

URSZULA KACZMAREK

Uwalnianie fluorków z materiałów do wypełnień a próchnica wtórna

Fluoride Release from Dental Restorative Materials and Secondary Caries

Katedra Stomatologii Zachowawczej i Dziecięcej AM we Wrocławiu

Streszczenie

Próchnica wtórna jest odpowiedzialna za wymianę 60% wypełnień. W ostatnich latach stosowanie materiałów stomatologicznych uwalniających jony fluorkowe stało się powszechną praktyką. Do tej grupy materiałów należą materiały stosowane do wypełnień ostatecznych, materiały podkładowe, laki szczelinowe i systemy łączące. Znaczne ilości fluorków są uwalniane podczas reakcji twardnienia oraz przez kilka lat po założeniu wypełnienia. Uwolnione fluorki są łatwo pobierane przez powierzchnię zęba stanowiącą ubytek oraz przez sąsiednie powierzchnie. Podwyższeniu ulegają poziomy fluorku w płytce i ślinie, co sprzyja procesom remineralizacji. Ponadto uwolnione do płytki jony fluorkowe wpływają niekorzystnie na wzrost i metabolizm bakterii próchnicotwórczych. Materiały te dobrze pochłaniają fluorki z fluorkowanych past do zębów i innych miejscowych źródeł fluoru, co sprawia, że działają jako rezerwuuar fluoru w środowisku jamy ustnej (**Dent. Med. Probl. 2005, 42, 2, 333–340**).

Słowa kluczowe: materiały do wypełnień, uwalnianie fluorków, próchnica wtórna.

Abstract

Secondary caries is responsible for 60% of all replacement restoration. During the past years fluoride-releasing dental materials have become a part of daily dental practice. Permanent restorations, cavity liners, fissure sealants and adhesive agents, belong to this group of materials. Considerable amounts of fluoride are released during the setting reaction and for a few years following restoration placement. The released fluoride is readily taken up by the cavosurface tooth surface and the adjacent surfaces. Plaque and salivary fluoride levels are elevated to the level which promotes remineralization. Moreover, the fluoride released to dental plaque adversely affects the growth and metabolism of cariogenic bacteria. Fluoride recharging of these materials is readily achieved with fluoridated toothpastes and other sources of topical fluoride. This allows fluoride-releasing dental materials to act as intraoral fluoride reservoir (**Dent. Med. Probl. 2005, 42, 2, 333–340**).

Key words: restorative material, fluoride release, secondary caries.

Wielorakie miejscowe kariostatyczne działanie niskich stężeń jonów fluorkowych stało się podstawą do opracowania materiałów stomatologicznych zawierających w swoim składzie związki fluoru. Pierwszym materiałem do wypełnień uwalniającym jony fluorkowe był, obecnie już niestosowany, cement krzemowy zawierający zasadowe szkło i kwas fosforanowy. Chociaż wypełnienia z tego materiału nie charakteryzowała zbyt długa trwałość, to stosunkowo rzadko obserwowano próchnicę wtórną [1]. Opierając się na założeniu, że długotrwałe uwalnianie odpowiednich ilości jonów fluor-

kowych z materiałów do wypełnień potencjalnie przyczynia się do zmniejszenia ryzyka rozwoju próchnicy wtórnej, co jest istotne z klinicznego punktu widzenia, wprowadzono cementy szkło-jonomerowe (*glass-ionomer cements*) będące współczesną alternatywą dla cementów krzemowych. W praktyce stomatologicznej są one stosowane od ponad 30 lat. Cechuje je zdolność do chemicznego wiązania ze szkliwem i zębina, długotrwałe uwalnianie znacznych ilości jonów fluorkowych, których źródłem jest szkło barowo-glinowo-fluoro-krzemowe oraz wchłanianie fluorków z otaczają-

cych je źródeł. Przez dodanie pochodnych metaakrylanowych do formuły szkło-jonomeru na przełomie lat 80. i 90. udoskonalono właściwości fizykochemiczne tych materiałów, tworząc modyfikowane żywicą cementy szkło-jonomerowe (*RMGIC – resin-modified glass-ionomer cement*). Charakteryzują się uwalnianiem i wchłanianiem fluorków na poziomie podobnym do konwencjonalnych, chemoutwardzalnych cementów szkło-jonomerowych. W kolejnych latach powstały, przez dodanie kwaśnych polimerów do oryginalnej matrycy żywicy metaakrylanowej materiały (*PAMC – polyacid-modified resin composite*) cechujące się większą hybrydyzacją, tj. kompozyty modyfikowane polikwasem. Nazwano je kompomerami (*compomers*), aby podkreślić, że mają właściwości zarówno kompozytu, jak i szkło-jonomeru, faktycznie jednak wykazują niewielkie cechy szkło-jonomerów [2]. Poziom uwalnianych przez nie fluorków jest znacznie niższy niż w przypadku konwencjonalnych cementów szkło-jonomerowych, a ich źródłem jest szkło wapniowo-glinowo-krzemowe (wypełniacz) oraz dodawane związki fluoru, takie jak fluorek iterbu, trójfluorek iterbu. Opracowano również kompozyty o różnej konsystencji (standardowej, półpłynnej, kondensowalnej) uwalniające jony fluorkowe w wyniku wzbogacenia składu w związki fluoru (fluorokrzemian, fluorek iterbu, trójfluorek iterbu, fluorek sodu). W porównaniu z innymi materiałami uwalniają niewielkie ilości jonów fluorkowych. W tej grupie materiałów wyodrębniono dwie klasy – ceromery i „inteligentne” kompozyty (*“smart” composite*). Ceromer to ceramicznie zoptymalizowany polimer; termin wprowadzono dla podkreślenia opracowania nowego nieorganiczno-organicznego kopolimeru zwiększającego właściwości mechaniczne kompozytu. Przykładem takiego materiału jest Tetric Ceram®. Określenie „inteligentne kompozyty” wprowadzono z chwilą opracowania materiału Artiston pHc® uwalniającego jony fluorkowe, hydroksylowe i wapnia przy spadku pH środowiska poniżej 5,5. Źródłem uwalnianych fluorków jest szkło barowo-glinowo-fluorokrzemowe i trójfluorek iterbu, wchodzące w skład wypełniacza.

W związku z tym, że zastosowanie systemu adhezyjnego bez fluorków do umocowania kompozytu uwalniającego te jony stanowi barierę dla ich dostępu do tkanek w sąsiedztwie wypełnienia, zaczęto również dodawać do nich związki fluoru.

Inną grupę materiałów stanowią ormocery, których nazwa jest akronimem określenia „organicznie modyfikowana ceramika” (*organically modified ceramics*). Zawierają nieorganiczno-organiczny kopolimer modyfikujący właściwości mechaniczne materiału i uwalniają małą ilość jonów fluorkowych.

Giomery są stosunkowo nowym typem materiałów odtwórczych. Ich nazwa pochodzi od słów „*glass-ionomer*” i „*composite*”. Zawierają odpowiednio przygotowany wypełniacz ze szkła fluoroglinowo-krzemowego, który z polikwasem tworzy strukturę matrycy szkło-jonomerowej przed zmieszaniem z żywicą. Uwalniają mniejsze ilości fluorków niż cementy szkło-jonomerowe. Przykładem tej grupy materiałów Beautiful® i Reactimer®.

W wielu pracach w warunkach *in vitro* i *in vivo* oceniano uwalnianie jonów fluorkowych z materiałów do wypełnień. Wykazano zróżnicowany poziom ich emisji nie tylko w zależności od typu materiału, ale także dla danego produktu.

Mechanizm uwalniania fluorków z materiałów stomatologicznych jest złożony i, jak dotąd, nie w pełni wyjaśniony. Zróżnicowanie poziomu emisji zależy od związku chemicznego będącego źródłem fluoru, a także od sposobu jego inkorporacji do danego materiału. Uwalnianie fluorków z konwencjonalnych oraz modyfikowanych żywicą cementów szkło-jonomerowych jest związane z utwardzaniem opartym na reakcji kwas-zasada szkła zawierającego fluor i płynu będącego polikwasem. Obserwowane w pierwszych dniach duże stężenie jest nazywane „efektem wybuchu” (*burst effect*), spowodowane prawdopodobnie uwalnianiem fluorków z cząsteczek szkła po ich rozpuszczeniu w kwasie polialkenowym podczas twardnienia. Dalsza powolna emisja jest wynikiem rozpuszczania szkła w zakwaszonej wodzie matrycy hydrożelowej [3].

Jak wykazują badania, niekorzystny wpływ na uwalnianie fluorków z modyfikowanych żywicą cementów szkło-jonomerowych wywiera zarówno wczesny kontakt z wodą, jak i ich pokrycie lakierem lub żywicą [4]. Stwierdzono również, że fluor z cementu szkło-jonomerowego uwalnia się nie tylko w postaci jonowej, ale także w formie związanej jako monofluorofosforan [5]. Oznacza to, że emisja jest większa niż wynika to z rutynowo stosowanych oznaczeń za pomocą elektrody jonowo-selektywnej. Przypisuje się większe znaczenie uwalnianemu do śliny monofluorofosforanowi niż jonom fluorkowym, które łącząc się z wapniem, tworzą trudniej rozpuszczalny fluorek wapnia.

Kompomery uwalniają znacznie mniej fluorków niż cementy szkło-jonomerowe, ponieważ pierwsza faza ich utwardzania jest taka sama jak dla kompozytu światłoutwardzalnego. Początkowo materiał światłoutwardzalny pobiera wodę, a grupy karboksylowe (COOH) kwaśnego monomeru ulegają reakcji kwas-zasada z jonami metali wypełniacza szklanego, co prowadzi do utworzenia soli polikarboksylowych i uwalniania fluorków. Reakcja ta jest jednak niewielka, stąd też małe uwalnianie jonów fluorkowych [6]. Kompomer

zachowuje się więc bardziej jako kompozyt niż cement szkło-jonomerowy [7].

Uwalnianie fluorków z kompozytów (np. Tetric Ceram, Heliomolar) następuje w wyniku rozpuszczania i dyfuzji wolno rozpuszczalnego trójfluorku iterbu (YbF_3). Przed ich uwolnieniem musi nastąpić dyfuzja wody do materiału, rozpuszczenie związku fluoru, częściowe rozpuszczenie cząsteczek szkła i dyfuzja przez matrycę żywicy [8]. To, że cement szkło-jonomerowy uwalnia więcej fluorków niż kompomery i kompozyty, wynika nie tylko z wolniejszego rozpuszczania trójfluorku iterbu, ale także z bardziej ścisłego wiązania lub mniej hydrofilowej matrycy.

Verbeeck et al. [9] opracowali równania charakteryzujące kinetykę uwalniania fluorków z cementów szkło-jonomerowych, kompomerów i kompozytów. Według nich największą ilość jonów fluorkowych, uwalnianych przez konwencjonalny lub modyfikowany żywicą cement szkło-jonomerowy, opisuje wzór:

$$[\text{F}]_c = \frac{[\text{F}](\text{I})t}{(t + t^{1/2})} = \beta\sqrt{t},$$

a dla modyfikowanego polikwasem kompozytu i kompozytu wzór:

$$[\text{F}]_c = \frac{[\text{F}](\text{I})t}{(t + t^{1/2})} = \alpha t.$$

Oba równania wskazują, że dwa procesy kinetyczne są odpowiedzialne za profile uwalniania fluorków, przy czym pierwsze odpowiada początkowemu „wybuchowi” powierzchniowego uwalniania, a drugie długotrwałej dyfuzji z całości materiału. Parametry kinetyczne $[\text{F}](\text{I})$, $t^{1/2}$, β i α zależą od składu materiału. Różnica między cementem szkło-jonomerowym a modyfikowanym polikwasem kompozytem i kompozytem podczas pierwszego dnia uwalniania jest spowodowana tym, że w kompozytach po polimeryzacji światłem, a przed kontaktem z wodą, fluorki nie są wolne, lecz związane z cząsteczkami wypełniacza zamkniętymi w matrycy polimerowej. Konwencjonalne cementy szkło-jonomerowe twardnieją w wyniku reakcji kwas–zasada między zawartymi w szkłe ulegającymi degradacji fluorkami a kwasem polialkenowym. Początkowo całość fluorków znajduje się w szkłe, ale podczas tworzenia cementu są uwalniane do kwaśnej wodnej fazy i zatrzymywane w twardniejącej matrycy żelowej. Po stwardnieniu i przed kontaktem z wodą fluorki w cementie szkło-jonomerowym występują w pozostającym wymywanym szkłe fluorkowym związanym z matrycą polisoli (fluor skompleksowany) i w wodnym płynie porów (fluor wolny) [10]. Znajdujące się w tym drugim miejscu fluorki są tylko luźno związane i wykazują zdolność do

przemieszczania. Jony fluorkowe zawarte w cementie szkło-jonomerowym są bardziej dostępne niż zawarte w modyfikowanym polikwasem kompozycie i kompozycie. Podczas drugiego procesu uwalniania większa dyfuzja jonów występuje w matrycy szkło-jonomerowej [11].

Chociaż kompozyty uwalniają bardzo mało fluorków w porównaniu z cementami szkło-jonomerowymi, mogą wywierać pewne działanie kariostatyczne. Wymagane jest jednak ustalenie minimalnego poziomu uwalniania fluorków już wykazującego działanie przeciwpóchnicowe.

W warunkach klinicznych istotną cechą materiałów jest długoczasowe uwalnianie jonów fluorkowych bez zmiany parametrów mechanicznych. Przyczynia się do tego szczególna właściwość, jaką jest pobieranie fluorków z otoczenia i następne ich uwalnianie, co przypomina „naładowanie baterii”. Dotyczy to zwłaszcza konwencjonalnych i modyfikowanych żywicą cementów szkło-jonomerowych, w mniejszym stopniu kompomerów, a tylko w niewielkim – kompozytów [6, 7, 12–18]. Oznacza to, że jony fluorkowe będą tak długo uwalniane na odpowiednim poziomie, jak długo występuje ich dowóz do środowiska, co zapewnia długotrwałe działanie kariostatyczne. W warunkach klinicznych źródłem fluoru są głównie fluorkowe pasty do zębów i, jak wykazano w badaniach *in vitro*, po ich użyciu wzrasta uwalnianie fluorków z materiałów. W przypadku niskiego pH past zwiększa się zarówno wchłanianie, jak i uwalnianie jonów fluorkowych, co sprzyja ich penetracji do szkliwa [14, 15, 19]. Uważa się, że przepuszczalność materiału jest głównym czynnikiem warunkującym wchłanianie fluoru przez materiały [18]. Kompozyty wykazują małą przepuszczalność wody – sorbcję [20], a modyfikowane żywicą cementy szkło-jonomerowe większą niż cementy konwencjonalne [21]. Dokładny mechanizm pobierania fluorków przez materiały nie jest całkowicie poznany, ale przypuszcza się, że zależy od składnika szkło-jonomerowego materiału, a zwłaszcza od struktury warstwy hydrożelu wokół cząsteczki wypełniacza szklanego, uczestniczącej w reakcjach między szkłem a polikwasem [17, 22]. Ponieważ reakcja typu kwas–zasada jest bardziej charakterystyczna dla cementów szkło-jonomerowych niż dla kompomerów, wchłanianie fluorków jest większe w pierwszych materiałach. Kategoryzację poszczególnych grup materiałów w odniesieniu do poziomu uwalniania fluorków przedstawiono w tabeli 1, a stężenie emisji z niektórych materiałów w warunkach *in vitro* do wody dejonizowanej w tabeli 2.

Z piśmiennictwa wynika, że próchnica wtórna, niezależnie od rodzaju zastosowanego materiału, jest przyczyną wymiany 60% wypełnień u dorosłych i 70% u dzieci [1]. Pozostałymi powodami

Tabela 1. Uwalnianie fluorków z różnych materiałów**Table 1.** Levels of fluoride release from different materials

Grupa materiału (Groups of material)	Poziom uwalniania jonów fluorkowych (Level of fluoride release)
Konwencjonalne cementy szkło-jonomerowe (Conventional glass- -ionomer cements)	wysoki (high)
Modyfikowane żywicą cementy szkło-jonomerowe (Resin modified glass monomer cements)	wysoki (high)
„Inteligentne kompozyty” („smart” composite)	średnio wysoki (medium high)
Kompomery (Compomers)	średni (medium)
Giomery (Giomers)	średni (medium)
Ceromery (Ceromers)	niski (low)
Kompozyty – standardowe, półpłynne, kondensowane (Composites – standard, flow, packable)	niski (low)
Ormocery (Ormocers)	niski (low)
Systemy adhezyjne (Adhesive systems)	niski (low)
Laki szczelinowe (Fissure sealant)	niski (low)

wymiany są: niedoskonałe właściwości materiału, odłamanie tkanek zęba, powikłania ze strony mięsni, błędy popełniane podczas odbudowy oraz nieestetyczny wygląd wypełnienia. Trwałość wypełnienia w jamie ustnej jest zmienna i zależy od ro-

dzaju materiału; większa jest dla amalgamatu niż dla kompozytu lub cementu szkło-jonomerowego. Szacuje się, że każda wymiana wypełnienia zwiększa średnio obwód ubytku i tym samym wielkość kolejnego wypełnienia w obecności próchnicy wtórnej o 0,52 mm, a przy jej braku o 0,25 mm. Powoduje to wzrost szerokości wypełnienia od 0,50 mm do 1,04 mm i po kilku wymianach znaczne osłabienie tkanek zęba [23–26].

Definicja próchnicy wtórnej (*caries secunda-ria, secondary caries, recurrent caries*), mimo znacznej częstości jej występowania, nie jest dobrze sprecyzowana. Określa się ją jako próchnicę w postaci ostrej lub przewlekłej przy brzegach istniejących wypełnień. Manifestuje się jako plama próchnicowa lub przebarwienie tkanek wokół wypełnienia albo przebarwienie brzegów wypełnienia, szczelina brzeżna oraz utrata części lub całego wypełnienia. Wymienia się dwie różne, ale powiązane ze sobą zmiany: próchnicę pierwotną zewnętrzną (*outer lesion*), powstającą w szklawie sąsiadującym z wypełnieniem w wyniku retencji płytki wokół wypełnienia i zmianę wewnętrzną, przyścienną (*wall lesion*), rozwijającą się wzdłuż ścian ubytku z powodu szczeliny w następstwie mikroprzecieku bakteryjnego. Po założeniu wypełnienia z każdego typu materiału istnieje możliwość powstania mikroszczeliny między twardymi tkankami zęba a materiałem. Brak rozwoju próchnicy wtórnej jest uwarunkowany doszczętnością usunięcia zmienionych próchnicowo tkanek, utworzeniem bliskiego styku powierzchni ubytku i wypełnienia z minimalną mikroszczeliną lub jej brakiem oraz uwalnianiem z materiału jonów wywierających działanie kariostatyczne i ich penetracją do sąsiadujących tkanek zęba.

Tabela 2. Skumulowane uwalnianie fluorków do wody dejonizowanej z różnych materiałów**Table 2.** Cumulative fluoride release from different materials to deionized water

Materiał (Material)		Poziom uwolnionych fluorków (Level of fluoride release) μg/mm ²				Piśmiennictwo (References)
		1 dzień (1 day)	7 dni (7 days)	91 dni (91 days)	365 dni (365 days)	
Konwencjonalne cementy szkło-jonomerowe (Conventional glass- -ionomer cements)	Fuji II CC		16,0 ± 3,8	36,8 ± 7,7		[11]
Modyfikowane żywicą cementy szkło-jonomerowe (Resin modified glass- -ionomer cements)	Vitremer		4,3 ± 1,3	10,0 ± 2,4	593 ± 41	[11], [58]
Kompomery (Compomers)	Compoglass Dyract	0,13 ± 0,3 0,08 ± 0,03	1,2 ± 0,4 0,8 ± 0,3	3,9 ± 0,9 4,1 ± 1,0	87 ± 17	[11], [59] [58], [59]
Kompozyty (Composite)	Tetric Heliomolar		0,1 ± 0,1 0,1 ± 0,1	0,4 ± 0,0 0,4 ± 0,1	22 ± 2	[11], [58] [11]

Zapobieganie rozwojowi próchnicy wtórnej rozpoczyna się już w czasie założenia wypełnienia. Pacjenta poucza się o konieczności zachowania właściwej higieny jamy ustnej i kontroli spożywania węglowodanów oraz stosowania preparatów fluorkowych (pasty do zębów i płukanki z fluorem) i środków antybakteryjnych zawierających chlorheksydynę [25, 27].

Zawartość fluoru w materiałach stomatologicznych jest zróżnicowana i wynosi 7–26% (cyt. wg 1). W środowisku jamy ustnej jednakże ilość dostępnych fluorków jest związana nie tylko z ich zawartością w materiale, ale zależy także od zdolności do elucji z materiału lub wymiany z innymi jonami środowiska. Materiały do wypełnień uwalniają niewielkie ilości fluorków przez długi okres. Wykazano, że uwalnianie jonów fluorkowych z materiałów szkło-jonomerowych trwa 2,7–8 lat, a z kompozytów do 5 lat [1, 28–30]. W warunkach doświadczalnych zaobserwowano zmniejszenie o 40–80% rozwoju próchnicy wtórnej na ścianie ubytku stykającej się z materiałem uwalniającym fluorki w zależności od ilości uwalnianych jonów [28, 29, 31–34]. Zmniejszenie zmiany na ścianie ubytku w przypadku kompozytów szacuje się na 10–25%, a konwencjonalnych cementów szkło-jonomerowych na 70–74%. Zahamowanie dotyczy również zmniejszenia głębokości zmiany zewnętrznej o około 10% przy zastosowaniu kompozytów, a o około 75% z użyciem konwencjonalnych cementów szkło-jonomerowych. Z danych ten Cate’a i Featherstone’a [35] wynika, że stała obecność małych stężeń fluorków – 0,01 ppm przyczynia się do remineralizacji wczesnej zmiany próchnicowej lub powoduje zatrzymanie jej rozwoju. W wyniku innych doświadczeń stwierdzono, że fluorki uwalniane z kompozytów (m.in. z materiału Heliomolar®) nie tylko hamują rozwój próchnicy [36], lecz także przyczyniają się do remineralizacji początkowej zmiany próchnicowej [37].

Podkreśla się znaczenie stosowania systemu adhezyjnego uwalniającego jony fluorkowe. W warunkach doświadczalnych wykazano, iż zastosowanie takiej żywicy łączącej hamuje rozwój próchnicy na ścianie ubytku niezależnie od tego, czy materiał wypełnieniowy (kompozyt lub amalgamat) uwalnia jony fluorkowe [1, 17].

Zarówno głębokość zmiany, jak i wielkość utraty substancji mineralnej jest związana z ilością uwalnianych fluorków w czasie [38, 39]. W obecności płytki całkowite usunięcie próchnicy można osiągnąć, jeśli jest uwalnianych 200–300 µg fluorków z 1 cm² materiału przez okres miesiąca [28, 29, 36].

Miejscowe działanie uwolnionych jonów nie jest ograniczone jedynie do tkanek przylegających, ale powoduje także wzbogacenie we fluorki powierzchni zębów sąsiadujących z materiałem, co za-

pewnia w pewnej mierze ochronę przed rozwojem próchnicy w warunkach *in vivo* [40, 42]. W okresie 3 lat zaobserwowano rozwój próchnicy w 25% na powierzchniach stycznych, sąsiadujących z wypełnieniem tunelowym z cementu szkło-jonomerowego, a w 80%, gdy materiałem wypełnieniowym był amalgamat [43, 44]. Zauważono również remineralizację istniejących wcześniej zmian próchnicowych, występujących w bliskim sąsiedztwie wypełnienia z materiału uwalniającego fluorki [40].

Pomimo że obecność płytki bakteryjnej jest związana przyczynowo z rozwojem próchnicy, to stanowi ona również rezerwuuar fluorków i oddziałuje nie tylko na procesy demineralizacyjne, ale także w pewnej mierze na remineralizacyjne [43, 45]. Zaobserwowano większą zawartość fluoru w płytce pokrywającej wypełnienia z cementu szkło-jonomerowego (15,0–21,2 µgF/g) w porównaniu z kompozytem niezawierającym fluorków (0,4–3,5 µgF/g). Chociaż poziomy te są stosunkowo małe, to do przesunięcia równowagi z procesu demineralizacji w kierunku remineralizacji wystarczają małe ich ilości.

Postuluje się również hamujący wpływ uwalnianych z materiałów fluorków na bakterie płytki. Zanotowano bowiem znaczne zmniejszenie liczby bakterii próchnicotwórczych (40–77%) w płytce przylegającej do cementu szkło-jonomerowego w okresie 6 miesięcy od założenia wypełnienia z tego materiału [1]. Wykazano, że skład płytki nagromadzonej na cemencie szkło-jonomerowym zależy od czasu przebywania wypełnienia w jamie ustnej. Po upływie 1 miesiąca zaobserwowano korelację między uwalnianiem fluorków a zmniejszeniem liczby bakterii *Streptococcus mutans* w płytce [45, 46], ale po osiągnięciu stałego poziomu uwalniania [47] nie stwierdzono tego związku. Po upływie roku także nie zanotowano istotnego wpływu na bakterie [48], co może wynikać z przystosowania się bakterii do działania fluoru. Powyższe dane mogą sugerować, że stężenia fluorków uwalnianych z wypełnień przebywających przez dłuższy czas w jamie ustnej nie są wystarczająco duże, aby oddziaływać na bakterie próchnicotwórcze.

Fluorki w wieloraki sposób hamują również aktywność bakterii płytki. W warunkach zakwaszonego środowiska dyfundują do bakterii przez błonę komórkową w formie kwasu fluorowodorowego (HF), powstałego z połączenia jonu fluorkowego z wodorem pochodzącym z wytwarzanych kwasów. Związek ten dysocjuje w komórce bakteryjnej, powodując zakwaszenie i uwolnienie jonów fluorkowych, które hamują aktywność metaboliczną bakterii, m.in. przez inhibicję enolazy, fosfataz, transportu cukru do wnętrza komórki i jego rozmieszczenia, transportu i akumulacji kationów, przechowywanie glukozy i jej analogów oraz zakłócanie syntezy wewnątrzkomórkowych i wewnątrzkomórkowych po-

lisacharydów bakteryjnych. Z czasem fluorki gromadzą się w komórce bakteryjnej [25]. W tabeli 3 zestawiono mechanizmy zapobiegania próchnicy za pomocą fluorków uwalnianych z materiałów stomatologicznych.

Pewne wątpliwości budzi kariostatyczne oddziaływanie kompozytów uwalniających małe stężenia fluorków. Wyjaśnienie można znaleźć w pracy Globlera et al. [49], który opisuje je w sposób następujący: jeśli wokół wypełnienia z materiału uwalniającego fluorki w ilości $0,15 \mu\text{g}/\text{mm}^2$ o średnicy 3 mm i głębokości 1,5 mm występuje szczelina brzeżna szerokości 100 μm , to stężenie fluoru w szczelinie wyniesie ok. 1500 ppm, a w przypadku materiału uwalniającego $1,46 \mu\text{gF}/\text{mm}^2$ – około 14000 ppm; przy węższej szczelinie wzrośnie odpowiednio stężenie fluoru, co zapewnia działanie bakteriobójcze występujące w przedziale wartości 900–6000 ppm. Według Maltza i Emilssona [50] natomiast minimalne stężenie hamujące wzrost bakterii wynosi 0,019 ppm przy pH 5,0.

Z wielu prac wynika, że założenie wypełnienia z materiału uwalniającego fluorki powoduje wzrost ich stężenia w ślinie, co może wpływać korzystnie na wszystkie zęby naturalne w jamie ustnej. Jensen et al. [51] zaobserwowali wzrost stężenia fluoru w ślinie całkowitej po 30 minutach od założenia laku zawierającego fluorek sodu (Fluoroshield®). Wagner [52] stwierdził zwiększenie stężenia fluorków w ślinie utrzymujące się przez 3 miesiące po założeniu wypełnienia z materiału Vitremer®, a Hatibovic-Kofman i Koch [14] przez rok po założeniu wypełnień z cementów szkło-jonomerowych. Znamienny wzrost zaobserwowali również Hattab et al. [53], umieszczając w jamie ustnej cement szkło-jonomerowy umocowany w specjalnym aparacie akrylowym. Rajboriraks et al. [54] natomiast oceniając poziom fluoru metodą zmodyfikowanej mikrodyfuzji w ślinie i płytce u dzieci przed i po zalakowaniu powierzchni żujących materiałem Heliocel F®, nie wykazali istotnych różnic w stężeniu w ślinie, a jedynie wzrost po 24 godzinach w płytce. Poziom ten obniżał się do stanu wyjściowego w dalszym okresie.

Bezpośrednie odniesienie wartości uwalnianych fluorków przez dany materiał *in vitro* do sytuacji klinicznej jest utrudnione ze względu na złożoność warunków panujących w jamie ustnej. Ślina jest środowiskiem, w którym stale zmienia się temperatura, pH, zawartość białka, fosforanów, enzymów i innych czynników, modulujących proces emisji jonów [55].

Postulowano, że śladowa ilość fluorków w roztworze demineralizującym, wynosząca 0,014 ppm, istotnie zmniejsza szybkość rozpuszczania szkliwa [56]. Dowody z badań *in vivo* i *in vitro* podtrzymują twierdzenie, że częste dostarczanie małych ilości fluorków przyspiesza proces remineralizacji

Tabela 3. Mechanizmy zapobiegania próchnicy za pomocą fluorków uwalnianych z materiałów

Table 3. Mechanisms of caries prevention by fluoride released from dental materials

Hamowanie demineralizacji w miejscu uwalniania (Demineralization inhibited in local release)
Wzrost absorpcja fluorków do powierzchni kryształu hydroksyapatytu (Increase of fluoride absorption to hydroxiapatite crystal surface)
Remineralizacja zmiany próchnicowej (Remineralization of carious lesion)
Hamowanie enzymów bakterii płytki (Inhibition of dental plaque enzymes)
Wzrost stężenia fluorków w ślinie i płytce (Enhance of fluoride concentration in saliva and plaque)
System stałego dostarczania małej ilości fluorków połączony z wchłanianiem fluorków z egzogenego źródła (Continuum low level fluoride delivery system with recharging by exogenous fluoride source)

[53, 57]. Dijkman et al. [36] wnioskowali, że największe uwalnianie fluoru, rzędu 200–300 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, w warunkach *in vitro*, w ciągu miesiąca może całkowicie zahamować demineralizację szkliwa. Należy jednak podkreślić, że w jamie ustnej do przemian będą dostępne znacznie mniejsze ilości fluorków z wielu powodów, takich jak: szybki klirens (usuwanie) fluoru, działanie *pellicle* i płytki jako bariery dyfuzyjnej, obecności białek w ślinie zmniejszających biodostępność, kontaktu jedynie powierzchni wypełnienia ze śliną [4, 58, 59].

Dotychczas nieznane są dokładne wartości uwalniania/wchłaniania fluorków przez materiały w jamie ustnej. Na ogół przyjmuje się, że „im więcej tym lepiej”. Stąd też można przyjąć, że materiał wypełnieniowy z dużym uwalnianiem i wchłanianiem fluorków będzie bardziej wskazany z punktu widzenia kariostatycznego. Ponadto materiał uwalniający fluorki, a zwłaszcza mający jeszcze cechę wchłaniania egzogenych fluorków, można w pewnej mierze uważać za system długotrwale dostarczający fluorki niezbędne do modyfikacji przemian zachodzących na styku wypełnienie/szkliwo, płytka nazębna i ślina.

W podsumowaniu można zauważyć, że udowodnione kariostatyczne działanie fluoru zachęca do stosowania materiałów stomatologicznych uwalniających jony fluorkowe, które w wieloraki sposób mogą hamować rozwój próchnicy wtórnej. Chociaż nie określono dokładnie minimalnego stężenia fluoru hamującego próchnicę, to z powodu wieloczynnikowej natury choroby próchnicowej istnieje możliwość indywidualnego zróżnicowania tego stężenia. Do czasu określenia wartości progowych należy zatem preferować stosowanie materiałów z największym uwalnianiem fluorków, zwłaszcza u pacjentów z dużą aktywnością próchnicy.

Piśmiennictwo

- [1] HICKS J., GARCIA-GODOY F., DONLY K., FLAITSZ C.: Fluoride-releasing restorative materials and secondary caries. J. Calif. Dent. Assoc. 2003, 31, 229–245.
- [2] GUGGENBERGER R., MAY R., STEFAN K. P.: New trends in glass-ionomer chemistry. Biomaterials 1998, 19, 479–483.
- [3] DE MOOR R. J., VERBEECK R. M. H., DE MAEYER E. A. P.: Fluoride release profiles of restorative glass ionomer formulations. Dent. Mater. 1996, 12, 88–95.
- [4] HATTAB F. N., AMIN W. M.: Fluoride release from glass ionomer restorative materials and the effects of surface coating. Biomaterials 2001, 22, 12, 1449–1458.
- [5] BILLINGTON R. W., WILLIAMS J. A., DORBAN A., PEARSON G. J.: Glass ionomer cement: evidence pointing to fluoride release in the form of monofluorophosphate in addition to fluoride ion. Biomaterials 2004, 25, 3399–3402.
- [6] ATTAR N., ONEN A.: Fluoride release and uptake characteristics of aesthetic restorative materials. J. Oral Rehabil. 2002, 29, 791–798.
- [7] YLP H. K., SMALES R. J.: Fluoride release and uptake by aged resin-modified glass ionomers and a polyacid-modified resin composites. Int. Dent. J. 1999, 49, 217–225.
- [8] RAWLS H. R.: Preventive dental materials: Sustained delivery of fluoride and another therapeutic agents. Adv. Dent. Res. 1991, 5, 50–55.
- [9] VERBEECK R. M. H., DE MAEYER E. A., MARKS L. A., DE MOOR R. J. G., DE WITTE A. M., TRIMPENEERS L. M.: Fluoride release process of (resin modified) glass-ionomer cements versus (polyacid modified) composites resins. Biomaterials 1998, 19, 509–519.
- [10] TRIMPENEERS L. M., VERBEECK R. M. H., DERMAUT L. R.: Long-term fluoride release of some orthodontic bonding resins: A laboratory study. Dent. Mater. 1998, 14, 142–149.
- [11] VERMEERSCH G., LELOUP G., VREVEN J.: Fluoride release from glass-ionomer cements, compomers and resin composites. J. Oral Rehabil. 2001, 28, 26–32.
- [12] DIAZ-ARNOLD A. M., HOLMES D. C., WISTROM D. W., SWIFT E. J. JR.: Short-term fluoride release/uptake of glass ionomer restoratives. Dent. Mater. 1995, 11, 960–1001.
- [13] FORSTEN L.: Resin-modified glass ionomer cements: fluoride release and uptake. Acta Odontol. Scand. 1995, 53, 222–225.
- [14] HATIBOVIC-KOFMAN S., KOCH G.: Fluoride release from glass ionomer cement *in vivo* and *in vitro*. Swed. Dent. J. 1991, 15, 253–258.
- [15] OLSSON C., EMILSON C. G., BRIKHED D.: An *in vitro* study of fluoride release from a resin modified glass ionomer cement after exposure to toothpaste slurries of different pH. Clin. Oral Invest. 2000, 4, 233–237.
- [16] HSU M.H., HUANG G.-F., CHANG H.-H., WANG Y.-L., GUO M.-K.: A continuous flow system for assessing fluoride release/uptake of fluoride-containing restorative materials. Dent. Mater. 2004, 20, 740–749.
- [17] ITOTA T., OKAMOTO M., SATO K., NAKABO S., NAGAMINE M., TORII Y., INOUE K.: Release and recharge of fluoride by restorative materials. Dent. Mater. 1999, 18, 347–353.
- [18] PRESTON A. J., AGALAMANYI E. A., HIGHAM S. M., MAIR L. H.: The recharge of aesthetic restorative materials with fluoride *in vitro* – two years' results. Dent. Mater. 2003, 19, 32–37.
- [19] ROTHWELL M., ANSTICE H. M., PEARSON G. J.: The uptake and release of fluoride by ion-leaching cements after exposure to toothpaste. J. Dent. 1998, 26, 591–597.
- [20] BRADEN M., CLARKE R. L.: Water sorption characteristics of dental microfine composite filling materials. Biomaterials 1984, 5, 369–372.
- [21] ATTIN T., BUCHALLA W., SIEWERT C., HELLWIG E.: Fluoride release/uptake of polyacid/modified resin composites (compomers) in neutral and acidic resin solutions. J. Oral Rehabil. 1999, 26, 388–393.
- [22] HAN L., CV E., LI M., NIWANO K., AB N., OKAMOTO A., HONDA N., IWAKU M.: Effect of fluoride mouth rinse on fluoride releasing and recharging from aesthetic dental materials. Dent. Mater. J. 2002, 21, 285–295.
- [23] FONTANA M.: Secondary caries: relation with current criteria used to replace restorations. General Dent. 1995, 43, 143–154.
- [24] HODGES D. J., MANGUM F. I., WARD M. T.: Relationship between gap width and recurrent dental caries beneath occlusal margins of amalgam restorations. Commun. Dent. Oral Epidemiol. 1995, 23, 200–204.
- [25] KIDD E. A. M.: Caries management. Dent. Clin. North Am. 1999, 43, 743–763.
- [26] MJOR I. A., REEP R. L., KUBILIS P. S., MAONDRAGON B. E.: Changes in size of replaced amalgam restorations: a methodological study. Oper. Dent. 1998, 23, 272–277.
- [27] FEATHERSTONE J. D. B.: The science and practice of caries prevention. J. Am. Dent. Assoc. 2000, 131, 887–899.
- [28] ARENDS J., RUBEN J., DIJKMAN A. G.: The effect of fluoride release from a fluoride-containing composite resin on secondary caries: an *in vitro* study. Quintessence Int. 1990, 21, 671–674.
- [29] ARENDS J., DIJKMAN G. E. H. M., DIJKMAN A. G.: Review of fluoride release and secondary caries reduction by fluoridating composites. Adv. Dent. Res. 1995, 9, 367–376.
- [30] FORSS H., SEPPA L.: Studies on the effect of fluoride released by glass ionomers in the oral cavity. Adv. Dent. Res. 1995, 9, 389–393.
- [31] DIJKMAN G. E. H. M., ARENDS J.: Secondary caries *in situ* around fluoride-releasing light-curing composites: a quantitative model investigation on four materials with a fluoride content between 0 and 26 vol %. Caries Res. 1992, 26, 351–357.
- [32] DONLY K. J., INGRAM C.: An *in vitro* caries inhibition of photopolymerized glass ionomer liners. J. Dent. Child. 1997, 64, 128–130.

- [33] PEREIRA P. N. R., INOKOSHI S., TAGAMI J.: *In vitro* secondary caries inhibition around fluoride releasing materials. J. Dent 1998, 26, 505–510.
- [34] TEN CATE J. M., BUIJS M. J., DAMEN J. J. M.: The effects of GIG restorations on enamel and dentin demineralization and remineralization. Adv. Dent. Res. 1995, 9, 384–388.
- [35] TEN CATE J. M., FEATHERSTONE J. D. B.: Physiochemical aspects of fluoride-enamel interactions. In: Fluoride in dentistry. Eds. Fejerskov O., Ekstrand J., Burt B. A. Munsgaard, Copenhagen 1996, 252–272.
- [36] DIJKMAN G. E. H. M., DE VRIES J., LODDING A., ARENDS J.: Long-term fluoride release of visible light-activated composites *in vitro*: a correlation with *in situ* demineralization data. Caries Res. 1993, 27, 117–123.
- [37] DONLY K. J., GOMEZ C.: *In vitro* demineralization of enamel caries at restoration margins utilizing fluoride-releasing composite resin. Quintessence Int. 1994, 25, 355–358.
- [38] SERRA M. C., CURY J. A.: The *in vitro* effect of glass-ionomer cement restoration on enamel subjected to a demineralization and remineralization model. Quintessence Int. 1992, 23, 143–147.
- [39] HICKS J., MILANO M., SEYBOLD S., GARCIA-GODOY F., FLAITSZ C.: Fluoride-releasing resin bonding of amalgam restorations in primary teeth: *in vitro* secondary caries effect. Am. J. dent. 2002, 15, 361–364.
- [40] DONLY K. J., SEGURA A., WEFEL J. S., HOGAN M. M.: Evaluating the effects of fluoride-releasing dental materials on adjacent interproximal caries. J. Am. Dent. Assoc. 1999, 130, 817–824.
- [41] QVIST V., LAUBERG I., POULSEN A., TEGLERS P. T.: Longevity and cariostatic effect of everyday conventional glass-ionomer and amalgam restorations in primary teeth: Three-year results. J. Dent. Res. 1997, 76, 1387–1396.
- [42] VILKINIS V., HORSEB-BINDSLEV P., BAEUM B.: Two-year evaluation of Class II resin-modified glass ionomer cement/composite open sandwich and composite restoration. Clin. Oral Invest. 2000, 4, 133–139.
- [43] SVANBERG M., KRASSE B., ORNERFELDT H.-Q.: Mutans streptococci in interproximal plaque from amalgam and glass ionomer restorations. Caries Res. 1990, 24, 133–134.
- [44] SVANBERG M.: Class II amalgam restorations; glass-ionomer tunnel restorations, and caries development on adjacent tooth surfaces: a 3-year clinical study. Caries Res. 1992, 26, 315–318.
- [45] HALLGREN A., OLIVEBY A., TWETMAN S.: Fluoride concentration in plaque adjacent to orthodontic appliances retained with glass ionomer cement. Caries Res. 1993, 27, 51–54.
- [46] BERG J. H., FARELL J. E., BROWN L. R.: Class II glass ionomer silver cermet restorations and their effect on interproximal growth of mutans streptococci. Pediatr. Dent. 1990, 12, 20–23.
- [47] VAN DIJKEN J. W. V., PERSSON S., SJOSTROM S.: Presence of *Streptococcus mutans* and lactobacilli in saliva and on enamel, glass ionomer cement and composite resin surfaces. Scand. J. Dent. Res. 1991, 99, 13–19.
- [48] VAN DIJKEN J. W. V., KALFAS S., LITRA V., OLIVEBY A.: Fluoride and mutans streptococci levels in plaque on aged restorations of resin-modified glass ionomer cement, compomer and resin composite. Caries Res. 1997, 31, 379–383.
- [49] GROBLER S. R., ROSSOUW R. J., VAN WYK KOTZE T. J.: A comparison of fluoride release from various dental materials. J. Dent. 1998, 26, 259–265.
- [50] MALTZ M., EMILSSON C. G.: Susceptibility of oral bacteria to various fluoride salts. J. Dent. Res. 1982, 61, 786–790.
- [51] JENSEN O. E., BILLINGS R. J., FEATHERSTONE D. B.: Clinical evaluation of Fluoroshield pit and fissure sealant. Clin. Prev. Dent. 1990, 12, 24–27.
- [52] WAGNER L.: Materiały wypełniające uwalniające fluorki w leczeniu próchnicy zębów mlecznych. Med Tour Press International Wydawnictwo Medyczne, Warszawa 2001, 21, 35–48.
- [53] HATTAB F. N., EL-MOWAFY O. M., SALEM N. S., EL-BADRAWY W. A.: An *in vivo* study on the release of fluoride from glass-ionomer cement. Quintessence Int. 1991, 22, 221–224.
- [54] RAJBORIRAKS D., NAKORNCHAI S., BUNDITSING P., SURARIT IR., IEMJARERN P.: Plaque and saliva fluoride levels after placement of fluoride releasing pit and fissure sealants. Pediatr. Dent. 2004, 26, 63–66.
- [55] REZK-LEGA F., OGAARD B., ROLLA G.: Availability of fluoride from glass-ionomer luting cements in human saliva. Scand J. Dent. Res. 1991, 99, 60–63.
- [56] BORSBOOM P. C., VAN DER MEI H. C., ARENDS J.: Enamel lesion formation with and without 0.12 ppm F in solution. Caries Res. 1984, 19, 396–402.
- [57] PAGE D. J.: A study of the effect of fluoride delivered from solution and dentifrices on enamel demineralization. Caries Res. 1991, 25, 251–255.
- [58] SHAW A. J., CARRICK T., MCCABE J. F.: Fluoride release from glass-ionomer and compomer restorative materials: 6-month data. J. Dent. 1998, 26, 355–359.
- [59] ABOUSH Y. E. Y., TORAZABZADEH H.: Fluoride release from tooth-coloured restorative materials: A 12-month report. J. Can. Dent. Assoc. 1998, 64, 561–568.

Adres do korespondencji:

Urszula Kaczmarek
Katedra i Zakład Stomatologii Zachowawczej i Dziecięcej AM
ul. Kuźnicza 43/45
50-138 Wrocław
e-mail: ukaczma@bf.uni.wroc.pl

Praca wpłynęła do Redakcji: 9.03.2005 r.
Po recenzji: 27.04.2005 r.
Zaakceptowano do druku: 27.04.2005 r.

Received: 9.03.2005
Revised: 27.04.2005
Accepted: 27.04.2005