

To cite this article:

Szymański Rafał, Nowak Joanna, Kopacz Karolina, Witkowska Katarzyna, Ryłska Dorota, Sokołowski Jerzy: Wytrzymałość połączenia materiałów kompozytowych z zębina za pomocą uniwersalnych samotrawiących systemów wiążących. Bond strength of composite to dentin using universal self-etching adhesive systems. Nowa Stomatol 2025;30(2):77-85. DOI: 10.25121/NS.2025.30.2.77

To link to this article:

<https://doi.org/10.25121/NS.2025.30.2.77>

RAFAŁ SZYMAŃSKI¹, *JOANNA NOWAK², KAROLINA KOPACZ^{3,4},
KATARZYNA WITKOWSKA¹, DOROTA RYLSKA⁵, JERZY SOKOŁOWSKI¹

Wytrzymałość połączenia materiałów kompozytowych z zębina za pomocą uniwersalnych samotrawiących systemów wiążących

Bond strength of composite to dentin using universal self-etching adhesive systems

¹Zakład Stomatologii Ogólnej, Katedra Stomatologii Odtwórczej, Uniwersytet Medyczny w Łodzi
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jerzy Sokołowski

¹Department of Restorative Dentistry, Medical University of Lodz
Head of Department: Professor Jerzy Sokolowski, MD, PhD

²Uczelniane Laboratorium Badań Materiałowych, Uniwersytet Medyczny w Łodzi
p. o. Kierownika: prof. dr hab. n. med. Jerzy Sokołowski

²University Laboratory of Materials Research, Medical University of Lodz,
Head of Laboratory: Professor Jerzy Sokolowski, MD, PhD

³Uczelniane Laboratorium Ruchu i Wydolności Fizycznej Człowieka „DynamoLab”, Uniwersytet Medyczny w Łodzi
Kierownik: dr n.med. Gianluca Padula

³Academic Laboratory of Movement and Human Physical Performance “DynamoLab”, Medical University of Lodz, Lodz, Poland
Head of Laboratory: Gianluca Padula, PhD

⁴Wydział Nauk Medycznych, Warszawska Akademia Medyczna
Kierownik: dr hab. n. med. i n o zdr. Marek Łyp, profesor WAM

⁴Faculty of Medical Sciences, Warsaw Medical Academy, Warsaw, Poland
Dean: Professor Marek Łyp, PhD, Associate Professor

⁵Zakład Zaawansowanych Materiałów i Kompozytów, Instytut Inżynierii Materiałowej, Politechnika Łódzka
Kierownik: prof. dr hab. inż. Łukasz Kaczmarek

⁵Institute of Materials Science and Engineering, Lodz University of Technology, 1/15 Stefanowskiego St., 90-924 Lodz, Poland
Head of Institute: Professor Łukasz Kaczmarek, PhD

SŁOWA KLUCZOWE

wytrzymałość połączenia, systemy wiążące, self-etch, total-etch

STRESZCZENIE

Wstęp. Wypełnienia stomatologiczne wykonane z materiałów kompozytowych stanowią w ostatnich latach ponad 40% wszystkich prac tego typu. Niestety, konieczność wymiany tych wypełnień z powodu próchnicy wtórnej pozostaje istotnym problemem. Badania nad systemami wiążącymi koncentrują się na uproszczeniu i przyspieszeniu procedur leczenia ubytków, przy jednoczesnym dążeniu do zwiększenia adhezji między tkankami zęba a materiałami odtwórczymi.

Cel pracy. Badanie ma na celu ocenę wytrzymałości połączenia kompozytu stomatologicznego z zębina za pomocą systemów wiążących VIII generacji stosowanych w technikach self-etch lub total-etch w porównaniu z systemem V generacji.

Materiał i metody. Badaniu technologicznego ścinania z wykorzystaniem uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej Z020 (Zwick/Roell) poddano 5 grup badanych ($n = 11$). Zębinę łączono ze światłoutwardzalnym materiałem kompozytowym X-flow (Dentsply Sirona) przy użyciu systemu Optibond Solo Plus (Kerr) w technice total-etch, Clearfil Universal Bond Quick w technikach total-etch i self-etch, a także G-Premio (GC) w technikach total-etch i self-etch. Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą programu Statistica v.13 (TIBCO Software Inc.).

Wyniki. Najwyższe wartości wytrzymałości połączenia zostały uzyskane z wykorzystaniem materiału Optibond Solo Plus w technice total-etch ($T_{\max} = 29,50 \pm 5,85$ MPa), a najniższe G-Premio Bond w tej samej technice ($T_{\max} = 8,86 \pm 2,19$ MPa). System Optibond Solo Plus wykazał istotnie wyższe wartości adhezji w porównaniu z pozostałymi materiałami, w których zastosowano technikę total-etch. Jednakże adhezja w tej grupie nie różniła się istotnie od wyników uzyskanych w technice self-etch dla pozostałych materiałów ($p < 0,05$).

Wnioski. Systemy VIII generacji w technice self-etch zapewniają porównywalną wytrzymałość połączenia z systemami V generacji w technice total-etch. Warto zatem rozważyć stosowanie systemów VIII generacji, które pozwalają uprościć i skrócić procedurę leczenia oraz zmniejszyć ryzyko powikłań.

KEYWORDS

bond strength, bonding systems, self-etch, total-etch

SUMMARY

Introduction. In recent years, dental restorations using composite materials have accounted for over 40% of all such procedures. However, the need to replace these restorations due to secondary caries remains a significant challenge. Research on adhesive systems has increasingly focused on simplifying and speeding up cavity treatment procedures while enhancing adhesion between tooth tissues and restorative materials.

Aim. This study aims to assess the bond strength of a dental composite to dentin using VII generation adhesive systems applied through self-etch or total-etch techniques, in comparison to a V generation system.

Material and methods. Shear bond strength testing was conducted on five experimental groups ($n = 11$) using a Z020 universal testing machine (Zwick/Roell). Dentin was bonded with the light-cured composite material X-flow (Dentsply Sirona) utilizing the Optibond Solo Plus system (Kerr) in the total-etch technique, Clearfil Universal Bond Quick in both total-etch and self-etch techniques, and G-Premio (GC) in both total-etch and self-etch techniques. Statistical analysis was performed using Statistica v.13 (TIBCO Software Inc.).

Results. The highest bond strength values were observed with Optibond Solo Plus in the total-etch technique ($T_{\max} = 29.50 \pm 5.85$ MPa), while the lowest values were recorded for G-Premio Bond in the same technique ($T_{\max} = 8.86 \pm 2.19$ MPa). The Optibond Solo Plus system demonstrated significantly higher adhesion values compared to other materials used with the total-etch technique. However, adhesion in this group did not significantly differ from the results obtained using the self-etch technique for the other materials ($p < 0.05$).

Conclusions. VIII generation adhesive systems in the self-etch technique provide bond strength comparable to that of V generation systems in the total-etch technique. Thus, the use of VII generation systems should be considered, as they simplify and expedite treatment procedures while potentially reducing the risk of complications.

WSTĘP

Ponad 40% wszystkich wypełnień stosowanych przy odbudowie twardych tkanek zęba wykonuje się z kompozytowych materiałów polimerowych (1). Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że na przestrzeni lat nadal najczęstszą przyczyną ich wymiany, której dotyczy ponad 75% prac (2), jest próchnica wtórna (3-9). Wyzwaniem podczas leczenia pacjentów jest zapewnienie jednocześnie skutecznego połączenia materiału kompozytowego z zębiną i/lub szkliwem z prostotą aplikacji materiałów stosowanych podczas odbudowy utraconych tkanek zębów. Jednym z popularnych

INTRODUCTION

More than 40% of all restorations used in the reconstruction of hard dental tissues are made of polymer composites (1). However, it should be noted that secondary caries has been the most common reason for their replacement ($> 75\%$) over the years (2-9). Ensuring an effective bond of composite to dentin and/or enamel and, at the same time, simple application of restorative materials remains a therapeutic challenge. Research on bonding systems used to fix composite to hard tooth tissues is one of the popular directions of research aimed at achieving

kierunków badań chcących osiągnąć ten cel są prace poświęcone systemom wiążącym, wykorzystywanym do połączenia materiału kompozytowego z twardymi tkankami zęba. Badania te skupiają się na modyfikacji ich składu chemicznego w celu: zwiększenia wytrzymałości połączenia materiałów z tkankami zęba, skrócenia czasu pracy lekarza dentysty oraz ułatwienia ich aplikacji (10).

Systemy wiążące w swoim składzie zawierają głównie: monomery metakrylanowe, fotoinicjatory, inhibitory i stabilizatory polimeryzacji, rozpuszczalniki, a także w niektórych przypadkach napełniacze nieorganiczne (11). Ich zróżnicowanie pod względem składu, właściwości oraz sposobu aplikacji powodują trudności w ich klasyfikacji. Jednym z najpopularniejszych podziałów jest klasyfikacja według generacji, która uwzględnia czas ich powstania, skład chemiczny oraz wytrzymałość połączenia. Każda generacja dąży do uproszczenia procedury aplikacji oraz wprowadzenia nowych, innowacyjnych związków chemicznych w celu wytworzenia bardziej stabilnego i wytrzymałego połączenia z zębina (12). Obecnie wyróżniamy 8 klas systemów wiążących (ryc. 1) (13-15).

Generacja 4: Total-etch	Typ I	All-Bond 2 (Bisco) Adper Scotchbond (3M) Bond-1 Prime/Adhesive (Pentron)
	Typ II	Prime & Bond NT (Dentsply) OptiBond Solo (Kerr) XP Bond (Dentsply)
Generacja 5: Total-etch	Systemy 2-etapowe	Single Bond 2 (3M)
	Systemy 3-etapowe	One Step Plus (Bisco) Excite F (Ivoclar Vivadent)
Generacja 6: Self-etch	Systemy 1-stopniowe	Adper Prompt L-Pop (3M) Xeno IV (Dentsply) iBond (Heraeus Kulzer)
	Systemy 2-stopniowe	Clearfil SE Bond (Kuraray) OptiBond All-In-One (Kerr) AdheSE One F (Ivoclar Vivadent)
Generacja 7 Self-etch	Modyfikacja warstwy mazistej	AdheSE (Ivoclar Vivadent) Clearfil SE Protect (Kuraray) Xeno V+ (Dentsply)
Generacja 8 Uniwersalne/Multi-mode	SE/SE&ER/ET systemy:	Scotchbond Universal (3M) All-Bond Universal (Bisco) Futurabond U (VOCO)

Ryc. 1. Klasyfikacja systemów wiążących nowych generacji

Zapewnienie wytrzymałego i trwałego połączenia z polimerowymi materiałami odtwórczymi stanowi duże wyzwanie ze względu na różnice w: składzie chemicznym, właściwościach fizycznych oraz morfologii między bardziej zmineralizowanym i jednorodnym szkliwem a uwodnioną i mniej jednorodną zębina (12). W stomatologii istnieje wiele technik opracowania ubytku, mających na celu uzyskanie

this goal. The research focuses on modifying their chemical composition to increase the strength of the bond between composites and tooth tissues, speed up the treatment process and facilitate their application (10).

The binding systems mainly contain methacrylate monomers, photoinitiators, polymerization inhibitors, stabilizers, solvents, and in some cases inorganic fillers (11). Their diversity in terms of composition, properties and application method makes their classification difficult. Classification by generation, which takes into account the time of formation, chemical composition and bond strength is most commonly used. Each generation aims to simplify the application and introduce new, innovative chemical compounds to create a more stable and durable bond with dentin (12).

Eight classes of bonding systems are currently distinguished (fig. 1) (13-15).

4th generation: Total-etch	Type I	All-Bond 2 (Bisco) Adper Scotchbond (3M) Bond-1 Prime/Adhesive (Pentron)
	Type II	Prime&Bond NT (Dentsply) OptiBond Solo (Kerr) XP Bond (Dentsply)
5th generation: Total-etch	2-step systems	Single Bond 2 (3M)
	3-step systems	One Step Plus (Bisco) Excite F (Ivoclar Vivadent)
6th generation: Self-etch	1-step systems	Adper Prompt L-Pop (3M) Xeno IV (Dentsply) iBond (Heraeus Kulzer)
	2-step systems	Clearfil SE Bond (Kuraray) OptiBond All-In-One (Kerr) AdheSE One F (Ivoclar Vivadent)
7th generation Self-etch	Smear layer modification	AdheSE (Ivoclar Vivadent) Clearfil SE Protect (Kuraray) Xeno V+ (Dentsply)
8th generation Universal/Multi-mode	SE/SE&ER/ET systems:	Scotchbond Universal (3M) All-Bond Universal (Bisco) Futurabond U (VOCO)

Fig 1. Classification of new-generation bonding systems

Providing a strong and durable bond with polymeric restorative materials is a major challenge due to the differences in chemical composition, physical properties, and morphology between more mineralized and homogeneous enamel and more hydrated and less homogeneous dentin (12). There are many cavity preparation techniques in dentistry aimed at achieving the most durable bond possible. Depending on the effect of the bonding system on the smear layer and enamel, the following approaches have been distinguished: Total-etch, Self-etch and Multi-mode, also known as the universal method (16). Due to

jak najbardziej wytrzymałego połączenia. W zależności od wpływu systemu wiążącego na warstwę mazistą i szklivo wyróżnia się następujące metody: total-etch, self-etch oraz multi-mode, znaną również metodą uniwersalną (16). W związku z pojawianiem się nowych materiałów na rynku stomatologicznym oraz brakiem jednoznacznych wyników w pracach naukowych istnieje konieczność prowadzenia badań nad wytrzymałością połączenia między tkankami zęba a kompozytem dentystycznym, z uwzględnieniem różnych generacji materiałów wiążących oraz technik pracy.

CEL PRACY

Celem pracy była ocena wytrzymałości połączenia pomiędzy materiałem kompozytowym a zębiną uzyskana z wykorzystaniem uniwersalnych samotrąwiających systemów wiążących.

Hipoteza zerowa zakłada, że nie występują różnice w wytrzymałości połączenia materiału kompozytowego z zębiną, uzyskanego poprzez zastosowanie systemu V generacji bądź systemów wiążących VIII generacji w technice total-etch i self-etch.

MATERIAŁ I METODY

Do badania wykorzystano zębinę pozyskaną z zębów trzonowych usuniętych z powodu wskazań ortodontycznych. Zęby przed badaniem przechowywano w 1% roztworze tymolu cz.d.a. (Pol-Aura) rozpuszczonego w 96% alkoholu etylowym cz.d.a. (Pol-Aura). Następnie zęby cięto za pomocą przecinarki precyzyjnej Mecatome T-201A (Presi) przy zastosowaniu chłodzenia wodnego, aby uniknąć zniszczenia termicznego tkanek w trakcie procesu. Przygotowano w ten sposób 55 próbek, które umieszczano w cylindrycznych formach z PVC (d = 18 mm, h = 30 mm) i zatapiano w akrylowym tworzywie samopolimeryzującym Villacryl IT (Everall7). W kolejnym kroku odsłanianio zębinę do badań, szlifując powierzchnię każdej z próbek na szlifierko-polerce Minitech-233 (Presi) kolejno przy zastosowaniu papierów ściernych z nasypem z węgliku krzemu o gradacjach P180, P320 i P600 oraz chłodzenia wodnego (17).

the emergence of new materials on the dental market and the lack of clear scientific evidence, there is a need to conduct research on bond strength between dental tissues and dental composite for different generations of bonding materials and techniques.

AIM

The aim of the study was to assess the quality of bond between a composite and dentin obtained using universal self-etching bonding systems. The null hypothesis assumed that there were no differences in bond strength between a composite and dentin when using the fifth- or eighth-generation bonding systems in total-etch and self-etch mode.

MATERIAL AND METHODS

The study used dentin obtained from molars extracted for orthodontic indications. Before the study, the teeth were stored in a 1% solution of thymol, analytical grade (Pol-Aura) dissolved in 96% ethyl alcohol, analytical grade (Pol-Aura). Then, the teeth were cut using a Mecatome T-201A precision cutter (Presi) using water cooling to avoid thermal destruction of tissues during the process. This way, 55 samples were obtained, placed in cylindrical PVC moulds (d = 18 mm, h = 30 mm) and embedded in the self-polymerizing acrylic material Villacryl IT (Everall7). The next step was to expose the dentine for testing by grinding the surface of each sample on a Minitech-233 grinding and polishing machine (Presi), using successively silicon carbide sandpaper with grades P180, P320 and P600 and water cooling (17). The prepared samples were divided into 5 test groups (n = 11). The reference group consisted of samples with application of OptiBond Solo Plus (Kerr), which is 5th generation (total-etch) adhesive and is considered the so-called „gold standard” among bonding systems used in dentistry. In the other groups, universal 8th generation bonding systems were

Tab. 1. System kodowania próbek do badania wytrzymałości połączenia zębiny z materiałem kompozytowym

Materiał	Producent	Technika	Kod grupy
OptiBond Solo Plus	Kerr	Total-etch	OBSP TE
CLEARFIL™ Universal Bond Quick	Kuraray Noritake	Self-etch	CUBQ SE
CLEARFIL™ Universal Bond Quick	Kuraray Noritake	Total-etch	CUBQ TE
G-Premio Bond	GC	Self-etch	GPB SE
G-Premio Bond	GC	Total-etch	GPB TE

Tab. 1. Sample coding system for testing the shear bond strength between dentin and a composite agent

Agent	Manufacturer	Mode	Code
OptiBond Solo Plus	Kerr	Total-etch	OBSP TE
CLEARFIL™ Universal Bond Quick	Kuraray Noritake	Self-etch	CUBQ SE
CLEARFIL™ Universal Bond Quick	Kuraray Noritake	Total-etch	CUBQ TE
G-Premio Bond	GC	Self-etch	GPB SE
G-Premio Bond	GC	Total-etch	GPB TE

Przygotowane próbki podzielono na 5 grup badanych ($n = 11$). Grupę odniesienia stanowiły próbki po zastosowaniu OptiBond Solo Plus (Kerr), który należy do V generacji (technika total-etch) i jest uznawany za tzw. złoty standard wśród systemów wiążących używanych w stomatologii. W kolejnych grupach zastosowano uniwersalne systemy wiążące VIII generacji: CLEARFIL™ Universal Bond Quick (Kuraray Noritake) i G-Premio Bond (GC), które nakładane były w technice total-etch lub self-etch. Próbki zębiny przygotowane w technice całkowitego trawienia kwasem total-etch trawiono za pomocą 37% kwasu ortofosforowego przez 15 sekund. Dla próbek w technice self-etch nie stosowano dodatkowej obróbki kwasem. System kodowania grup przedstawiono w tabeli 1.

Systemy wiążące nakładane były techniką aktywnej aplikacji, tzw. brushing, zgodnie z czasem zalecanym przez producenta danego materiału. Następnie osuszano powierzchnię z naniesionym preparatem strumieniem powietrza i naświetlano powierzchnię próbki za pomocą lampy polimeryzacyjnej Elipar Freelight 2 (3M ESPE) w czasie zalecanym przez producenta. W kolejnym kroku na powierzchni próbki umieszczano pierścień silikonowy z otworem o średnicy $d = 3$ mm i wysokości $h = 5$ mm, który napełniano światłoutwardzalnym materiałem kompozytowym X-flow (Dentsply Sirona) i polimeryzowano tą samą lampą zgodnie z zaleceniami producenta. Po delikatnym zdjęciu pierścienia silikonowego próbki umieszczano w szczelnie zamkniętym naczyniu z wodą destylowaną, które były kondycjonowane przed badaniem przez 24 godziny w temperaturze 37° .

Badanie wytrzymałości połączenia materiału X-flow z zębina w poszczególnych grupach wykonano za pomocą uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej Z020 (Zwick/Roell), przeprowadzając test technologicznego ścinania. Podczas badania zastosowano siłę wstępną $0,2$ N oraz prędkość przesuwu belki poprzecznej równą 2 mm/min. Wartość naprężenia maksymalnego (maksymalną wytrzymałość połączenia) wyznaczano za pomocą oprogramowania TestXpert® (Zwick/Roell).

Podczas analizy statystycznej dla prób niezależnych sprawdzono normalność rozkładu w każdej z grup testem Shapiro-Wilka. Następnie oceniono jednorodność wariancji testem Levene'a. Z powodu braku równości wariancji przeprowadzono testy nieparametryczne ANOVA, porównanie rang Kruskala-Wallisa i analizę post-hoc testem porównań wielokrotnych. Poziom istotności statystycznej wynosił $p < 0,05$. Do obliczeń wykorzystano oprogramowanie Statistica, wersja 13 (TIBCO Software Inc.).

WYNIKI

Próbki wykazały typ zniszczenia adhezyjnego (na granicy połączenia) przedstawionego na rycinie 2 i wszystkie pomiary zostały wykorzystane do analizy statystycznej.

Wyniki badania wytrzymałości połączenia ($T_{\max}$) w poszczególnych grupach przedstawiono na rycinie 3, zaś wyniki statystyk opisowych w tabeli 2.

used: CLEARFIL™ Universal Bond Quick (Kuraray Noritake) and G-Premio Bond (GC), which were applied in total-etch or self-etch modes. Dentin samples prepared with the total-etch technique were etched with 37% orthophosphoric acid for 15 seconds. No additional acid treatment was used for self-etch samples. The group coding system is presented in table 1.

The bonding systems were applied using an active application technique, the so-called "brushing", over a period of time recommended by the manufacturer of a given agent. Then, the surface with the applied agent was dried with an air stream and the sample surface was irradiated with an Elipar Freelight 2 (3M ESPE) polymerization lamp, following the exposure time recommended by the manufacturer. Next, a silicone ring with a hole diameter of $d = 3$ mm and height $h = 5$ mm was placed on the surface of the sample, which was filled with light-cured X-flow composite (Dentsply Sirona) and polymerized with the same lamp, following the manufacturer's instructions. After gently removing the silicone ring, the samples were placed in a tightly closed vessel filled with distilled water, and were conditioned for 24 hours at 37° before testing.

The shear bond strength testing of X-flow with dentine was performed across groups using a Z020 universal testing machine (Zwick/Roell) by performing a technological shear test. During the test, an initial force of 0.2 N and a cross-beam movement (slide) speed of 2 mm/min were used. The maximum stress (maximum bonding strength) was determined using the TestXpert® software (Zwick/Roell).

Statistical analysis for independent samples used the Shapiro-Wilk test to verify the normality of distribution in each group. Then, the homogeneity of variance was assessed using Levene's test. Due to the lack of equality of variances, nonparametric ANOVA tests, Kruskal-Wallis rank comparison and post-hoc analysis with multiple comparison test were performed. The level of statistical significance was $p < 0.05$. Statistica software version 13 was used for calculations (TIBCO Software Inc.).

RESULTS

The samples showed the adhesive failure (interface) type shown in figure 2 and all measurements were used for statistical analysis.

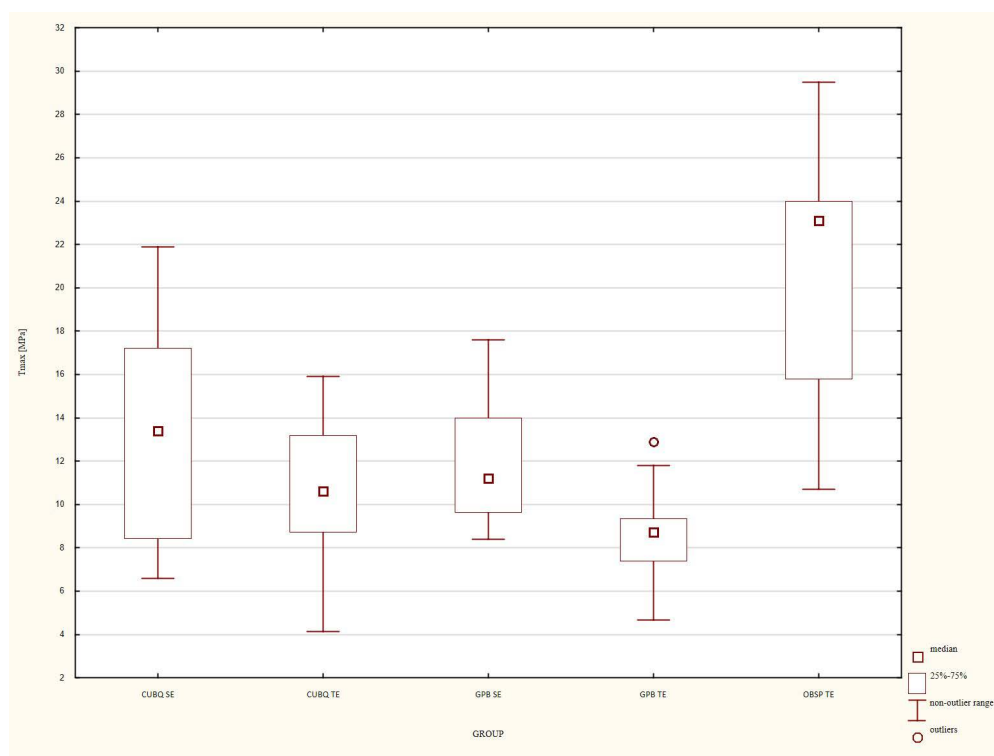
The results of the bond strength testing ($T_{\max}$) across the individual groups are presented in figure 3, and the results of descriptive statistics are presented in table 2.

The highest bond strength was obtained for OptiBond Solo Plus used in total-etch mode ($T_{\max} = 21.24 \pm 5.85$ MPa), while the lowest was obtained for G-Premio in total-etch mode ($T_{\max} = 8.86 \pm 2.19$ MPa). Comparing the obtained results, it can be seen that both universal 8th generation bonding systems, CLEARFIL™ Universal Bond Quick and



Ryc. 2. Przykładowy wygląd próbek zębiny po badaniu wytrzymałości na ścinanie technologiczne łączonych z wykorzystaniem różnych samotrąwiających systemów wiążących

Fig. 2. Exemplary appearance of dentine samples after technological shear strength testing, bonded with different self-etching adhesives



Ryc. 3. Wytrzymałość połączenia $T_{\max}$ [MPa] materiału X-Flow z zębiną w poszczególnych grupach

Fig. 3. Bond strength $T_{\max}$ [MPa] of X-Flow with dentine across the tested groups

Najwyższą wytrzymałość połączenia uzyskano w przypadku materiału OptiBond Solo Plus stosowanego w technice całkowitego wytrawiania ($T_{\max} = 21,24 \pm 5,85$ MPa), zaś najniższą dla połączenia uzyskanego za pomocą G-Premio w technice total-etch ($T_{\max} = 8,86 \pm 2,19$ MPa). Porównując otrzymane wyniki, można zauważyć, że oba uniwersalne systemy wiążące VIII generacji, zarówno CLEARFIL™ Universal Bond Quick, jak i G-Premio, przy zastosowaniu techniki self-etch charakteryzowały się wyższymi wartościami maksymalnej wytrzymałości połączenia materiału kompozytowego

G-Premio, were characterised by higher maximum strength of composite bond to dentin when used in self-etch mode vs. total-etch, however, these differences were not statistically significant (tab. 2). In the case of the GC agent, the total-etch mode showed an 18% decrease in this value compared to the self-etch technique, while in the case of Kuraray Noritake adhesive, the $T_{\max}$ value dropped by up to 26% compared to the techniques used. The only statistically significant differences were found between OptiBond

Tab. 2. Wartość p dla porównań wielokrotnych T_{max} (test post-hoc dla analizy ANOVA), test Kruskala-Wallisa (wartości pogrubione i oznaczone gwiazdką wskazują na różnice istotne statystycznie, $p < 0,05$)

Grupa	Wartość p dla porównań wielokrotnych (dwustronnych); T_{max} [MPa] Test Kruskala-Wallisa				
	CUBQ SE	CUBQ TE	GPB SE	GPB TE	OBSP TE
CUBQ SE		1,000000	1,000000	0,404240	0,084155
CUBQ TE	1,000000		1,000000	1,000000	0,009210*
GPB SE	1,000000	1,000000		0,520248	0,061179
GPB TE	0,404240	1,000000	0,520248		0,000028*
OBSP TE	0,084155	0,009210*	0,061179	0,000028*	

Tab. 2. P-value for multiple comparisons of T_{max} (post-hoc test for ANOVA analysis), Kruskal-Wallis test (values in bold and marked with an asterisk indicate statistically significant differences, $p < 0.05$)

Group	P-value for multiple comparisons (two-tailed); T_{max} [MPa] Kruskal-Wallis test				
	CUBQ SE	CUBQ TE	GPB SE	GPB TE	OBSP TE
CUBQ SE		1.000000	1.000000	0.404240	0.084155
CUBQ TE	1.000000		1.000000	1.000000	0.009210*
GPB SE	1.000000	1.000000		0.520248	0.061179
GPB TE	0.404240	1.000000	0.520248		0.000028*
OBSP TE	0.084155	0.009210*	0.061179	0.000028*	

z zębina w porównaniu z techniką total-etch, jednak nie były to różnice istotne statystycznie (tab. 2). W przypadku preparatu firmy GC stosując technikę total-etch, odnotowano spadek wartości o 18% w stosunku do techniki self-etch, zaś w przypadku materiału od Kuraray Noritake wartość T_{max} spadła aż o 26%. Istotne statystycznie są jedynie różnice pomiędzy wynikami dla materiału OptiBond Solo Plus a oboma uniwersalnymi systemami wiążącymi VIII generacji zastosowanymi w technice całkowitego selektywnego wytrawiania (tab. 2).

DYSKUSJA

Jednym z oczekiwań stawianych nowym generacjom systemów wiążących jest poprawa adhezji pomiędzy wypełnieniem a tkankami zęba. W badaniach własnych wytrzymałość połączenia materiału kompozytowego do tkanek zębiny z wykorzystaniem uniwersalnych samotrawiących systemów wiążących (VIII generacja) w technice self-etch miała zbliżone statystycznie wyniki do tych uzyskanych po zastosowaniu materiału łączącego Optibond Solo Plus (V generacja, technika total-etch). Jest to zgodne z wynikami badań innych autorów, gdzie systemy VIII generacji w uproszczonej technice self-etch miały porównywalne wyniki z systemami wiążącymi V generacji z zastosowaniem techniki total-etch (18). Brak istotnych różnic statystycznych przy niewielkim spadku wytrzymałości połączenia po użyciu nowszej generacji systemu wiążącego sprzyja możliwości przyspieszenia procedur leczenia, nie wpływając jednocześnie na jakość połączenia materiału kompozytowego z zębina (19). Dodatkowo badania wskazują, że zastosowanie systemów wiążących w technice self-etch pozwala zachować dłuższy czas użytkowania wypełnień w porównaniu z innymi metodami (20-22).

Solo Plus and both of the 8th generation universal bonding systems used in the total selective etching mode (tab. 2).

DISCUSSION

Improved adhesion between restorative materials and dental tissues is one of the expectations placed on new-generation bonding systems. In our study, the bond strength of a composite to dentin using universal self-etching bonding systems (8th generation) in self-etch mode produced statistically similar outcomes to those obtained with Optibond Solo Plus bonding material (5th generation, total-etch). This is consistent with studies by other authors, where the 8th generation systems used in the simplified self-etch technique produced outcomes comparable with the 5th generation bonding systems using the total-etch mode (18). The lack of significant statistical differences with a slight decrease in the bond strength with the newer generation of bonding system favours the possibility of speeding up treatment procedures without affecting the quality of the composite bond with dentin (19). Additionally, research indicates that self-etch bonding systems allow for extended usage time of restorations compared to other approaches (20-22).

A significant decrease in the bond strength was observed with newer generations of bonding systems in total-etch mode for dentine compared to the 5th generation system used in the same mode. A similar decrease in the adhesion of composite materials to dentine pretreated with orthophosphoric acid was observed by Perdigão (19). Researcher suggest that the bond between restorative materials and etched dentin may be compromised due to incomplete

W przypadku zastosowania nowszych generacji systemów wiążących w technice total-etch do zębiny w stosunku do systemu V generacji stosowanego w tej samej technice zauważono istotny spadek w wytrzymałości połączenia. Podobne obniżenie adhezji materiałów kompozytowych z zębina, wstępnie poddaną działaniu kwasu ortofosforowego, odnotował w swoich badaniach Perdigão (19). Badacz sugeruje, że wytrzymałość połączenia materiałów odtwórczych z wytrawioną zębina może ulec osłabieniu z powodu niepełnej penetracji łańcuchów polimerowych systemu wiążącego, które nie są w stanie całkowicie przeniknąć między matrycę włókien kolagenowych powstającej na skutek działania kwasu ortofosforowego. Znaczny spadek wytrzymałości połączenia materiału kompozytowego z zębina uzyskanego za pomocą nowych systemów wiążących w technice całkowitego trawienia może być spowodowany również różnicami w składzie systemów wiążących w porównaniu z systemami V generacji (23).

Trudności w osiągnięciu tak wysokiej jakości połączenia między materiałem kompozytowym a zębina, jak ma to miejsce w przypadku połączenia ze szkliwem, nadal stanowią wyzwanie zarówno dla klinicystów, jak i naukowców. Problemy te wynikają głównie z niższej zawartości minerałów w zębina oraz jej większej wilgotności, co sprzyja hydrolitycznemu rozkładowi systemów wiążących. Ryzyko niepowodzenia leczenia zwiększa obecność mikroprzecieków i osmotycznego przesączu wody w głąb wypełnienia (19, 24, 25). Wyższe wartości wytrzymałości osiągane w przypadku szkliwa, jak wskazuje Perdigão (19), mogą być także wynikiem tworzenia się mikromechanicznych połączeń materiałów polimerowych z powierzchnią wytrawionego szkliwa.

Mając na uwadze zalecenia stomatologii minimalnie inwazyjnej, która kładzie nacisk na stosowanie możliwie najprostszych, a zarazem skutecznych metod leczenia, warto rozważyć wykorzystanie nowoczesnych, łatwiejszych i szybszych w aplikacji systemów wiążących VIII generacji w technice self-etch. Dodatkowo można zminimalizować ryzyko wystąpienia efektów ubocznych, takich jak nadwrażliwość zębów, często pojawiająca się przy technice całkowitego trawienia. Takie podejście może zapewnić zarówno większy komfort pacjenta, jak i skuteczność leczenia (19, 25, 26).

WNIOSKI

1. Zastosowanie systemów wiążących VIII generacji w technice self-etch pozwala uzyskać porównywalne wyniki wytrzymałości połączenia z zębina, jak w przypadku systemu V generacji w technice total-etch.
2. Technika total-etch dla systemów wiążących VIII generacji powoduje pogorszenie wytrzymałości połączenia z zębina.
3. Uwzględniając wyniki badań oraz wytyczne stomatologii minimalnie inwazyjnej, zasadne jest rozważenie stosowania systemów wiążących VIII generacji w technice self-etch, które dodatkowo mogą ograniczyć ryzyko efektów ubocznych, takich jak nadwrażliwość zębów.

penetration of the polymer chains of the bonding system, which are unable to completely penetrate the collagen fibre matrix created by orthophosphoric acid. The significant decrease in the strength of the bond between composite material and dentin obtained with the new bonding systems in total-etch mode may be also due to the differences in the composition of these bonding systems compared to the 5th generation systems (23).

The difficulty in achieving bond between composite and dentin that is as high quality as the bond with enamel continues to be a challenge for both clinicians and scientists. These problems mainly arise from the lower mineral content of dentin and its higher moisture, which promotes hydrolytic degradation of bonding systems. The risk of treatment failure is increased by the presence of microleaks and osmosis of water into the restoration (19, 24, 25). Higher strength achieved for enamel, as indicated by Perdigão (19), may also be due to the formation of micro-mechanical bonds between polymeric materials and the surface of the etched enamel.

Given the recommendations of minimally invasive dentistry, which emphasize the use of the simplest and most effective treatment approaches, it is worth considering the use of modern 8th generation self-etch bonding approaches, whose application is easier and faster. Additionally, the risk of undesirable effects, such as tooth hypersensitivity, which is common with the total etch technique, can be minimised. This approach is likely to offer both greater patient comfort and higher treatment efficacy (19, 25, 26).

CONCLUSIONS

1. The use of 8th generation bonding systems in self-etch mode allows for comparable bond strength with dentin as in the case of 5th generation total-etch system.
2. The use of total-etch technique for 8th generation bonding systems is associated with reduced bond strength with dentin.
3. Given the research findings and minimally invasive dentistry guidelines, it is reasonable to consider the use of 8th generation bonding systems in self-etch mode, which can additionally reduce the risk of undesirable effects, such as tooth hypersensitivity.

KONFLIKT INTERESÓW

Brak konfliktu interesów

ADRES DO KORESPONDENCJI CORRESPONDENCE

*Joanna Nowak
Uczelniane Laboratorium
Badań Materiałowych
Uniwersytet Medyczny w Łodzi
Centrum Dydaktyczne, p. 00.08
ul. Pomorska 251 92-213 Łódź
tel.: +48 (42) 272-57-66
joanna.nowak.1@umed.lodz.pl

PIŚMIENNICTWO/REFERENCES

1. Mjör IA, Moorhead JE, Dahl JE: Selection of restorative materials in permanent teeth in general dental practice. *Acta Odontol Scand* 1999; 57(5): 257-262.
2. Desai HR, Mulay SA, Shinde RR et al.: Comparative evaluation of eighth-generation bonding agent modified with 7% arginine and 0.12% chitosan for antibacterial property and microtensile bond strength. *J Conserv Dent* 2022; 25(4): 440.
3. Kidd EA: Caries diagnosis within restored teeth. *Adv Dent Res* 1990; 4: 10-13.
4. Burke F, Cheung S, Mjör I, Wilson N: Restoration longevity and analysis of reasons for the placement and replacement of restorations provided by vocational dental practitioners and their trainers in the United Kingdom. *Quintessence Int (Berl)* 1999; 30(4): 234-242.
5. Frost PM: An audit on the placement and replacement of restorations in a general dental practice. *Prim Dent Care* 2002; 9(1): 31-36.
6. Tyas MJ: Placement and replacement of restorations by selected practitioners. *Aust Dent J* 2005; 50(2): 81-89.
7. Mjör IA, Moorhead JE, Dahl JE: Reasons for replacement of restorations in permanent teeth in general dental practice. *Int Dent J* 2000; 50(6): 361-366.
8. Chrysanthakopoulos NA: Placement, replacement and longevity of composite resin-based restorations in permanent teeth in Greece. *Int Dent J* 2012; 62(3): 161.
9. Eltahlah D: Reasons of replacement and repair of directly placed dental restorations: A systematic review. *MPhil Thesis, Cardiff University* 2020.
10. Hardan L, Bourgi R, Cuevas-Suárez CE et al.: Effect of Different Application Modalities on the Bonding Performance of Adhesive Systems to Dentin: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cells* 2023; 12(1): 190.
11. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J et al.: Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials* 2007; 28(26): 3757-3785.
12. Arandi NZ: The Classification and Selection of Adhesive Agents; an Overview for the General Dentist. *Clin Cosmet Investig Dent* 2023; 15: 165.
13. Kazak M, Dönmez N: Development of Dentin Bonding Systems from Past to Present. *Bezmialem Science* 2019; 7(4): 322-330.
14. Kakar S, Goswami M, Kanase A: Dentin Bonding Agents I: Complete Classification – A Review. *World J Dent* 2011; 2(4): 367-370.
15. Arandi NZ: The Classification and Selection of Adhesive Agents; an Overview for the General Dentist. *Clin Cosmet Investig Dent* 2023; 15: 165-180.
16. Łukomska-Szymańska M, Sokołowski J, Łapińska B: Current views on adhesive bonding systems. *J Stomat* 2017; 70(4): 384-393.
17. Sadr A, Ghasemi A, Shimada Y, Tagami J: Effects of storage time and temperature on the properties of two self-etching systems. *J Dent* 2007; 35(3): 218-225.
18. Poptani B, Gohil KS, Ganjiwale J, Shukla M: Microtensile dentin bond strength of fifth with five seventh-generation dentin bonding agents after thermocycling: An in vitro study. *Contemp Clin Dent* 2012; 3(6): S167-171.
19. Perdigão J: Current perspectives on dental adhesion: (1) Dentin adhesion – not there yet. *Jpn Dent Sci Rev* 2020; 56(1): 190-207.
20. Szesz A, Parreiras S, Reis A, Loguercio A: Selective enamel etching in cervical lesions for self-etch adhesives: A systematic review and meta-analysis. *J Dent* 2016; 53: 1-11.
21. Peumans M, De Munck J, Van Landuyt K, Van Meerbeek B: Thirteen-year randomized controlled clinical trial of a two-step self-etch adhesive in non-carious cervical lesions. *Dental Materials* 2015; 31(3): 308-314.
22. Peumans M, Kanumilli P, De Munck J et al.: Clinical effectiveness of contemporary adhesives: A systematic review of current clinical trials. *Dental Materials* 2005; 21(9): 864-881.
23. Sofan E, Sofan A, Palaia G et al.: Classification review of dental adhesive systems: from the IV generation to the universal type. Vol. VIII, *Annali di Stomatologia*. 2017.
24. AL-Ashou WMO, Taher R, Ali AH: Shear-bond strength of different Self-Etching adhesive systems to dentin with or without laser irradiation before photopolymerization (A comparative Study). *Saudi Dent J* 2022; 34(8): 779-787.
25. Łapińska B, Łukomska-Szymańska MM, Domarecka M: Influence of self-etching adhesive systems on self-adhesive cement-dentin bond strength. *Protet Stomatol* 2014; LXIV(3): 186-194.
26. Belli S, Zhang Y, Pereira PNR et al.: Regional Bond Strengths of Adhesive Resins to Pulp Chamber Dentin. *J Endod* 2001; 27(8): 527-532.

nadesłano:

7.04.2025

zaakceptowano do druku:

28.04.2025