

Marta Polichnowska

**Ocena wytrzymałości połączenia między zamkami
ortodontycznymi a szklivem zębów przy zastosowaniu
różnych rodzajów cementów.**

ROZPRAWA NA STOPIEŃ
DOKTORA NAUK MEDYCZNYCH

Promotor:

Dr hab. n.med. Mariusz Pryliński

Katedra Protetyki Stomatologicznej

Klinika Protetyki i Technologii Dentystycznych

Uniwersytet Medyczny im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu

Poznań, 2020

Szanownemu Panu dr hab. n. med. Mariuszowi Prylińskiemu,
mojemu Promotorowi,
dziękuję za pomoc merytoryczną, cenne rady, poświęcony czas i ogrom wsparcia
w trakcie powstawania niniejszej pracy.

SPIS SKRÓTÓW

Bis-GMA	bisfenol A dimetakrylanu glicydyłu
DEGMA	dimetakrylan glikolu dietylenowego
TEGMA	dimetakrylan glikolu trietylenowego
HEMA	metakrylanu hydroksyetylenu
UDMA	dimetakrylan uretanu

SPIS TREŚCI

1.	WSTĘP	5
2.	PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA.....	7
3.	CEL PRACY.....	22
4.	MATERIAŁY I METODY.....	23
5.	WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH TESTU NA ŚCINANIE.....	33
6.	WYNIKI ANALIZY STATYSTYCZNEJ BADAŃ LABORATORYJNYCH.....	57
7.	WYNIKI OCENY RODZAJU PRZEŁOMU W ZALEŻNOŚCI OD ZASTOSOWANEGO CEMENTU.....	81
8.	OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA.....	86
9.	WNIOSKI	98
10.	STRESZCZENIE.....	99
11.	BIBLIOGRAFIA.....	106
12.	SPIS RYCIN	119
13.	SPIS TABEL.....	121

1. WSTĘP

Leczenie ortodontyczne jest obecnie coraz bardziej popularne, ponieważ pacjenci przywiązują większą uwagę do estetyki oraz swego wyglądu, a media społecznościowe prześcigają się w kreowaniu odpowiednich standardów wizualnych. Coraz więcej osób od najmłodszych lat „prostuje” zęby, aby móc podczas uśmiechu pokazać proste i białe zęby. Z drugiej strony ortodontcja leczy wady zgryzu i wyprowadza pacjentów z zaburzeń występujących w jamie ustnej, ułatwiając tym samym komfort życia, artykulację dźwięków mowy i spożywanie pokarmów.

Popularność leczenia ortodontycznego aparatami stałymi sprawia, iż na rynku stomatologicznym pojawia się coraz więcej materiałów stomatologicznych przeznaczonych do montażu elementów ortodontycznych oraz dostępnych jest wiele rodzajów aparatów ortodontycznych różniących się budową zamków i pierścieni.

Biorąc pod uwagę długi czas leczenia ortodontycznego, istotną kwestią pozostaje odpowiedni dobór rodzaju aparatu ortodontycznego oraz materiałów ortodontycznych, tak aby leczenie przebiegało możliwie bezawaryjnie. Wpływ dodatkowych czynników występujących w jamie ustnej, takich jak zmiany temperatur, pH, siły żucia czy wady zgryzu powodują, że zastosowany materiał ortodontyczny musi posiadać odpowiednią siłę wiązania, aby pomimo działania niekorzystnych czynników utrzymywał połączenie zamek ortodontyczny – szkliwo zęba oraz aby nie dochodziło do uszkodzenia szkliwa podczas demontażu aparatu stałego.

Odklejanie się zamków ortodontycznych w trakcie leczenia może wydłużać proces leczenia oraz powodować dodatkową akumulację płytki nazębnej, a tym samym podwyższać ryzyko występowania próchnicy.

W pracy dokonano porównania czterech różnego rodzaju cementów ortodontycznych i dwóch rodzajów zamków ortodontycznych badanych w warunkach in vitro. Dlatego niezbędnym jest zwrócenie dodatkowej uwagi na czynniki występujące w jamie ustnej w odniesieniu do praktyki klinicznej.

2. PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA

We współczesnym leczeniu wad zgryzu stałe aparaty ortodontyczne stanowią 70-80% przypadków. Montaż aparatów stałych odbywa się przy pomocy materiałów adhezyjnych, kompozytów światłoutwardzalnych oraz materiałów szkło- jonomerowych (1).

Aby połączyć dwie twarde struktury, jakimi są szkliwo zęba i zamek ortodontyczny niezbędne jest zastosowanie substancji adhezyjnej. Zbyt mała wielkość siły i powierzchnie z mikroskopijnymi nierównościami uniemożliwiają uzyskanie adhezji molekularnej. Wprowadzenie płynu między dwie stałe struktury pozwala na wytworzenie adhezji dwóch ciał stałych. Zastosowany płyn musi mieć zdolność wplynięcia w mikroretencyjne zagłębienia i pory oraz dokładnie zwilżyć obie powierzchnie, co umożliwia tworzenie wiązań międzycząsteczkowych. W celu wytworzenia wiązania odpornego na działanie sił rozrywających, niezbędną cechą charakterystyczną stosowanej płynnej substancji, jest jej zdolność do solidyfikacji. Zmiana fazy płynnej na stałą w ortodoncji jest najczęściej osiągnięta poprzez polimeryzację monomeru oraz reakcję kwas - zasada zachodzącą w cementach szkło- jonomerowych. Brantley i wsp (2) wprowadzili do literatury termin bonding jako połączenie adhezji i mocowania, czyli dwóch składowych tego procesu: chemicznej i mechanicznej. Adhezją są wszystkie oddziaływania i wiązania występujące pomiędzy cząsteczkami materiałów, natomiast mocowanie to uzyskanie mikroretencji powstałej z wytrawienia powierzchni szkliwa, która umożliwia właściwe zapłynięcie materiału.

Obecnie najczęściej stosowanymi w ortodoncji materiałami adhezyjnymi są żywice kompozytowe. Składają się one z organicznej matrycy i nieorganicznego wypełniacza. Wielkość cząsteczek wypełniacza waha się pomiędzy 0,04-5 μm ,

natomiast wolna frakcja stanowi 30-75% objętości materiału. Wynikiem polimeryzacji aromatycznego dimetakrylanu lub dimetakrylanu uretanu jest powstanie matrycy organicznej. Bazą większości materiałów jest monomer aromatyczny dimetakrylanu 2,2-bis [4-(2-hydroksy-3-metakryloksypropoksy)-fenylo]-propanu (Bis-GMA). W celu uzyskania odpowiedniej lepkości, do matrycy Bis-GMA wprowadza się dodatkowe monomery, takie jak dimetakrylan glikolu dietylenowego (DEGMA) oraz dimetakrylan glikolu trietylenowego (TEGMA). Standardowa formuła kompozytu składa się w 75% z Bis-GMA i 25% TEGMA. Wypełniaczem materiałów kompozytowych były początkowo szkło, krzemiany i gliniany. Obecnie są nimi amorficzny kwarc, krzemiany litowo-glinowe z zerowym/ujemnym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej, szkła barowe oraz strontowe. Stosowanie dużych ilości twardych i mocnych cząstek powoduje zwiększenie wytrzymałości żywicy kompozytowych, porównywalnej do wytrzymałości szkliva oraz zmniejsza skurcz polimeryzacyjny, zwiększając jednocześnie odporność na ścieranie. Materiały hybrydowe są wynikiem prób połączenia zalet mikro- i makrowypełniaczy, a wypełniacz stanowi 70% objętości (2–7).

Dzięki zastosowaniu systemów wiążących następuje poprawa siły wiązania. W skład systemów wiążących wchodzi żywice bez wypełniaczy, które posiadają zwiększoną ilość komonomerów jak np. TEGMA w stosunku do reszty monomerów. Charakteryzują się one niską gęstością, która ułatwia ich zapływanie w obszary międzypryzmatyczne szkliva, redukując jednocześnie porowatość połączenia szklivo - materiał adhezyjny. Jednak ze względu na obecność większej ilości komonomerów zwiększa się ryzyko skurczu polimeryzacyjnego, a brak wypełniaczy skutkuje zwiększoną absorpcją wody oraz grubszą warstwą inhibicyjną tlenu. W związku z tym stosuje się powłoki zapobiegające dyfuzji tlenu do warstwy

polimeryzującego materiału, co skraca czas ekspozycji na jego działanie (2). Ze względu na duże ryzyko występowania wilgoci i zanieczyszczenia śliną lub płynem z kieszonki dziąsłowej stosowane są również jako systemy wiążące tzw. hydrofilowe primery, których głównym składnikiem jest metakrylan, będący kopolimerem kwasu polialkenowego (2).

Najczęściej stosowanymi cementami dentystycznymi w ortodoncji są cementy szkło- jonomerowe oraz cementy żywiczne. Materiały te powinny charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością wiązania, odpornością na ścinanie, rozciąganie, ściskanie, brakiem rozpuszczalności oraz odpowiednim czasem wiązania.

Cementy szkło- jonomerowe powstają na skutek połączenia cząstek szkła wapniowo-fluoro-glino-krzemianowego z kwasami polialkenowymi. Posiadają one możliwość uwalniania fluoru, co minimalizuje ryzyko podpowierzchniowej demineralizacji szkliwa oraz nie wymagają procesu trawienia szkliwa przed aplikacją zamków, a tym samym podczas debondingu zmniejsza się ryzyko uszkodzenia tkanek twardych zęba. Wadami tych materiałów jest jednak dłuższy czas wiązania oraz powolny wzrost wytrzymałości i wrażliwość na wilgoć. Ulepszanie cementów szkło- jonomerowych spowodowało wprowadzenie do ich składu żywicy. Zastąpienie wody przez mieszanę wodnego metakrylanu hydroksyetylenu (HEMA) i włączenie foto/chemoinicjatorów dla wolnorodnikowej polimeryzacji spowodowało polepszenie właściwości fizycznych i mechanicznych tych materiałów. Jako dodatek do kwasu poliakrylanowego stosowane są również monomery Bis-GMA, TEGMA, UDMA, natomiast zmiany w składzie płynu wpływają na kwasowo-zasadową reakcję wiązania.

Materiały szkło- jonomerowe modyfikowane żywicą są materiałami podwójnie utwardzalnymi. Wiązanie ich następuje poprzez reakcję kwas-zasada oraz polimeryzację wolnorodnikową zapoczątkowaną po zmieszaniu proszku z płynem.

Ich czas pracy jest dłuższy niż standardowych materiałów szkło- jonomerowych, a gwałtowne wiązanie uzyskuje się za pomocą polimeryzacji światłem (2,7).

W początkowym okresie leczenia ortodontycznego aparatami stałymi, zamki były przyspawane do pierścieni, które obejmowały ząb na całym obwodzie. Wymagało to wykonywania separacji między zębami oraz skutkowało traumatyzacją przyzębia i większym ryzykiem odwapnień w okolicy pierścienia. Rozwiązaniem tych problemów było klejenie zamków bezpośrednio do szkliwa zębów, co wyeliminowało konieczność stosowania pierścieni (2,8). W latach 50 XX wieku, Buonocore (1,9–11) zastosował technikę wytrawiania szkliwa, co umożliwiło dalsze badania nad praktycznym zastosowaniem klejów ortodontycznych.

W latach 60. ubiegłego wieku Newman (12) i Muira (8,12) rozpoczęli badania nad bezpośrednim łączeniem zamków ortodontycznych ze szkliwem zębów. Ich celem było stworzenie odpowiedniego materiału, który połączyłby plastikowe zamki ortodontyczne ze szkliwem zębów, o takiej sile wiązania, która wytrzymałaby obciążenie okluzyjne oraz naprężenia generowane przez łuk ortodontyczny, a także umożliwiały kontrolę biomechaniczną i pozwalała na usunięcie zamków bez znacznego uszkodzenia szkliwa (8,12).

W 1962 roku została opatentowana żywica Bis-GMA (bisfenol A dimetakrylanu glicydylu). Na jej podstawie, na początku lat 70. ubiegłego wieku powstały pierwsze kleje, które charakteryzowały się minimalnym skurczem polimeryzacyjnym i wytrzymały obciążenia zarówno sił okluzyjnych, jak i wyzwalanych w trakcie żucia (8,10).

W połowie lat 70. XX wieku rozpoczęto badania nad zastosowaniem ceramiki do produkcji przezroczystych zamków ortodontycznych celem poprawy estetyki leczenia aparatami stałymi. Ceramika jest materiałem wytrzymałym, nie pęka, nie odbarwia się

i jest biozgodna. W 1979 roku Tavas i Watts (13), jako pierwsi opisali zastosowanie w ortodoncji światła widzialnego do utwardzania materiałów kompozytowych. W kolejnych latach prowadzono dalsze badania nad skróceniem pracy lekarza dentysty przy mocowaniu zamków ortodontycznych oraz uproszczeniu technik klejenia zamków. Koncentrowały się one także na niezawodności materiałów i analizie zmiennych, które mogą mieć wpływ na wytrzymałość połączenia zamków ortodontycznych z odmiennymi powierzchniami, przy zastosowaniu różnego rodzaju cementu ortodontycznego oraz rodzaju, typu i budowy podstawki zamka ortodontycznego (3,14–33). Badano również zanieczyszczenie szkliwa, wpływ wilgotności środowiska jamy ustnej na utrzymanie zamków, wpływ kondycjonowania powierzchni szkliwa, ryzyko wystąpienia zmian próchnicowych, a także możliwość mechanicznego uszkodzenia szkliwa zęba podczas odklejania zamka ortodontycznego (15,16,34–59). Klej ortodontyczny powinien umożliwić utrzymanie zamka ortodontycznego przez cały okres leczenia i nie uszkadzać szkliwa podczas demontażu zamka z powierzchni zęba (60). Większość materiałów stosowanych w ortodoncji to materiały typu szkło- jonomerów i żywic kompozytowych. Składowe w/w materiałów są również łączone ze sobą w celu stworzenia materiału o ulepszonych właściwościach (2).

W literaturze nie ma dokładnych wytycznych przedstawiających granice wartości siły wiązania. Badania Reynoldsa z 1975 roku (14,34,60,61,62) wykazały, iż siła wiązania 5,9 – 7,8 MPa może być optymalna, aby wytrzymać działanie sił żucia. Z drugiej strony siła wiązania nie powinna być zbyt duża, aby nie spowodowała uszkodzenia szkliwa podczas oderwania zamka (40 – 50 MPa). Dostępne dane z literatury przedmiotu wskazują, że teoretyczne granice sił wiązania wynoszą 5 -50 MPa (34).

Badanie oceny wytrzymałości połączenia zamek ortodontyczny i szkliwo zęba jest skomplikowane, ponieważ istnieje klinicznie wiele zmiennych, które mogą wpływać

na wytrzymałość tego połączenia. Czynnikiem, które mogą być przyczyną uszkodzenia połączenia zamków ortodontycznych z powierzchnią szkliwa zęba są: różnice pH występujące w jamie ustnej, żucie pokarmów i ich konsystencja, płyny zawierające alkohol, różnice temperatur oraz inne trudne do określenia przyczyny. Analizując możliwy wpływ powyższych czynników, dostępne badania porównawcze wykonywane in vivo, mogą być nie do końca wiarygodne. W celu eliminacji niezależnych wpływów większość badań przeprowadza się w warunkach in vitro, jednak ze względu na brak pełnej ich standaryzacji, nie zawsze mogą być one ze sobą porównywane (14).

Wyniki badań Lippitz i wsp. (63) z 1998 roku wykazały, że materiał szkło- jonomerowy GC Fuji Ortho LC (GC Orthodontics) stosowany na niewytrawioną powierzchnię szkliwa zęba ma istotnie statystyczną niższą siłę wiązania niż materiał kompozytowy stosowany w tym badaniu (ANOVA $p \leq 0,05$). Wykazały również niższą siłę wiązania do szkliwa zęba materiału GC Fuji Ortho LC w porównaniu do innych cementów szkło- jonomerowych modyfikowanych żywicą (Advance, GC Fuji Duet) oraz do materiału kompozytowego, badanych po upływie 24 godzin i 30 dni.

Meehan i wsp. (64) porównywali siłę wiązania materiałów szkło- jonomerowych [GC Fuji Ortho LC (GC Orthodontics), Ultra Band Lok (Reliance)] i materiału kompozytowego [Transbond XT (3M)], który stanowił grupę kontrolną. Wniosek wyciągnięty z przeprowadzonych badań mówi, iż niezastosowanie kondycjonowania szkliwa podczas procedur z zastosowaniem hybrydowego materiału szkło- jonomerowego (GC Fuji Ortho LC, GC Orthodontics) powoduje, że materiał ten wykazuje niewystarczającą siłę wiązania. Natomiast zastosowanie 10% kwasu poliakrylowego na szkliwo zęba podwyższa siłę połączenia do akceptowalnego poziomu.

Summers i wsp. (65) porównywali siłę wiązania materiałów szkło- jonomerowych (GC Fuji Ortho LC, GC Orthodontics) i kompozytowych (Light Bond, Reliance Orthodontic Products). W teście na ścinanie za pomocą uniwersalnej maszyny testującej po upływie 30 minut i 24 godzin od przyklejenia zamków do szkliwa zębów. Badanie in vitro wykazało istotną statystycznie różnicę na rzecz materiału kompozytowego. W badaniu in vivo stwierdzono jednak, iż materiał GC Fuji Ortho LC zapewnia klinicznie odpowiednią siłę wiązania, a słabsze połączenie może ułatwić lekarzom łatwiejszy demontaż zamka i oczyszczenie szkliwa z resztek materiału (65).

Celem badań Movahhed i wsp. (66) było porównanie materiału Transbond XT (materiał kompozytowy, 3M) i GC Fuji Ortho LC (materiał szkło- jonomerowy modyfikowany żywicą, GC Orthodontics) w teście na ścinanie po upływie 5 i 15 minut od klejenia zamków ortodontycznych za pomocą w/w materiałów do szkliwa zębów. Badanie wykazało wzrost siły wiązania wraz z upływem czasu oraz zadowalające wyniki siły wiązania dla obu materiałów, które wynosiły odpowiednio: $8,8 \pm 2$ MPa; $6,6 \pm 2,5$ MPa; $11 \pm 1,6$ MPa i $9,6 \pm 1,6$ MPa. Ocena siły odrywania zamków ortodontycznych przy użyciu trzech różnych materiałów ortodontycznych [GC Fuji Ortho LC (GC Orthodontics); Concise (3M); Transbond XT (3M)] było tematem badań Valletta i wsp. (67). Materiał Transbond XT charakteryzował się najwyższą siłą wiązania, natomiast GC Fuji Ortho LC był bardziej podatny na przypadkowe odklejenie. Jednak autorzy stwierdzili, że ze względu na konieczność zastosowania wyższych sił, w celu odklejenia zamków z użyciem materiału Transbond XT, może wystąpić ryzyko uszkodzenia szkliwa zębów.

W 2008 roku Algera i wsp. (68) badali wpływ wstępnej obróbki podstawki zamka ortodontycznego w odniesieniu do trzech różnych rodzajów cementów [Transbond XT (3M), GC Fuji Ortho LC (GC Orthodontics), GC Fuji IX Fast

(GC Orthodontics)]. Stwierdzono, że na poprawę siły wiązania pomiędzy zamkiem ortodontycznym, a szkliwem zęba nie ma wpływu sposób obróbki podstawy zamka. Poprawa wiązania może natomiast nastąpić np. pod wpływem elastyczności materiału. W omawianych badaniach Transbond XT osiągnął wyższe wyniki siły wiązania niż GC Fuji Ortho LC.

Fujun Li (69) w 2009 roku wykazał, iż GC Fuji Ortho LC osiąga skuteczną klinicznie adhezję w różnych warunkach łączenia m.in. w suchym i wilgotnym środowisku oraz po uprzednim zastosowaniu na szkliwo zęba 37% kwasu ortofosforowego lub bez jego zastosowania.

Dane opublikowane on-line na podstawie przeglądu piśmiennictwa w 2011 roku w Springer-Verlag (70) wykazują, że nie ma różnicy w utrzymaniu zamka ortodontycznego za pomocą materiału szkło- jonimerowego modyfikowanego żywicą a materiałem kompozytowym po upływie 12 miesięcy, natomiast po upływie ponad 14 miesięcy lepiej sprawdził się materiał kompozytowy. Stwierdzono jednak, że potrzebne są kolejne badania, aby jednoznacznie określić, czy siła wiązania obu materiałów jest taka sama po upływie roku.

Badania Machado i wsp. (71) miały na celu ocenę wpływu rodzaju lampy polimeryzacyjnej na siłę wiązania materiałów: Filtek Z350 i Transbond XT. Zastosowane lampy halogenowe Ultralux oraz LED Radium-Call nie wykazały istotnych statystycznie różnic. Natomiast użyty w badaniu kompozyt z nanowypełniaczem Filtek Z350 charakteryzował się niższą siłą wiązania w porównaniu do standardowego materiału kompozytowego Transbond XT.

Wchłanianie wody i rozpuszczalność materiałów były tematem badań Aksakalli i wsp. (72), którzy wykazali, że tradycyjne cementy ortodontyczne (Adhesor™, Ketac Cem) wykazują wyższą rozpuszczalność i absorpcję wody,

a tym samym niższe wartości wytrzymałości na ściskanie niż cementy szkło- jonomerowe modyfikowane żywicą (Ortho Band Paste LC, Glass Ionomer Band Cement).

Materiały Transbond XT, Transbond Plus, Transbond Supreme LV były badane również pod kątem wykorzystania ich do wykonywania podwyższenia zgryzu i sprawdzenia siły wiązania do szkliwa zębów na powierzchniach żujących i nie wykazywały istotnie statystycznych różnic w wytrzymałości połączenia badanych materiałów do szkliwa zębów (73).

Wprowadzenie na rynek stomatologiczny materiału zawierającego środki chromatyczne zmieniające kolor podczas wiązania z różowego na bezbarwny zrewolucjonizowało obowiązujące do tej pory standardy. Materiał ten charakteryzuje się łatwiejszym usuwaniem nadmiarów z powierzchni zęba podczas przyklejenia zamków, a tym samym mniejszą kumulacją płytki nazębnej oraz możliwością utrzymania lepszej higieny jamy ustnej. Zalety wynikające z zastosowania tych materiałów sprawiły, że konieczne było porównanie tego typu cementu z jego standardowym odpowiednikiem. Badania przeprowadzone przez Mauraya i wsp. (10) porównywały Transbond XT (3M), Transbond Plus (3M) oraz GC Fuji Ortho LC (GC Orthodontics) i wykazały, że materiał szkło- jonomerowy modyfikowany żywicą wykazywał najniższą siłę wiązania, natomiast pomiędzy cementami Transbond XT i Transbond Plus nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic.

Wpływ zastosowania primera podczas badania utrzymania zamków ortodontycznych przy zastosowaniu materiałów kompozytowych typu flow był przedmiotem badań Albaladejo i wsp. (74), którzy stwierdzili, że przy użyciu primera wzrasta siła wiązania zamków. Jedynym materiałem, przy którym nie odnotowano znaczącego wpływu primera był cement Transbond Supreme LV (3M).

W innych z badań nad materiałem GC Fuji Ortho LC przeprowadzonych przez Ali i wsp. (75), autorzy poddali ocenie wpływ zastosowania materiału na wytrawioną powierzchnię szkliwa 37% kwasem ortofosforowym. Wykazali, że cement GC Fuji Ortho LC posiada wysoką siłę wiązania do wytrawionego szkliwa i może być używany jako materiał ortodontyczny.

Podobne badania przeprowadzone przez Isman i wsp. (11) w 2012 roku na samotrawiących i samoadhezyjnych materiałach Maxcem Elite (Kerr) i Vertise Flow (Kerr) oraz cemencie Transbond XT (3M), wykazały, że siła wiązania powyższych materiałów po uprzednim zastosowaniu trawienia szkliwa 37% kwasem ortofosforowym jest zbliżona do siły wiązania uzyskiwanej przy zastosowaniu tradycyjnych metod z zastosowaniem Transbond XT. Natomiast materiały te bez uprzedniego trawienia powierzchni wykazywały niższą wytrzymałość połączenia zamek ortodontyczny – szkliwo zęba.

Jurisc i wsp. (1) oceniali wpływ przygotowania szkliwa na siłę wiązania z użyciem materiałów GC Fuji Ortho LC i Transbond XT przy zastosowaniu różnego rodzaju materiałów do przygotowania szkliwa. Wyniki badania wykazały, że materiały kompozytowe wykazują wyższą siłę wiązania niż materiały szkło- jonomerowe oraz, że zastosowanie materiału kompozytowego z przygotowaniem szkliwa zgodnie z zaleceniami producenta jest „złotym standardem” w klejeniu zamków ortodontycznych. W 2014 roku Cantekin i wsp. (76) udowodnili, iż materiały kompozytowe typu flow posiadają mniejsze siły wiązania niż tradycyjne materiały kompozytowe i istnieją statystycznie istotne różnice pomiędzy nimi. Pozostawiono jednak do rozważenia zastosowanie tego typu materiałów u pacjentów z nieodpowiednią higieną jamy ustnej, ze względu na hamowanie demineralizacji i mikroprzeciek oraz łatwość aplikacji przy ich użyciu.

Wraz z wprowadzeniem na rynek materiałów hybrydowych będących światłoutwardzalnymi systemami łączącymi zawierającymi w swoim składzie primer lub niewymagających uprzedniego wytrawienia 37% kwasem ortofosforowym, rozpoczęto badania porównawcze nad siłą wiązania tego typu materiałów z materiałami tradycyjnymi. Udoskonalenie materiałów stomatologicznych skraca bowiem czas pracy i jest bardziej przyjazne dla pacjenta (48,77–81).

Według badań przeprowadzonych w 2016 roku przez Schauseil i wsp. (82) nie ma znaczącej różnicy pomiędzy siłą wiązania cementu samotrawiającego i tradycyjnego materiału kompozytowego, natomiast badania Seeliger i wsp. (83) udowodniły, że brak jest istotnie statystycznych różnic między zastosowaniem różnego rodzaju primerów w tym Transbond Plus SEP oraz Transbond XT Primer.

Przegląd badań z 2018 roku dokonany przez Bharathi i wsp. (84) wykazał również, że nie ma różnic we współczynniku uszkodzeń zamków klejonych metodą tradycyjną i z zastosowaniem cementów samotrawiających.

Ze względu na fakt, że wzrasta liczba osób dorosłych zainteresowanych leczeniem ortodontycznym, materiały stosowane w ortodoncji do klejenia zamków muszą być przystosowane do różnych powierzchni oprócz szkliwa zęba, w tym do metalu, ceramiki i kompozytów. Hellak i wsp. (85,86) wykazali, że cement Transbond XT wykazuje najwyższą siłę wiązania do szkliwa zęba, natomiast materiał Scotchbond Universal do takich powierzchni jak: metal, porcelana, kompozyt, bez zastosowania dodatkowych primerów.

Wpływ na siłę wiązania może mieć również długość leczenia ortodontycznego. Mitic i wsp. (87) badali trzy różne rodzaje materiałów: GC Fuji Ortho LC (GC Orthodontics), Heliosit (Ivoclar Vivadent), System 1+ (Dentaurum). W podsumowaniu autorzy stwierdzili, iż siła wiązania jest najniższa po 24 godzinach

od przyklejenia zamka, a swoje maksimum osiąga po 15 dniach. Po 30 dniach od zastosowania, wartość siły wiązania uległa obniżeniu.

Ocenę wpływu zanieczyszczenia szkliwa śliną i krwią w procesie klejenia za pomocą materiału hydrofobowego (Transbond XT) i hydrofilowego (Transbond Plus) na siłę wiązania zamek ortodontyczny - szkliwo zęba wykonali Robaski i wsp. (88) w 2017 roku oraz Shaik i wsp. (89) w 2018 roku. W obu badaniach materiał hydrofilowy – Transbond Plus osiągał wyższe wartości siły wiązania w środowisku suchym i mokrym niż materiał hydrofobowy – Transbond XT, a różnice pomiędzy nimi były istotne statystycznie. Ponadto zanieczyszczenie śliną szkliwa zęba powodowało obniżenie siły wiązania tradycyjnego materiału kompozytowego łączącego zamek ze szkliwem zęba.

Wpływ wilgotnego i suchego środowiska był badany przez Feizbakhsh i wsp. (90), którzy udowodnili, że aby uzyskać wyższą siłę wiązania przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC, należy stosować cement na wytrawioną i suchą powierzchnię zęba.

W 2018 roku materiały Transbond Plus oraz Transbond XT były badane przez Youssefinia i wsp. (60) w różnych funkcjach czasu od przyklejenia zamka. Badania przeprowadzono po upływie 15 minut, 24 godzin oraz 1 tygodnia i nie stwierdzono istotnych różnic między poddanymi ocenie materiałami oraz ich siłą wiązania. Nie stwierdzono również istotnej różnicy w sile wiązania pod wpływem wpływu czasu.

Estetyka od zawsze była istotnym czynnikiem w leczeniu ortodontycznym. Zamki metalowe miały zmniejszane wymiary, natomiast zamki ceramiczne były ulepszane, aby zapewnić biogodność, estetykę, odporność na zmiany chemiczne i termiczne oraz odpowiednią siłę wiązania (62,91). Porównanie siły wiązania materiałów do zamków ortodontycznych metalowych i ceramicznych przeprowadzili Joseph i wsp. (92), którzy udowodnili, iż zamki ceramiczne charakteryzują się wyższą

siłą wiązania do szkliwa niż zamki metalowe oraz, że istnieje ryzyko uszkodzenia szkliwa podczas ich usuwania. Natomiast w 1997 roku Bishara (91) opisując właściwości zamków ceramicznych uznał, że posiadają one niższą siłę wiązania w porównaniu do zamków metalowych.

Badania Habibi i wsp. (93) z 2005 roku porównywały zamki metalowe i ceramiczne klejone do szkliwa zębów przy zastosowaniu tego samego materiału. Średnia siła wiązania dla zamków metalowych była znacząco wyższa niż dla zamków ceramicznych, przy poziomie istotności $p < 0,001$. Natomiast ryzyko uszkodzenia szkliwa podczas zdejmowania zamków metalowych i ceramicznych jest podobne.

Kolejną pracą poświęconą sile wiązania występującej przy zastosowaniu zamków metalowych i ceramicznych były badania Mirzakouchaki i wsp. (94), którzy porównywali zastosowanie tradycyjnego systemu kompozytowego (Transbond XT) z samotrawiącym podkładem (Transbond Plus SEP) i materiałem kompozytowym (Transbond XT). Wyniki tych badań wykazały, że zamki metalowe charakteryzują się znacznie wyższą siłą wiązania niż zamki ceramiczne oraz, że stosowanie samotrawiącego materiału (self etch) powoduje zmniejszenie siły wiązania, w porównaniu z tradycyjną metodą (total etch), co jednak jest dopuszczalne z klinicznego punktu widzenia.

Powyższe wnioski potwierdziły badania Arash i wsp. (95), którzy wykazali, że zamki ceramiczne wykazują znacznie niższą siłę wiązania do szkliwa w porównaniu do zamków metalowych. Metoda z zastosowaniem samotrawiącego materiału w porównaniu z metodą tradycyjną stwarzała słabsze połączenie pomiędzy zamkami ortodontycznymi a szkliwem zębów. Różnica ta nie była jednak istotna statystycznie, co oznacza, że może być stosowana w pracy klinicznej.

Ogiński i wsp. (96) w 2014 roku udowodnili, że zamki ceramiczne wykonane z polikrystalicznego tlenku glinu Clarity (3M Unitek) wykazywały wyższą siłę wiązania do szkliwa zębów niż zamki metalowe Victory Series (3M Unitek) oraz wykonane z monokrystalicznego tlenku glinu Radiance (American Orthodontics). Zamki Clarity charakteryzują się jednak mniejszą przeziernością niż Radiance, ale z drugiej strony są bardziej odporne na działanie sił okluzyjnych i zgryzowych.

Materiały kompozytowe światłoutwardzalne zmieniające kolor zostały wprowadzone w celu zwiększenia zróżnicowania między klejem a szkliwem zęba. Ze względu na różne kolory są one łatwo wykrywalne na powierzchni szkliwa zarówno w trakcie mocowania zamka, jak i podczas jego demontażu. Badania Delavariana i wsp. (62) wykazały, iż zastosowanie tego typu materiału na zamkach metalowych i ceramicznych oraz ich siła wiązania nie różni się pomiędzy sobą, w sposób istotny statystycznie. Kompozyty zmieniające kolor charakteryzują się wyższą siłą wiązania niż materiały tradycyjne.

Wpływ zmniejszenia czasu naświetlania (polimeryzacji) materiału na siłę wiązania klejów ortodontycznych zmieniających kolor badał Bayani i wsp. (97). Wyniki eksperymentu wykazały, że zmniejszenie czasu naświetlenia z 40 do 20 sekund zmniejsza siłę wiązania, a istotną statystycznie różnicę stwierdzono w odniesieniu do cementu Transbond Plus (3M), natomiast w przypadku materiału Greenglo (Ormco) nie stwierdzono istotnie statystycznych różnic.

Wcześniejsze badania dotyczące powyższego rodzaju kompozytów porównywały materiały dostępne wówczas na rynku. Turkkahraman i wsp. (98) stwierdzili, że Transbond Plus (3M Unitek) charakteryzuje się niższą siłą wiązania niż Grengloo (Ormco) i Blugloo (Ormco), ale różnice nie były istotne statystycznie. W sytuacjach, w których potrzebna jest wyższa siła wiązania sugerowano stosowanie

materiałów Grengloo i Blugloo, natomiast w standardowych warunkach każdy z trzech klejów zapewniał akceptowalną klinicznie siłę wiązania.

Ekhlassi i wsp. (99) badali siłę wiązania materiałów: Transbond Plus, Grengloo i Transbond XT do szkliwa zębów poprzez klejenie zamków ortodontycznych i ich zrywanie po upływie 15 minut, 24 godzin i 1 tygodnia. Autorzy udowodnili, że funkcja czasu nie posiada znaczącego wpływu na wytrzymałość połączenia w każdej z ocenianych grup, jednak średnie wartości sił wiązania charakteryzowały się istotnie statystycznie różnicami.

Duers i wsp. (100) potwierdzili powyższe wnioski w badaniach z 2011 roku. Ponadto wszystkie oceniane materiały wykazywały siłę wiązania akceptowalną w leczeniu ortodontycznym.

W ortodoncji zjawisko adhezji jest niezwykle istotne. Dzięki zastosowaniu materiału adhezyjnego możliwe jest połączenie ze sobą dwóch twardych struktur. Cementy ortodontyczne powinny być odporne na wpływ środowiska jamy ustnej, muszą być wystarczająco płynne, aby wejść w ścisły kontakt z podłożem oraz umożliwić przyciąganie cząsteczek i wytworzenie odpowiedniej adhezji. Wpływ na adhezję, obok właściwości chemicznych i fizycznych zastosowanych materiałów, mają także sposób odżywiania i żucia, reakcje zachodzące w ślinie oraz zmiany temperatury występujące w jamie ustnej. Dlatego w wielu przypadkach badania prowadzone in vitro nie dają obiektywnego oraz pełnego odzwierciedlenia względem określonej sytuacji klinicznej (2,87).

3. CEL PRACY

Celem podjętych badań laboratoryjnych jest ocena wytrzymałości połączenia pomiędzy zamkami ortodontycznymi (metalowymi oraz ceramicznymi) a szkliwem zębów, przy zastosowaniu różnych rodzajów cementów. Dla zrealizowania założonego celu pracy należy uzyskać odpowiedzi na następujące pytania:

1. Określenie, który z wybranych cementów zapewnia najlepszą siłę wiązania zamków ortodontycznych do szkliwa zębów z uwzględnieniem funkcji czasu.
2. Czy istnieje zależność pomiędzy typem zastosowanego zamka ortodontycznego, a wytrzymałością połączenia ze szkliwem zębów.
3. Analiza powierzchni przełomów na powierzchni szkliwa w zależności od zastosowanych cementów z uwzględnieniem funkcji czasu i rodzajem zamka.

4. MATERIAŁY I METODY

Do badań wybrano zamki ortodontyczne metalowe Access metal brackets (GC Orthodontics) (Rycina 1) oraz ceramiczne Chic. ceramic brackets (GC Orthodontics) (Rycina 2).

Wszystkie zamki wykorzystane w badaniach posiadały parametry przyporządkowane do siekaczy przyśrodkowych dolnych oraz ich powierzchnia była przygotowana fabrycznie do procesu klejenia do szkliwa zębów, nie wymagały dodatkowej obróbki.



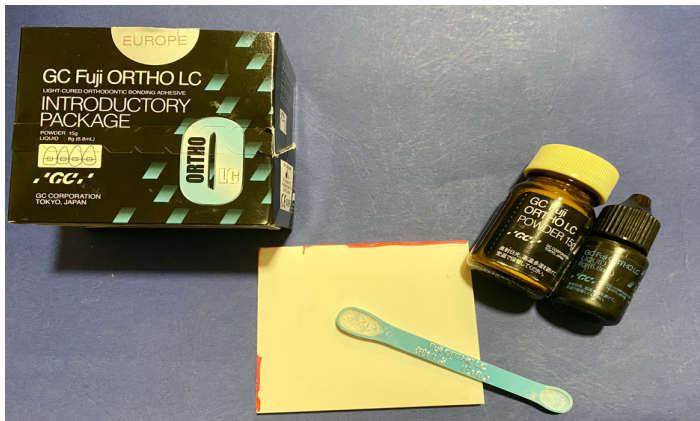
Rycina 1. Zamki ortodontyczne metalowe Access metal brackets (GC Orthodontics).



Rycina 2. Zamki ortodontyczne ceramiczne Chic. ceramic brackets (GC Orthodontics).

W celu zamocowania zamków ortodontycznych do szkliwa zęba użyto 4 różnych rodzajów cementów ortodontycznych:

- materiał szkło-jonomerowy modyfikowany żywicą GC Fuji Ortho LC (GC Orthodontics) (Rycina 3.),
- materiał kompozytowy Transbond Plus (3M) (Rycina 4.),
- materiał kompozytowy typu flow Transbond Supreme LV (3M) (Rycina 5.),
- cement światłoutwardzalny jednoetapowy GC Ortho Connect (GC Orthodontics) (Rycina 6.).



Rycina 3. GC Fuji Ortho LC (GC Orthodontics).



Rycina 4. Transbond Plus (3M).



Rycina 5. Transbond Supreme LV (3M).

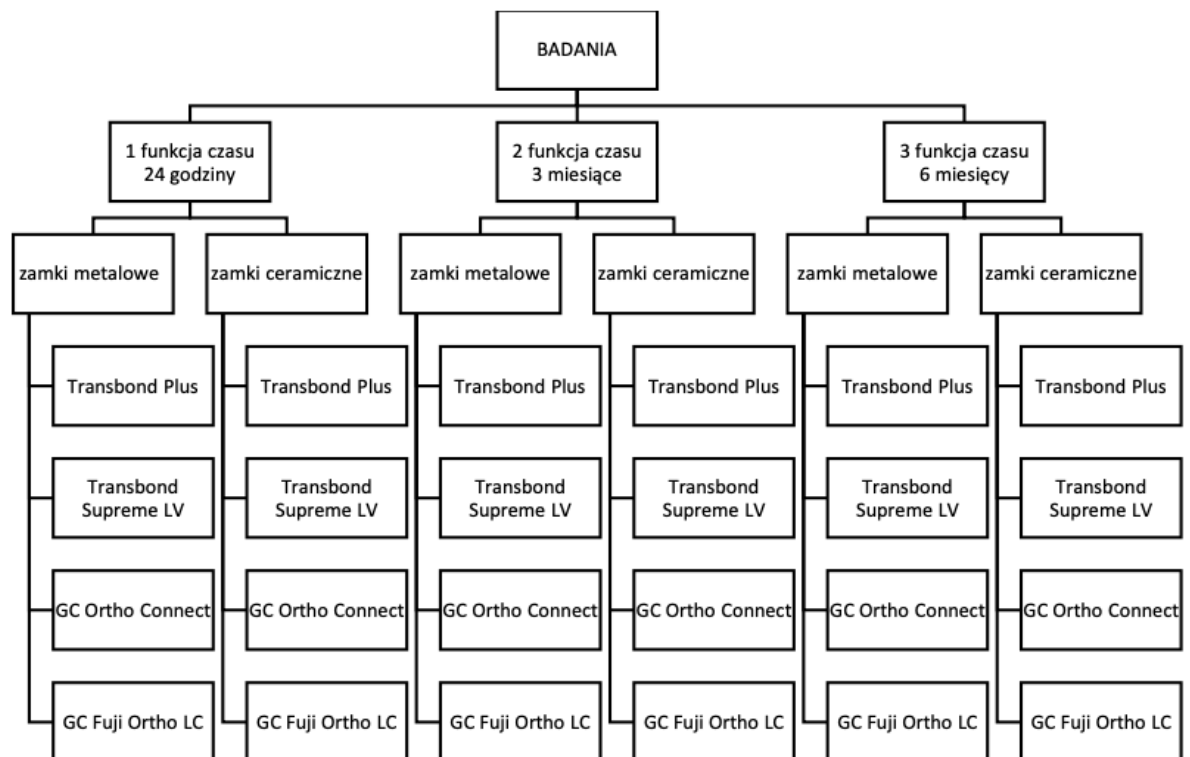


Rycina 6. GC Ortho Connect (GC Orthodontics).

Tabela I. Charakterystyka badanych cementów ortodontycznych.

NAZWA	PRODUCENT	SKŁAD	INFORMACJE DODATKOWE
GC FUJI ORTHO LC	GC Orthodontics	Płyn: kwas poliakrylowy- 20-22%, HEMA-35-40%, TEGMA- 4-6% Proszek: szkło glinokrzemianowe- 100%	Światłoutwardzalny cement szkło- jonomerowy modyfikowany żywicą w postaci: proszek + płyn, forma pasty o konsystencji gęstej śmietany
TRANSBOND PLUS	3M ESPE	Kwarc silanizowany - 35-45%, szkło hydrolizowane silanem- 35-45%, dimetakrylan glikolu polietylenowego- 5-15%, oligomer dimetakrylanu kwasu cytrynowego- 1-10%, Bis-GMA- <2%	Światłoutwardzalny materiał kompozytowy, stosowany primer Transbond XT, forma pasty
TRANSBOND SUPREME LV	3M ESPE	Połączenie krzemionki i tlenku cyrkonu, nanowypełniacze, szklowypełniacze- 65%, Bis-GMA, TEGMA, UDMA	Światłoutwardzalny materiał kompozytowy, stosowany primer Transbond XT, forma płynna
GC ORTHO CONNECT	GC Orthodontics	Dokładny skład chemiczny oraz stosunek wypełniacza nieznanymi- tajemnica producenta	Ortodontyczny system łączący jednoetapowy światłoutwardzalny w składzie zawiera primer, co skraca etap pracy, zwiększona elastyczność i wytrzymałość, forma pasty

Badania przeprowadzono na świeżo usuniętych zębach bydlęcych, którymi były siekacze dolne przyśrodkowe. Zęby pozyskano od zwierząt trzyletnich z odpadów przeznaczonych do utylizacji. Zęby bydlęce wybrano ze względu na ich podobną budowę do zębów ludzkich oraz możliwość usunięcia ich w jednakowym czasie, a także na procedurę przechowywania w identycznych warunkach (101,102,103,104). Łącznie pozyskano 300 zębów, z czego wybrano 240 zębów (bez uszkodzenia powierzchni szkliva oraz braku ognisk demineralizacji), które podzielono na 3 główne grupy w zależności od konieczności wykonania badań w trzech funkcjach czasu: po upływie 24 godzin od przyklejenia zamków oraz po upływie 3 i 6 miesięcy. Grupy oznaczono jako: T1, T2, T3. Następnie, każdą z grup podzielono na dwie, w zależności od rodzaju zastosowanych zamków ortodontycznych (metalowych i ceramicznych), z których wyłoniono kolejne cztery podgrupy, w zależności od zastosowanego cementu ortodontycznego (Rycina 7).



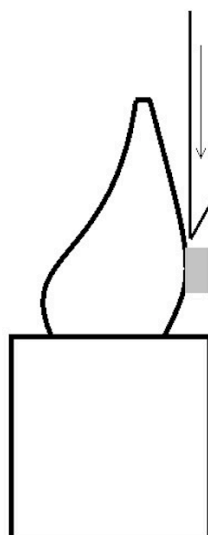
Rycina 7. Schemat podziału grup badanych.

Po wykonanych ekstrakcjach, zęby oczyszczono z resztek tkanek miękkich i umieszczono w roztworze soli fizjologicznej, a następnie w specjalnie przygotowanych foremkach o wymiarach 2,5 x 2,5 x 2,5 cm i zatopiono w żywicy akrylowej Estetic Ort (Wiedent, Polska) (Rycina 8.) tak, aby korona zęba znajdowała się powyżej brzegu żywicy, a brzeg sieczny był ustawiony prostopadle do podstawy bloczka, natomiast powierzchnia wargowa zęba była równoległa do ostrza maszyny testującej.

Żywicę akrylową zabarwiono na 4 różne kolory, w celu podziału na zastosowane cementy ortodontyczne.



Rycina 8. Foremki do zatopienia zębów w żywicy.



Rycina 9. Schemat próbki badanej przygotowanej do testu ścinania.



Rycina 10. Zęby zatopione w żywicy akrylowej.

Badania przeprowadzono w Zakładzie Biomateriałów i Stomatologii Doświadczalnej na Uniwersytecie Medycznym im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu.

Po wykonaniu próbek, umieszczono je w fizjologicznym roztworze soli i przechowywano w cieplarni w temperaturze 37°C przez okres 24 godzin.

Przed rozpoczęciem procedur związanych z mocowaniem zamków, powierzchnię wargową zębów polerowano pastą SuperPolish (Kerr), która nie zawiera fluoru, płukano, suszono oraz trawiono 37% kwasem ortofosforowym przez okres 30 sekund, a następnie płukano wodą destylowaną i suszono strumieniem powietrza wolnego od zanieczyszczeń olejem. Kolejne etapy postępowania podczas łączenia zamków ze szkliwem zębów były zgodne z zaleceniami producentów materiałów łączących.

GC Fuji Ortho LC: przygotowano materiał w zalecanych proporcjach: 3.0g/1.0g 1 porcja proszku i 2 krople płynu, które mieszano, a następnie umieszczano na podstawie zamka ortodontycznego, który dociskano do zęba i zbierano nadmiar materiału ostrym narzędziem. Proces polimeryzacji przeprowadzaono przy pomocy lampy Ortholux™ Luminous Curing Light o mocy 1600 mW/cm² zgodnie z zaleceniami: zamki metalowe - 10 sekund od strony mezialnej, 10 sekund od strony dystalnej, 10 sekund od strony żującej i 10 sekund od strony przydziąsłowej; zamki ceramiczne również- 10 sekund od strony mezialnej, 10 sekund od strony dystalnej, 10 sekund od strony żującej i 10 sekund od strony przydziąsłowej.

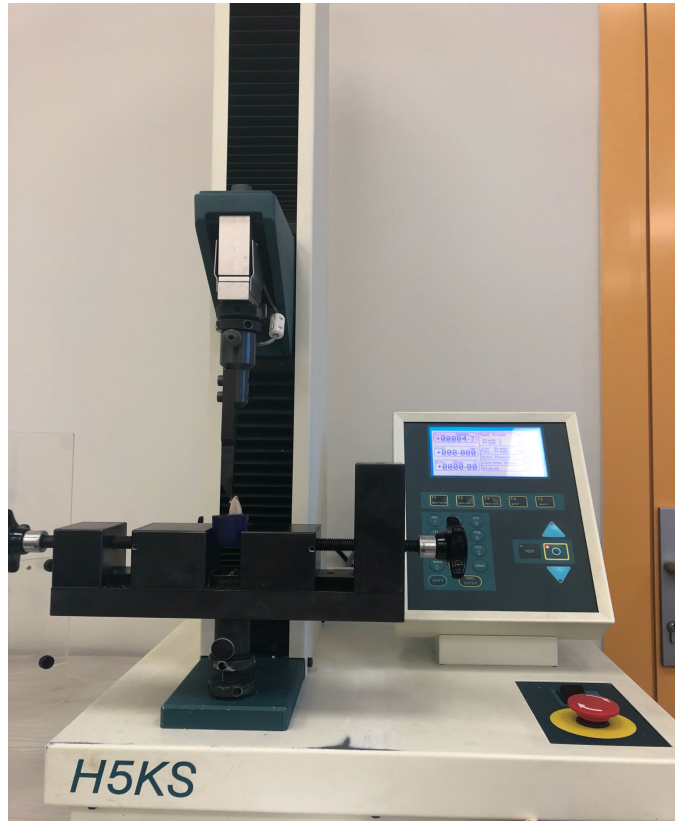
Transbond Plus: aplikowano Primer Transbond XT na powierzchnię zęba, a materiał na powierzchnię podstawy zamka ortodontycznego, a następnie umieszczano zamek na zębie, dociskano i zbierano nadmiar materiału ostrym narzędziem. Naświetlano lampą Ortholux™ Luminous Curing Light o mocy 1600 mW/cm² zgodnie z zaleceniami: zamki metalowe - 3 sekundy od strony mezialnej oraz 3 sekundy od strony dystalnej; zamki ceramiczne - 3 sekundy przez zamek.

Transbond Supreme LV: aplikowano Primer Transbond XT na powierzchnię zęba, a następnie materiał na powierzchnię podstawy zamka ortodontycznego, umieszczano zamek na zębie, dociskano i zbierano nadmiar materiału ostrym narzędziem. Polimeryzowano lampą Ortholux™ Luminous Curing Light o mocy 1600 mW/cm² zgodnie z zaleceniami: zamki metalowe - 6 sekund od strony mezialnej oraz 6 sekund od strony dystalnej; zamki ceramiczne - 6 sekund przez zamek.

GC Ortho Connect: aplikowano materiał na powierzchnię podstawy zamka ortodontycznego a następnie umieszczano zamek na zębie, dociskano i zbierano nadmiar materiału ostrym narzędziem. Naświetlono lampą Ortholux™ Luminous Curing Light o mocy 1600 mW/cm² zgodnie z zaleceniami: zamki metalowe - 10 sekund od strony mezjalnej oraz 10 sekund od strony dystalnej; zamki ceramiczne również - 10 sekund od strony mezjalnej oraz 10 sekund od strony dystalnej.

Grupy badawcze I, II, III umieszczano w fizjologicznym roztworze soli, a następnie w cieplarni o temperaturze 37°C. Po 24 godzinach od przyklejenia zamków wykonano badania w pierwszej funkcji czasu T1 (24 godziny).

Do badań wytrzymałościowych użyto uniwersalną maszynę testującą Hounsfield-H 5KS (Wielka Brytania), stosując test na ścinanie. Siłę wiązania badano zgodnie z normami ISO.



Rycina 11. Uniwersalna maszyna testująca Hounsfield-H 5KS (Wielka Brytania)

Specjalnie przygotowane próbki umieszczono w ramieniu maszyny testującej, przy następujących parametrach:

- średnica zamków metalowych 3 mm,
- średnica zamków ceramicznych 3,5 mm,
- prędkość pomiaru 2.0 mm/min;
- siła głowicy: 5000N.

Wartość wytrzymałości połączenia odczytywano w Newtonach, które dzięki oprogramowaniu komputerowemu maszyny testującej były przeliczane automatycznie na MPa.

Po wykonanych testach na ścinanie każdą próbkę oceniano przy pomocy lupy o powiększeniu x4 oceniając rodzaj pęknięcia (przełomu). Wyróżniono następujące rodzaje przełomów:

A1 - przełom adhezyjny na granicy zamek a cement (cement tylko na zębie)

A2 - przełom adhezyjny na granicy cement a szkliwo (cement tylko na zamku)

K1 - przełom kohezyjny w warstwie cementu

K2 - przełom kohezyjny w obrębie szkliwa

AK1 - przełom adhezyjno- kohezyjny bez uszkodzenia szkliwa zęba

AK2 - przełom adhezyjno- kohezyjny z uszkodzeniem szkliwa zęba

W funkcji czasu T2 i T3, tj. po upływie 3 miesięcy i 6 miesięcy wykonano dokładnie takie same procedury.



Rycina 12.
Przełom A1.



Rycina 13.
Przełom A2.



Rycina 14.
Przełom AK1.



Rycina 15.
Przełom AK2.

5. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH TESTU NA ŚCINANIE

1. Analiza porównawcza siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC w trzech funkcjach czasu.

Tabela II. Porównanie siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC w trzech funkcjach czasu.

GC FUJI ORTHO LC - zamki metalowe i ceramiczne [MPa]						
	T1 – 24 GODZINY		T2 - 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	35,37	36,48	34,57	34,38	20,42	13,51
2	33,72	20,81	28,22	12,20	18,51	12,90
3	33,53	20,73	25,51	11,55	17,73	9,62
4	33,17	16,75	24,93	10,59	16,74	7,73
5	32,43	13,98	22,85	8,66	15,96	7,33
6	29,78	13,86	22,12	6,48	14,97	6,41
7	25,94	11,89	18,32	4,90	13,65	4,20
8	23,98	6,18	15,00	4,11	10,97	2,76
9	23,11	5,47	13,44	4,06	9,64	*
10	19,57	4,61	12,72	3,22	8,89	*
M	29,06	15,08	21,77	10,02	14,75	8,06

* - uszkodzenie próbki przy montażu w maszynie testującej

M – średnia wyników

Tabela II przedstawia uzyskane wyniki pomiaru siły wiązania podczas testu na ścinanie przy użyciu uniwersalnej maszyny testującej Hounsfield H 5KS.

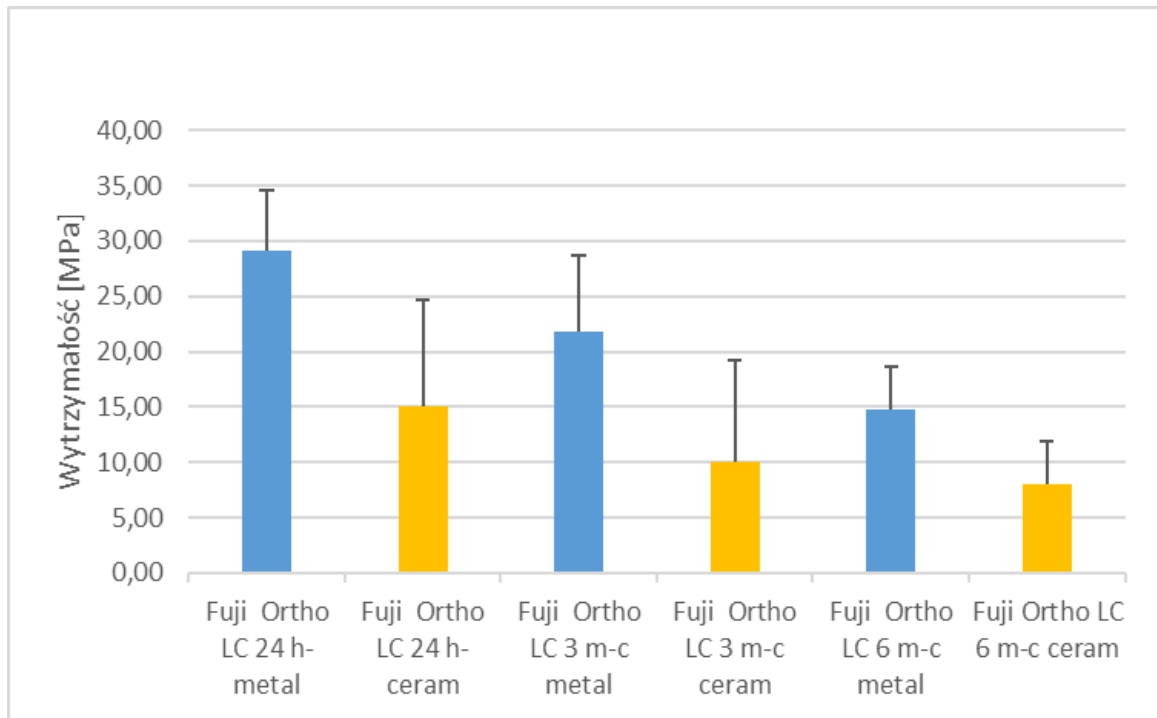
Otrzymane wartości wskazują na lepsze utrzymanie zamków metalowych w porównaniu z zamkami ceramicznymi. Wraz z upływem czasu następuje spadek średniej wartości siły ścinającej oraz naprężenia stycznego dla materiału GC Fuji Ortho LC.

W funkcji czasu T1 (24 godziny) średnia wartość siły wiązania dla zamków metalowych wynosi przeciętnie 29,06 MPa, natomiast dla zamków ceramicznych 15,08 MPa.

W funkcji czasu T2 (3 miesiące) różnica między średnimi siłami wiązania wynosi 11,75 MPa, z korzyścią dla zamków metalowych. W funkcji czasu T3 (6 miesięcy) zamki metalowe również wykazały wyższą średnią siłę wiązania w stosunku do zamków ceramicznych o 6,69 MPa.

W przypadku zamków metalowych średnia siła wiązania z upływem czasu od funkcji czasu T1 do T3 zmalała o 14,31 MPa. Natomiast przy zamkach ceramicznych zmniejszyła się o 7,02 MPa

Rycina 16. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi oraz zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu GC Fuji Ortho LC.



Analiza ryciny przedstawiającej siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi (kolor niebieski) oraz zamkami ceramicznymi (kolor pomarańczowy) również wskazuje na zmniejszenie sił wiązania z upływem czasu oraz na wyższe siły wiązania do zamków metalowych niż do zamków ceramicznych.

2. Analiza porównawcza siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału Transbond Plus w 3 funkcjach czasu.

Tabela III. Porównanie siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału Transbond Plus w trzech funkcjach czasu.

TRANSBOND PLUS - zamki metalowe i ceramiczne [MPa]						
	T1 – 24 GODZINY		T2 – 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	31,43	33,22	33,93	25,67	25,91	15,18
2	29,92	32,10	28,18	21,77	24,85	10,78
3	29,28	27,15	26,96	11,78	24,59	9,29
4	26,10	25,23	26,38	10,80	24,22	9,24
5	25,15	20,19	21,45	10,55	23,41	5,14
6	22,18	19,25	21,24	10,42	15,54	4,77
7	21,01	17,84	19,59	9,20	15,28	3,56
8	20,58	15,63	17,24	9,18	14,36	3,56
9	19,44	15,43	16,78	7,23	9,15	2,52
10	16,53	10,50	13,37	7,12	6,65	2,24
M	24,16	21,65	22,51	12,37	18,40	6,63

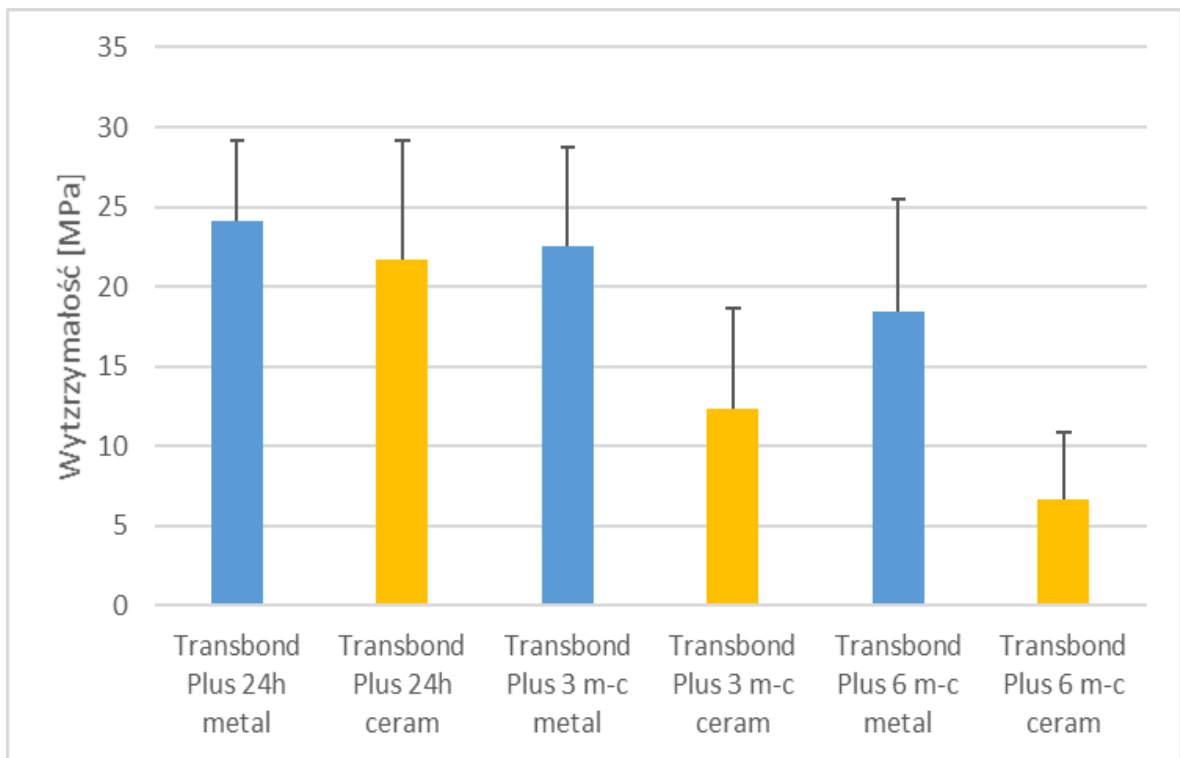
M – średnia wyników

Tabela III przedstawia zarejestrowane wyniki pomiaru siły wiązania pomiędzy szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym podczas testu na ścinanie. Otrzymane wyniki wykazują, że wyższe wartości naprężenia stycznego zarejestrowano dla zamków metalowych niż zamków ceramicznych. Z biegiem czasu maleje jednak średnia wartość siły ścinającej dla materiału Transbond Plus.

W funkcji czasu T1 (24 godziny) średnia wartość siły wiązania dla zamków metalowych wynosiła 24,16 MPa, natomiast dla zamków ceramicznych 21,65 MPa, czyli o 2,51 MPa mniej. W funkcji czasu T2 (3 miesiące) zamki metalowe również wykazały wyższą średnią siłę wiązania w stosunku do zamków ceramicznych o 10,14 MPa. W funkcji czasu T3 (6 miesięcy) różnica między średnimi siłami wiązania wyniosła 11,77 MPa z korzyścią dla zamków metalowych.

Porównując wyniki uzyskane w trzech funkcjach czasu można stwierdzić, iż średnia siła wiązania zamków metalowych poddanych testowi na ścinanie po 6 miesiącach od przyklejenia jest mniejsza o 5,76 MPa w stosunku do badania wykonanego po 24 godzinach od przyklejenia. Średnia siła przy zamkach ceramicznych maleje w tym samym okresie czasu o 15,02 MPa.

Rycina 17. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi oraz zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu Transbond Plus.



Powyższa rycina przedstawia wytrzymałość połączenia szkliwo zęba a zamek metalowy i zamek ceramiczny przy użyciu materiału Transbond Plus. Zamki metalowe wykazują wyższą wytrzymałość tego połączenia niż zamki ceramiczne. Z upływem czasu maleje jednak wytrzymałość połączenia dla obu rodzajów zamków.

3. Analiza porównawcza siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV w trzech funkcjach czasu.

Tabela IV. Porównanie siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV w trzech funkcjach czasu.

TRANSBOND SUPREME LV - zamki metalowe i ceramiczne [MPa]						
	T1 – 24 GODZINY		T2 – 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	34,33	26,61	29,66	23,85	28,61	13,84
2	33,0	20,94	25,44	23,28	23,25	12,57
3	26,91	17,48	23,44	17,49	22,75	12,21
4	22,49	15,75	23,31	13,51	20,91	9,17
5	19,01	13,93	21,28	10,93	20,21	7,76
6	18,19	13,67	19,83	9,39	13,79	7,43
7	16,88	11,32	17,24	9,32	9,76	6,86
8	15,76	9,51	16,79	8,09	8,54	6,65
9	12,17	8,40	12,87	7,28	7,97	6,13
10	11,39	7,76	10,49	6,46	7,07	5,14
M	21,01	14,54	20,04	12,96	16,29	8,78

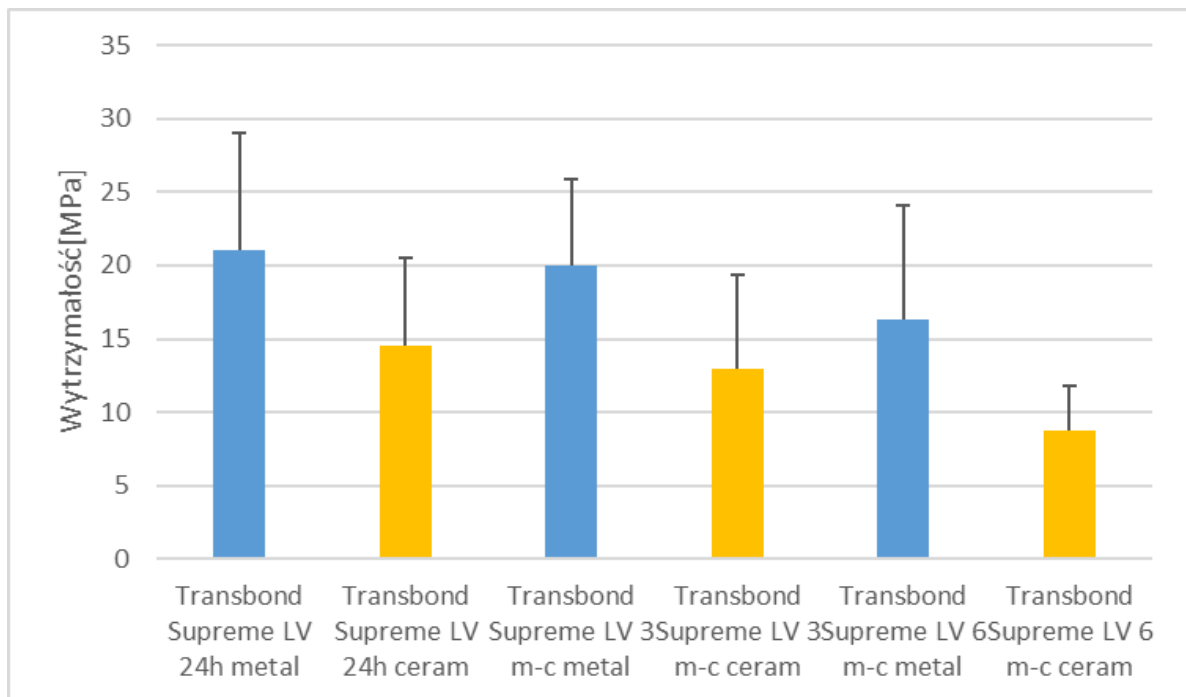
M – średnia wyników

W tabeli IV przedstawiono wyniki siły ścinającej pomiędzy szkliwem a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu Transbond Supreme LV.

Zamki metalowe uzyskały wyższą siłę wiązania niż zamki ceramiczne w każdej z funkcji czasu, jednak wraz z jego upływem w obu grupach siła wiązania malała.

W funkcji czasu T1 (24 godziny) średnia wytrzymałość połączenia jest wyższa o 6,47 MPa przy zamkach metalowych. W funkcji czasu T2 (3 miesiące) średnia siła wiązania zamków metalowych wynosi 20,04 MPa, natomiast zamków ceramicznych 12,96 MPa, czyli o 7,08 MPa jest mniejsza. W funkcji czasu T3 (6 miesięcy) różnica między średnimi siłami wiązania zamków metalowych i ceramicznych wynosi 7,51 MPa, z przewagą na korzyść zamków metalowych. Porównując wyniki średnich sił wiązania zamków metalowych w funkcji czasu T1 i T3, można stwierdzić, iż średnia siła ścinająca maleje o 4,72 MPa z upływem czasu, natomiast przy zamkach ceramicznych zmniejsza się o 5,76 MPa.

Rycina 18. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi oraz zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu Transbond Supreme LV.



Analiza ryciny 18 przedstawiającej siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi oraz zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV również wskazuje na zmniejszenie sił wiązania z upływem czasu oraz na wyższe siły wiązania zamków metalowych w porównaniu do zamków ceramicznych.

4. Analiza porównawcza siły wiązania między szklivem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału GC Ortho Connect w trzech funkcjach czasu.

Tabela V. Porównanie siły wiązania między szklivem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału GC Ortho Connect w trzech funkcjach czasu.

GC ORTHO CONNECT - zamki metalowe i ceramiczne [MPa]						
	T1 – 24 GODZINY		T2 – 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	53,50	26,78	52,50	29,23	42,72	24,31
2	44,99	24,13	48,17	18,93	41,31	23,55
3	42,10	23,91	44,82	13,20	35,56	22,61
4	40,91	21,57	36,90	13,11	35,49	17,54
5	37,28	21,13	26,55	12,68	33,60	15,61
6	37,01	20,75	24,76	11,36	31,67	12,66
7	36,36	19,69	23,93	11,33	30,58	9,79
8	34,94	15,57	22,83	11,33	22,59	2,67
9	34,77	15,17	20,68	*	17,09	*
10	33,46	13,88	20,11	*	16,53	*
M	39,53	20,26	32,13	15,15	30,71	16,09

*- uszkodzenie próbki przy montażu w maszynie testującej

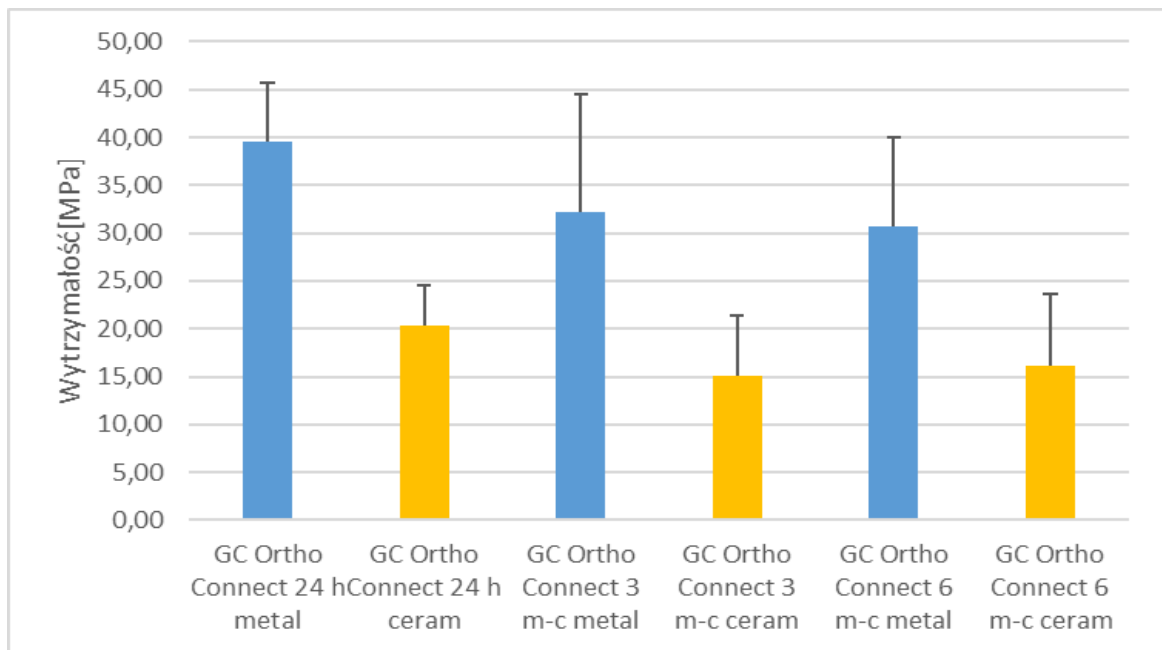
M – średnia wyników

Tabela V przedstawia uzyskane wyniki pomiaru siły wiązania podczas testu na ścinanie. Dane wskazują na lepsze utrzymanie zamków metalowych w porównaniu z zamkami ceramicznymi. Z upływem czasu maleje średnia wartość siły ścinającej dla materiału GC Ortho Connect.

W funkcji czasu T1 (24 godziny) średnia wartość siły wiązania dla zamków metalowych wynosi 39,53 MPa, natomiast dla zamków ceramicznych 20,26 MPa, a więc jest mniejsza o 19,27 MPa od zamków metalowych. W funkcji czasu T2 (3 miesiące) różnica między średnimi siłami wiązania wynosi 16,98 MPa z korzyścią dla zamków metalowych. W funkcji czasu T3 (6 miesięcy) zamki metalowe również wykazały wyższą średnią siłę wiązania w stosunku do zamków ceramicznych o 14,62 MPa.

W przypadku zamków metalowych średnia siła wiązania wraz z upływem czasu od funkcji czasu T1 do T3 zmalała o 8,82 MPa, natomiast w przypadku zamków ceramicznych zmalała o 4,17 MPa.

Rycina 19. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi oraz zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu GC Ortho Connect



Rycina 19 przedstawia wytrzymałość połączenia szkliwo zęba a zamek metalowy i zamek ceramiczny przy użyciu materiału GC Ortho Connect. Zamki metalowe wykazują wyższą wytrzymałość tego połączenia niż zamki ceramiczne. Wraz z upływem czasu zmniejsza się jednak wytrzymałość połączenia zarówno w przypadku zamków metalowych, jak i ceramicznych.

5. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów tj. GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect w funkcji czasu T1, po 24 godzinnym przetrzymywaniu w wodzie destylowanej o temperaturze 37°C.

Tabela VI. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w funkcji czasu T1.

T1 – 24 GODZINY [MPa]								
Lp.	GC FUJI ORTHO LC		TRANSBOND PLUS		TRANSBOND SUPREME LV		GC ORTHO CONNECT	
	Z.met	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	35,37	36,48	31,43	33,22	34,33	26,61	53,50	26,78
2	33,72	20,81	29,92	32,10	33,0	20,94	44,99	24,13
3	33,53	20,73	29,28	27,15	26,91	17,48	42,10	23,91
4	33,17	16,75	26,10	25,23	22,49	15,75	40,91	21,57
5	32,43	13,98	25,15	20,19	19,01	13,93	37,28	21,13
6	29,78	13,86	22,18	19,25	18,19	13,67	37,01	20,75
7	25,94	11,89	21,01	17,84	16,88	11,32	36,36	19,69
8	23,98	6,18	20,58	15,63	15,76	9,51	34,94	15,57
9	23,11	5,47	19,44	15,43	12,17	8,40	34,77	15,17
10	19,57	4,61	16,53	10,50	11,39	7,76	33,46	13,88
M	29,06	15,08	24,16	21,65	21,01	14,54	39,53	20,26

M – średnia wyników

Tabela VI przedstawia podsumowanie wyników wytrzymałości połączenia otrzymanych podczas testu na ścinanie w funkcji czasu T1 to jest po 24 godzinach. Najwyższą średnią siłą wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym zarejestrowano przy zastosowaniu materiału GC Ortho Connect (39,53 MPa), następnie GC Fuji Ortho LC (29,06 MPa) i Transbond Plus (24,16 MPa), najniższą wytrzymałość połączenia wykazał cement Transbond Supreme LV (21,01 MPa).

W przypadku zamków ceramicznych najlepszym materiałem okazał się Transbond Plus (21,65 MPa), następnie GC Ortho Connect (20,26 MPa) i GC Fuji Ortho LC (15,08 MPa), a najslabszym Transbond Supreme LV (14,54 MPa).

6. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów tj. GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect w funkcji czasu T2, po 3 miesięcznym okresie przetrzymywania w wodzie destylowanej o temperaturze 37°C.

Tabela VII. Porównanie sił wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w funkcji czasu T2.

T2 - 3 MIESIĄCE								
Lp.	GC FUJI ORTHO LC		TRANSBOND PLUS		TRANSBOND SUPREME LV		GC ORTHO CONNECT	
	Z.met	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	34,57	34,38	33,93	25,67	29,66	23,85	52,50	29,23
2	28,22	12,20	28,18	21,77	25,44	23,28	48,17	18,93
3	25,51	11,55	26,96	11,78	23,44	17,49	44,82	13,20
4	24,93	10,59	26,38	10,80	23,31	13,51	36,90	13,11
5	22,85	8,66	21,45	10,55	21,28	10,93	26,55	12,68
6	22,12	6,48	21,24	10,42	19,83	9,39	24,76	11,36
7	18,32	4,90	19,59	9,20	17,24	9,32	23,93	11,33
8	15,00	4,11	17,24	9,18	16,79	8,09	22,83	11,33
9	13,44	4,06	16,78	7,23	12,87	7,28	20,68	*
10	12,72	3,22	13,37	7,12	10,49	6,46	20,11	*
M	21,77	10,02	22,51	12,37	20,04	12,96	32,13	15,15

*- uszkodzenie próbki przy montażu w maszynie testującej

M – średnia wyników

Tabela VII przedstawia zestawienie wszystkich wyników otrzymanych w teście na ścinanie oceniających wytrzymałość połączenia między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi w funkcji czasu T2, czyli po upływie 3 miesięcy.

W przypadku zamków metalowych porównując średnią siłę wiązania, najlepszym materiałem w tej funkcji czasu okazał się GC Ortho Connect (32,13 MPa), następnie Transbond Plus (22,51 MPa), kolejnym GC Fuji Ortho LC (21,77 MPa) oraz najsłabszym Transbond Supreme LV (20,04 MPa). Najwyższą średnią siłę wiązania z zamkami ceramicznymi osiągnął materiał GC Ortho Connect (15,15 MPa), następnie Transbond Supreme LV (12,96 MPa) i Transbond Plus (12,37 MPa). Najsłabszą średnią siłę wiązania zarejestrowano dla materiału GC Fuji Ortho LC (10,02 MPa).

7. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów tj. GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect w funkcji czasu T3, po 6 miesięcznym okresie przetrzymywania w wodzie destylowanej o temperaturze 37°C.

Tabela VIII. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w funkcji czasu T3.

T3 - 6 MIESIĘCY [MPa]								
Lp.	GC FUJI ORTHO LC		TRANSBOND PLUS		TRANSBOND SUPREME LV		GC ORTHO CONNECT	
	Z.met	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	20,42	13,51	25,91	15,18	28,61	13,84	42,72	24,31
2	18,51	12,90	24,85	10,78	23,25	12,57	41,31	23,55
3	17,73	9,62	24,59	9,29	22,75	12,21	35,56	22,61
4	16,74	7,73	24,22	9,24	20,91	9,17	35,49	17,54
5	15,96	7,33	23,41	5,14	20,21	7,76	33,60	15,61
6	14,97	6,41	15,54	4,77	13,79	7,43	31,67	12,66
7	13,65	4,20	15,28	3,56	9,76	6,86	30,58	9,79
8	10,97	2,76	14,36	3,56	8,54	6,65	22,59	2,67
9	9,64	-	9,15	2,52	7,97	6,13	17,09	*
10	8,89	-	6,65	2,24	7,07	5,14	16,53	*
M	14,75	8,06	18,40	6,63	16,29	8,78	30,71	16,09

*- uszkodzenie próbki przy montażu w maszynie testującej

M – średnia wyników

Tabela VIII przedstawia podsumowanie wszystkich wyników wytrzymałości połączenia w funkcji czasu T3 tj. po 6 miesiącach od przyklejenia zamków metalowych i ceramicznych do szkliwa zęba przy zastosowaniu różnych rodzajów cementów.

Najwyższą średnią siłę wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym osiągnął materiał GC Ortho Connect (30,71 MPa), następnie Transbond Plus (18,40 MPa) i Transbond Supreme LV (16,29 MPa), najniższą wytrzymałość połączenia wykazał GC Fuji Ortho LC (14,75 MPa).

W przypadku zamków ceramicznych najlepszym materiałem okazał się GC Ortho Connect (16,09 MPa), następnie Transbond Supreme LV (8,78 MPa) i GC Fuji Ortho LC (8,06 MPa), a najslabszym Transbond Plus (6,63 MPa).

8. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów tj. GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect w trzech funkcjach czasu: T1, T2, T3.

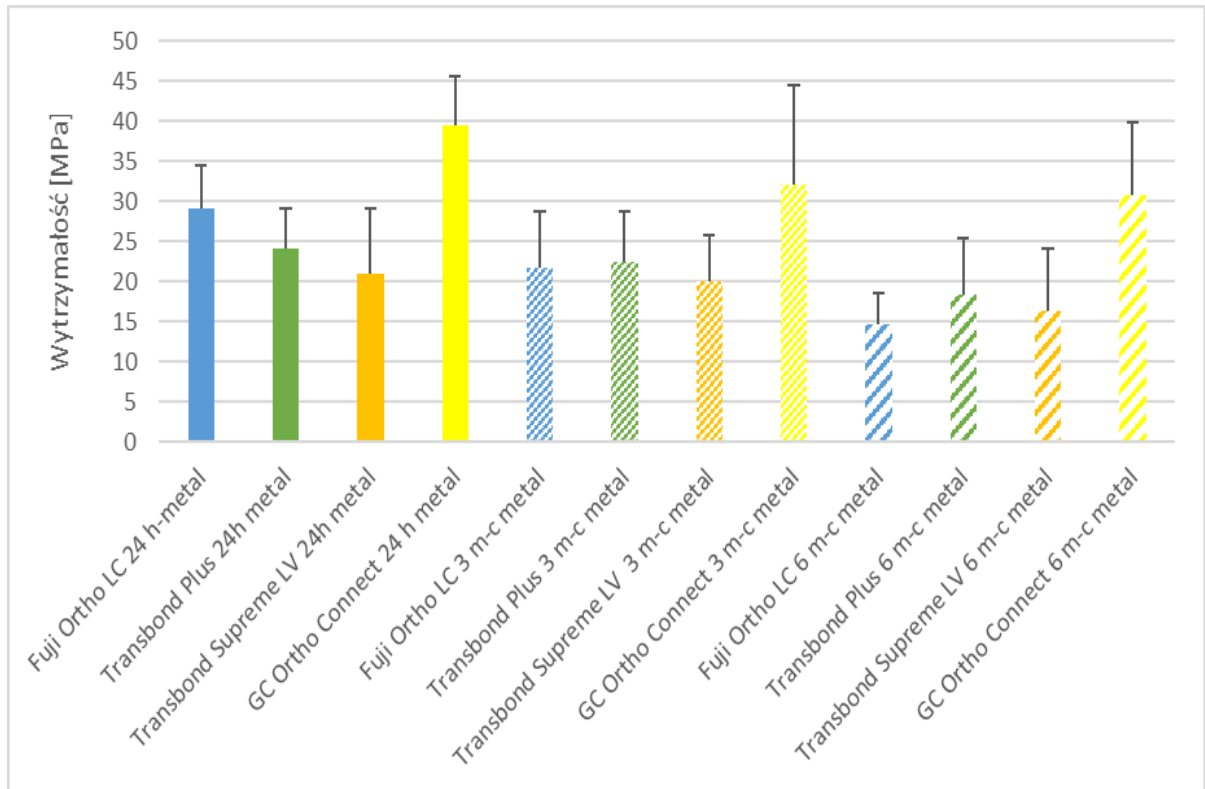
Tabela IX. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu: T1, T2, T3.

WYNIKI ZAMKI METALOWE [MPa]												
	T1 – 24 GODZINY				T2 - 3 MIESIĄCE				T3 - 6 MIESIĘCY			
	GC FUJI ORTHO LC	TRANS-BOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT	GC FUJI ORTHO LC	TRANS-BOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT	GC FUJI ORTHO LC	TRANS-BOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT
Lp.												
1	35,37	31,43	34,33	53,50	34,57	33,93	29,66	52,50	20,42	25,91	28,61	42,72
2	33,72	29,92	33,0	44,99	28,22	28,18	25,44	48,17	18,51	24,85	23,25	41,31
3	33,53	29,28	26,91	42,10	25,51	26,96	23,44	44,82	17,73	24,59	22,75	35,56
4	33,17	26,10	22,49	40,91	24,93	26,38	23,31	36,90	16,74	24,22	20,91	35,49
5	32,43	25,15	19,01	37,28	22,85	21,45	21,28	26,55	15,96	23,41	20,21	33,60
6	29,78	22,18	18,19	37,01	22,12	21,24	19,83	24,76	14,97	15,54	13,79	31,67
7	25,94	21,01	16,88	36,36	18,32	19,59	17,24	23,93	13,65	15,28	9,76	30,58
8	23,98	20,58	15,76	34,94	15,00	17,24	16,79	22,83	10,97	14,36	8,54	22,59
9	23,11	19,44	12,17	34,77	13,44	16,78	12,87	20,68	9,64	9,15	7,97	17,09
10	19,57	16,53	11,39	33,46	12,72	13,37	10,49	20,11	8,89	6,65	7,07	16,53
M	29,06	24,16	21,01	39,53	21,77	22,51	20,04	32,13	14,75	18,40	16,29	30,71

M – średnia wyników

Tabela IX przedstawia zestawienie zbiorcze uzyskanych wyników sił wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi.

Rycina 20. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.



Na podstawie ryciny 20 przedstawiającej wartości z tabeli w układzie graficznym można stwierdzić, iż wraz z upływem czasu zmniejsza się wytrzymałość połączenia. Materiałem o najwyższych wartościach średniej siły wiązania, w każdej z trzech funkcji czasu jest GC Ortho Connect.

9. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów tj. GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect w trzech funkcjach czasu: T1, T2, T3.

Tabela X. Porównanie sił wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów tj. GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect w trzech funkcjach czasu: T1, T2, T3.

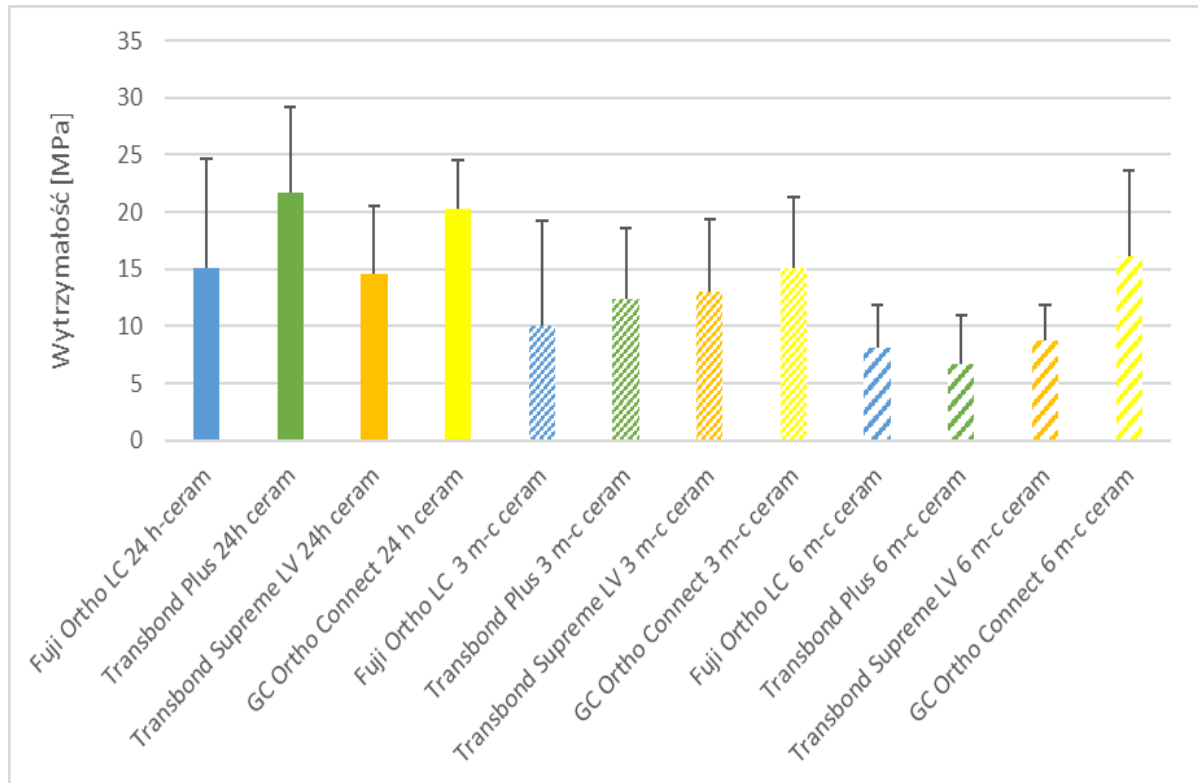
WYNIKI ZAMKI CERAMICZNE [MPa]												
Lp.	T1 – 24 GODZINY				T2 - 3 MIESIĄCE				T3 - 6 MIESIĘCY			
	GC FUJI ORTHO LC	TRANS-BOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT	GC FUJI ORTHO LC	TRANS-BOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT	GC FUJI ORTHO LC	TRANS-BOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT
1	36,48	33,22	26,61	26,78	34,38	25,67	23,85	29,23	13,51	15,18	13,84	24,31
2	20,81	32,10	20,94	24,13	12,20	21,77	23,28	18,93	12,90	10,78	12,57	23,55
3	20,73	27,15	17,48	23,91	11,55	11,78	17,49	13,20	9,62	9,29	12,21	22,61
4	16,75	25,23	15,75	21,57	10,59	10,80	13,51	13,11	7,73	9,24	9,17	17,54
5	13,98	20,19	13,93	21,13	8,66	10,55	10,93	12,68	7,33	5,14	7,76	15,61
6	13,86	19,25	13,67	20,75	6,48	10,42	9,39	11,36	6,41	4,77	7,43	12,66
7	11,89	17,84	11,32	19,69	4,90	9,20	9,32	11,33	4,20	3,56	6,86	9,79
8	6,18	15,63	9,51	15,57	4,11	9,18	8,09	11,33	2,76	3,56	6,65	2,67
9	5,47	15,43	8,40	15,17	4,06	7,23	7,28	*	*	2,52	6,13	*
10	4,61	10,50	7,76	13,88	3,22	7,13	6,46	*	*	2,24	5,14	*
M	15,08	21,65	14,54	20,26	10,02	12,37	12,96	15,15	8,06	6,63	8,78	16,09

*- uszkodzenie próbki przy montażu w maszynie testującej

M – średnia wyników

Tabela X przedstawia zbiorcze wyniki sił wiązania między szkliwem zębów a zamkami ceramicznymi.

Rycina 21. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

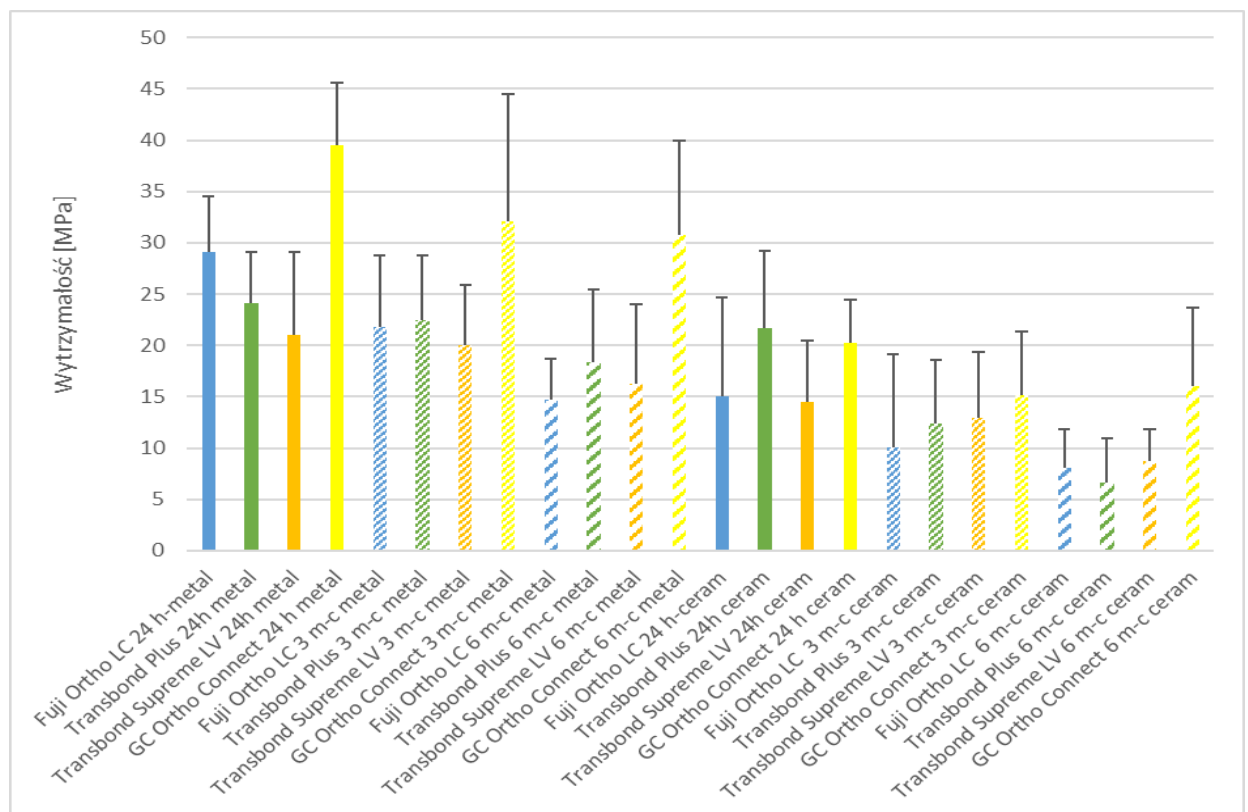


Na podstawie ryciny przedstawiającej wartości z tabeli można stwierdzić, że wraz z upływem czasu maleje wytrzymałość połączenia przy użyciu materiałów: Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Fuji Ortho LC.

Materiałami o najwyższych wartościach średniej siły wiązania w pierwszej funkcji czasu, czyli po upływie 24 godzin od przyklejenia zamków jest Transbond Plus, natomiast GC Ortho Connect najlepszym materiałem w T2 i T3, czyli kolejno po upływie 3 miesięcy i 6 miesięcy od przygotowania próbek badawczych.

10. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów tj. GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect w trzech funkcjach czasu: T1, T2, T3.

Rycina 22. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.



Na podstawie ryciny 22 można zauważyć, że zamki metalowe wykazują wyższą siłę wiązania do szkliwa zęba przy zastosowaniu wszystkich badanych cementów w porównaniu z zamkami ceramicznymi. Z upływem czasu zmniejsza się wytrzymałość połączenia pomiędzy szkliwem zęba a zamkiem ortodontycznym. Cementem, wykazującym najwyższe wartości sił wiązania w funkcji czasu T1, T2, T3 dla zamków metalowych, okazał się GC Ortho Connect. Natomiast dla zamków ceramicznych w funkcji czasu T1, najlepszym cementem był GC Fuji Ortho LC, a w funkcjach czasu T2 i T3, GC Ortho Connect.

6. WYNIKI ANALIZY STATYSTYCZNEJ BADAŃ LABORATORYJNYCH

Wyniki badań laboratoryjnych przedstawiono w tabelach, w których kolumny przedstawiają: naprężenie styczne (MPa), wartość średnią (M.), medianę (Me), wartość minimalną (Min.), wartość maksymalną (Max.), odchylenie standardowe (SD) oraz współczynnik zmienności (V%).

Tabela XI. Porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu GC Fuji Ortho LC

GC FUJI ORTHO LC - zamki metalowe i ceramiczne [MPa]						
	T1 – 24 GODZINY		T2 - 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
M.	29,06	15,08	21,77	10,02	14,75	8,06
Me	31,11	13,92	22,49	7,57	15,47	7,53
Min.	19,57	4,61	12,72	3,22	8,89	2,76
Max.	35,37	36,48	34,57	34,38	20,42	13,51
SD	5,49	9,54	6,99	9,18	3,90	3,82
V%	18,89	63,30	32,11	91,64	26,42	47,36

M. – średnia wyników, Me – mediana, Min. – wartość minimalna, Max. – wartość maksymalna, SD – odchylenie standardowe, V% - współczynnik zmienności

Tabela XI przedstawia porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu GC Fuji Ortho LC. Średnie wartości dla zamków metalowych są wyższe niż dla zamków ceramicznych w każdej z badanych funkcji czasu.

Zamki metalowe posiadają niższy współczynnik zmienności, co świadczy o mniejszym zróżnicowaniu wyników w poszczególnych próbach niż w przypadku zamków ceramicznych. W przypadku zamków ceramicznych istnieje duży rozrzut wartości pomiarowych, o czym świadczy wartość odchylenia standardowego. Z upływem czasu maleją wartości średnich w obu grupach badanych tj. z zastosowaniem zamków metalowych i ceramicznych.

Tabela XII. Porównanie naprężenia stycznego w układzie szkliwo zęba - materiał GC Fuji Ortho LC - zamek ortodontyczny (metalowy i ceramiczny).

RODZAJ ZAMKA ORTODONTYCZNEGO	MATERIAŁ	GRUPY PORÓWNYWANE: CZAS	ISTOTNOŚĆ RÓŻNICY
ZAMEK METALOWY	GC FUJI ORTHO LC	T1 do T2	p<0,001
ZAMEK METALOWY	GC FUJI ORTHO LC	T1 do T3	p<0,001
ZAMEK METALOWY	GC FUJI ORTHO LC	T2 do T3	p<0,001
ZAMEK CERAMICZNY	GC FUJI ORTHO LC	T1 do T2	NS
ZAMEK CERAMICZNY	GC FUJI ORTHO LC	T1 do T3	p<0,001
ZAMEK CERAMICZNY	GC FUJI ORTHO LC	T2 do T3	NS
NS- różnica nieistotna statystycznie; p- poziom istotności T1- 24 godziny, T2- 3 miesiące, T3- 6 miesięcy			

Wykonana analiza porównawcza dla zamków metalowych wykazała wysoce istotne różnice statystyczne w porównywanych grupach względem funkcji czasu (p<0,001). Dla zamków ceramicznych różnica między wynikami osiągniętymi w funkcji czasu T1, czyli po upływie 24 godzin i funkcji czasu T2, tj. po upływie 3 miesięcy nie jest istotna statystycznie. Między funkcją czasu T2 a funkcją czasu T3 nie wykazano statystycznie istotnych różnic w badaniach wykonanych z użyciem zamków ceramicznych. Natomiast porównanie badanych grup w funkcji czasu T1 i funkcji czasu T3 wykazało wysoce istotne różnice statystyczne (p<0,001).

Tabela XIII. Porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu Transbond Plus.

TRANSBOND PLUS - zamki metalowe i ceramiczne [MPa]						
	T1 – 24 GODZINY		T2 - 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
M.	24,16	21,65	22,51	12,37	18,40	6,63
Me	23,67	19,72	21,35	10,49	19,48	4,96
Min.	16,53	10,50	13,37	7,12	6,65	2,24
Max.	31,43	33,22	33,93	25,67	25,91	15,18
SD	4,99	7,51	6,26	6,23	7,10	4,28
V%	20,65	34,69	27,81	50,36	38,57	64,58

M. – średnia wyników, Me – mediana, Min. – wartość minimalna, Max. – wartość maksymalna, SD – odchylenie standardowe, V% - współczynnik zmienności

Tabela XIII przedstawia porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu Transbond Plus. Zamki metalowe wykazują mniejszy współczynnik zmienności niż zamki ceramiczne w trzech funkcjach czasu. Wartości średnie w każdej z funkcji czasu tj. T1, T2, T3 są wyższe w przypadku zamków metalowych niż ceramicznych. Z upływem czasu w grupach badanych przy zastosowaniu zamków metalowych, jak i zamków ceramicznych maleją wartości średnie.

Tabela XIV. Porównanie naprężenia stycznego w układzie szkliwo zęba - materiał Transbond Plus - zamek ortodontyczny (metalowy i ceramiczny).

RODZAJ ZAMKA ORTODONTYCZNEGO	MATERIAŁ	GRUPY PORÓWNYWANE: CZAS	ISTOTNOŚĆ RÓŻNICY
ZAMEK METALOWY	TRANSBOND PLUS	T1 do T2	NS
ZAMEK METALOWY	TRANSBOND PLUS	T1 do T3	p<0,001
ZAMEK METALOWY	TRANSBOND PLUS	T2 do T3	p<0,001
ZAMEK CERAMICZNY	TRANSBOND PLUS	T1 do T2	NS
ZAMEK CERAMICZNY	TRANSBOND PLUS	T1 do T3	p<0,001
ZAMEK CERAMICZNY	TRANSBOND PLUS	T2 do T3	NS
NS- różnica nieistotna statystycznie; p- poziom istotności T1- 24 godziny, T2- 3 miesiące, T3- 6 miesięcy			

Przeprowadzona analiza statystyczna na podstawie wyników otrzymanych w teście ścinania zamków metalowych i ceramicznych w trzech funkcjach czasu przy zastosowaniu materiału Transbond Plus wykazała, iż w przypadku zamków metalowych nieistotna różnica statystyczna występuje przy porównaniu grup w funkcji czasu T1 i T2. Porównanie funkcji czasu T1 i T3 oraz T2 i T3 jest statystycznie wysoce istotne i wynosi p<0,001. W badaniach wykonanych na zamkach ceramicznych, porównanie grup badanych w funkcji czasu T1 i T2 oraz T2 i T3 wykazało brak istotnych różnic statystycznych. Jedynie porównanie grup T1 i T3 charakteryzowało się poziomem istotności p<0,001.

Tabela XV. Porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu Transbond Supreme LV.

TRANSBOND SUPREME LV - zamki metalowe i ceramiczne [MPa]						
	T1 – 24 GODZINY		T2 - 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
M.	21,01	14,54	20,04	12,96	16,29	8,78
Me	18,60	13,80	20,56	10,16	17,00	7,60
Min.	11,39	7,76	10,49	6,46	7,07	5,14
Max.	34,33	26,61	29,66	23,85	28,61	13,84
SD	8,07	5,94	5,84	6,45	7,76	3,04
V%	38,38	40,84	29,13	49,76	47,64	34,65

M. – średnia wyników, Me – mediana, Min. – wartość minimalna, Max. – wartość maksymalna, SD – odchylenie standardowe, V% - współczynnik zmienności

Tabela XV przedstawia zestawienie wyników naprężenia stycznego otrzymanych dla materiału Transbond Supreme LV w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych. Zamki metalowe wykazują większe średnie wartości naprężenia stycznego niż zamki ceramiczne w trzech funkcjach czasu. Z upływem czasu maleją średnie wartości siły wiązania przy zamkach metalowych oraz ceramicznych. Najwyższą wartość współczynnika zmienności obliczono przy zamkach ceramicznych w funkcji czasu T2, natomiast najmniejsze zróżnicowanie uzyskanych wyników, a tym samym najniższą wartość również w funkcji czasu T2 dla zamków metalowych.

Tabela XVI. Porównanie naprężenia stycznego w układzie szkliwo zęba - materiał Transbond Supreme LV - zamek ortodontyczny (metalowy i ceramiczny).

RODZAJ ZAMKA ORTODONTYCZNEGO	MATERIAŁ	GRUPY PORÓWNYWANE: CZAS	ISTOTNOŚĆ RÓŻNICY
ZAMEK METALOWY	TRANSBOND SUPREME LV	T1 do T2	NS
ZAMEK METALOWY	TRANSBOND SUPREME LV	T1 do T3	p<0,001
ZAMEK METALOWY	TRANSBOND SUPREME LV	T2 do T3	p<0,001
ZAMEK CERAMICZNY	TRANSBOND SUPREME LV	T1 do T2	NS
ZAMEK CERAMICZNY	TRANSBOND SUPREME LV	T1 do T3	p<0,001
ZAMEK CERAMICZNY	TRANSBOND SUPREME LV	T2 do T3	p<0,001
NS- różnica nieistotna statystycznie; p- poziom istotności T1- 24 godziny, T2- 3 miesiące, T3- 6 miesięcy			

Analiza statystyczna porównania sił wiązania pomiędzy zamkami ortodontycznymi a szkliwem zęba przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV w trzech funkcjach czasu wykazała, że w przypadku zamków metalowych oraz ceramicznych nie istnieje statystyczna różnica pomiędzy wynikami w funkcji czasu T1 i T2. Natomiast porównując grupy z zamkami metalowymi i ceramicznymi w funkcji czasu T1 i T3 oraz T2 i T3 różnica ta jest wysoce istotna statystycznie (p<0,001).

Tabela XVII. Porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu GC Ortho Connect.

GC ORTHO CONNECT - zamki metalowe i ceramiczne [MPa]						
	T1 – 24 GODZINY		T2 - 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
M.	39,53	20,26	32,13	15,15	30,71	16,09
Me	37,15	20,94	25,66	12,90	32,64	16,58
Min.	33,46	13,88	20,11	11,33	16,53	2,67
Max.	53,50	26,78	52,50	29,23	42,72	24,31
SD	6,11	4,25	12,34	6,21	9,22	7,56
V%	15,44	20,97	38,42	41,02	30,01	46,95

M. – średnia wyników, Me – mediana, Min. – wartość minimalna, Max. – wartość maksymalna, SD – odchylenie standardowe, V% - współczynnik zmienności

Tabela XVII przedstawia porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu GC Ortho Connect. Średnie wartości dla zamków metalowych są wyższe niż dla zamków ceramicznych w każdej z analizowanych funkcji czasu. Zamki metalowe posiadają niższy współczynnik zmienności, co świadczy o mniejszym zróżnicowaniu wyników w poszczególnych próbach niż w przypadku zamków ceramicznych. Wartości odchylenia standardowego w każdej z funkcji czasu są niższe dla zamków ceramicznych niż metalowych, co świadczy, że wyniki w tej grupie są rozrzucone wokół wartości średniej w stopniu umiarkowanym.

Tabela XVIII. Porównanie naprężenia stycznego w układzie szkliwo zęba – materiał GC Ortho Connect - zamek ortodontyczny (metalowy i ceramiczny).

RODZAJ ZAMKA ORTODONTYCZNEGO	MATERIAŁ	GRUPY PORÓWNYWANE: CZAS	ISTOTNOŚĆ RÓŻNICY
ZAMEK METALOWY	GC ORTHO CONNECT	T1 do T2	NS
ZAMEK METALOWY	GC ORTHO CONNECT	T1 do T3	p<0,001
ZAMEK METALOWY	GC ORTHO CONNECT	T2 do T3	NS
ZAMEK CERAMICZNY	GC ORTHO CONNECT	T1 do T2	NS
ZAMEK CERAMICZNY	GC ORTHO CONNECT	T1 do T3	p<0,05
ZAMEK CERAMICZNY	GC ORTHO CONNECT	T2 do T3	NS
NS- różnica nieistotna statystycznie; p- poziom istotności T1- 24 godziny, T2- 3 miesiące, T3- 6 miesięcy			

W analizie porównawczej stwierdzono, że zarówno w przypadku zamków metalowych, jak i ceramicznych nie stwierdza się istotnych różnic statystycznych pomiędzy wynikami otrzymanymi z T1 i T2 oraz T2 i T3. Różnica zarejestrowanych danych z funkcji czasu T1 i T3 jest wysoce istotna statystycznie przy zamkach metalowych i wynosi $p < 0,001$, natomiast różnica otrzymana dla zamków ceramicznych w porównaniu wyników z funkcji czasu T1 i T3 jest statystycznie istotna ($p < 0,05$).

Tabela XIX. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem ortodontycznym: metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w funkcji czasu T1, tj. po upływie 24 godzin.

T1 – 24 GODZINY								
	GC FUJI ORTHO LC		TRANSBOND PLUS		TRANSBOND SUPREME LV		GC ORTHO CONNECT	
Lp.	Z.met	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
M.	29,06	15,08	24,16	21,65	21,01	14,54	39,53	20,26
Me	31,11	13,92	23,67	19,72	18,60	13,80	37,15	20,94
Min.	19,57	4,61	16,53	10,50	11,39	7,76	33,46	13,88
Max.	35,37	36,48	31,43	33,22	34,33	26,61	53,50	26,78
SD	5,49	9,54	4,99	7,51	8,07	5,94	6,11	4,25
V%	18,89	63,30	20,65	34,69	38,38	40,84	15,44	20,97

M. – średnia wyników, Me – mediana, Min. – wartość minimalna, Max. – wartość maksymalna, SD – odchylenie standardowe, V% - współczynnik zmienności

Tabela XIX przedstawia zestawienie wyników badań laboratoryjnych wykonanych w pierwszej funkcji czasu, tj. po upływie 24 godzin od przyklejenia zamków ortodontycznych do szkliwa zębów przy zastosowaniu czterech materiałów: GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect. Wyższe wyniki średnie występują przy użyciu zamków metalowych. Najwyższą wartość maksimum (Max.) odnotowano przy zamkach metalowych z zastosowaniem materiału GC Ortho Connect, najniższą wartość minimum (Min.) w funkcji czasu T1 odnotowano przy zamkach ceramicznych przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC.

Najlepszym materiałem w tej funkcji czasu, do przyklejenia zamków metalowych okazał się GC Ortho Connect. Dla zamków ceramicznych cementem z najwyższą średnią wartością siły wiązania jest Transbond Plus. Wyższe współczynniki zmienności w funkcji czasu T1 określono przy zamkach ceramicznych niż metalowych przy zastosowaniu każdego z wybranych czterech cementów.

Tabela XX. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem ortodontycznym: metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w funkcji czasu T2, tj. po upływie 3 miesięcy.

T2 - 3 MIESIĄCE								
	GC FUJI ORTHO LC		TRANSBOND PLUS		TRANSBOND SUPREME LV		GC ORTHO CONNECT	
Lp.	Z.met	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
M.	21,77	10,02	22,51	12,37	20,04	12,96	32,13	15,15
Me	22,49	7,57	21,35	10,49	20,56	10,16	25,66	12,90
Min.	12,72	3,22	13,37	7,12	10,49	6,46	20,11	11,33
Max.	34,57	34,38	33,93	25,67	29,66	23,85	52,50	29,23
SD	6,99	9,18	6,26	6,23	5,84	6,45	12,34	6,21
V%	32,11	91,64	27,81	50,36	29,13	49,76	38,42	41,02

M. – średnia wyników, Me – mediana, Min. – wartość minimalna, Max. – wartość maksymalna, SD – odchylenie standardowe, V% - współczynnik zmienności

Tabela XX przedstawia zestawienie wyników badań laboratoryjnych wykonanych w drugiej funkcji czasu, tj. po upływie 3 miesięcy od przyklejenia zamków ortodontycznych do szkliwa zębów przy zastosowaniu czterech materiałów: GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect. Wyższe wyniki średniej występują przy użyciu zamków metalowych niż ceramicznych. Najwyższą wartość maksimum (Max.) odnotowano dla zamków metalowych z zastosowaniem materiału GC Ortho Connect, a najniższą wartość minimum (Min.) w funkcji czasu T2 dla zamków ceramicznych przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC.

Najkorzystniejszym materiałem w tej funkcji czasu okazał się GC Ortho Connect. Dla zamków ceramicznych cementem z najwyższą średnią wartością siły wiązania jest również GC Ortho Connect. Wyższe współczynniki zmienności w funkcji czasu T2 występują przy zamkach ceramicznych niż metalowych przy zastosowaniu każdego z wybranych czterech cementów, co świadczy o znacznym rozproszeniu danych pomiarowych.

Tabela XXI. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem ortodontycznym: metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w funkcji czasu T3, tj. po upływie 6 miesięcy.

T3 - 6 MIESIĘCY								
	GC FUJI ORTHO LC		TRANSBOND PLUS		TRANSBOND SUPREME LV		GC ORTHO CONNECT	
Lp.	Z.met	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
M.	14,75	8,06	18,40	6,63	16,29	8,78	30,71	16,09
Me	15,47	7,53	19,48	4,96	17,00	7,60	32,64	16,58
Min.	8,89	2,76	6,65	2,24	7,07	5,14	16,53	2,67
Max.	20,42	13,51	25,91	15,18	28,61	13,84	42,72	24,31
SD	3,90	3,82	7,10	4,28	7,76	3,04	9,22	7,56
V%	26,42	47,36	38,57	64,58	47,64	34,65	30,01	46,95

M. – średnia wyników, Me – mediana, Min. – wartość minimalna, Max. – wartość maksymalna, SD – odchylenie standardowe, V% - współczynnik zmienności

Tabela XXI przedstawia zestawienie wyników badań laboratoryjnych wykonanych w trzeciej funkcji czasu, tj. po upływie 6 miesięcy od przyklejenia zamków ortodontycznych do szkliwa zębów przy zastosowaniu czterech materiałów: GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect. Wyższe wartości naprężenia stycznego występują przy użyciu zamków metalowych niż zamków ceramicznych. Najwyższą wartość maksimum (Max.) odnotowano dla zamków metalowych z zastosowaniem materiału GC Ortho Connect, a najniższą wartość minimum (Min.) w funkcji czasu T3 odnotowano dla zamków ceramicznych przy zastosowaniu materiału Transbond Plus.

Najlepszym materiałem w tej funkcji czasu okazał się GC Ortho Connect. Dla zamków ceramicznych cementem z najwyższą średnią wartością siły wiązania jest również GC Ortho Connect. Wyższe współczynniki zmienności w funkcji czasu T3 odnotowano przy zamkach ceramicznych niż metalowych przy zastosowaniu cementów: GC Fuji Ortho, Transbond Plus, GC Ortho Connect. Natomiast w przypadku materiału Transbond Supreme LV, wyższą rozbieżność wyników stwierdzono przy zamkach metalowych niż ceramicznych i tym samym wyższy współczynnik zmienności przy zamkach metalowych niż zamkach ceramicznych.

Tabela XXII. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

WYNIKI ZAMKI METALOWE												
Lp.	T1 – 24 GODZINY				T2 - 3 MIESIĄCE				T3 - 6 MIESIĘCY			
	GC FUJI ORTHO LC	TRANSBOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT	GC FUJI ORTHO LC	TRANSBOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT	GC FUJI ORTHO LC	TRANSBOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT
M.	29,06	24,16	21,01	39,53	21,77	22,51	20,04	32,13	14,75	18,40	16,29	30,71
Me	31,11	23,67	18,60	37,15	22,49	21,35	20,56	25,66	15,47	19,48	17,00	32,64
Min.	19,57	16,53	11,39	33,46	12,72	13,37	10,49	20,11	8,89	6,65	7,07	16,53
Max.	35,37	31,43	34,33	53,50	34,57	33,93	29,66	52,50	20,42	25,91	28,61	42,72
SD	5,49	4,99	8,07	6,11	6,99	6,26	5,84	12,34	3,90	7,10	7,76	9,22
V%	18,89	20,65	38,38	15,44	32,11	27,81	29,13	38,42	26,42	38,57	47,64	30,01

M. – średnia wyników, Me – mediana, Min. – wartość minimalna, Max. – wartość maksymalna, SD – odchylenie standardowe, V% - współczynnik zmienności

Tabela XXII przedstawia zestawienie statystyczne wyników badań laboratoryjnych wykonanych w trzech funkcjach czasu porównujących siłę wiązania zamków metalowych do szkliwa zębów przy zastosowaniu czterech materiałów: GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect. Cementem, przy zastosowaniu, którego uzyskano najwyższą średnią siłą wiązania szkliwo zęba - zamek metalowy we wszystkich trzech funkcjach czasu jest GC Ortho Connect. Najwyższe wartości minimalne i maksymalne dotyczą również cementu GC Ortho Connect.

Rycina 23. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym przy zastosowaniu 4 rodzajów cementów w 3 funkcjach czasu.

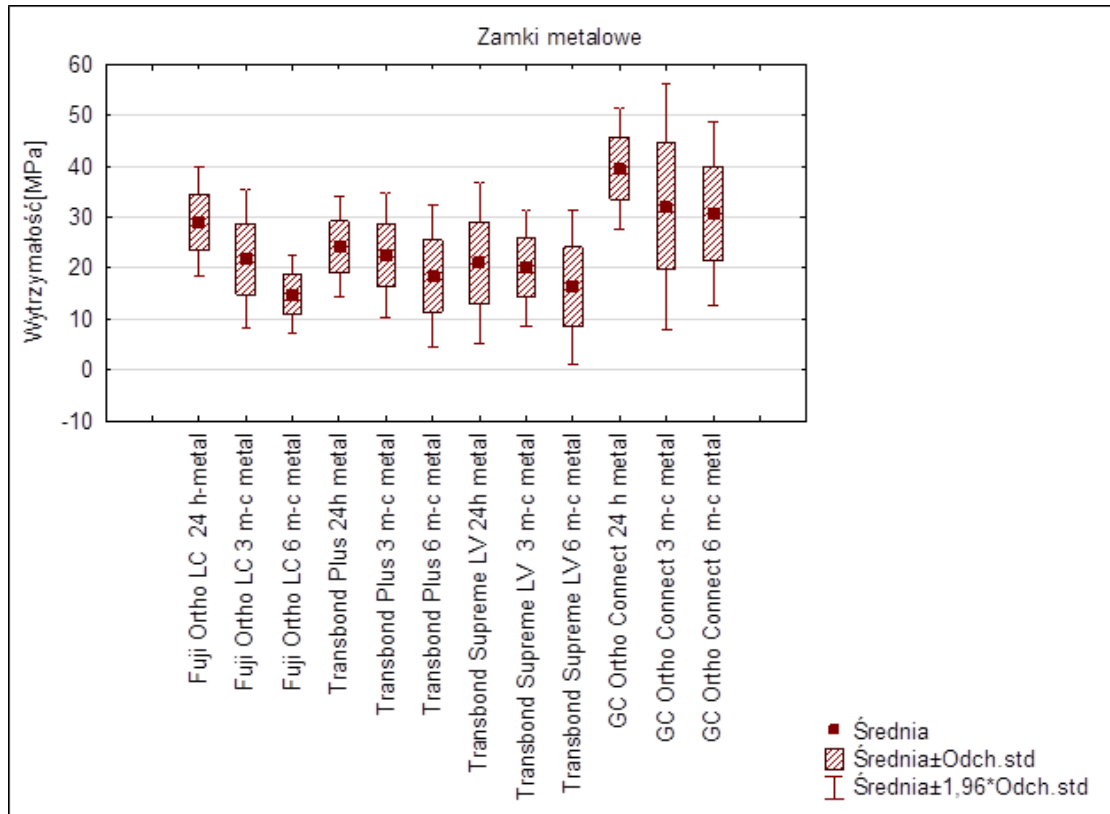


Tabela XXIII. Porównanie wytrzymałości połączenia zamek metalowy - szklivo zęba przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

RODZAJ ZAMKA	FUNKCJA CZASU	PORÓWNYWANE MATERIAŁY	ISTOTNOŚĆ RÓŻNICY
ZAMEK METALOWY	T1	GC FUJI ORTHO LC vs TRANSBOND PLUS	NS
ZAMEK METALOWY	T1	GC FUJI ORTHO LC vs TRANSBOND SUPREME LV	p<0,05
ZAMEK METALOWY	T1	GC FUJI ORTHO LC vs GC ORTHO CONNECT	p<0,01
ZAMEK METALOWY	T1	TRANSBOND PLUS vs TRANSBOND SUPREME LV	NS
ZAMEK METALOWY	T1	TRANSBOND PLUS vs GC ORTHO CONNECT	p<0,001
ZAMEK METALOWY	T1	TRANSBOND SUPREME LV vs GC ORTHO CONNECT	p<0,001
ZAMEK METALOWY	T2		NS
ZAMEK METALOWY	T3	GC FUJI ORTHO LC vs TRANSBOND PLUS	NS
ZAMEK METALOWY	T3	GC FUJI ORTHO LC vs TRANSBOND SUPREME LV	NS
ZAMEK METALOWY	T3	GC FUJI ORTHO LC vs GC ORTHO CONNECT	p<0,001
ZAMEK METALOWY	T3	TRANSBOND PLUS vs TRANSBOND SUPREME LV	NS
ZAMEK METALOWY	T3	TRANSBOND PLUS vs GC ORTHO CONNECT	p<0,01
ZAMEK METALOWY	T3	TRANSBOND SUPREME LV vs GC ORTHO CONNECT	p<0,001
NS- różnica nieistotna statystycznie; p- poziom istotności T1- 24 godziny, T2- 3 miesiące, T3- 6 miesięcy			

W funkcji czasu T1 stwierdzono nieistotne statystycznie różnice między materiałami GC Fuji Ortho LC a Transbond Plus oraz między Transbond Plus a Transbond Supreme LV. Wysoce istotne statystycznie różnice wystąpiły w porównaniu materiałów Transbond Plus a GC Ortho Connect oraz Transbond Supreme LV a GC Ortho Connect. Wartość ta wynosiła $p < 0,001$. Istotne statystycznie różnice stwierdzono między GC Fuji Ortho LC a Transbond Supreme LV ($p < 0,05$) oraz między GC Fuji Ortho LC a GC Ortho Connect ($p < 0,01$).

W funkcji czasu T2 nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic.

W funkcji czasu T3 wysoce istotne statystycznie różnice wykazało porównanie cementów: GC Fuji Ortho LC z GC Ortho Connect oraz Transbond Supreme LV z GC Ortho Connect. W obu przypadkach istotność różnicy wynosiła $p < 0,001$. Porównanie materiału Transbond Plus do GC Ortho Connect wykazało istotne różnice statystyczne ($p < 0,01$). Nieistotne statystycznie różnice stwierdzono w porównaniu materiałów: GC Fuji Ortho LC a Transbond Plus, GC Fuji Ortho LC a Transbond Supreme LV oraz Transbond Plus a Transbond Supreme LV.

Tabela XXIV. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem ceramicznym przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

WYNIKI ZAMKI CERAMICZNE												
	T1 – 24 GODZINY				T2 - 3 MIESIĄCE				T3 - 6 MIESIĘCY			
Lp.	GC FUJI ORTHO LC	TRANSBOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT	GC FUJI ORTHO LC	TRANSBOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT	GC FUJI ORTHO LC	TRANSBOND PLUS	TRANSBOND SUPREME LV	GC ORTHO CONNECT
M.	15,08	21,65	14,54	20,26	10,02	12,37	12,96	15,15	8,06	6,63	8,78	16,09
Me	13,92	19,72	13,80	20,94	7,57	10,49	10,16	12,90	7,53	4,96	7,60	16,58
Min.	4,61	10,50	7,76	13,88	3,22	7,12	6,46	11,33	2,76	2,24	5,14	2,67
Max.	36,48	33,22	26,61	26,78	34,38	25,67	23,85	29,23	13,51	15,18	13,84	24,31
SD	9,54	7,51	5,94	4,25	9,18	6,23	6,45	6,21	3,82	4,28	3,04	7,56
V%	63,30	34,69	40,84	20,97	91,64	50,36	49,76	41,02	47,36	64,58	34,65	46,95

M. – średnia wyników, Me – mediana, Min. – wartość minimalna, Max. – wartość maksymalna, SD – odchylenie standardowe, V% - współczynnik zmienności

Tabela XXIV przedstawia zestawienie statystyczne wyników badań laboratoryjnych wykonanych w trzech funkcjach czasu porównujących siłę wiązania zamków ceramicznych do szkliwa zębów przy zastosowaniu czterech materiałów: GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect. Cementem, przy zastosowaniu, którego zbadano najwyższą średnią siłą wiązania szkliwo zęba - zamek metalowy w pierwszej funkcji czasu (T1) jest Transbond Plus, natomiast w funkcji czasu T2 i T3 materiał GC Ortho Connect.

Rycina 24. Porównanie wartości analizy statystycznej siły wiązania między szkliwem zębą a zamkiem ceramicznym przy zastosowaniu 4 rodzajów cementów w 3 funkcjach czasu.

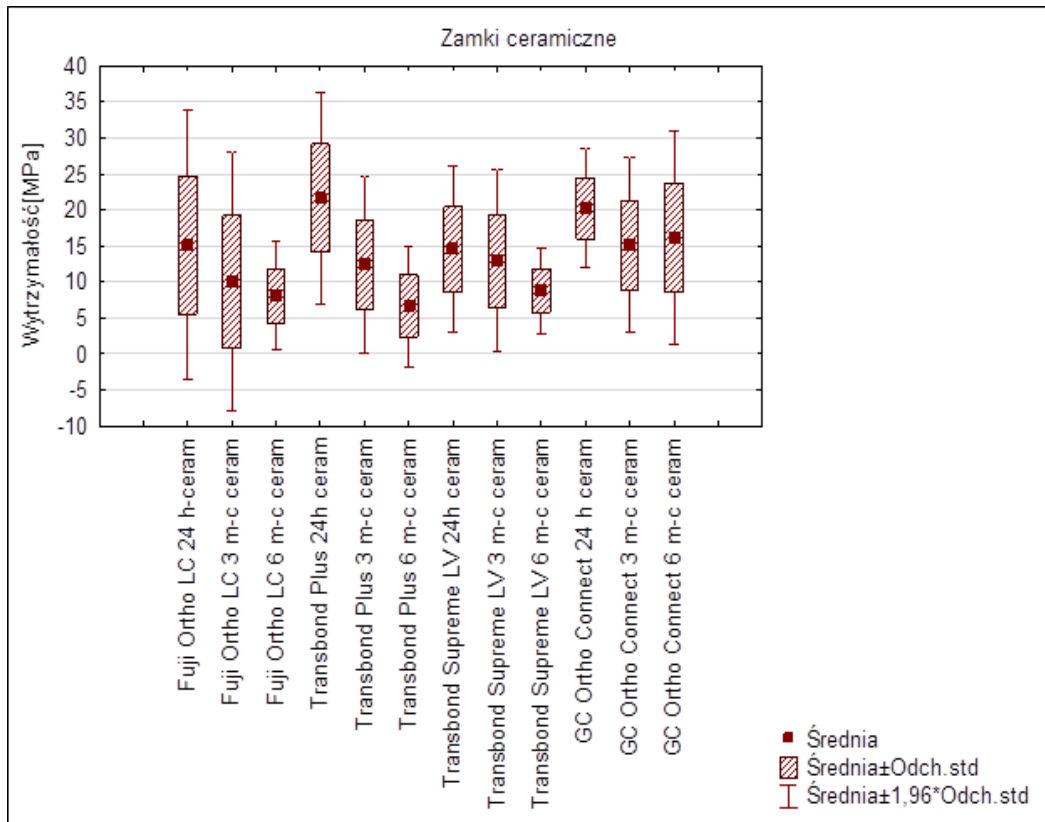


Tabela XXV. Porównanie wytrzymałości połączenia zamek ceramiczny - szkliwo zęba przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

RODZAJ ZAMKA	FUNKCJA CZASU	PORÓWNYWANE MATERIAŁY	ISTOTNOŚĆ RÓŻNICY
ZAMEK CERAMICZNY	T1		NS
ZAMEK CERAMICZNY	T2		NS
ZAMEK CERAMICZNY	T3	GC FUJI ORTHO LC vs TRANSBOND PLUS	NS
ZAMEK CERAMICZNY	T3	GC FUJI ORTHO LC vs TRANSBOND SUPREME LV	NS
ZAMEK CERAMICZNY	T3	GC FUJI ORTHO LC vs GC ORTHO CONNECT	p<0,05
ZAMEK CERAMICZNY	T3	TRANSBOND PLUS vs TRANSBOND SUPREME LV	NS
ZAMEK CERAMICZNY	T3	TRANSBOND PLUS vs GC ORTHO CONNECT	p<0,01
ZAMEK CERAMICZNY	T3	TRANSBOND SUPREME LV vs GC ORTHO CONNECT	p<0,05
NS- różnica nieistotna statystycznie; p- poziom istotności T1- 24 godziny, T2- 3 miesiące, T3- 6 miesięcy			

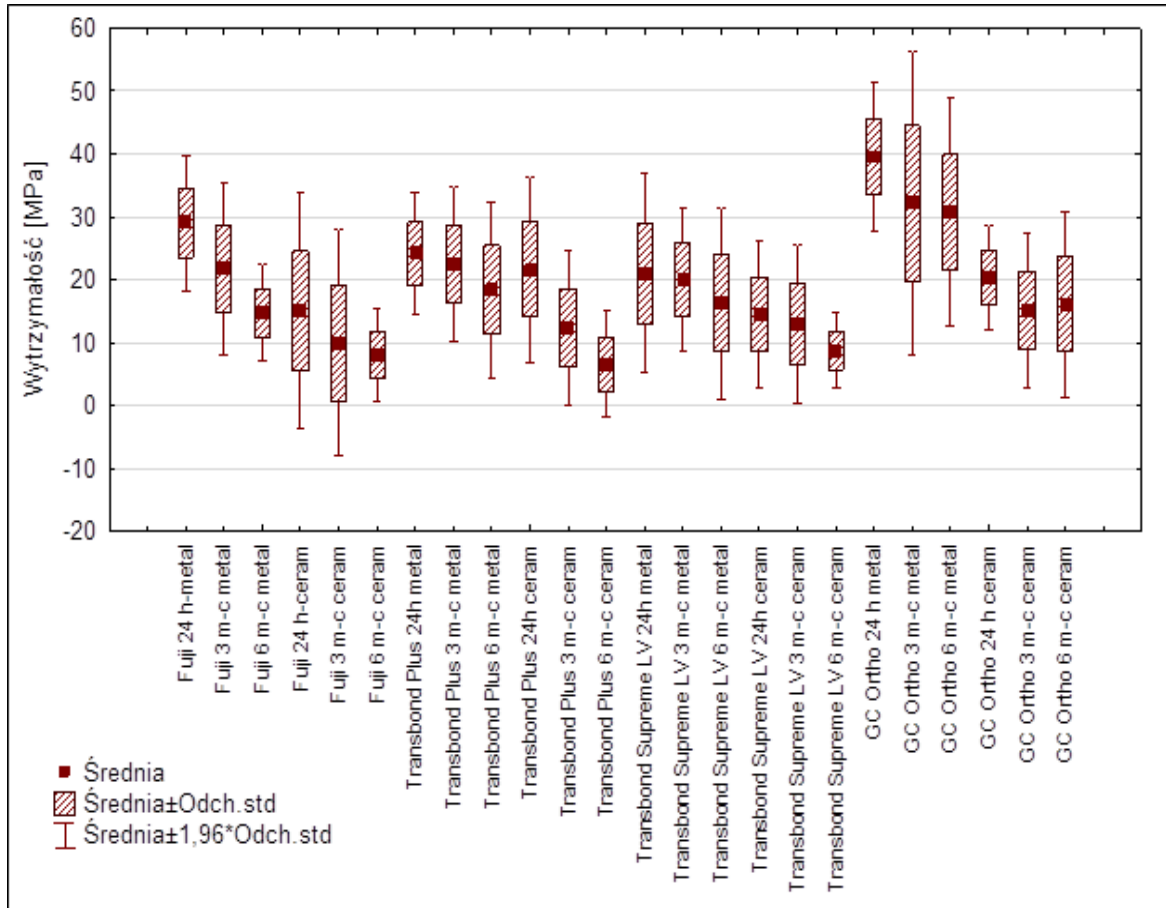
W funkcji czasu T1 oraz T2 nie stwierdzono istotnie statystycznych różnic, natomiast w funkcji czasu T3 istotnie statystycznie różnice zanotowano tylko pomiędzy materiałami GC Fuji Ortho LC i GC Ortho Connect (p<0,05), Transbond Plus i GC Ortho Connect (p<0,01) oraz Transbond Supreme LV i GC Ortho Connect (p<0,05). Pozostałe porównania w tej funkcji czasu nie były istotne statystycznie.

Tabela XXVI. Porównanie zamków metalowych z zamkami ceramicznymi pod względem siły wiązania do szkliwa zębów przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

PORÓWNANIE ZAMKÓW METALOWYCH Z ZAMKAMI CERAMICZNYMI			
Test Manna - Whitney'a dla zmiennych, które nie mają rozkładu normalnego	Średnia zamek metalowy	Średnia zamek ceramiczny	p- poziom istotności
GC Fuji Ortho LC - T2	21,77	10,02	0,002202
Transbond Plus - T2	22,51	12,37	0,004587
GC Ortho Connect - T2	32,13	15,15	0,002901
Test t - Studenta dla zmiennych, które mają rozkład normalny	Średnia zamek metalowy	Średnia zamek ceramiczny	p- poziom istotności
GC Fuji Ortho LC - T1	29,06	15,08	0,000809
GC Fuji Ortho LC - T3	14,75	8,06	0,002144
Transbond Plus - T1	24,16	21,65	NS
Transbond Plus - T3	18,40	6,63	0,000283
Transbond Supreme LV - T1	21,01	14,54	NS
Transbond Supreme LV - T2	20,04	12,96	0,019180
Transbond Supreme LV - T3	16,29	8,78	0,010640
GC Ortho Connect - T1	39,53	20,26	0,000000
GC Ortho Connect - T3	30,71	16,09	0,002332
NS- różnica nieistotna statystycznie; p- poziom istotności			

W tabeli XXVI przedstawiono porównanie średnich wartości naprężenia stycznego względem różnego rodzaju cementu i funkcji czasu. Tabelę podzielono na dwie części, zależne od testu statystycznego, jakiego użyto do wykonania obliczeń. Średnie wartości sił wiązania przy zamkach metalowych są wyższe niż przy zamkach ceramicznych. Różnice średnich sił wiązania są istotne statystycznie przy wszystkich cementach i funkcjach czasu oprócz materiału Transbond Plus i Transbond Supreme LV w funkcji czasu T1, jednak te różnice nie są istotne statystycznie.

Rycina 25. Porównanie wartości analizy statystycznej siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu 4 rodzajów cementów w 3 funkcjach czasu.



Rycina 25 przedstawia zestawienie wyników analizy statystycznej wszystkich czterech badanych materiałów tj. GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect w trzech funkcjach czasu T1, T2, T3 i ich zastosowaniu w badaniu siły wiązania między zamkami metalowymi i ceramicznymi a szkliwem zębów. Najlepsze utrzymanie zamków metalowych i ceramicznych na zębie umożliwia materiał GC Ortho Connect, mimo iż jego siła wiązania zmniejsza się z upływem czasu.

7. WYNIKI OCENY RODZAJU PRZEŁOMU W ZALEŻNOŚCI OD ZASTOSOWANEGO CEMENTU.

Tabela XXVII. Ocena rodzajów przełomów występujących po wykonanym teście na ścinanie w trzech funkcjach czasu przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC.

GC FUJI ORTHO LC - PRZEŁOMY						
	T1 – 24 GODZINY		T2 - 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	A2	A1	AK1	AK1	AK1	A1
2	A2	AK1	AK1	A1	AK1	AK1
3	AK1	A2	A2	A1	A1	A1
4	AK1	AK1	A2	AK1	A1	A1
5	A2	A1	A1	A2	A2	A1
6	AK1	A2	A2	AK1	AK1	A1
7	AK1	A1	A2	A1	AK1	AK1
8	A2	A1	A2	A1	A1	A1
9	AK1	A1	AK1	A1	A2	*
10	AK1	A2	A2	A1	AK1	*
A1	-	50%	10%	60%	30%	75%
A2	40%	30%	60%	10%	20%	-
AK1	60%	20%	30%	30%	50%	25%
AK2	-	-	-	-	-	-

*- uszkodzenie próbki przy montażu w maszynie testującej

Po przeprowadzonych testach na ścinanie, za pomocą lupy o powiększeniu 4x, określono rodzaje przełomów. W grupie badawczej z zastosowanym cementem GC Fuji Ortho LC wyróżniono trzy rodzaje przełomów: A1 - adhezyjny na granicy zamek ortodontyczny a cement, A2 - adhezyjny na granicy cement a szkliwo zęba, AK1 - adhezyjno-kohezyjny bez uszkodzenia szkliwa.

W funkcji czasu T1, w podgrupie zamków metalowych najczęściej występującym przełomem był AK1 (60%), natomiast zamków ceramicznych- przełom A1 (50%). W funkcji czasu T2, w przypadku zamków metalowych 60% próbek charakteryzowało się przełomem A2, a ceramicznych 60% próbek - przełomem A1. Po wykonanym badaniu po upływie 6 miesięcy, przewaga przełomu AK1 (50%) przy zamkach metalowych, przy zamkach ceramicznych najczęstszym przełomem okazał się A1 (75%). Przełomem najczęściej występującym przy zamkach ceramicznych jest A1 (60%), przy zamkach metalowych A2 (40%) oraz AK1 (47%).

Tabela XXVIII. Ocena rodzajów przełomów występujących po wykonanym teście na ścinanie w trzech funkcjach czasu przy zastosowaniu materiału Transbond Plus.

TRANSBOND PLUS - PRZEŁOMY						
	T1 – 24 GODZINY		T2 - 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	AK1	A2	AK1	AK1	A1	AK1
2	AK1	A1	AK1	AK1	AK1	A1
3	A1	AK1	A1	AK1	AK1	AK1
4	A1	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1
5	A2	AK1	AK1	AK1	AK1	A1
6	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1	A1
7	A2	AK1	AK1	A1	AK1	AK1
8	AK1	A1	AK1	AK1	A1	AK1
9	A1	A1	A1	A1	A1	AK1
10	AK1	AK1	AK1	A1	A1	A1
A1	30%	30%	20%	30%	40%	40%
A2	20%	10%	-	-	-	-
AK1	50%	60%	80%	70%	60%	60%
AK2	-	-	-	-	-	-

W tabeli XXVIII przedstawiono wyniki otrzymane w ocenie rodzaju przełomu w trzech funkcjach czasu. W grupie badawczej z zastosowanym cementem Transbond Plus wyróżniono trzy rodzaje przełomów: A1 - adhezyjny na granicy zamek ortodontyczny a cement, A2 - adhezyjny na granicy cement a szkliwo zęba, AK1 - adhezyjno-kohezyjny bez uszkodzenia szkliwa. W funkcji czasu T1 występują wszystkie w/w rodzaje przełomów, natomiast w funkcji czasu T2 i T3 występowały jedynie przełomy A1 i AK1. Najczęściej występującym rodzajem przełomu we wszystkich funkcjach czasu zarówno przy zamkach metalowych, jak i ceramicznych, przy zastosowaniu cementu Transbond Plus był przełom adhezyjno - kohezyjny bez uszkodzenia szkliwa (63%).

Tabela XXIX. Ocena rodzajów przełomów występujących po wykonanym teście na ścinanie w trzech funkcjach czasu przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV.

TRANSBOND SUPREME LV - PRZEŁOMY						
	T1 – 24 GODZINY		T2 - 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
Lp.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1	A1
2	A2	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1
3	AK1	A1	AK1	AK1	AK1	A1
4	A1	A1	A1	A1	AK1	AK1
5	A1	AK1	AK1	A1	AK1	A1
6	AK1	AK1	A1	A1	A1	A1
7	AK1	AK1	A1	AK1	A1	A1
8	A1	AK1	A1	A1	A1	AK1
9	AK1	A2	AK1	A1	AK1	AK1
10	A1	A1	AK1	A1	A1	A1
A1	40%	30%	40%	60%	40%	60%
A2	10%	10%	-	-	-	-
AK1	50%	60%	60%	40%	60%	40%
AK2	-	-	-	-	-	-

Na podstawie tabeli XXIX, w której zostały zebrane wszystkie wyniki otrzymane po ocenie rodzaju przełomu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV w trzech funkcjach czasu. W funkcji czasu T1 występują trzy rodzaje przełomów, tj. A1, A2, AK1, natomiast w funkcji czasu T2 i T3 występowały jedynie przełomy A1 i AK1. Dla zamków metalowych najczęstszym rodzajem przełomu okazał się adhezyjno - kohezyjny bez uszkodzenia szkliwa (57%). Dla zamków ceramicznych przełom A1 (50%) oraz AK1 (47%). Przełomów kohezyjnych oraz adhezyjno-kohezyjnych z uszkodzeniem szkliwa nie zarejestrowano.

Tabela XXX. Ocena rodzajów przełomów występujących po wykonanym teście na ścinanie w trzech funkcjach czasu przy zastosowaniu materiału GC Ortho Connect.

GC ORTHO CONNECT - PRZEŁOMY						
Lp.	T1 – 24 GODZINY		T2 - 3 MIESIĄCE		T3 - 6 MIESIĘCY	
	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.	Z.met.	Z.cer.
1	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1
2	A2	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1
3	AK1	AK1	AK2	AK1	AK1	AK1
4	AK1	AK1	AK1	AK1	A2	A1
5	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1
6	AK1	AK1	AK1	AK1	AK2	AK1
7	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1
8	AK1	AK1	AK1	AK1	AK1	A1
9	AK1	A2	AK1	*	AK1	*
10	AK1	AK1	AK2	*	A2	*
A1	-	-	-	-	-	25%
A2	10%	10%	-	-	20%	-
AK1	90%	90%	80%	100%	70%	75%
AK2	-	-	20%	-	10%	-

*- uszkodzenie próbki przy montażu w maszynie testującej

W grupie badawczej z zastosowanym cementem GC Ortho Connect wyróżniono cztery rodzaje przełomów: A1 - adhezyjny na granicy zamek ortodontyczny a cement, A2 - adhezyjny na granicy cement a szkliwo zęba, AK1 - adhezyjno- kohezyjny bez uszkodzenia szkliwa, AK2 - adhezyjno- kohezyjny z uszkodzeniem szkliwa. W funkcji czasu T1, w podgrupie zamków metalowych i ceramicznych najczęściej występującym przełomem był AK1 (90%). W funkcji czasu T2, w przypadku zamków metalowych 80% próbek charakteryzowało się przełomem AK1, a ceramicznych 100% próbek - przełomem AK1. Po wykonanym badaniu po upływie 6 miesięcy, przewaga przełomu AK1 (70%) przy zamkach metalowych, przy zamkach ceramicznych najczęstszym przełomem okazał się AK1 (75%). Przełomem najczęściej występującym przy zastosowaniu materiału GC Ortho Connect był AK1 (90%). W 5% wszystkich badanych próbek z zastosowaniem materiału GC Ortho Connect pojawił się przełom adhezyjno- kohezyjny z uszkodzeniem szkliwa.

8. OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

Przeprowadzone badania laboratoryjne oceniające wytrzymałość połączenia między metalowymi i ceramicznymi zamkami ortodontycznymi a szkliwem zębów przy zastosowaniu czterech różnych rodzajów materiałów ortodontycznych w trzech funkcjach czasu miały dać odpowiedź na pytanie, który materiał wykazuje najlepsze utrzymanie w układzie zamek ortodontyczny – szkliwo zęba, jak zmienia się siła wiązania z upływem czasu, czy rodzaj zamka ma wpływ na siłę połączenia oraz jaki rodzaj przelomu występuje w zależności od zastosowanego cementu.

Porównując siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC po upływie 24 godzin, 3 oraz 6 miesięcy od przyklejenia zamka można stwierdzić, że wytrzymałość połączenia szkliwo – zamek ortodontyczny jest wyższa w przypadku zamków metalowych niż ceramicznych. Średnie wartości naprężenia stycznego dla zamków metalowych w trzech funkcjach czasu wynoszą odpowiednio 29,06 MPa, 21,77 MPa, 14,75 MPa, natomiast dla zamków ceramicznych: 15,08 MPa, 10,02 MPa i 8,06 MPa. Przeprowadzona analiza statystyczna otrzymanych wartości wykazuje niższy współczynnik zmienności dla zamków metalowych, co świadczy o dużym rozrzucie wartości pomiarowych, a tym samym wyższych wartościach odchylenia standardowego w przypadku zamków ceramicznych. Porównanie zarejestrowanych wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu wykazało wysoce istotne statystycznie różnice pomiędzy każdą z badanych grup (w przypadku zamków metalowych istotność różnicy $p < 0,001$). Natomiast dla zamków ceramicznych wysoce istotne różnice statystyczne wystąpiły pomiędzy grupami T1 i T3 ($p < 0,001$). Pozostałe porównania grup w funkcji czasu nie były istotne statystycznie. Na podstawie tych danych można wywnioskować, że wraz

z upływem czasu maleje siła wiązania w obu typach zamków, co jest zgodne z badaniami Mitic i wsp. (87). Feizbakhsh i wsp. (90), Maurya i wsp. (10), Algera i wsp. (68) prowadzili badania w funkcji czasu T1, tj. po upływie 24 godzin. Uzyskane przez tych autorów wartości średnich sił wiązania różnią się znacząco od wyników otrzymanych w badaniach własnych. Średnia wartość siły wiązania przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC w badaniach Feizbakhsh i wsp. (90) wynosiła $21,86 \pm 5,75$ MPa, Maurya i wsp. (10) $5,63 \pm 1,98$ MPa, a Algera i wsp. (68) $8,5 \pm 3,4$ MPa. Różnice powyższe mogą wynikać z konieczności manualnego przygotowania materiału oraz z zastosowanych różnych rodzajów lamp służących do polimeryzacji cementu.

Analiza porównawcza sił wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału Transbond Plus w trzech funkcjach czasu przedstawia bardziej korzystne wyniki dla zamków metalowych niż ceramicznych oraz obniżenie zarejestrowanych wartości naprężenia stycznego wraz z upływem czasu. Powyższe wnioski wyciągnięto na podstawie wyników średnich, które wynoszą odpowiednio: dla zamków metalowych: 24,16 MPa, 22,51 MPa, 18,40 MPa oraz ceramicznych: 21,65 MPa, 12,37 MPa, 6,63 MPa. Turkkahraman i wsp. (98) prowadząc badania na zębach ludzkich i zamkach metalowych, przy zastosowaniu materiału Transbond Plus, po upływie 24 godzin osiągnęli wartości naprężenia stycznego: $16,0 \pm 4,4$ MPa, natomiast rozrzut wyników mieścił się w granicach pomiędzy 7,9 a 21,6 MPa.

Przeprowadzona analiza statystyczna otrzymanych wyników naprężenia stycznego wykazała, że zamki metalowe w porównaniu do zamków ceramicznych charakteryzują się niższym współczynnikiem zmienności w każdej z trzech analizowanych funkcjach czasu. Ponadto wysoce istotne statystycznie różnice wystąpiły między grupą badaną w czasie T1 i T3 oraz T2 i T3 w przypadku zamków metalowych, a dla ceramicznych

w grupie T1 i T3 ($p < 0,001$). Powyższe obserwacje potwierdzają tezę, iż wraz z upływem czasu wartości wytrzymałości połączenia ulegają znacznemu obniżeniu.

Youssefinia i wsp. (60) oraz Ekhlassi i wsp. (99) wykonali badania w trzech funkcjach czasu: po upływie 15 minut od przyklejenia zamków metalowych do szkliwa zębów, następnie po 24 godzinach i 1 tygodniu. Youssefinia i wsp. (60) otrzymali średnie wartości naprężenia stycznego, które wynosiły odpowiednio: 14,6 MPa, 14,8 MPa oraz 15,0 MPa, natomiast Ekhlassi i wsp. (99): 14,3 MPa, 14,5 MPa i 14,7 MPa. W tym przypadku oba badania potwierdzają, że krótkie odstępy czasu pomiędzy poszczególnymi eksperymentami nie mają istotnego znaczenia w zarejestrowanych wartościach średnich naprężenia stycznego.

Natomiast Duers i wsp. (100) wykonali badania po upływie 15 minut i 24 godzin od przyklejenia zamków metalowych. Wartości średnie naprężenia stycznego, jakie uzyskali autorzy wyniosły 6,59 MPa po 15min i 7,69 MPa po 24 godzinach. Różnica istotna statystycznie wykazała wzrost siły wiązania w ciągu 24 godzin od przyklejenia zamków do szkliwa zębów.

Porównanie siły ścinającej pomiędzy szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV w trzech funkcjach czasu wykazuje również malejące wartości średnie w obu typach zamków wraz z upływem czasu oraz wyższe wyniki przy zastosowaniu zamków metalowych niż ceramicznych (zamki metalowe: 21,01 MPa, 20,04 MPa, 16,29 MPa; zamki ceramiczne: 14,54 MPa, 12,96 MPa, 8,78 MPa).

Analiza statystyczna porównania sił wiązania wykazała wysoce istotne statystycznie różnice między grupami badanymi w funkcji czasu T1 i T3 oraz T2 i T3 dla obu typów zamków ($p < 0,001$). Różnice nieistotne statystycznie wystąpiły między T1 a T2 dla grup z zamkami metalowymi i ceramicznymi.

Albaladejo i wsp. (74) badali wpływ zastosowania primera przy użyciu materiałów kompozytowych typu flow do klejenia zamków ortodontycznych. Badania wykonano po upływie 24 godzin, a uzyskane wyniki średnie dotyczące materiału Transbond Supreme LV kształtowały się następująco: $13,3 \pm 1,5$ MPa (z zastosowaniem Transbond XT primer) oraz $14,5 \pm 1,2$ MPa (bez zastosowania primera). Różnica między otrzymanymi wynikami nie była istotna statystycznie. Grupą kontrolną w tym badaniu był materiał kompozytowy Transbond XT, a wynik, jaki otrzymano z zastosowaniem primera był nieistotny statystycznie względem materiału Transbond Supreme LV ($14,6 \pm 1,5$ MPa). Badania Turgut i wsp. (105) potwierdzają wyniki otrzymane w badaniach własnych, które wykazują, iż zastosowanie materiałów kompozytowych typu flow daje niższe wartości naprężenia stycznego w porównaniu do standardowego materiału kompozytowego.

Przy zastosowaniu materiału GC Ortho Connect porównując siłę wiązania szkliwo zęba a zamek ortodontyczny otrzymano wyniki wyższe dla zamków metalowych niż ceramicznych. Z upływem czasu siły ścinające dla zamków metalowych ulegają zmniejszeniu (39,53 MPa, 32,13 MPa, 30,71 MPa), natomiast dla zamków ceramicznych średnia wartość naprężenia stycznego maleje w porównaniu funkcji czasu T1 (20,26 MPa) do T2 (15,15 MPa), natomiast wartość T3 (16,09 MPa) jest wyższa od T2.

W dostępnym piśmiennictwie nie znaleziono artykułów porównujących materiał GC Ortho Connect w analizowanych funkcjach czasu oraz jego zastosowania do klejenia zamków ortodontycznych, co może wynikać z faktu, że powyższy materiał jest dostępny na rynku od stosunkowo niedługiego okresu czasu.

Porównując natomiast wszystkie cztery użyte do badań cementy tj. GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect i siłę wiązania zamków

ortodontycznych do szkliwa zęba w funkcji czasu T1 – po upływie 24 godzin od przyklejenia zamków można stwierdzić, że najlepszym materiałem dla zamków metalowych jest GC Ortho Connect, a dla zamków ceramicznych – Transbond Plus. Najniższą wytrzymałością połączenia dla zamków metalowych i ceramicznych wykazał się Transbond Supreme LV. Analiza statystyczna uwidoczniła, że w funkcji czasu T1 dla zamków ceramicznych stwierdzono wyższe wartości współczynnika zmienności, co świadczy o większym zróżnicowaniu wyników przy zastosowaniu każdego z cementów.

Meehan i wsp. (64) badając m.in. GC Fuji Ortho LC i Transbond XT osiągnęli średnie wyniki po wykonaniu testu na ścinanie po upływie 24 godzin od przyklejenia zamków metalowych: 7,68 MPa dla GC Fuji Ortho LC (po uprzednim wytrawieniu szkliwa) i 11,23 MPa dla Transbond XT. Różnica między tymi wartościami była istotna statystycznie $p < 0,05$. Wyższe wyniki materiału kompozytowego od materiału szkło- jonomerowego potwierdzają również badania Summers i wsp. (65), którzy wykazali lepszą siłę wiązania dla Light Bond (Reliance) niż GC Fuji Ortho LC po upływie 24 godzin ($18,46 \pm 2,95$ MPa Light Bond; $9,56 \pm 1,85$ MPa GC Fuji Ortho LC). Istotność różnicy wynosiła w tym przypadku $p < 0,05$. Movahhed i wsp. (66) w swych badaniach uzyskali wartości średnie naprężenia stycznego po upływie 5 minut dla GC Fuji Ortho LC i Transbond XT kolejno: 6,6 MPa, 8,8 MPa oraz po upływie 15 minut: 9,6 MPa, 11 MPa. Wszystkie powyższe wyniki oscylują w granicach, bądź są nieznacznie wyższe od wytycznych rekomendowanych przez Reynoldsa (5,9 – 7,8 MPa), co może świadczyć o tym, iż siła wiązania zamków ortodontycznych wykonanych z metalu przy zastosowaniu obu rodzajów materiałów będzie wystarczająca do przeprowadzenia całkowitego leczenia ortodontycznego trwającego do 2 lat. Fakt, iż siła wiązania zmniejsza się wraz z upływem czasu, nie wydaje się być zjawiskiem

niekorzystnym, bowiem zmniejsza się ryzyko uszkodzenia szkliwa podczas demontażu zamków ortodontycznych.

Shaik i wsp. (89) przeprowadzili badania w czasie 48 godzin od przyklejenia zamków ortodontycznych do powierzchni szkliwa. Porównywali materiały Transbond Plus i Transbond XT przy zanieczyszczeniu śliną i bez jej udziału. Badania wykonane bez zanieczyszczenia śliną powierzchni zęba wykazały wyższe wartości naprężenia stycznego dla Transbond Plus ($8,92 \pm 2,17$ MPa) niż Transbond XT ($7,24 \pm 3,82$ MPa). Różnice w wartościach sił wiązania względem badań własnych można wytłumaczyć zastosowaniem innego rodzaju primera (Transbond SEP), innego rodzaju zamków (Miniseries 2000, Ormco) oraz odmiennego czasu polimeryzacji. Wyniki otrzymane w warunkach zanieczyszczenia śliną były odpowiednio niższe: $5,65 \pm 2,38$ MPa (Transbond Plus), $2,43 \pm 1,31$ MPa (Transbond XT). Powyższe wyniki umożliwiają wyciągnięcie wniosku, że warunki panujące w jamie ustnej znacząco wpływają na wytrzymałość połączenia oraz, że badania prowadzone in vivo, nie mają pełnego pokrycia z badaniami prowadzonymi in vitro. Tym samym, otrzymane w badaniach własnych wysokie wartości sił wiązania przy zastosowaniu wybranych cementów ortodontycznych, nie muszą świadczyć, o tym, że równie wysokie siły występują podczas leczenia ortodontycznego in vitro, a tym samym, iż mogą wpływać na ryzyko uszkodzenia szkliwa zębów.

W funkcji czasu T2 porównanie sił wiązania zamków do szkliwa zęba wykazało, że materiałem osiągającym najwyższe wartości naprężenia stycznego w przypadku zamków metalowych i ceramicznych był GC Ortho Connect, natomiast najslabszą siłę wiązania dla zamków metalowych zarejestrowano przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV, a dla zamków ceramicznych GC Fuji Ortho LC.

Zamki ceramiczne również w tej funkcji czasu charakteryzują się wyższymi współczynnikami zmienności i znacznym rozproszeniem danych pomiarowych.

Jurisic i wsp. (1) przeprowadzali badania po upływie 4 miesięcy na zębach ludzkich wykorzystując zamki metalowe. Autorzy sprawdzali wpływ przygotowania szkliwa na siłę wiązania między zamkami ortodontycznymi a szkliwem zębów. Po zastosowaniu 37% kwasu ortofosforowego w celu wytrawienia powierzchni szkliwa, wartości średnie naprężenia stycznego wynosiły dla materiału GC Fuji Ortho LC- $7,25 \pm 3,14$ MPa, dla Transbond XT - $11,60 \pm 3,93$ MPa. Wnioskiem wyciągniętym z powyższych badań, jest stwierdzenie o wyższości materiału kompozytowego nad materiałem szkło- jonomerowym. Jurisic i wsp. (1) zalecają stosowanie materiału kompozytowego, jako „złotego standardu”, podczas montowania zamków ortodontycznych.

Po upływie 6 miesięcy, czyli w 3 funkcji czasu przeprowadzone badania własne porównujące siły wiązania pomiędzy szkliwem zębów a zamkami metalowymi i ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów dały następujące wyniki: najwyższe wartości otrzymano przy zastosowaniu materiału GC Ortho Connect w przypadku zarówno zamków metalowych, jak i ceramicznych. Natomiast najniższe wyniki zarejestrowano dla zamków metalowych przy użyciu cementu GC Fuji Ortho LC, a dla zamków ceramicznych materiału Transbond Plus.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej stwierdzono, że w funkcji czasu T3 wyższą rozbieżność wyników odnotowano przy zastosowaniu cementów GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, GC Ortho Connect dla zamków ceramicznych, natomiast przy Transbond Supreme LV dla zamków metalowych.

Badania własne wykazały wyższą siłę wiązania w przypadku zastosowania materiału kompozytowego niż materiału szkło- jonomerowego modyfikowanego żywicą. Porównanie materiału kompozytowego z materiałem szkło- jonomerowym

modyfikowanego żywicą, jakim jest Transbond XT (3M) z GC Fuji Ortho LC (GC Orthodontics) prowadzone było również przez Sayam i wsp. (35), Mickenautsch i wsp. (70) oraz Yassaei i wsp. (28). W badaniach Sayam i wsp. (35) przeprowadzonych po upływie 30 dni od przyklejenia zamków metalowych do szkliwa zębów średnie wartości naprężenia stycznego otrzymane dla cementu kompozytowego są wyższe od zarejestrowanych dla materiału szkło- jonomerowego ($10,80 \pm 1,20$ MPa Transbond XT, $8,69 \pm 0,87$ MPa GC Fuji Ortho LC). Yassaei i wsp. (28) również uzyskali wyższe wyniki przy zastosowaniu materiału kompozytowego. Autorzy ci swoje badania przeprowadzali na zamkach metalowych i ceramicznych, stosując materiał kompozytowy Transbond XT oraz materiał szkło- jonomerowy modyfikowany żywicą GC Fuji Ortho LC. Wartości, jakie uzyskali dla zamków metalowych wynosiły $20,03 \pm 4,44$ MPa Transbond XT, $6,63 \pm 3,44$ MPa GC Fuji Ortho LC, dla zamków ceramicznych $22,52 \pm 6,39$ MPa Transbond XT i $8,69 \pm 3,12$ MPa GC Fuji Ortho LC. Powyższe dane potwierdzają wyniki otrzymane w badaniach własnych, w których materiał kompozytowy wykazuje wyższe wartości średnich naprężeń stycznych w porównaniu do szkło-jonomerowego, natomiast Yassaei i wsp. (28) ukazali wyższe wartości naprężenia stycznego przy zastosowaniu zamków ceramicznych niż metalowych.

Mickenautsch i wsp. (70) na podstawie analizy dostępnego piśmiennictwa stwierdzili brak różnic występujących pomiędzy siłami wiązania przy zastosowaniu materiału typu kompozytowego i szkło- jonomerowego po 12 miesiącach od procedury przyklejenia zamków ortodontycznych.

Porównanie materiału kompozytowego Transbond Plus, zastosowanego w badaniach własnych z materiałem szkło- jonomerowym modyfikowanym żywicą GC Fuji Ortho LC, wykonali również Maurya i wsp. (10) uzyskując wyższe wartości naprężenia stycznego

dla materiału kompozytowego: $5,63 \pm 1,98$ MPa GC Fuji Ortho LC, $7,30 \pm 1,71$ MPa Transbond Plus. Ponadto Autorzy ci wykazali brak znaczącej różnicy między zastosowaniem materiału kompozytowego tradycyjnego tj. Transbond XT, a materiałem kompozytowym zmieniającym kolor - Transbond Plus. Wyniki średnich wartości naprężenia stycznego uzyskanego w tych badaniach wynosiła odpowiednio 8,33 MPa i 7,30 MPa. Brak znaczących różnic w porównaniu obu poddanych ocenie materiałów uzyskali także Youssefinia i wsp. (60). Po upływie 24 godzin średnia siła wiązania wyniosła 14,0 MPa przy zastosowaniu Transbond XT oraz 14,8 MPa przy zastosowaniu materiału Transbond Plus. Autorzy ci wskazują również na zalety stosowania materiału zmieniającego kolor po polimeryzacji, co ułatwia usuwanie nadmiarów cementu podczas montowania zamków. Dzięki temu w okolicy zamków ortodontycznych obniżona zostaje możliwość akumulacji płytki nazębnej. Delavarian i wsp. (62) są również zdania, że ta właściwość materiału jest korzystna z klinicznego punktu widzenia.

Bayani i wsp. (97) zwrócili uwagę na kwestię wpływu czasu polimeryzacji na siłę wiązania i wykazali, że zmniejszenie czasu naświetlania istotnie statystycznie zmniejsza wytrzymałość połączenia pomiędzy zamkiem ortodontycznym, a szkliwem zębów przy zastosowaniu materiału Transbond Plus. Im dłuższy czas naświetlania, tym stopień polimeryzacji jest wyższy. Po naświetlaniu przez 20 sekund autorzy uzyskali średnie wartości naprężenia stycznego, które wynosiły $14,05 \pm 4,24$ MPa, natomiast przy wydłużeniu czasu ekspozycji do 40 sekund zarejestrowali wartości: $19,64 \pm 3,76$ MPa. Powyższe wyniki mogą tłumaczyć różnice, jakie niekiedy występują podczas badania tego samego materiału, a są związane z odmiennym czasem naświetlania zastosowanym przez różnych autorów. Wartym podkreślenia wydaje się być fakt, że badania wykonywane in vitro nie mogą być porównywane z badaniami in vivo,

ze względu na zbyt dużą ilość zmiennych występujących w jamie ustnej, co może w sposób istotny wpływać na różnice w uzyskanych wynikach dostępnych w literaturze. Wartości zarejestrowane dla zamków metalowych przy zastosowaniu czterech różnego rodzaju cementów w trzech funkcjach czasu w badaniach własnych wskazują, iż wraz z upływem czasu zmniejsza się wytrzymałość połączenia oraz, że materiałem charakteryzującym się najwyższymi wartościami średniej siły wiązania jest GC Ortho Connect w każdej z badanych funkcji czasu.

Analiza statystyczna wykazała, że po 24 godzinach wysoce istotne statystycznie różnice wystąpiły pomiędzy materiałem GC Ortho Connect, a pozostałymi materiałami to jest Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Fuji Ortho LC z korzyścią dla GC Ortho Connect oraz istotną statystycznie różnicę pomiędzy GC Fuji Ortho LC i Transbond Supreme LV z korzyścią dla GC Fuji Ortho LC. W porównaniu materiałów po trzech miesiącach obserwacji nie stwierdzono istotnych różnic, natomiast po sześciu miesiącach istotne statystycznie różnice wystąpiły ponownie pomiędzy materiałem GC Ortho Connect i pozostałymi trzema materiałami ($p < 0,001$). Mniejsza istotność wśród tych cementów wystąpiła między GC Ortho Connect i Transbond Plus. ($p < 0,01$) Porównując wartości otrzymane dla zamków ceramicznych również stwierdza się zmniejszanie wytrzymałości wiązania wraz z upływem czasu, natomiast materiałem o najwyższych wartościach naprężenia stycznego w funkcji czasu T1 okazał się Transbond Plus, a w funkcjach czasu T2 i T3 – GC Ortho Connect. Dla zamków ceramicznych analiza statystyczna wykazała brak istotnych różnic w funkcji czasu T1 i T2. Natomiast w funkcji czasu T3 istotnie statystycznie różnicę wystąpiły między materiałem GC Ortho Connect i materiałami GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV.

Analiza statystyczna porównania zamków metalowych z ceramicznymi wskazuje na istotne różnice dla wszystkich poddanych ocenie materiałów w trzech funkcjach czasu, za wyjątkiem Transbond Plus i Transbond Supreme LV w funkcji czasu T1. Różnice występujące między wartościami średnich tych materiałów nie są istotne statystycznie.

Potwierdzeniem uzyskanych wyników wyższości zamków metalowych nad ceramicznymi są badania prowadzone przez Habibi i wsp. (93), Mirzakouchaki i wsp. (94) oraz Arash i wsp. (95). Habibi i wsp. (93), którzy badali zamki produkowane przez Rocky Mountain Orthodontics: metalowe i dwa typy zamków ceramicznych z chemiczną i mechaniczną retencją przy zastosowaniu materiału Mono Lok2 (Rocky Mountain Orthodontics). Wartości średnie naprężenia stycznego, jakie zarejestrowali ci autorzy, w przypadku zamków metalowych wynosiły 30,73 MPa, natomiast dla zamków ceramicznych odpowiednio: 11,27 MPa oraz 13,87 MPa.

Mirzakouchaki i wsp. (94) porównywali typy zamków ortodontycznych przy zastosowaniu konwencjonalnego primera (Transbond XT MIP) oraz samotrąwiącego primera (Transbond Plus SEP). Przy konwencjonalnej technice klejenia zamków wartości średniej wytrzymałości połączenia dla zamków metalowych wynosiły: 9,2 MPa, a ceramicznych: 6,2 MPa. Badania powyższych materiałów prowadzili również Arash i wsp. (95), a wyniki jakie otrzymali przy zastosowaniu konwencjonalnego primera wynosiły kolejno dla zamków produkowanych przez Dentaurum - metalowych: 12,59 MPa oraz ceramicznych: 7,7 MPa, co potwierdzają wyniki uzyskane w badaniach własnych.

Porównując wartości analizy statystycznej sił wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu 4 rodzajów cementów w 3 funkcjach czasu

można stwierdzić, że materiałem z najlepszymi wartościami naprężenia stycznego jest materiał GC Ortho Connect oraz, że siła wiązania zmniejsza się wraz z upływem czasu. Badania Reynoldsa (61) z 1975 roku są w najnowszym piśmiennictwie uznawane jako rekomendowane normy kliniczne. Rozwój materiałów i ich udoskonalenia sprawiły, że badania sprzed około 40 lat nie powinny być kanonem obowiązującym w testowaniu, a tym bardziej porównywaniu z obecnymi na rynku cementami. Siły wiązania uzyskane w badaniach własnych zdecydowanie przekraczają normy podane przez Reynoldsa tj. 5,9 – 7,8 MPa. Natomiast analiza zarejestrowanych przełomów pozwala określić, do jakiego uszkodzenia na powierzchni szkliwa zęba dochodziło przy zastosowaniu określonego rodzaju cementu w danej funkcji czasu. Analizując ten parametr można wyciągnąć jednoznaczny wniosek, że niezależnie od typu zamka, czy zastosowanego materiału łączącego we wszystkich poddanych ocenie przypadkach następuje spadek wytrzymałości połączenia ze szkliwem zęba. Biorąc pod uwagę długość leczenia ortodontycznego, można stwierdzić, że przy odpowiednim demontażu zamków oraz oczyszczeniu zębów z resztek pozostawionego kleju, nie dojdzie do nadmiernego uszkodzenia szkliwa zębów (49). Porównanie uzyskanych wyników analizy przełomów w badaniach własnych jest niezwykle trudne, ze względu na brak analogicznych danych w dostępnej literaturze przedmiotu.

9. WNIOSKI

Na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Spośród poddanych ocenie materiałów najwyższą wytrzymałość połączenia pomiędzy zamkami ortodontycznymi a szkliwem zębów zapewnia preparat GC Ortho Connect, bez względu na funkcję czasu.
2. Zamki metalowe charakteryzują się wyższą wytrzymałością połączenia ze szkliwem zębów przy zastosowaniu badanych cementów niż zamki ceramiczne.
3. Z upływem czasu zmniejsza się siła wiązania pomiędzy zamkami ortodontycznymi, a szkliwem zębów przy zastosowaniu ocenianych cementów.
4. We wszystkich podanych ocenie próbkach zarejestrowano przewagę przełomów adhezyjno-kohezyjnych bez uszkodzenia powierzchni szkliwa.

10. STRESZCZENIE

Aparaty stałe są obecnie popularną metodą leczenia ortodontycznego. Na rynku dostępnych jest wiele materiałów ortodontycznych, które można stosować do przyklejania zamków do powierzchni zębów. Celem pracy było porównanie siły wiązania dwóch rodzajów zamków ortodontycznych: metalowych i ceramicznych do szkliwa zębów przy zastosowaniu czterech różnych cementów ortodontycznych. Badania przeprowadzono na 240 bydlących siekaczach dolnych, które podzielono na grupy oraz podgrupy względem użytego materiału, zamka ortodontycznego oraz funkcji czasu. Do badań wykorzystano materiał szkło- jonomerowy modyfikowany żywicą GC Fuji Ortho LC, materiał kompozytowy Transbond Plus, materiał kompozytowy typu flow Transbond Supreme LV oraz cement ortodontyczny światłoutwardzalny jednoetapowy GC Ortho Connect.

Badanie polegało na wykonaniu testu na ścinanie przy zastosowaniu uniwersalnej maszyny testującej Hounsfield-H 5KS oraz ocenie przełomów przy pomocy lupy o powiększeniu x4. Badania wykonywano w trzech funkcjach czasu tj. po upływie 24 godzin, 3 miesięcy, 6 miesięcy od przyklejenia zamków ortodontycznych do szkliwa zębów. Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej, która miała na celu ocenę badanych cementów ortodontycznych z uwzględnieniem użytego rodzaju zamka, funkcji czasu oraz porównania cementów pomiędzy sobą.

Wartości średniej siły wiązania otrzymane dla materiału GC Fuji Ortho LC w trzech funkcjach czasu (po upływie 24 godzin, 3 miesięcy, 6 miesięcy) wynoszą dla zamków metalowych odpowiednio: 29,06 MPa, 21,77 MPa, 14,75 MPa, natomiast dla zamków ceramicznych: 15,08 MPa, 10,02 MPa, 8,06 MPa.

Przy zastosowaniu materiału Transbond Plus wartości średniej siły wiązania w trzech funkcjach czasu kształtują się następująco: dla zamków metalowych: 24,16 MPa, 22,51 MPa, 18,40 MPa oraz zamków ceramicznych: 21,65 MPa, 12,37 MPa, 6,63 MPa. Wartości średniej siły wiązania zamka metalowego do szkliwa zęba przy użyciu Transbond Supreme LV w trzech funkcjach czasu wynoszą 21,01 MPa, 20,04 MPa, 16,29 MPa, natomiast zamka ceramicznego: 14,54 MPa, 12,96 MPa, 8,78 MPa. Wyniki średniej siły wiązania, jakie uzyskano dla materiału GC Ortho Connect w tych funkcjach czasu wyniosły dla zamków metalowych odpowiednio: 39,53 MPa, 32,13 MPa, 30,71 MPa, przy użyciu zamków ceramicznych, 20,26 MPa, 15,15 MPa, 16,09 MPa. Analizując powyższe wartości można stwierdzić, iż zamki metalowe wykazują wyższą siłę wiązania do szkliwa zęba niż zamki ceramiczne przy zastosowaniu wszystkich poddanych ocenie cementów ortodontycznych. Ponadto wraz z upływem czasu wartości sił wiązania ulegają istotnemu statystycznie obniżeniu.

Analiza porównawcza zastosowanych cementów w funkcji czasu T1 wykazała, że materiałem z najlepszą siłą wiązania zamków metalowych do szkliwa jest GC Ortho Connect, a dla zamków ceramicznych Transbond Plus, najslabszą wytrzymałość połączenia wykazał Transbond Supreme LV dla obu rodzajów zamków. W funkcji czasu T2 i T3 materiałem z najwyższą średnią siłą wiązania zarówno dla zamków metalowych jak i ceramicznych jest GC Ortho Connect. Najslabsze średnie wartości sił wiązania w funkcji czasu T2 dla zamków metalowych posiada Transbond Supreme LV, a dla zamków ceramicznych GC Fuji Ortho LC. W funkcji czasu T3 natomiast, cementem o najniższych wartościach naprężenia stycznego przy zastosowaniu zamków metalowych okazał się GC Fuji Ortho LC, a przy zamkach ceramicznych: Transbond Plus.

Analiza zarejestrowanych rodzajów przełomów po wykonanym teście na ścinanie przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC w trzech funkcjach czasu wykazała, że najczęściej występującym przełomem przy zamkach metalowych jest przełom adhezyjno – kohezyjny bez uszkodzenia szkliwa (47%) oraz adhezyjny na granicy cement a szkliwo zęba (40%). Dla zamków ceramicznych w 60% występował przełom adhezyjny na granicy zamek ortodontyczny a cement. Zastosowanie materiału Transbond Plus charakteryzuje najczęstsze występowanie przełomu adhezyjno – kohezyjnego bez uszkodzenia szkliwa zarówno przy zamkach metalowych, jak i ceramicznych. Ten rodzaj przełomu pojawiał się najczęściej przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV dla zamków metalowych (57%). Jednak dla układu zamek ceramiczny i materiał Transbond Supreme LV dochodziło do przełomu: adhezyjnego na granicy zamek a cement w 50% oraz adhezyjno-kohezyjny bez uszkodzenia szkliwa w 47%. Przełom adhezyjno – kohezyjny z uszkodzeniem szkliwa nie wystąpił w żadnej z badanych próbek przy zastosowaniu trzech powyższych materiałów. Należy jednak zwrócić uwagę, że w 5 % wszystkich próbek pojawił się on przy zastosowaniu materiału GC Ortho Connect. 90% pozostałych próbek wykazywało przełom AK1.

Na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Spośród poddanych ocenie materiałów najwyższą wytrzymałość połączenia pomiędzy zamkami ortodontycznymi a szkliwem zębów zapewnia preparat GC Ortho Connect, bez względu na funkcję czasu.
2. Zamki metalowe charakteryzują się wyższą wytrzymałością połączenia ze szkliwem zębów przy zastosowaniu badanych cementów niż zamki ceramiczne.

3. Z upływem czasu zmniejsza się siła wiązania pomiędzy zamkami ortodontycznymi, a szkliwem zębów przy zastosowaniu ocenianych cementów.
4. We wszystkich podanych ocenie próbkach zarejestrowano przewagę przełamów adhezyjno-kohezyjnych bez uszkodzenia powierzchni szkliwa.

SUMMARY

One of the most popular methods of orthodontic treatment is the application of braces. There is a wide range of various orthodontic materials, which can be used in order to apply the bracket to the tooth's surface. The main objective of my dissertation was to check and compare the strength of the bond of the two kinds of orthodontic brackets: metallic and ceramic brackets attached to the enamel with the use of the three different orthodontic cements. The experiment was conducted on 240 bovine front lower jaw teeth. Moreover, the teeth were divided into sets and subsets due to the bonding material used, type of bracket, and the three different time lapses. To complete the experiment the following materials were used glass ionomer cement modified with the resin GC Fuji Ortho LC, composite material Transbond Plus, composite material type flow Transbond Supreme LV, orthodontic cement light curing GC Ortho Connect.

The experiment consisted on on cutting process with the use of the universal testing machine, Hounsfield-H 5KS, and the evaluation of the cracks with the use of the magnifying glass x 4. The experiment was conducted in the three time lapses just after applying the orthodontic bracket to the tooth's surface, to be precise, after 24 hours, 3 months, 6 months. The results obtained were used in the statistical analysis, which aim was to compare every single orthodontic cement with the bracket used, within the particular time lapses, and the comparison of the medical cements with each other. The average strength quality of the bond obtained for the material GC Fuji Ortho LC in the three time lapses (after 24 hours, 3 months, 6 months) for metallic brackets equals: 29,06 MPa, 21,77 MPa, 14,75 MPa, whereas for the ceramic brackets 15,08 MPa, 10,02 MPa, 8,06 MPa.

Using material Transbond Plus of the average strength quality of the bond in the three time lapses equals: for the metallic brackets 24,16 MPa, 22,51 MPa, 18,40 MPa, and ceramic brackets: 21,65 MPa, 12,37 MPa, 6,63 MPa. The quality of the average strength of the metallic orthodontic bracket applied to the tooth's enamel with the use Transbond Supreme LV in the three time laps: 21,01 MPa, 20,04 MPa, 16,29 MPa, whereas for the ceramic bracket: 14,54 MPa, 12,96 MPa, 8,78 MPa. The results obtained for the average strength of the bond which were received for the material GC Ortho Connect in the following time lapses for the metallic bracket were: 39,53 MPa, 32,13 MPa, 30,71 MPa, whereas for the ceramic brackets, 20,26 MPa, 15,15 MPa, 16,09 MPa. After having analyzed the obtained data it can be derived that metallic brackets tend to be bonded much stronger to the tooth's enamel in comparison to the ceramic orthodontic brackets with the use of the all tested materials. In fact, within the passage of time the strength of the bond is getting weaker and weaker.

Comparative analysis of the examined cements within the time lapse T1 showed that the best bonding properties has the material GC Ortho Connect for the ceramic brackets, whereas the weakest bonding properties revealed Transbond Supreme LV for the both types of the brackets.

Within the time lapses T2 and T3 the material which turned out to achieve the most average bonding strength for both, the metallic brackets and the ceramic brackets, is GC Ortho Connect. Moreover, the weakest bond according to T2 for metallic brackets achieves Transbond Supreme LV, but for the ceramic brackets GC Fuji Ortho LC. In the T3 time lapse the cement of the weakest strength with the use of the metallic brackets is GC Fuji Ortho LC, but for the ceramic bracket it is Transbond Plus.

After having analyzed the stress cracks on the surface after carrying out the experiments with the use of the materials GC Fuji Ortho LC in the three time lapses proved that

the most often the cracks occur in the presence of the metallic brackets, and this stress crack is called adhesive-cohesive with no damage of the enamel (47%). Whereas adhesive on the edge of the cement and enamel (40%). But, in the case of the ceramic bracket in 60% the adhesive stress crack was noticed on the verge of the orthodontic bracket and cement. The material Transbond Plus caused the frequent adhesive – cohesive stress cracks with no damage on the enamel, in both types of bracket, metallic and ceramic. This type of the stress crack occurs the most frequent with the use of the material Transbond Supreme LV for the metallic bracket (57%). Nonetheless, for the ceramic brackets and the material Transbond Supreme LV occur the stress cracks: adhesive on the verge of the bracket and the cement (50%), and adhesive- cohesive with no damage of the enamel (47%). It is worth pointing out that the adhesive -cohesive stress crack with the damage on enamel did not occur in any of the samples where the three materials mentioned were used. In fact, it can be noticed that within the 5% of all of the samples the stress cracks occurred with the implementation of the material GC Ortho Connect. In fact, 90% of the samples showed the occurrence of the stress crack AK1.

After carrying out the laboratory experiments the following conclusions can be derived:

1. After having tested all the materials mentioned within the experiments the strongest bonds between the enamel and the orthodontic bracket can be obtained with the use of GC Ortho Connect, regardless the time lapses.
2. The metallic brackets tend to be much stronger than the ceramic brackets considering the bond between the tooth's enamel with the application of the tested cements.
3. Due to the passage of the time the bond between the tooth's enamel and the applied cements has a tendency to weaken with time.
4. In all the examined samples the greater number of adhesive-cohesive stress cracks were noticed with no damage on the tooth's surface enamel.

11. BIBLIOGRAFIA

1. Jurišić S, Jurišić G, Jurić H. Influence of adhesives and methods of enamel pretreatment on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Acta Stomatol Croat.* 2015;49(4):269–74.
2. Brantley WA, Eliades T. *Materiały ortodontyczne w ujęciu naukowym i klinicznym.* Lublin: Czelej; 2003, 364.
3. Deręgowska-Nosowicz P. Ocena siły wiązania pomiędzy stosowanymi do wypełniania ubytków materiałami kompozytowymi a zamkami ortodontycznymi [Internet] [rozprawa doktorska]. [Poznań]: Uniwersytet Medyczny w Poznaniu; 2008. Dostępne na: <https://www.wbc.poznan.pl/dlibra/show-content/publication/edition/92892?id=92892&dirids=1>
4. Kim K-H, Ong JL, Okuno O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent.* 2002;87(6):642–9.
5. Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: The monomer systems. *Eur J Oral Sci.* 1997;105(2):97–116.
6. Gladys S, Van Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Comparative physico-mechanical characterization of new hybrid restorative materials with conventional glass-ionomer and resin composite restorative materials. *J Dent Res.* 1997;76(4):883–94.
7. Craig RG. *Materiały stomatologiczne. I. T. 1.* Wrocław: Elsevier Urban & Partner; 2008, 602.
8. Gange P. The evolution of bonding in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147(4):56–63.

9. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* 1955;34(6):849–53.
10. Maurya R, Tripathi T, Rai P. New generation of color bonding: A comparative in vitro study. *Indian J Dent Res.* 2011;22(5):730–4.
11. Işman E, Karaarslan EŞ, Okşayan R, Tunçdemir AR, Üşümez S, Adanir N, i in. Inadequate shear bond strengths of self-etch, self-adhesive systems for secure orthodontic bonding. *Dent Mater J.* 2012;31(6):947–53.
12. Newman GV. First direct bonding in orthodontia. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 1992;101(2):190–1.
13. Tavas MA, Watts DC. Bonding of orthodontic brackets by transillumination of a light activated composite: An in vitro study. *Br J Orthod.* 1979;6(4):207–8.
14. Guzman UA, Jerrold L, Vig PS, Abdelkarim A. Comparison of shear bond strength and adhesive remnant index between precoated and conventionally bonded orthodontic brackets. *Prog Orthod.* 2013;14(39):1–5.
15. Usoff MF, Al-Bayaty FH, Baharuddin IH, Dasor MMD. An image analysis of adhesive remnant index between metal and ceramic brackets: A clinical study. *J Int Dent Med Res.* 2018;11(2):543.
16. Tayebi A, Fallahzadeh F, Morsaghian M. Shear bond strength of orthodontic metal brackets to aged composite using three primers. *J Clin Exp Dent.* 2017;9(6):749–55.
17. Goracci C, Margvelashvili M, Giovannetti A, Vichi A, Ferrari M. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a new self-adhering flowable resin composite. *Clin Oral Investig.* 2013;17(2):609–17.

18. Ebert T, Elsner L, Hirschfelder U, Hanke S. Shear bond strength of brackets on restorative materials: comparison on various dental restorative materials using the universal primer Monobond® Plus. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopadie Organ Official J Dtsch Ges Kieferorthopadie*. 2016;77(2):73–84.
19. Pawlus B, Dyszkiewicz A, Špidlen M. Ocena wytrzymałości mechanicznej klejów ortodontycznych. *Inż Biomateriałów*. 2012;115(1):38–44.
20. Sharma S, Tandon P, Nagar A, Singh GP, Singh A, Chugh VK. A comparison of shear bond strength of orthodontic brackets bonded with four different orthodontic adhesives. *J Orthod Sci*. 2014;3(2):29–33.
21. Powers JM, Kim HB, Turner DS. Orthodontic adhesives and bond strength testing. *Semin Orthod*. 1997;3(3):147–56.
22. Ireland AJ, Sherriff M. Use of an adhesive resin for bonding orthodontic brackets. *Eur J Orthod*. 1994;16(1):27–34.
23. Inokoshi S, Willems G, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Dual-cure luting composites: Part I: Filler particle distribution. *J Oral Rehabil*. 1993;20(2):133–46.
24. Mitwally RA, Bakhsh ZT, Feteih RM, Bakry AS, Abbassy MA. Orthodontic bracket bonding using self-adhesive cement to facilitate bracket debonding. *J Adhes Dent*. 2019;21(6):551–6.
25. Namura Y, Takamizawa T, Uchida Y, Inaba M, Noma D, Takemoto T, i in. Effects of composition on the hardness of orthodontic adhesives. *J Oral Sci*. 2020;62(1):48–51.
26. Rossato PH, Kaneshima EN, Domingues F, Fernandes TMF, Berger SB, Oltramari PVP. Do fluorescent agents alter the mechanical strength of orthodontic adhesives? An in vitro and clinical study. *Prog Orthod*. 2020;21(1):4.

27. Devatha AB, Lakshmi MN, Kumar NB, Erukala S, Valluri R, Ealla KKR. A comparative study of shear bond strength of direct bonding system with and without a liquid primer: An in vitro study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2019;11(3):515–22.
28. Yassaei S, Davari A, Goldani Moghadam M, Kamaei A. Comparison of shear bond strength of RMGI and composite resin for orthodontic bracket bonding. *J Dent Tehran Iran.* 2014;11(3):282–9.
29. Kilponen L, Varrela J, Vallittu PK. Priming and bonding metal, ceramic and polycarbonate brackets. *Biomater Investig Dent.* 2019;6(1):61–72.
30. Ibrahim AI, Al-Hasani NR, Thompson VP, Deb S. In vitro bond strengths post thermal and fatigue load cycling of sapphire brackets bonded with self-etch primer and evaluation of enamel damage. *J Clin Exp Dent.* 2020;12(1):22–30.
31. Yetkiner E, Gürlek Ö, Işık A, Lappin DF, Buduneli N. Do adhesive flash-free brackets affect bacterial plaque in patients with adequate oral hygiene? A randomised controlled clinical and microbiological assessment. *Oral Health Prev Dent.* 2019;17(6):533–9.
32. Olszewska A, Hańć A, Barańkiewicz D, Rzymiski P. The contribution of orthodontic braces to aluminum exposure in humans: an experimental in vitro study. *Environ Sci Pollut Res.* 2020;27(4):4541–5.
33. Pavelski TV, Tocolini DG, Correr GM, Cunha LF da, Gonzaga CC. Long-term color stability of orthodontic adhesives after exposure to different staining agents. *Indian J Dent Res.* 2019;30(4):568–72.
34. Scribante A, Contreras-Bulnes R, Montasser MA, Vallittu PK. Orthodontics: Bracket materials, adhesives systems, and their bond strength. [Internet]. *Biomed Research International.* 2016. Dostępne na: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2016/1329814/>

35. Patil S, Vaz A, Jakati SV. Comparison of shear bond strength between conventional orthodontic composite, resin modified gic and nano-ceramic restorative composite. *Res J Life Sci Bioinforma Pharm Chem Sci.* 2017;3(4):190–207.
36. Charles A, Senkutvan RS, Ramya RS, Jacob S. Evaluation of shear bond strength with different enamel pretreatments: An in vitro study. *Indian J Dent Res.* 2014;25(4):470–4.
37. Dominguez GC, Tortamano A, Lopes LV de M, Catharino PCC, Morea C. A comparative clinical study of the failure rate of orthodontic brackets bonded with two adhesive systems: Conventional and self-etching primer (SEP). *Dent Press J Orthod.* 2013;18(2):55–60.
38. Ramazanzadeh BA, Merati M, Shafae H, Dogon L, Sohrabi K. In vitro evaluation of an experimental method for bonding of orthodontic brackets with self-adhesive resin cements. *Eur J Gen Dent.* 2013;2(3):264–9.
39. Shafiei F, Sardarian A, Fekrazad R, Farjood A. Comparison of shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a universal adhesive using different etching methods [Internet]. *Dental Press Journal of Orthodontics.* 2019. Dostępne na: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2176-94512019000400033&tlng=en
40. Blöcher S, Frankenberger R, Hellak A, Schauseil M, Roggendorf MJ, Korbmacher-Steiner HM. Effect on enamel shear bond strength of adding microsilver and nanosilver particles to the primer of an orthodontic adhesive. *BMC Oral Health.* 2015;15(42):1–9.
41. Hammad SM, El-Wassefy N, Maher A, Fawakerji SM. Effect of nanotechnology in self-etch bonding systems on the shear bond strength of stainless steel orthodontic brackets. *Dent Press J Orthod.* 2017;22(1):47–56.

42. Azeem M, ul Haq A, Iqbal J. Orthodontic brackets: Comparison of shear bond strength of orthodontic brackets bonded to composite surface. *Prof Med J*. 2018;25(5):676–9.
43. Bona AD, Guida RK and LAD. Bond strength of ceramic and metal orthodontic brackets to aged resinbased composite restorations. *Curr Dent*. 2019;1(1):40–5.
44. Gorucu-Coskuner H, Yazici AR, Gorucu J, Usumez A, Kara O. The effect of different in-office bleaching techniques and etching procedures on bond strength of orthodontic brackets. *J Adhes Sci Technol*. 2017;31(15):1691–9.
45. Tahmasbi S, Badiee M, Modarresi M. Shear bond strength of orthodontic brackets to composite restorations using Universal Adhesive. *J Dent*. 2019;20(2):75–82.
46. Akarsu S, Buyuk SK, Kucukkekenci AS. Effects of adhesive systems at different temperatures on the shear bond strength of orthodontic brackets. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2019;13(2):103–8.
47. Rasmussen MJ, Togrye C, Trojan TM, Tantbirojn D, Versluis A. Post-gel shrinkage, elastic modulus, and stress generated by orthodontic adhesives. *Angle Orthod* [Internet]. 2019. Dostępne na: <https://www.angle.org/doi/10.2319/032719-233.1>
48. Krishnakanth Reddy D, Kishore MSV, Safeena S. Shear bond strength of acidic primer, light-cure glass ionomer, light-cure and self cure composite adhesive systems - An in vitro study. *J Int Oral Health*. 2013;5(3):73–8.
49. Machoy M, Machoy-Mokrzyńska A, Szyszka-Sommerfeld L, Woźniak K. Ocena wpływu rodzajów stosowanych materiałów ortodontycznych na oczyszczanie szkliwa po zakończonym leczeniu aparatami stałymi. *Probl Nauk Stosow*. 2018;8(1):177–84.
50. Toodehzaeim MH, Rezaie N. Effect of saliva contamination on microleakage beneath bonded brackets: A comparison between two moisture-tolerant bonding systems. *J Dent*. 2015;12(10):747–55.

51. Cossellu G, Lanteri V, Butera A, Sarcina M, Farronato G. Effects of six different preventive treatments on the shear bond strength of orthodontic brackets: In vitro study. *Acta Biomater Odontol Scand*. 2015;1(1):13–7.
52. Marc M-G, Bazert C, Attal J-P. Bond strength of pre-coated flash-free adhesive ceramic brackets: An in vitro comparative study on the second mandibular premolars. *Int Orthod*. 2018;16(3):425–39.
53. Schnebel B, Mateer S, Maganzini AL, Freeman K. Clinical acceptability of two self-etch adhesive resins for the bonding of orthodontic brackets to enamel. *J Orthod*. 2012;39(4):256–61.
54. Bakhadher W, Halawany H, Talic N, Abraham N, Jacob V. Factors affecting the shear bond strength of orthodontic brackets - A review of in vitro studies. *Acta Medica (Hradec Kralove)*. 2015;58(2):43–8.
55. Olsen ME, Bishara SE, Boyer DB, Jakobsen JR. Effect of varying etching times on the bond strength of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. 1996;109(4):403–9.
56. Cruz-González A-C, Delgado-Mejía E. Experimental study of brackets adhesion with a novel enamel-protective material compared with conventional etching. *Saudi Dent J*. 2020;32(1):36–42.
57. Hoteit M, Nammour S, Zeinoun T. Evaluation of enamel topography after debonding orthodontic ceramic brackets by different Er,Cr:YSGG and Er:YAG lasers settings. *Dent J*. 2020;8(1):6.
58. Mäkinen E, Lassila L, Varrelä J, Vallittu P. Light-curing of orthodontic bracket adhesive by transillumination through dentine and enamel. *Biomater Investig Dent*. 2019;6(1):6–12.

59. Santin GC, Queiroz AM de, Palma-Dibb RG, Oliveira HF de, Nelson Filho P, Romano FL. Glass ionomer cements can be used for bonding orthodontic brackets after cancer radiation treatment? *Braz Dent J.* 2018;29(2):128–32.
60. Youssefinia S, Mortezaei O. Comparison of shear bond strength of orthodontic color change adhesive with traditional adhesive. *Indian J Dent Res.* 2018;29(5):690–2.
61. Reynolds IR. A review of direct orthodontic bonding. *Br J Orthod.* 1975;2(3):171–8.
62. Delavarian M, Rahimi F, Mohammadi R, Imani M. Shear bond strength of ceramic and metal brackets bonded to enamel using color-change adhesive. *Dent Res J.* 2019;16(4):233–8.
63. Lippitz S, Stanley RN, Jakobsen JR. In vitro study of 24-hour and 30-day shear bond strengths of three resin–glass ionomer cements used to bond orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;113(6):620–4.
64. Meehan MP, Foley TF, Mamandras AH. A comparison of the shear bond strengths of two glass ionomer cements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;115(2):125–32.
65. Summers A, Kao E, Gilmore J, Gunel E. Comparison of bond strength between a conventional resin adhesive and a resin-modified glass ionomer adhesive: An in vitro and in vivo study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;126(2):200–6.
66. Movahhed HZ, Øgaard B, Syverud M. An in vitro comparison of the shear bond strength of a resin-reinforced glass ionomer cement and a composite adhesive for bonding orthodontic brackets. *Eur J Orthod.* 2005;27(5):477–83.
67. Valletta R, Prisco D, De Santis R, Ambrosio L, Martina R. Evaluation of the debonding strength of orthodontic brackets using three different bonding systems. *Eur J Orthod.* 2007;29(6):571–7.

68. Algera TJ, Kleverlaan CJ, Prah-Andersen B, Feilzer AJ. The influence of different bracket base surfaces on tensile and shear bond strength. *Eur J Orthod.* 2008;30(5):490–4.
69. Li F, Peng Y, Peng B. The evaluation of a resin-modified glass ionome cement for bonding orthodontic brackets. *J Wuhan Univ Technol-Mater Sci Ed.* 2009;24(6):986.
70. Mickenautsch S, Yengopal V, Banerjee A. Retention of orthodontic brackets bonded with resin-modified GIC versus composite resin adhesives—a quantitative systematic review of clinical trials. *Clin Oral Investig.* 2012;16(1):1–14.
71. Machado C, Borges B, Araujo G, dos Santos A, Dametto F, Pinheiro F. Influence of adhesion promoters and curing-light sources on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Indian J Dent Res.* 2012;23(6):747–52.
72. Aksakalli S, Malkoc MA, Corekci B, Malkoc S, Toy E. Physical properties of different orthodontic cements. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopadie OrganOfficial J Dtsch Ges Kieferorthopadie.* 2015;76(4):328–37.
73. Kılınç DD, Sayar G. Comparison of shear bond strength of three different adhesives used as temporary bite raiser in daily orthodontic practice. *Int Orthod.* 2018;16(3):440–9.
74. Albaladejo A, Montero J, Gómez de Diego R, López-Valverde A. Effect of adhesive application prior to bracket bonding with flowable composites. *Angle Orthod.* 2011;81(4):716–20.
75. Ali H, Maroli S. Glass ionomer cement as an orthodontic bonding agent. *J Contemp Dent Pract.* 2012;13(5):650–4.
76. Cantekin K, Buyuk SK. Shear bond strength of a new low-shrinkage flowable composite for orthodontic bracket bonding. *J Dent Child.* 2014;81(2):63–6.

77. Chu CH, Ou KL, Dong DR, Huang HM, Tsai HH, Wang WN. Orthodontic bonding with self-etching primer and self-adhesive systems. *Eur J Orthod.* 2011;33(3):276–81.
78. Fernandes HO, Santos LB, Firoozmand LM. Shear bond strength of an orthodontic self-etching adhesive after intracoronary bleaching. *Orthod Craniofac Res.* 2015;18(2):117–24.
79. Boruziniat A, Khazaei K, Motaghi S, Moghaddas M. Evaluation of bond strength of orthodontic brackets without enamel etching. *J Clin Exp Dent.* 2015;7(4):519–23.
80. Sorake A, Rai R, Hegde G, Suneja R, Kumar N, Skaria J. Comparison of shear bond strength of new self-etching primer with conventional self-etching primers: An in-vitro study. *J Int Oral Health.* 2015;7(7):17–21.
81. Zope A, Zope-Khalekar Y, Chitko SS, Kerudi VV, Patil HA, Bonde PV, i in. Comparison of self-etch primers with conventional acid etching system on orthodontic brackets. *J Clin Diagn Res.* 2016;10(12):19–22.
82. Schauseil M, Blöcher S, Hellak A, Roggendorf MJ, Stein S, Korbmacher-Steiner H. Shear bond strength and debonding characteristics of a new premixed self-etching with a reference total-etch adhesive. *Head Face Med.* 2016;12(1):19.
83. Seeliger JH, Botzenhart UU, Gedrange T, Kozak K, Stepien L, Machoy M. Enamel shear bond strength of different primers combined with an orthodontic adhesive paste. *Biomed Tech (Berl).* 2017;62(4):415–20.
84. Bharathi CHB, Jain RK. A systematic review on bracket failure rate of orthodontic brackets bonded with self-etch adhesives. *Drug Invent Today.* 2019;11(3):601–7.
85. Hellak A, Ebeling J, Schauseil M, Stein S, Roggendorf M, Korbmacher-Steiner H. Shear bond strength of three orthodontic bonding systems on enamel and restorative materials [Internet]. *BioMed Research International.* 2016. Dostępne na:

<https://www.hindawi.com/journals/bmri/2016/6307107/>

86. Hellak A, Rusdea P, Schauseil M, Stein S, Korbmacher-Steiner HM. Enamel shear bond strength of two orthodontic self-etching bonding systems compared to Transbond™ XT. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopadie Organ Official J Dtsch Ges Kieferorthopadie*. 2016;77(6):391–9.
87. Mitić V, Tanić T, Mitić A, Radenković G, Djekić P, Todorović K, i in. The influence of a time period on bonding strength of placed brackets. *Acta Medica Median*. 2018;57(1):25–32.
88. Robaski A, Pamato S, Tomas-de Oliveira M, Pereira J. Effect of saliva contamination on cementation of orthodontic brackets using different adhesive systems. *J Clin Exp Dent*. 2017;9(7):919–24.
89. Shaik JA, Reddy RK, Bhagyalakshmi K., Shah MJ, Madhavi O., Ramesh SV. In vitro evaluation of shear bond strength of orthodontic brackets bonded with different adhesives. *Contemp Clin Dent*. 2018;9(2):289–92.
90. Feizbakhsh M, Aslani F, Gharizadeh N, Heidarizadeh M. Comparison of bracket bond strength to etched and unetched enamel under dry and wet conditions using Fuji Ortho LC glassionomer. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2017;11(1):30–5.
91. Bishara SE, Fehr DE. Ceramic brackets: something old, something new, a review. *Semin Orthod*. 1997;3(3):178–88.
92. Joseph VP, Rossouw E. The shear bond strengths of stainless steel and ceramic brackets used with chemically and light-activated composite resins. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1990;97(2):121–5.
93. Habibi M, Nik TH, Hooshmand T. Comparison of debonding characteristics of metal and ceramic orthodontic brackets to enamel: An in-vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;132(5):675–9.

94. Mirzakouchaki B, Kimyai S, Hydari M, Shahrabaf S, Mirzakouchaki-Boroujeni P. Effect of self-etching primer/adhesive and conventional bonding on the shear bond strength in metallic and ceramic brackets. *Med Oral Patol Oral Cirugia Bucal*. 2012;17(1):164–70.
95. Arash V, Naghipour F, Ravadgar M, Karkhah A, Barati MS. Shear bond strength of ceramic and metallic orthodontic brackets bonded with self-etching primer and conventional bonding adhesives. *Electron Physician*. 2017;9(1):3584–91.
96. Ogiński T, Szust A, Kawala B. Ocena siły wiązania kleju ortodontycznego Grengloo ze szkliwem bydlęcym w zależności od rodzaju zastosowanego zamka ortodontycznego. Badanie in vitro. *Dent Forum*. 2014;42(1):33–5.
97. Bayani S, Ghassemi A, Manafi S, Delavarian M. Shear bond strength of orthodontic color-change adhesives with different light-curing times. *Dent Res J*. 2015;12(3):265–70.
98. Turkkahraman H, Adanir N, Gungor AY, Alkis H. In vitro evaluation of shear bond strengths of colour change adhesives. *Eur J Orthod*. 2010;32(5):571–4.
99. Ekhlasi S, English JD, Ontiveros JC, Powers JM, Bussa HI, Frey GN, i in. Bond strength comparison of color-change adhesives for orthodontic bonding using a self-etching primer. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2011;2011(3):39–44.
100. Duers MW, English JD, Ontiveros JC, Powers JM, Bussa HI, Frey GN, i in. Bond strength comparison of color change adhesives for orthodontic bonding. *Tex Dent J*. 2011;128(3):267–75.
101. Oesterle LJ, Shellhart WC, Belanger GK. The use of bovine enamel in bonding studies. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. 1998;114(5):514–9.

102. Soares FZM, Follak A, da Rosa LS, Montagner AF, Lenzi TL, Rocha RO. Bovine tooth is a substitute for human tooth on bond strength studies: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Dent Mater.* 2016;32(11):1385–93.
103. Yassen GH, Platt JA, Hara AT. Bovine teeth as substitute for human teeth in dental research: A review of literature. *J Oral Sci.* 2011;53(3):273–82.
104. Ortiz-Ruiz AJ, Teruel-Fernández J de D, Alcolea-Rubio LA, Hernández-Fernández A, Martínez-Beneyto Y, Gispert-Guirado F. Structural differences in enamel and dentin in human, bovine, porcine, and ovine teeth. *Ann Anat - Anat Anz.* 2018;218(1):7–17.
105. Turgut MD, Attar N, Korkmaz Y, Gokcelik A. Comparison of shear bond strengths of orthodontic brackets bonded with flowable composites. *Dent Mater J.* 2011;30(1):66–71.

12. SPIS RYCIN

Rycina 1. Zamki ortodontyczne metalowe Axxess metal brackets (GC Orthodontics).

Rycina 2. Zamki ortodontyczne ceramiczne Chic. ceramic brackets (GC Orthodontics).

Rycina 3. GC Fuji Ortho LC (GC Orthodontics).

Rycina 4. Transbond Plus (3M).

Rycina 5. Transbond Supreme LV (3M).

Rycina 6. GC Ortho Connect (GC Orthodontics).

Rycina 7. Schemat podziału grup badanych.

Rycina 8. Foremki do zatopienia zębów w żywicy.

Rycina 9. Schemat próbki badanej przygotowanej do testu ścinania.

Rycina 10. Zęby zatopione w żywicy akrylowej.

Rycina 11. Uniwersalna maszyna testująca Hounsfield-H 5KS (Wielka Brytania).

Rycina 12. Przełom A1.

Rycina 13. Przełom A2.

Rycina 14. Przełom AK1.

Rycina 15. Przełom AK2.

Rycina 16. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi oraz zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu GC Fuji Ortho LC.

Rycina 17. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi oraz zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu Transbond Plus.

Rycina 18. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi oraz zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu Transbond Supreme LV.

Rycina 19. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi oraz zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu GC Ortho Connect.

Rycina 20. Porównanie siły wiązania między szklivem zębów a zamkami metalowymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

Rycina 21. Porównanie siły wiązania między szklivem zębów a zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

Rycina 22. Porównanie siły wiązania między szklivem zębów a zamkami metalowymi i ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

Rycina 23. Porównanie wartości siły wiązania między szklivem zęba a zamkiem metalowym przy zastosowaniu 4 rodzajów cementów w 3 funkcjach czasu.

Rycina 24. Porównanie wartości analizy statystycznej siły wiązania między szklivem zęba a zamkiem ceramicznym przy zastosowaniu 4 rodzajów cementów w 3 funkcjach czasu.

Rycina 25. Porównanie wartości analizy statystycznej siły wiązania między szklivem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu 4 rodzajów cementów w 3 funkcjach czasu.

13. SPIS TABEL

Tabela I. Charakterystyka badanych cementów ortodontycznych.

Tabela II. Porównanie siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC w trzech funkcjach czasu.

Tabela III. Porównanie siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału Transbond Plus w trzech funkcjach czasu.

Tabela IV. Porównanie siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV w trzech funkcjach czasu.

Tabela V. Porównanie siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu materiału GC Ortho Connect w trzech funkcjach czasu.

Tabela VI. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w funkcji czasu T1.

Tabela VII. Porównanie sił wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w funkcji czasu T2.

Tabela VIII. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi i zamkami ceramicznymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w funkcji czasu T3.

Tabela IX. Porównanie siły wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu: T1, T2, T3.

Tabela X. Porównanie sił wiązania między szkliwem zębów a zamkami metalowymi przy zastosowaniu 4 różnych rodzajów cementów tj. GC Fuji Ortho LC, Transbond Plus, Transbond Supreme LV, GC Ortho Connect w trzech funkcjach czasu: T1, T2, T3.

Tabela XI. Porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu GC Fuji Ortho LC.

Tabela XII. Porównanie naprężenia stycznego w układzie szkliwo zęba - materiał GC Fuji Ortho LC - zamek ortodontyczny (metalowy i ceramiczny).

Tabela XIII. Porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu Transbond Plus.

Tabela XIV. Porównanie naprężenia stycznego w układzie szkliwo zęba - materiał Transbond Plus - zamek ortodontyczny (metalowy i ceramiczny).

Tabela XV. Porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu Transbond Supreme LV.

Tabela XVI. Porównanie naprężenia stycznego w układzie szkliwo zęba - materiał Transbond Supreme LV - zamek ortodontyczny (metalowy i ceramiczny).

Tabela XVII. Porównanie wartości naprężenia stycznego w trzech funkcjach czasu dla zamków metalowych i ceramicznych przy zastosowaniu cementu GC Ortho Connect.

Tabela XVIII. Porównanie naprężenia stycznego w układzie szkliwo zęba – materiał GC Ortho Connect - zamek ortodontyczny (metalowy i ceramiczny).

Tabela XIX. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem ortodontycznym: metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w funkcji czasu T1, tj. po upływie 24 godzin.

Tabela XX. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem ortodontycznym: metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w funkcji czasu T2, tj. po upływie 3 miesięcy.

Tabela XXI. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem ortodontycznym: metalowym i ceramicznym przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w funkcji czasu T3, tj. po upływie 6 miesięcy.

Tabela XXII. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem metalowym przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

Tabela XXIII. Porównanie wytrzymałości połączenia zamek metalowy - szkliwo zęba przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

Tabela XXIV. Porównanie wartości siły wiązania między szkliwem zęba a zamkiem ceramicznym przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

Tabela XXV. Porównanie wytrzymałości połączenia zamek ceramiczny - szkliwo zęba przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

Tabela XXVI. Porównanie zamków metalowych z zamkami ceramicznymi pod względem siły wiązania do szkliwa zębów przy zastosowaniu czterech rodzajów cementów w trzech funkcjach czasu.

Tabela XXVII. Ocena rodzajów przełomów występujących po wykonanym teście na ścinanie w trzech funkcjach czasu przy zastosowaniu materiału GC Fuji Ortho LC.

Tabela XXVIII. Ocena rodzajów przełomów występujących po wykonanym teście na ścinanie w trzech funkcjach czasu przy zastosowaniu materiału Transbond Plus.

Tabela XXIX. Ocena rodzajów przełomów występujących po wykonanym teście na ścinanie w trzech funkcjach czasu przy zastosowaniu materiału Transbond Supreme LV.

Tabela XXX. Ocena rodzajów przełomów występujących po wykonanym teście na ścinanie w trzech funkcjach czasu przy zastosowaniu materiału GC Ortho Connect.