejnych punktach czasowych do 28 dni (13). Podobnie inne prace *in vitro* wskazywały, że ponowne uwalnianie po ekspozycji na źródło fluoru może zależeć od rodzaju preparatu fluorkowego, stężenia oraz medium, w którym przechowywano próbki (9, 16-19). W pracy dysercyjnej Chung podkreślono kliniczne znaczenie długotrwałego uwalniania oraz zdolności poboru jonów fluorkowych przez

attribution to increased surface degradation of the material under acidic conditions (11).

Nagi et al. demonstrated that following exposure to fluoride gel, RMGI (Fuji II LC) maintained higher fluoride ion release values than an “enhanced RMGI” material at subsequent time points up to 28 days (13). Similarly, other *in vitro* studies indicated that subsequent fluoride release following exposure to a fluoride source may depend on



Ryc. 2. Cabral 2015: kinetyka uwalniania jonów fluorkowych ($\mu\text{g F}^-/\text{cm}^2$; $\text{średnia} \pm \text{OS}$) w czasie dla GIC i RMGIC w modelu pH-cycling (tab. 2) (20)

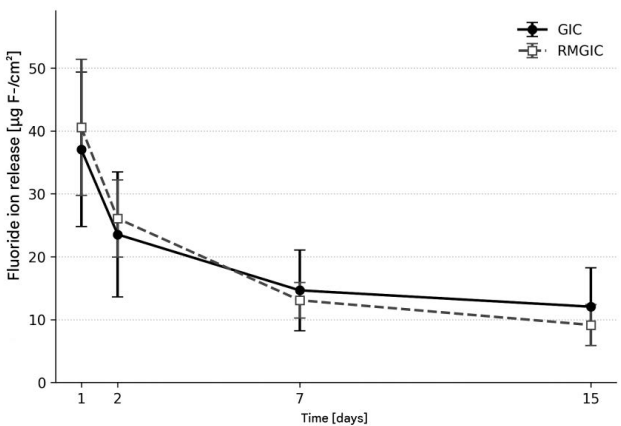
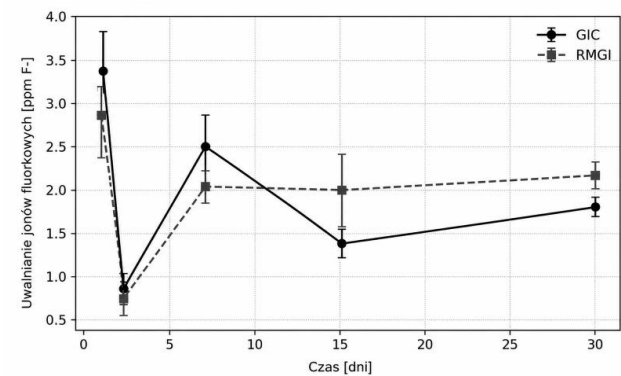


Fig. 2. Cabral 2015: kinetics of fluoride ion release ($\mu\text{g F}^-/\text{cm}^2$; $\text{mean} \pm \text{SD}$) over time for GIC and RMGIC in a pH-cycling model (tab. 2) (20)



Ryc. 3. Upadhyay 2013: uwalnianie jonów fluorkowych (ppm F^- ; $\text{średnia} \pm \text{OS}$) w wodzie dejonizowanej dla GIC vs RMGI (tab. 3) (4)

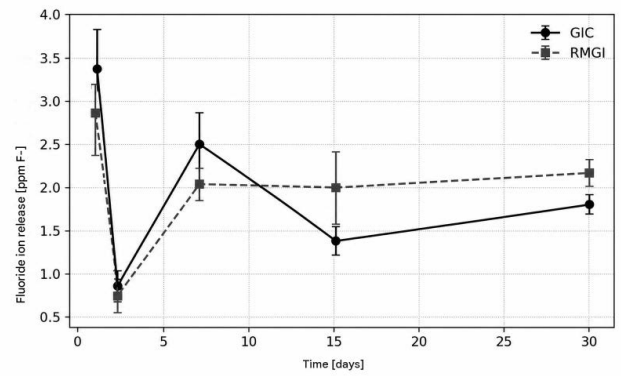
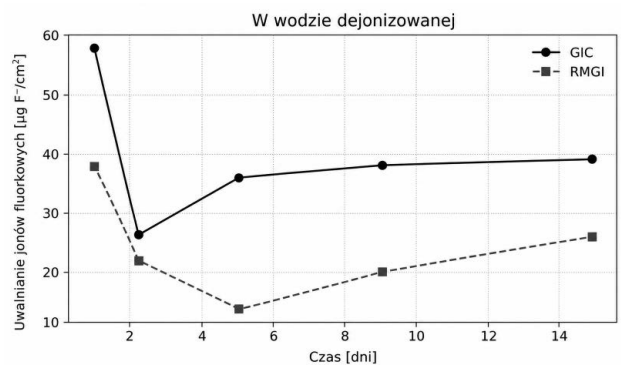


Fig. 3. Upadhyay 2013: fluoride ion release (ppm F^- ; $\text{mean} \pm \text{SD}$) in deionized water for GIC versus RMGI (tab. 3) (4)



Ryc. 4. Nigam 2009: uwalnianie jonów fluorkowych ($\mu\text{g F}^-/\text{cm}^2$) w wodzie dejonizowanej (Medium A) dla GIC vs RMGI (tab. 4) (7)

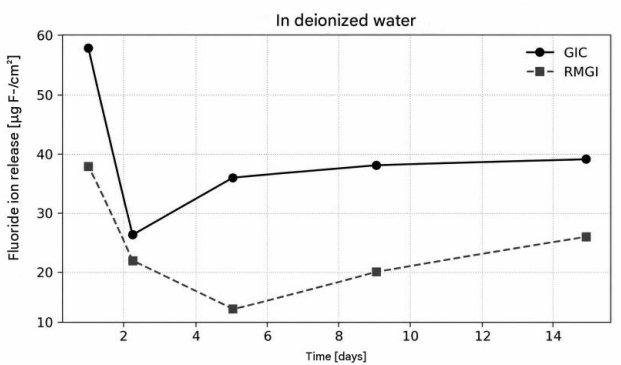
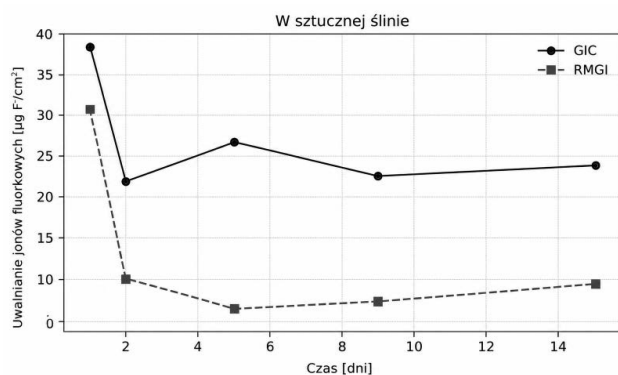


Fig. 4. Nigam 2009: fluoride ion release ($\mu\text{g F}^-/\text{cm}^2$) in deionized water (Medium A) for GIC versus RMGI (tab. 4) (7)



Ryc. 5. Nigam 2009: uwalnianie jonów fluorkowych ($\mu\text{g F/cm}^2$) w sztucznej ślinie (Medium B) dla GIC vs RMGI (tab. 4) (7)

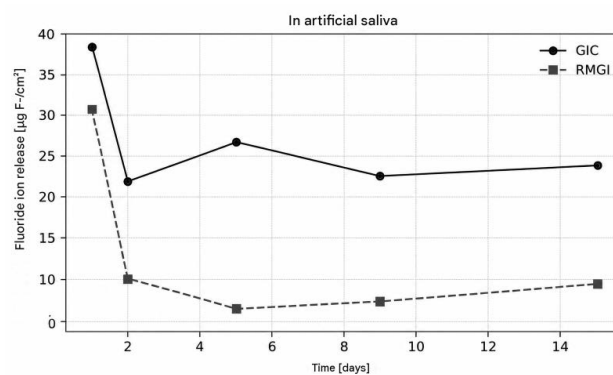
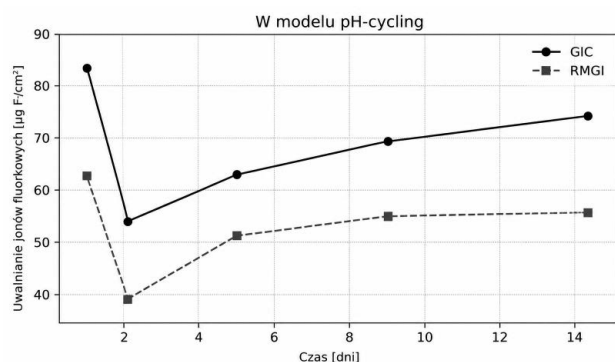


Fig. 5. Nigam 2009: fluoride ion release ($\mu\text{g F/cm}^2$) in artificial saliva (Medium B) for GIC versus RMGI (tab. 4) (7)



Ryc. 6. Nigam 2009: uwalnianie jonów fluorkowych ($\mu\text{g F/cm}^2$) w modelu pH-cycling (Medium C) dla GIC vs RMGI (tab. 4) (7)

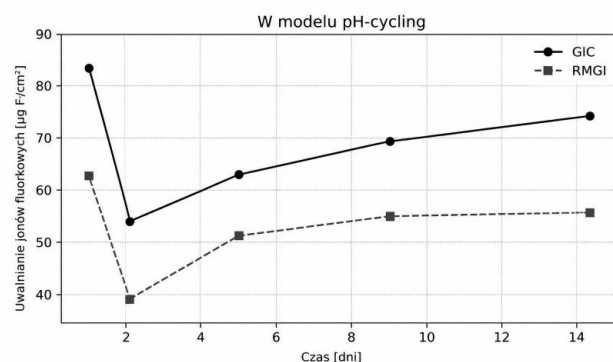
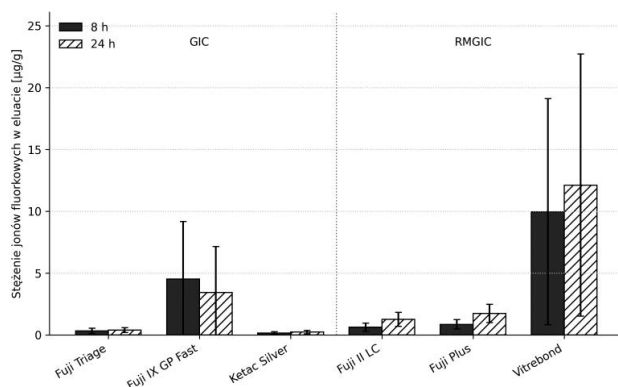


Fig. 6. Nigam 2009: fluoride ion release ($\mu\text{g F/cm}^2$) in a pH-cycling model (Medium C) for GIC versus RMGI (tab. 4) (7)



Ryc. 7. Selimović-Dragaš 2013: średnie stężenie jonów fluorkowych we wczesnej fazie uwalniania (8 h i 24 h; $\mu\text{g/g}$) dla GIC vs RMGI. Słupki błędów przedstawiają odchylenia standardowe dla analizowanych materiałów (tab. 5) (5)

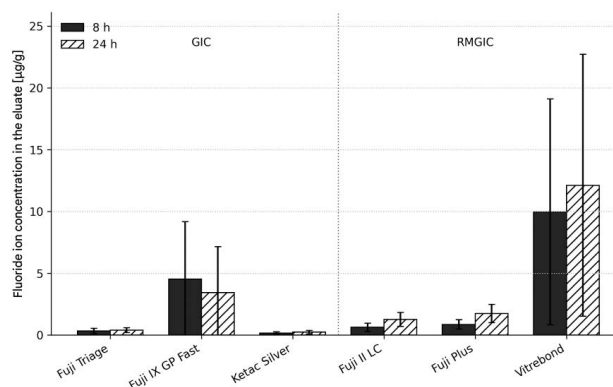
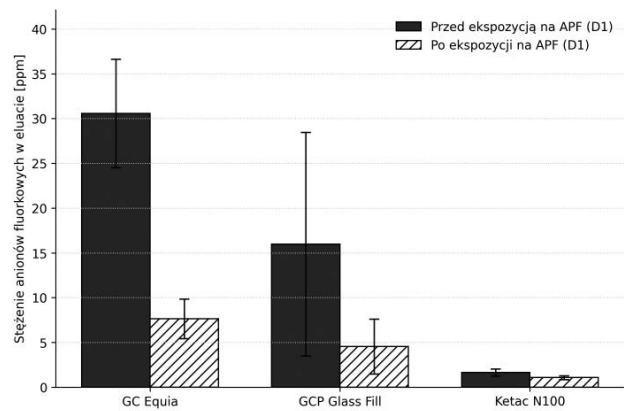


Fig. 7. Selimović-Dragaš 2013: mean fluoride ion concentration during the early release phase (8 h and 24 h; $\mu\text{g/g}$) for GIC versus RMGI. Error bars represent standard deviations for the analyzed materials (tab. 5) (5)



Ryc. 8. Kucukylmaz 2017: średnie stężenie anionów fluorkowych w eluacie (ppm) przed ekspozycją na żel APF i po ekspozycji na żel APF. Słupki błędów przedstawiają odchylenia standardowe (tab. 6A) (12)

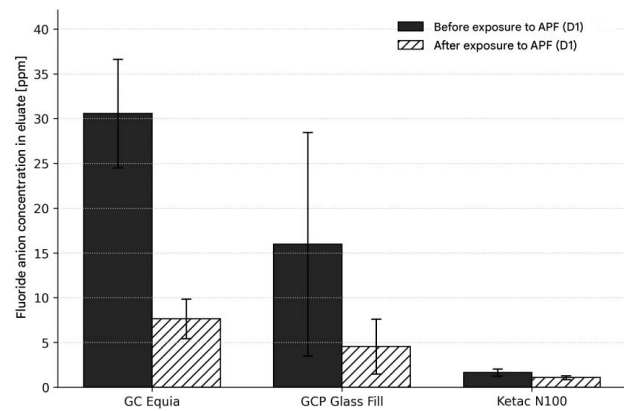
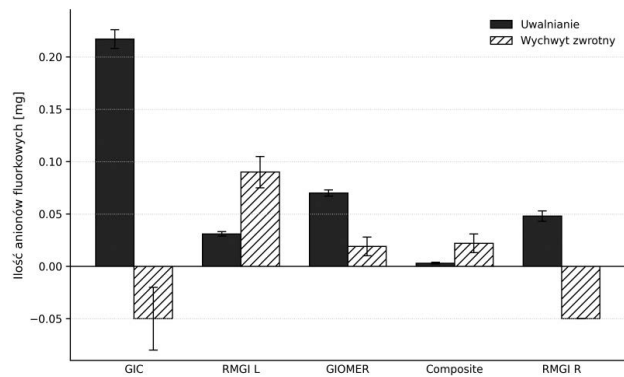


Fig. 8. Kucukylmaz 2017: mean fluoride anion concentration in the eluate [ppm] before and after exposure to APF gel. Error bars represent standard deviations (tab. 6A) (12)



Ryc. 9. Islam 2025: średnia ilość anionów fluorkowych (mg) w etapie uwalniania oraz wychwytu zwrotnego dla ocenianych materiałów. Słupki błędów przedstawiają odchylenia standardowe; wartości ujemne zachowano zgodnie z definicją autorów (tab. 6B) (14)

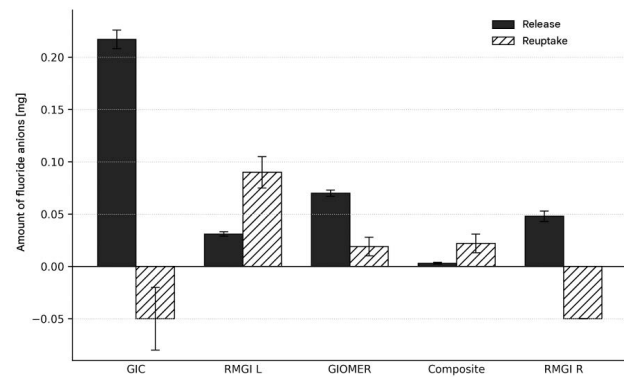


Fig. 9. Islam 2025: mean amount of fluoride anions [mg] during the release and recharge stages for the materials evaluated. Error bars represent standard deviations; negative values were retained in accordance with the authors' definition (tab. 6B) (14)

cementy szkło-jonomerowe modyfikowane żywicą stosowane w ortodoncji (tab. 6) (15).

Jakość metodyczna

Ocena QUIN wykazała, że najczęściej raportowanymi ograniczeniami były: niepełny opis randomizacji próbek, brak zaślepienia oznaczeń, niejednorodne raportowanie jednostek oraz brak przeliczeń na powierzchnię. Część badań nie podawała pełnych danych wariancji, ograniczając możliwość syntezy ilościowej.

DYSKUSJA

Celem przeglądu było porównanie uwalniania jonów fluorkowych oraz zdolności do ich wychwytu zwrotnego w dwóch klinicznie istotnych klasach materiałów szkło-jonomerowych: konwencjonalnych GIC i RMGIC/RMGI (4-7, 11-15, 20). Zebrane dowody oraz piśmiennictwo uzupełniające wskazują, że ewentualna przewaga jednej z grup jest kontekstowa i zależy jednocześnie od rodzaju materiału, warunków środowiskowych oraz metodyki pomiaru (1, 2, 4,

the type of fluoride preparation, its concentration, and the medium in which the specimens were stored (9, 16-19). In a dissertation study, Chung emphasized the clinical relevance of long-term fluoride release and fluoride uptake capacity in resin-modified glass-ionomer cements used in orthodontics (tab. 6) (15).

Methodological quality

The QUIN assessment showed that the most frequently reported methodological limitations were incomplete descriptions of sample randomization, lack of blinding during measurements, inconsistent reporting units, and failure to normalize fluoride release values to the specimen surface area. Some studies also did not provide complete variance data, which further limited the possibility of performing a quantitative synthesis of the results.

DISCUSSION

The aim of this review was to compare fluoride ion release and fluoride ion recharge capacity in two clinically

7-10, 16-19). Rodzaj materiału może odgrywać rolę równie istotną jak sam protokół badania, ponieważ skład matrycy, udział fazy szklanej, reakcja kwas–zasada, obecność reszt karboksylowych polikwasu metakrylowego oraz stopień dojrzałości materiału determinują dostępność dróg dyfuzji dla anionów fluorkowych (1-3).

Wyższe uwalnianie jonów fluorkowych w fazie wczesnej obserwowane w części badań dla GIC może wynikać z różnic w przebiegu reakcji kwas–zasada oraz z większej dostępności fazy wodnej sprzyjającej dyfuzji jonów (1, 3, 4, 7, 20) (tab. 2-5). W RMGIC/RMGI równolegle zachodzą procesy polimeryzacji, które mogą modyfikować porowatość i drogi dyfuzji, potencjalnie ograniczając początkowe uwalnianie (1, 3). Jednocześnie sorpcja wody przez reszty karboksylowe polikwasu metakrylowego i długoterminowe dojrzewanie materiału mogą prowadzić do stabilnego, utrzymującego się uwalniania w okresie późniejszym (1, 3, 6, 14). Prace obejmujące materiały pokrewne, takie jak GIOMER, kompomer lub sealant, potwierdzają, że sama obecność składników fluorkowych nie gwarantuje jednak identycznej kinetyki uwalniania (2, 10, 16, 18).

Analiza wychwytu zwrotnego podkreśla, że zdolność ponownej absorpcji jonów fluorkowych powinna być traktowana jako właściwość zależna od protokołu oraz rodzaju materiału (2, 9, 11-15, 18). Z klinicznego punktu widzenia istotne jest nie tylko to, czy materiał może akumulować jony fluorkowe, ale również czy efekt ten jest powtarzalny i utrzymuje się w warunkach typowych dla profilaktyki (pasty i płukanki o określonej częstotliwości stosowania) (1-3, 9, 13, 15-18). W obecnej literaturze brakuje ujednoliconych protokołów zbliżonych do realnej ekspozycji pacjentów (2, 9, 11, 13, 15-18) (tab. 6).

Implikacje praktyczne

Z praktycznego punktu widzenia wyniki nie uzasadniają wyboru materiału wyłącznie na podstawie jednego parametru uwalniania jonów fluorkowych. W ubytkach u pacjentów z wysokim ryzykiem próchnicy istotna może być zarówno wczesna emisja anionów fluorkowych, jak i możliwość ponownej absorpcji po rutynowej ekspozycji na pasty, płukanki lub żełe fluorkowe (1-3). Decyzja kliniczna powinna jednak uwzględniać również wytrzymałość mechaniczną, wrażliwość na wilgoć, adhezję, estetykę oraz warunki pracy w danym ubytku (1, 2).

Ograniczenia przeglądu wynikają głównie z heterogeniczności badań *in vitro* i *in situ*, w tym różnic w rodzaju materiału, medium, pH, przygotowaniu próbek oraz jednostkach raportowania (1, 2, 4-20, 23). W wielu pracach dane przedstawiano w postaci ppm bez informacji o powierzchni próbki, co ogranicza możliwość przeliczeń (4, 6-9). W konsekwencji metaanaliza może być możliwa jedynie w wybranych podgrupach, po ujednoliceniu warunków pomiaru i raportowania danych wariancji (2, 4, 7-9, 20).

Należy podkreślić, że obecnie nie istnieje jedna powszechnie stosowana procedura badawcza dotycząca

relevant classes of glass-ionomer materials: conventional GICs and resin-modified glass-ionomer cements (RMGICs/RMGIs) (4-7, 11-15, 20). The collected evidence and supplementary literature indicate that any potential advantage of one material group over the other is context-dependent and is influenced simultaneously by the type of material, environmental conditions, and measurement methodology (1, 2, 4, 7-10, 16-19). The material type may be as important as the experimental protocol itself, as the matrix composition, proportion of the glass phase, acid–base reaction, presence of carboxyl groups of poly(methacrylic acid), and degree of material maturation determine the availability of diffusion pathways for fluoride anions (1-3).

The higher fluoride ion release observed during the early phase in some studies for GICs may result from differences in the acid–base reaction and greater availability of the aqueous phase, facilitating ion diffusion (1, 3, 4, 7, 20) (tab. 2-5). In RMGICs/RMGIs, polymerization processes occur simultaneously and may modify porosity and diffusion pathways, potentially limiting initial fluoride release (1, 3). At the same time, water sorption by the matrix containing carboxyl groups of poly(methacrylic acid), together with long-term material maturation, may promote stable and sustained fluoride release during the later period (1, 3, 6, 14). Studies investigating related materials, such as giomers, compomers, and pit-and-fissure sealants, confirm that the mere presence of fluoride-containing components does not determine an identical release kinetics (2, 10, 16, 18).

Analysis of fluoride recharge capacity indicates that fluoride reuptake should be regarded as a property dependent on both the experimental protocol and the type of material (2, 9, 11-15, 18). From a clinical perspective, it is important not only to determine whether a material can accumulate fluoride ions, but also whether this effect is reproducible and sustained under conditions corresponding to real-life exposure to fluoride preparations, such as toothpastes, mouthrinses, or gels (1-3, 9, 13, 15-18). However, the current literature lacks standardized protocols reflecting typical clinical exposure to fluoride (2, 9, 11, 13, 15-18) (tab. 6).

Practical implications

From a practical standpoint, the findings do not justify selecting a material solely on the basis of a single parameter related to fluoride ion release. In cavities in patients at high risk of dental caries, both the intensity of early fluoride anion release and the material's ability to take up fluoride again following routine exposure to fluoride-containing toothpastes, mouthrinses, or gels may be clinically relevant (1-3). However, clinical decision-making should also take into account other material properties, including mechanical strength, moisture sensitivity, adhesion, esthetics, and the conditions present within the specific cavity (1, 2).

The limitations of this review primarily result from the methodological heterogeneity of the *in vitro* and *in situ* studies, including differences in material type, storage

oznaczania uwalniania jonów fluorkowych z materiałów stomatologicznych. Chociaż norma ISO 9917-1 określa wymagania dla cementów szkło-jonomerowych, a norma ISO 19448 opisuje metody pomiaru stężenia jonów fluorkowych z wykorzystaniem elektrody jonoselektywnej, w literaturze nadal stosowane są zróżnicowane protokoły badawcze. Różnice dotyczą m.in. wymiarów próbek, rodzaju i objętości medium przechowującego, czasu inkubacji, częstotliwości wymiany medium oraz sposobu raportowania wyników. Może to utrudniać bezpośrednie porównywanie rezultatów uzyskiwanych przez różnych autorów oraz wpływać na obserwowane różnice w wartościach uwalniania i reabsorpcji jonów fluorkowych.

W przyszłych badaniach zaleca się:

- raportowanie wyników zarówno jako stężenia w medium (ppm F^- lub mg/L F^-), jak i po przeliczeniu na powierzchnię próbki ($\mu g F^-/cm^2$) w zdefiniowanych punktach czasowych (np. 1, 2, 7, 14, 28 dni),
- pełne raportowanie składu sztucznej śliny (w tym pH, buforu oraz stężeń jonów wapnia, fosforanów, sodu, potasu i chlorkowych) i/lub protokołów pH-cycling,
- standaryzację przygotowania próbek, powierzchni oraz ewentualnej powłoki ochronnej,
- stosowanie procedur zgodnych z normami ISO oraz szczegółowe raportowanie wszystkich parametrów eksperymentu (2, 8, 9, 19).

WNIOSKI

Badania porównujące uwalnianie jonów fluorkowych z GIC i RMGIC/RMGI wykazują znaczną heterogeniczność metodyczną, co utrudnia jednoznaczne wnioskowanie.

W fazie wczesnej (0-48 godz.) część badań wskazuje na wyższe uwalnianie jonów fluorkowych z konwencjonalnych GIC, natomiast w okresie późniejszym różnice są często niewielkie lub zależne od rodzaju materiału i warunków testu (tab. 2-5, ryc. 2-7).

Zdolność do wychwytu zwrotnego jonów fluorkowych jest raportowana w obu grupach materiałów, jednak jej wielkość silnie zależy od protokołu ekspozycji na związki fluoru lub aniony fluorkowe, warunków przechowywania oraz rodzaju materiału (2, 9, 11-18).

Dla zwiększenia porównywalności wyników rekomenduje się raportowanie stężenia jonów fluorkowych w medium (ppm F^- lub mg/L F^-) oraz wartości przeliczonej na powierzchnię próbki ($\mu g F^-/cm^2$), z podaniem objętości medium, powierzchni próbki, częstotliwości wymiany medium i informacji o zastosowaniu TISAB (2, 8, 9).

W opinii Autorów warto standaryzować lub co najmniej w pełni raportować skład chemiczny sztucznej śliny, ponieważ różnice w pH, buforze oraz zawartości jonów wapnia i fosforanowych mogą wpływać na dyfuzję i oznaczanie jonów fluorkowych (2, 8, 9).

W przyszłych badaniach wskazane jest stosowanie procedur zgodnych z normami ISO oraz szczegółowe raportowanie

medium, pH, specimen preparation, and reporting units (1, 2, 4-20, 23). In many publications, results were reported solely as concentrations in the medium, for example in ppm, without reference to specimen surface area, which limited the possibility of reliable conversion and direct comparison (4, 6-9). Consequently, a meta-analysis may be justified only in selected, sufficiently homogeneous subgroups of studies after standardization of measurement conditions and reporting of variance data (2, 4, 7-9, 20).

It should also be emphasized that there is currently no single universally applied experimental protocol for determining fluoride ion release from dental materials. Although ISO 9917-1 specifies requirements for glass-ionomer cements, and ISO 19448 describes methods for determining fluoride ion concentration using an ion-selective electrode, heterogeneous experimental protocols are still used in the literature. Differences concern, among other factors, specimen dimensions, the type and volume of the storage medium, incubation time, frequency of medium replacement, and the method used to report results. These factors may hinder direct comparison of results obtained by different authors and may partly account for the observed discrepancies in fluoride ion release and recharge values.

Recommendations for future studies

- Results should be reported both as fluoride ion concentration in the medium (ppm F^- or mg/L F^-) and as values normalized to specimen surface area ($\mu g F^-/cm^2$), at predefined time points, e.g., 1, 2, 7, 14, and 28 days.
- The composition of artificial saliva should be fully reported, including its pH, type of buffer, and concentrations of calcium, phosphate, sodium, potassium, and chloride ions, and/or a detailed description of the pH-cycling protocol.
- Specimen preparation should be standardized, including specimen surface characteristics and any protective coatings applied.
- Procedures consistent with relevant ISO standards should be used, together with detailed reporting of all experimental parameters, in order to improve the comparability and reproducibility of the results (2, 8, 9, 19).

CONCLUSIONS

Studies comparing fluoride ion release from GICs and RMGICs/RMGIs demonstrate substantial methodological heterogeneity, which limits the possibility of drawing unequivocal conclusions regarding the superiority of either material group.

During the early phase (0-48 hours), some studies indicate higher fluoride ion release from conventional GICs, whereas during the later period the differences are often small or dependent on the type of material and test conditions (tab. 2-5; figs. 2-7).

wszystkich parametrów eksperymentu, co pozwoli na zwiększenie powtarzalności badań i ułatwi porównywanie wyników pomiędzy ośrodkami badawczymi.

Fluoride ion recharge capacity has been demonstrated for both GICs and RMGICs/RMGIs; however, its magnitude depends to a considerable extent on the protocol of exposure to fluoride compounds or fluoride anions, storage conditions, and material type (2, 9, 11-18).

To improve the comparability of results, it is recommended that fluoride ion concentration in the medium (ppm F⁻ or mg/L F⁻) and the value normalized to specimen surface area (μg F⁻/cm²) be reported simultaneously, together with the medium volume, specimen surface area, frequency of medium replacement, and information on the use of TISAB (2, 8, 9).

In the authors' opinion, standardization—or at least comprehensive reporting—of the chemical composition of artificial saliva is warranted, as differences in pH, buffer type, and calcium and phosphate ion concentrations may affect both fluoride ion diffusion and its measurement (2, 8, 9).

Future studies should employ procedures consistent with ISO standards and provide detailed reporting of all experimental parameters. This would improve study reproducibility and facilitate direct comparison of results obtained across different research centers.

KONFLIKT INTERESÓW CONFLICT OF INTEREST

Brak konfliktu interesów
None

ADRES DO KORESPONDENCJI CORRESPONDENCE

*Alicja Stawicka
Aleja Krakowska 291/125,
02-133 Warszawa
tel.: +48 602-524-888
ali.stawicka@gmail.com

PIŚMIENNICTWO/REFERENCES

1. Nicholson JW, Sidhu SK, Czarnecka B: Fluoride exchange by glass-ionomer dental cements and its clinical effects: a review. *Biomater Investig Dent* 2023; 10(1): 2244982.
2. Kumari PD, Khijmatgar S, Chowdhury A et al.: Factors influencing fluoride release in atraumatic restorative treatment (ART) materials: A review. *J Oral Biol Craniofac Res* 2019; 9(4): 315-320.
3. Jańczuk Z, Kaczmarek U, Lipski M: *Stomatologia zachowawcza z endodoncją. Zarys kliniczny*. Wyd. IV. PZWL, Warszawa 2014.
4. Upadhyay S, Rao A, Shenoy R: Comparison of the amount of fluoride release from nanofilled resin modified glass ionomer, conventional and resin modified glass ionomer cements. *J Dent (Tehran)* 2013; 10(2): 134-140.
5. Selimović-Dragaš M, Hasić-Branković L, Korać F et al.: In vitro fluoride release from a different kind of conventional and resin modified glass-ionomer cements. *Bosn J Basic Med Sci* 2013; 13(3): 197-202.
6. Dziuk Y, Chhatwani S, Möhlhenrich SC et al.: Fluoride release from two types of fluoride-containing orthodontic adhesives: Conventional versus resin-modified glass ionomer cements – An *in vitro* study. *PLoS One* 2021; 16(2): e0247716.
7. Nigam A, Jaiswal J, Murthy R, Pandey R: Estimation of fluoride release from various dental materials in different media – an *in vitro* study. *Int J Clin Pediatr Dent* 2009; 2(1): 1-8.
8. 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.
9. Jingarwar MM, Pathak A, Bajwa NK, Sidhu HS: Quantitative assessment of fluoride release and recharge ability of different restorative materials in different media: an *in vitro* study. *J Clin Diagn Res* 2014; 8(12): ZC31-34.
10. Mousavinasab SM, Meyers I: Fluoride release by glass ionomer cements, compomer and giomer. *Dent Res J (Isfahan)* 2009; 6(2): 75-81.
11. Marković DL, Petrovic BB, Peric TO: Fluoride content and recharge ability of five glassionomer dental materials. *BMC Oral Health* 2008; 8: 21.
12. Kucukyilmaz E, Savas S, Kavrik F et al.: Fluoride release/recharging ability and bond strength of glass ionomer cements to sound and caries-affected dentin. *Niger J Clin Pract* 2017; 20(2): 226-234.

13. Nagi SM, Moharam LM, El Hoshy AZ: Fluoride release and recharge of enhanced resin modified glass ionomer at different time intervals. *Future Dental Journal* 2018; 4(2): 221-224.
14. Islam MS, Padmanabhan V, Koniali G et al.: Fluoride Release, Recharge, and Mass Stability of Restorative Dental Materials: An In Vitro Study. *Dent J (Basel)* 2025; 13(10): 438.
15. Chung CK: Fluoride Release and Uptake from Resin-Modified Glass Ionomer Cements used for Orthodontic Purposes – an in vivo investigation. Master in Medical Science thesis, University of Glasgow 1996.
16. Bansal R, Bansal T: A Comparative Evaluation of the Amount of Fluoride Release and Re-Release after Recharging from Aesthetic Restorative Materials: An *in vitro* Study. *J Clin Diagn Res* 2015; 9(8): ZC11-14.
17. Mathias MR, Rath N, Bendgude VD et al.: Comparative Fluoride Ion Release Pre and Postrecharge Situations among Three Different Pediatric Dental Restorative Materials: An In Vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent* 2022; 15(6): 729-735.
18. Bayrak S, Tunc ES, Aksoy A et al.: Fluoride release and recharge from different materials used as fissure sealants. *Eur J Dent* 2010; 4(3): 245-250.
19. Krajangta N, Dulsamphan C, Chotitanmapong T: Effects of Protective Surface Coating on Fluoride Release and Recharge of Recent Uncoated High-Viscosity Glass Ionomer Cement. *Dent J (Basel)* 2022; 10(12): 233.
20. Cabral MF, Martinho RL, Guedes-Neto MV et al.: Do conventional glass ionomer cements release more fluoride than resin-modified glass ionomer cements? *Restor Dent Endod* 2015; 40(3): 209-215.
21. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM et al.: The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021; 372: n71.
22. Sheth VH, Shah NP, Jain R et al.: Development and validation of a risk-of-bias tool for assessing *in vitro* studies conducted in dentistry: The QUIN. *J Prosthet Dent* 2024; 131(6): 1038-1042.
23. Nishanthine C, Miglani R, R I et al.: Evaluation of Fluoride Release in Chitosan-Modified Glass Ionomer Cements. *Int Dent J* 2022; 72(6): 785-791.

nadesłano/submitted:

15.07.2026

zaakceptowano do druku/accepted:

05.08.2026