

Porównanie indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych ze stopów metali, z ceramiki tlenku cyrkonu, z kompozytów wzmacnianych włóknami oraz z polieteroeteroketonu – przegląd piśmiennictwa

Comparison of custom-made metal alloy, zirconia, fiber-reinforced composite and polyether ether ketone post-and-core restorations – review of literature

Paulina Sadowska, Beata Dejak

Zakład Protetyki Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

Department of Prosthodontics, Medical University of Lodz

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Beata Dejak

HASŁA INDEKSOWE:

wkłady FRC, CAD/CAM, Ceramika tlenku cyrkonu, indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe, PEEK

KEY WORDS:

posts, CAD/CAM, zirconium oxide ceramic, custom-made post and core systems, PEEK

Streszczenie

Celem pracy jest przegląd literatury dotyczącej indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych wykonywanych z różnych materiałów i przy zastosowaniu odmiennych technik. Omówiono właściwości oraz zastosowanie wkładów wykonanych ze stopów metali, ceramiki tlenku cyrkonu, kompozytów wzmacnianych włóknami oraz nowoczesnego materiału PEEK. Przeanalizowano technologie wykonania wkładów, a także metody cementowania odpowiednie dla poszczególnych materiałów. Badania naukowe wskazują, że zęby odbudowane wkładami indywidualnymi charakteryzują się większą trwałością i lepszym dopasowaniem anatomicznym w porównaniu do standardowych rozwiązań prefabrykowanych. Najlepsze właściwości mechaniczne i kliniczne wykazują wkłady wykonane z ceramiki tlenku cyrkonu oraz stopów metali, które cechują się dużą wytrzymałością i długoterminową stabilnością. Wkłady z kompozytów wzmacnianych włókna-

Summary

The aim of this study is to review the literature on custom-made post-and-core restorations fabricated from various materials and application of various techniques. The properties and applications of posts made from metal alloys, zirconia oxide ceramics, fiber-reinforced composites and the most recent PEEK material are discussed. The technologies used for manufacturing these posts, as well as the cementation methods appropriate for each material, have been analysed. Scientific studies indicate that teeth restored with custom-made posts exhibit greater durability and better anatomical fit compared to standard prefabricated solutions. The most superior mechanical and clinical properties are demonstrated by posts made of zirconia oxide ceramics and metal alloys, which are characterized by high strength and long-term stability. Posts made of fiber-reinforced composites offer favourable flexibility

mi oferują korzystną elastyczność i estetykę, ale wykazują niższą odporność na obciążenia. PEEK to materiał biozgodny i nowoczesny, jednak jego słaba retencja do cementów i mniejsza sztywność ograniczają zastosowanie w protetyce. Rozwój technologii CAD/CAM umożliwia bardziej precyzyjne, szybsze i przewidywalne wykonanie wkładów indywidualnych, co może istotnie wpływać na poprawę wyników leczenia protetycznego.

and aesthetics but show lower resistance to loading. PEEK is a biocompatible and modern material; however, its weak retention to cements and comparably lower stiffness limit its use in prosthetics. The development of CAD/CAM technology enables more precise, faster, and more predictable fabrication of custom-made posts, which may significantly improve the outcomes of prosthetic treatment.

Wstęp

Zęby zniszczone procesem próchnicowym, z utraconą znaczną ilością tkanek naddziąsłowych, po leczeniu kanałowym, wymagają odbudowy protetycznej za pomocą wkładów koronowo-korzeniowych oraz koron protetycznych, bądź endokoron. Badania wskazują, że w odcinku przednim, przy dużym stopniu uszkodzenia korony zęba, rekomendowanym typem uzupełnienia protetycznego jest wkład koronowo korzeniowy oraz korona protetyczna.¹ Współcześnie stosowane są głównie wkłady indywidualne ze stopów metali oraz standardowe z włókna szklanego.

Korzystniejszym rozwiązaniem są wkłady indywidualne, które są dopasowane do danego przypadku klinicznego. Mogą odwzorowywać dowolny kształt kanału zgodny z jego morfologią oraz być stosowane w przypadku kanałów o nietypowej anatomii. Wkłady te mają część koronową i korzeniową wykonaną z jednego materiału, bez potrzeby dodatkowego połączenia. Rdzeń wkładu opiera się na powierzchni nośnej korzenia zęba, co znacznie poprawia jego biomechanikę. Dotychczas indywidualne wkłady koronowo korzeniowe wykonywano głównie ze stopów metali. Obecnie, dzięki nowym technologiom i nowoczesnym materiałom można je wykonać z tlenku cyrkonu, kompozytów wzmacnianych włóknami czy innych tworzyw sztucznych.^{2,3,4,5}

Indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe ze stopów metali

Materiały

Indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe metalowe wytwarzane są ze stopów metali: chromokobaltowych, stopów złota typu III i IV oraz ze stopów srebrowo-palladowych.⁶ Wcześniej wykorzystywano również stopy chromoniklowe, których aktualnie nie stosuje się ze względu na ryzyko wywołania odczynu alergicznego. Wkłady indywidualne metalowe posiadają dobre parametry wytrzymałościowe, niestety ich srebrna barwa i brak przezierności nie zapewniają optymalnej estetyki w odcinku przednim.

Stop chromokobaltowy, np. Wirobond C (Bego) – ma kolor srebrzystobiały, jest odporny na korozję. Gęstość tego stopu wynosi 8-9 g/cm³, moduł sprężystości 200-240 GPa a twardość ponad 360 HV10. Wytrzymałość na rozciąganie jest wysoka 690-900 MPa.

Stop chromoniklowy, np. Wiron 99 (Bego) – charakteryzuje się srebrzystym kolorem. Wykazuje gęstość 7,7-8,3 g/cm³, moduł sprężystości 165-218 GPa i twardość na poziomie 200 HV10. Wytrzymałość na rozciąganie tego stopu jest wysoka i wynosi 500-1352 MPa. Aktualnie nie są wykorzystywane.

Stop srebrowo-palladowy, np. Palliag M (DeguDent) – stop koloru srebrno-białego, który jest odporny na korozję, kowalny i ciągliwy. Gęstość wynosi 10,5-12,1 g/cm³, moduł

sprężystości 95-130 GPa natomiast twardość 140-300 HV. Stop Ag-Pd ma wytrzymałość na rozciąganie na poziomie 260-320 MPa, która jest niższa od tej stopów nieszlachetnych.

Stopy złota, np. Bio Heragold C (Heraeus-Kluzer) – są biogodne. Gęstość stopów złota waha się od 13,8 do 18,4 g/cm³, w zależności od domieszek innych metali. Moduł Younga wynosi 75-100 GPa, wytrzymałość na rozciąganie 270-600 MPa, a twardość jest mała 150 HV. Do wykonania wkładów koronowo-korzeniowych wykorzystywane są stopy złota typu III i IV.^{6,7}

Wykonanie

Indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe metalowe mogą być wykonywane techniką analogową lub cyfrową. Najczęściej są odlewane metodą traconego wosku. Rozwój metod cyfrowych umożliwił wytwarzanie tego typu uzupełnień również z wykorzystaniem technologii CAD/CAM. Na podstawie skanów wewnętrznych podłoża protetycznego (w sytuacji szerokich kanałów) lub skanów wycisków i ich inwersji, możliwe jest uzyskanie wirtualnego kształtu przyszłej pracy protetycznej. Projekt jest przesyłany do frezarki numerycznej i wycinany z bloczka metalowego, np. Magnum Splendidum (Mesa, Włochy).

Elementy protetyczne wykonywane w CAD/CAM w pełni cyfrowym protokole wykazywały lepszą dokładność niż te odlewane.⁸ Według Al-Rubaye, uzupełnienia wykonane w technologii CAD/CAM cechowały się większym dopasowaniem na pełnej długości kanału względem tych, które zostały wykonane metodą analogową.⁹ Badania z 2021 *Kanduti* i wsp. wykazały podobne przyleganie wkładów w rejonie przyszyjkowym oraz różnicę w okolicy wierzchołkowej na niekorzyść wkładów wykonanych analogowo.¹⁰ *Yang* i *Hinan*, w metaanalizie z 2024 roku stwierdzili, że nie ma znaczącej różnicy w dokładności metalowych uzupełnień wykonanych w

technologii CAD/CAM względem tych wykonanych metodą wosku traconego. Zwrócili uwagę na fakt, że niezależnie od metody wytwarzania uzupełnienia z metali szlachetnych wykazywały lepszą adaptację niż te wykonane z metali nieszlachetnych.¹¹

Cementowanie

Wkłady metalowe mogą być osadzone w kanale za pomocą cementów kompozytowych wiążących dualnie oraz za pomocą cementów konwencjonalnych tj. cementów cynkowo-fosforanowych, polikarboksylowych, glassjonomerowych, glassjonomerowych hybrydowych.¹² Wkład należy odtłuścić, wypiąskować, wypłukać i osuszyć, a kanał wypłukać oraz osuszyć jego wnętrze sączkami papierowymi. Cement konwencjonalny wprowadzany jest do wnętrza kanału za pomocą igły Lentulo i wkład zostaje osadzony. Po związaniu cementu (lub formy żelu dla GI) usuwane są jego nadmiary. Badania wykazały, że niezależnie od zastosowanego cementu lepszą retencję uzyskała grupa z cementem wprowadzonym do wnętrza kanału za pomocą igły Lentulo.¹³

Cementy kompozytowe wymuszają inny protokół postępowania. Powierzchnia wkładu metalowego po odtłuszczeniu, wypiąskowaniu i oczyszczeniu musi zostać pokryta specjalnym primerem do metalu a następnie żywicą. Do wnętrza kanału należy wprowadzić system łączący na cienkim microbrushu. W przypadku systemów IV i V, VIII generacji, kanał korzenia należy przedtem wytrawić przez 15 sek. kwasem ortofosforowym. Systemy samotrawiące VI i VII nakłada się bez trawienia, ale niezbędne jest dodanie DBA. Cement kompozytowy wiążący dualnie wprowadzany jest do kanału za pomocą kaniuli. Następnie wprowadza się wkład. Nadmiar cementu zdejmowany jest przed związaniem i polimeryzowany światłem niebieskim widzialnym.⁶

Badania *Singh* i wsp. z 2024 wskazały lepszą retencję wkładów lanych, zacementowanych

na cementy kompozytowe względem wkładów osadzonych na cementy konwencjonalne. Wyniki badania wytrzymałości na ścinanie cementów z zębina były następujące: cementy kompozytowe – 21,46 MPa; cementy glassjonomerowe modyfikowane żywicą – 18,17 MPa; cementy glassjonomerowe – 16,07 MPa; cementy cynkowo-fosforanowe – 15,33 MPa i cementy polikarboksylowe – 13,63 MPa. Autorzy badania zwracają uwagę na fakt, że mimo dużych różnic każdy z badanych cementów zapewnił dobrą retencję. Usunięcie wkładu indywidualnego osadzonego za pomocą cementów kompozytowych w razie powikłań jest bardzo trudne.¹⁴ Do podobnych wniosków już w 2005 roku doszedł *Balbosh*.¹⁵

Mohajefar i wsp. w 2019 porównali obecność przecieku w zębach odbudowanych wkładami indywidualnymi metalowymi w zależności od rodzaju zastosowanego cementu. Badania porównywały cementy samoadhezyjne kompozytowe, cynkowo-fosforanowe oraz glassjonomerowe. Badanie wykazało obecność największego przecieku w próbkach z wkładami osadzonymi na cement cynkowo-fosforanowy oraz najmniejszego w przypadku cementów kompozytowych.¹⁶

Wkłady z tlenku cyrkonu

Ceramika tlenku cyrkonu

Materiał składa się ze spieczonych kryształów ZrO_2 , które tworzą drobne ziarna o średnicy około 0,5 μm . Jest bardzo sztywny – moduł sprężystości wynosi 210 GPa, wytrzymałość na zginanie sięga 1000-1200 MPa. Materiał jest kruchy, choć najmniej w porównaniu z innymi ceramikami (K_{Ic} 6,6-10 MPa.m^{1/2}), ale bardzo twardy 13,55 HV.^{17,18} Uzupełnienia wykonane z tej ceramiki wykazują dużą odporność na złamanie. Ze względu na brak porów w strukturze ceramiki tlenku cyrkonu nie nasiąka oraz

nie ulega przebarwieniu. Jest odporna na działanie czynników chemicznych występujących w jamie ustnej.

Aktualnie istnieje 12 rodzajów ceramiki tlenku cyrkonu stabilizowanej itrem.¹⁹ Cyrkon o mniejszej zawartości itru (np. 3Y-TPZ) posiada lepsze właściwości mechaniczne i jest bardziej opakerowy. Wraz ze wzrostem zawartości itru zmniejsza się wytrzymałość mechaniczna a wzrasta przezierność.¹⁹ Jeżeli zawartość itru wynosi 4 do 8 % mówimy o cyrkonie częściowo stabilizowanym – PSZ (partially stabilized zirconia). *Ban* opracował w 2021 klasyfikację ceramiki tlenku cyrkonu stabilizowanej itrem. Wyróżnił 3 grupy: monochromatyczną o jednolitej strukturze (3Y-HA, 3Y-TZP, 4YTZP, 5Y-TZP, 6Y-TZP), polichromatyczne multilayer o jednolitej strukturze (M3Y-TZP, M4Y-PSZ, M5Y-PSZ, M6Y-PSZ), polichromatyczne multilayer o hybrydowej strukturze (M3Y-5Y, M3Y-4Y, M4Y-5Y).^{18,19}

W zależności od rodzaju wykonywanego uzupełnienia należy wybrać odmianę ceramiki cyrkonowej o optymalnych parametrach. Do wkładów koronowo-korzeniowych należy wybierać odmiany, takie jak 3Y-TZP, które mimo mniejszej przepuszczalności światła charakteryzują się lepszymi parametrami wytrzymałościowymi. Przykładem takiego materiału jest Upcera Open ST (Upcera, Polska)^{19, 20}

Wykonanie indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych z tlenku cyrkonu

Indywidualne wkłady z ceramiki cyrkonowej są projektowane w oprogramowaniu CAD na podstawie pobranych w jamie ustnej wycisków lub skanów wewnątrzustnych. Wyciski skanowane są za pomocą skanera laboratoryjnego są konwertowane na pozytywy. W oprogramowaniu Exocad wprowadzone zostają dane pacjenta, określony jest ząb do odbudowy, rodzaj projektowanej odbudowy oraz materiał, z którego będzie ona wyfrezowana. Po wybraniu modułu (w przypadku wkładów – inlay)

na wirtualnym modelu zaznacza się granice preparacji. W projekcie oprócz kształtu, toru wprowadzenia łuku przeciwnastawnego oraz warunków okluzyjnych uwzględniana zostaje również warstwa cementu, na który zostanie osadzony wkład. Po zeskalowaniu części koronowej, wirtualny projekt wkładu przesyła się do programu Millbox, który steruje frezarką numeryczną. Projekt wkładu jest pozycjonowany w wybranym bloczku, projektowane są łączniki oraz planowana jest kolejność frezowania.^{21, 22} Frezarka wycina z bloczka sprasowanej ceramiki tlenku cyrkonu wkład k-k. Wkład jest synteryzowany, wskutek czego dochodzi do zmniejszenia objętości - różnica ta, jest uwzględniana przez program CAD na etapie projektowania wkładu.²¹

Ze względu na występujące trudności ze skanowaniem wnętrza opracowanego kanału skanerem wewnątrzustnym, zostały wprowadzone scan body posts (3shape, Copenhagen, Denmark), czyli wskaźniki geometryczne do skanowania wkładów koronowo-korzeniowych. Wskaźniki te dobierane są na podstawie długości i szerokości użytych wiertel i są umieszczane we wnętrzu opracowanego kanału. Lekarz musi zeskanować koronową część scan body postu, a technik w oparciu o wielkość zastosowanego wskaźnika przechodzi do projektowania wkładu w oprogramowaniu CAD.²³

Leven w badaniach z 2022 wykazał akceptowalne dopasowanie cyrkonowych wkładów koronowo-korzeniowych, wykonanych w technologii CAD/CAM na podstawie skanów wewnątrzustnych. Wykazał również brak konieczności stosowania scanpostów, które zmniejszały dokładność wykonania wkładów.²⁴ Do innych wniosków doszła Perlea, która porównała dokładność wkładów cyrkonowych i metalowych wykonanych w CAD/CAM na podstawie skanów i wycisków. Wśród wkładów cyrkonowych wyższą dokładność miały wkłady wykonane na podstawie skanów wycisków. Prawdopodobną przyczyną niedokładności

wkładów wykonanych na podstawie skanów wewnątrzustnych są problemy jakie napotyka skaner przy odczytywaniu głębokości opracowania kanału.²⁵ Według Almalki skanery wewnątrzustne dostępne na rynku w sposób akceptowalny są w stanie zeskanować wnętrze prostego i szerokiego kanału do głębokości 8 mm.²⁶

Cementowanie ceramicznego wkładu koronowo-korzeniowego

Wkłady z ceramiki tlenku cyrkonu osadza się na cementy kompozytowe samotrawiące dedykowane uzupełnieniom cyrkonowym, np. Panavia V5 z Clearfil ceramic primer plus (Kuraray) czy Ena Cem Z z Ena Cem Zirconia Primer (Micerium). Powierzchnię wkładu należy odtłuścić alkoholem, rozwinąć poprzez piaskowanie 50 µm tlenkiem aluminium, wypłukać i osuszyć. Po osuszeniu należy zaaplikować primer dedykowany do ceramiki cyrkonowej i go wysuszyć. Na filar nakłada się system wiążący, a następnie do wnętrza kanału wprowadza się dualny cement i osadza wkład w korzeniu. Proces kończy usunięcie nadmiarów i polimeryzacja.²¹

Badania Usmez A. z 2004 porównywały szczelność zacementowanych wkładów cyrkonowych i kompozytowych wzmacnianych włóknami. Wkłady cyrkonowe miały największy mikroprzeciek wraz z upływem czasu od zacementowania.²⁷ Ceramika tlenku cyrkonu nie posiada w swojej strukturze fazy szklanej w związku z czym nie ulega wytrawieniu kwasem fluorowodorowym. Ta właściwość spowodowała w ostatnich latach intensywne badania nad opracowaniem protokołu przygotowania powierzchni oraz przewidywalnego cementowania adhezyjnego uzupełnień cyrkonowych. Blatz w 2016 roku przedstawił koncept APC cementowania prac z ceramiki tlenku cyrkonu. Na ten pomysł składały się trzy elementy: A – abrazja powietrzna, P – primer dedykowany ceramice tlenku cyrkonu, C – żywica

kompozytowa.²⁸ W analizie z 2024 wykazano, że rozwijanie powierzchni uzupełnień cyrkonowych przez mechaniczne powlekanie krzemionką zapewnia lepsze połączenie adhezyjne niż klasyczne piaskowanie tlenkiem glinu bądź stosowanie primerów.^{29, 20}

Wkłady koronowo-korzeniowe z kompozytów wzmacnianych włóknami

Materiały kompozytowe wzmacniane włóknami

Wkłady kompozytowe wzmacniane włóknami posiadają dwie komponenty: matrycę oraz włókna. W stomatologii stosuje się matryce poliepoksydowe lub żywice polimetakrylanowe. Włókna mogą być szklane, aramidowe, węglowe lub polietylenowe, w postaci pęczków (rowling), taśm. Każde z tych włókien cechuje się odmiennymi parametrami.⁶ Włókna mają właściwości anizotropowe.

Włókna szklane najczęściej stosowane w stomatologii są przezroczyste, mają średnicę 8-20 μm , gęstość 1,92 g/cm³. Kompozyty wzmocnione włóknami szklanymi wyróżniają się elastycznością zbliżoną do elastyczności zębiny – moduł Younga 15/39 GPa. Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien sięga 1200 MPa, podczas gdy w poprzek tylko 73 MPa. Podobnie na ściskanie 160/1000 MPa. Wraz ze wzrostem długości włókien i stopniem zagęszczenia ich w matrycy polepszają się właściwości mechaniczne kompozytów.³⁰ Wraz ze wzrostem średnicy pojedynczego włókna szklanego zmniejsza się jego wytrzymałość ze względu na większe ryzyko wystąpienia wad materiałowych.^{30,33} Niekorzystną cechą włókien szklanych jest wrażliwość na działanie wody, która powoduje tworzenie się szczelin w warstwie powierzchniowej. Włókna szklane mają dobrą zwilżalność. Wkłady standardowe kompozytowe są najczęściej wzmacniane włóknami

szklanymi np. Rely X (3M/Espe), Postec Ivoclar/Vivadent, GC Fibre Post, Luxa Post (DMG), X-Post (Dentsply).³⁰⁻³³

Włókna węglowe są czarne, mają małą średnicę 7 μm . Charakteryzują się niską gęstością 1,57 g/cm³. Są bardziej sztywne, posiadają wyższy moduł Younga w porównaniu do włókien szklanych 11/230 GPa. Dzięki wysokiemu uporządkowaniu struktury fibrylarniej mają dużą wytrzymałość mechaniczną na rozciąganie 90/2040 MPa wzdłuż włókien. Wytrzymałość na ściskanie jest porównywalna do włókien szklanych. Mają wysoką odpornością na ścieranie. Charakteryzują się odpornością na czynniki chemiczne. Słabo łączą się z matrycą polimerową. Wadami tych włókien są duża kruchość oraz czarny kolor np. C-Post (Bisico).^{30, 31, 32, 33}

Włókna poliaramidowe – inaczej nazywane kevlarowymi. Posiadają żółte zabarwienie. Średnica ich wynosi 10-15 μm . Są bardzo lekkie – mają gęstość 1,44 g/cm³. Kevlar jest 6 razy lżejszy od stali. Moduł sprężystości wynosi 5/67 GPa. Włókna mają większą wytrzymałość na rozciąganie niż stal, osiągając nawet 3150 MPa, ale niską wytrzymałość na ściskanie. Włókna aramidowe są higroskopijne i chłonną stosunkowo dużo wilgoci (nawet do 6% swojej wagi). Trudno nasączają się żywicami, np. Kevlar 29 (Du Point, USA).^{30, 32, 33}

Włókna polietylenowe np. – posiadają średnicę od 12 do 21 μm oraz gęstość 0,97 g/cm³. Moduł Younga dla włókien polietylenowych wynosi 175 GPa, wytrzymałość na rozciąganie około 3000 MPa. Ten rodzaj włókien cechuje się odpornością na ścieranie oraz działanie czynników chemicznych.^{30,32,33} Obecnie stosowane są włókna UHMWPE, czyli wykonane z polietylenu o ultrawysokiej masie cząsteczkowej, np. Ribbond (Ribbond, USA), włókno kompozytowe Arkona.

Z badań wynika, że wkłady kompozytowe wzmocnione włóknami szklanymi wykazują większą wytrzymałość na zginanie niż włóknami aramidowymi, czy UHMWP.^{34, 35}

Wykonanie wkładów indywidualnych kompozytowych wzmocnionych włóknami

Wkłady indywidualne z włókien, wykonywane techniką analogową, formowane są bezpośrednio w jamie ustnej pacjenta po opracowaniu tkanek zęba pod wkład. Lekarz odmierza za pomocą sondy periodontologicznej bądź narzędzia kanałowego z ogranicznikiem długość. Długość ta powinna uwzględniać zarówno część korzeniową, jak i koronową przyszłego wkładu. Operator zabiegu docina włókna w taki sposób, aby dochodziły one na całą długość opracowania. Następnie przeprowadza się wstępną polimeryzację w kanale i polimeryzację poza kanałem. Uformowany wkład przed osadzeniem w kanale należy przechowywać bez dostępu do światła.³⁶

Cementowanie

Wkłady kompozytowe wzmocnione włóknami cementowane są przy użyciu cementów kompozytowych wiążących dualnie konwencjonalnych lub samotrawiących. Przygotowanie wkładu do cementowania polega na odtłuszczeniu, rozwinięciu jego powierzchni za pomocą piaskowania a następnie na wypłukaniu, osuszeniu i silanizowaniu. Na koniec wkład należy pokryć żywicą. Użycie cementów konwencjonalnych kompozytowych wymaga wytrawienia wnętrza kanału kwasem ortofosforowym o stężeniu 37% przez 15 sek, wypłukania osuszenia i nałożenia systemu wiążącego IV, V, VIII generacji i odsączenia nadmiarów papierowymi sączkami. Osadzanie na cementy kompozytowe samotrawiące wymaga tylko naniesienia dwukrotnego czynników wiążących samotrawiących z DBA. Ostatnim krokiem jest wprowadzenie do wnętrza kanału cementu, osadzenie przygotowanego wcześniej wkładu i polimeryzacja.

Badania *Makarewicz* z 2013 wykazały większą siłę wiązania oraz mniejszy mikroprzeciek przy bezpośredniej technice cementowania.³⁷ Badana technika bezpośrednia polegała na umieszczeniu w kanale zęba cementu oraz

niespolimeryzowanego indywidualnego wkładu z włókna szklanego a następnie na wspólnym utwardzeniu za pomocą lampy polimeryzacyjnej.

Wkłady z Polieteroeteroketonu

Material

PEEK (*polieteroeteroketon*) to wysokotemperaturowy częściowo krystaliczny polimer termoplastyczny, który zaliczany jest do szerszej grupy poliaryloeteroketonów (PAEK). Polimer ten wykonany jest z ketonu fluorobenzenowego, hydrochinonu, węglańu sodu lub węglańu potasu, rozpuszczonego w difenylosulfonie.^{7,38} W swojej strukturze posiada mikrowypełniacz ceramiczny. Ciężar właściwy PEEKu wynosi 1,4 g/cm³. Posiada niski moduł sprężystości 4,2-4,8 GPa. Wykazuje niską wytrzymałość na zginanie 180 MPa.^{7,38} Spotykane są modyfikacje PEEKu przez dodawanie włókien szklanych lub węglowych celem zwiększenia wytrzymałości. Takie zmodyfikowane włóknami tworzywa nazywane są GFR-PEEK (glass fiber reinforced PEEK) i CFR-PEEK (carbon fiber reinforced PEEK). Materiały te dostępne są na rynku w formie bloczków do frezowania, co umożliwia wykonanie indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych np. Juvora Dental Disc (Invibio) czy CC Disk (Interdent). Ze względu na niską rozpuszczalność jest to materiał odporny na zjawisko korozji biologicznej w środowisku jamy ustnej. Dzięki temu zmniejszone jest ryzyko wywołania u pacjenta reakcji alergicznej. PEEK posiada hydrofobową powierzchnię o słabej przyczepności.^{7,38,39}

Wykonanie

Uzupełnienia protetyczne wykonane z materiału PEEK mogą być projektowane i wytwarzane w technologii CAD/CAM na podstawie pobranych w jamie ustnej wycisków masami precyzyjnymi.⁴⁰ Można wykonać te uzupełnienia w technologii prasowania na gorąco oraz

formowania wtryskowego. *Li* w badaniach z 2023 oszacował, że optymalne warunki prasowania na gorąco to temperatura 400° Celsjusza, ciśnienie 2,5 MPa oraz czas ściskania wynoszący około 30 minut.⁴¹ *Lalama* w 2022 porównał dopasowanie wkładów z polieteroeteroketonu zaprojektowanych komputerowo i wykonanych poprzez frezowanie z prasowanymi na gorąco. Wynik badania pokazał, że wkłady z PEEKu wykonane w technice prasowania na gorąco są lepiej dopasowane w porównaniu z wkładami wykonanymi w CAD/CAM.⁴²

Cementowanie

Ze względu na gładką, obojętną, słabo przyczepną i hydrofobową powierzchnię występuje problem z cementowaniem adhezyjnym a tym samym z wykorzystywaniem PEEKu jako materiału do uzupełnień stałych. Indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe wykonane z PEEKu można osadzić za pomocą cementów kompozytowych samoadhezyjnych.^{38,40} Wkłady uprzednio należy wypłukać, umyć w myjce ultradźwiękowej, osuszyć i nałożyć primer.⁴⁰ Do kanału wprowadzany jest cement samoadhezyjny a następnie osadzany jest wkład. Po usunięciu nadmiarów należy spolieryzować cement. Zbadano wpływ różnego typu obróbki powierzchniowej na cementowanie adhezyjne uzupełnień z PEEKu.³⁸ Badania *Mazen* z 2022 wykazały, że wytrawienie wkładów 98% kwasem siarkowym przez 60 sekund wykazuje wyższą siłę wiązania niż klasyczne piaskowanie cząsteczkami Al_2O_3 .³⁹

Podsumowanie

Wkłady koronowo-korzeniowe pozwalają na utrzymanie silnie zniszczonych zębów w środowisku jamy ustnej. Pozwalają na odroczenie implantacji, która nie zawsze jest możliwa i przewidywalna. Dotychczas przeprowadzone badania, nie rozstrzygnęły, jaki typ wkładu jest najkorzystniejszy. Oceniane były między

innymi parametry wytrzymałościowe stosowanych materiałów, kształty wkładów, technologia wykonania, techniki cementowania oraz trwałość. Wkłady indywidualne ze względu na dopasowanie do anatomii systemu korzeniowego pozwalają na oszczędniejsze opracowanie tkanek zęba oraz zapewniają lepsze dopasowanie. Wykonanie wkładów indywidualnych wydłuża czas postępowania klinicznego w porównaniu do stosowanych wkładów standardowych. Rozwój technik cyfrowych umożliwia wykonanie wkładu indywidualnego oraz korony protetycznej podczas tej samej wizyty. Indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe w zależności od materiału wykazują odmienne wady i zalety. Wkłady metalowe cechuje wysoka wytrzymałość i trwałość, lecz słaba estetyka oraz możliwość wywołania alergii. Wkłady z tlenku cyrkonu oferują dobrą estetykę i biokompatybilność, lecz są kruche i trudne w usunięciu w razie powikłań. Wkłady z włókien kompozytowych mają korzystną elastyczność, dobrą estetykę i mogą być wykonane na jednej wizycie, jednak są mniej odporne mechanicznie. PEEK jest materiałem biozgodnym i nowoczesnym, lecz słaba retencja do cementów i mniejsza sztywność ograniczają jego zastosowanie. Wybór materiału, technologii wykonania wkładu oraz metody cementowania zależy od lokalizacji zęba, wymagań estetycznych, warunków biomechanicznych oraz dostępnego zaplecza technologicznego.

Piśmiennictwo

1. *Dejak B, Mlotkowski A*: Strength comparison of anterior teeth restored with ceramic endocrowns vs custom-made post and cores. *J Prosthodont Res* 2018; 62(2): 171-176. doi: 10.1016/j.jpor.2017.08.005
2. *Dejak B*: Porównanie wytrzymałości zębów odbudowanych za pomocą indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych metalowych i standardowych kompozytowych

- wzmacnianych włóknami szklanymi. *Protet Stomatol* 2010; 60: 112-120.
3. *Biały M, Dabrowa T, Wieckiewicz W*: Analiza porównawcza indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych lanych oraz standardowych kompozytowych wzmacnianych włóknem szklanym – przegląd piśmiennictwa. *Dent Forum* 2013; 4: 53-56.
 4. *Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J*: Współczesne protezy stałe: odbudowa zębów leczonych endodontycznie, protezy stałe wykonane z kompozytu wzmacnianego włóknem. Wydawnictwo Czelej, Lublin 2002.
 5. *Piosik A, Gajdus P, Sójka A, Hędzielek W*: Powtórna rekonstrukcja protetyczna zębów z zastosowaniem indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych. *Opis przypadków klinicznych*. *Protet Stomatol* 2016; 66(1): 48-54.
 6. *Dejak B*: Vademecum wykonywania protez stałych i ruchomych. Med Tour Press, Otwock 2020.
 7. *Pryliński M*: Vademecum materiałoznawstwa protetycznego. Med Tour Press, Otwock 2020.
 8. *Vogler JAH, Billen L, Walther KA, Wostmann B*: Conventional cast vs CAD/CAM post and core in a fully digital chairside workflow – an in vivo comparative study of accuracy of fit and feasibility of impression taking. *J Dent* 2023; 136: 104638. doi: 10.1016/j.jdent.2023.104638
 9. *Al-Rubaye TM, Elsubeihi ES*: The accuracy of custom-made milled metal posts as compared to conventional cast metal posts. *Dent J* 2024; 12: 309. doi: 10.3390/dj12100309.
 10. *Kanduti D, Korat L, Kosec T, Legat A, Ovsenik M, Kopac I*: Comparison between accuracy of posts fabricated using a digital CAD/CAM technique and a conventional direct technique. *Int J Prosthodont* 2021; 34(2): 212-220. doi: 10.11607/ijp.6502
 11. *Yang J, Li H*: Accuracy of CAD-CAM milling versus conventional lost-wax casting for single metal copings – a systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2024; 132(1): 51-58. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.05.018.
 12. *Piotrkowicz Z, Rolski D*: Comparative analysis of the use of various types of post-and-core prosthetic restorations – literature review, *Protet Stomatol* 2024; 74(2): 190-196.
 13. *Al-Omari WM, Zagibeh AM*: The retention of cast metal dowels fabricated by direct and indirect techniques. *J Prosthodont* 2010; 19(1): 58-63. doi: 10.1111/j.1532-849X.2009.00521.x.
 14. *Singh M, Singh S, Kumar L, Mattoo KA, Khalid I, Kota MZ, Udeabor SE, Baig FAH, Ishfaq M, Ibrahim M, Basheer SA*: Evaluation of retentive strength of 50 endodontically-treated single-rooted mandibular second premolars restored with cast post cores using 5 common luting (cement) agents. *Med Sci Monit* 2024; 30: e944110. doi: 10.12659/MSM.944110
 15. *Balbosh A, Ludwig K, Kern M*: Comparison of titanium dowel retention using four different luting agents. *J Prosthet Dent* 2005; 94(3): 227-233. doi: 10.1016/j.prosdent.2005.05.025
 16. *Mohajerfar M, Nadizadeh K, Hooshmand T, Beyabanaki E, Neshandar Asli H, Sabour S*: Coronal microleakage of teeth restored with cast posts and cores cemented with four different luting agents after thermocycling. *J Prosthodont* 2019; 28(1): e332-e336. doi: 10.1111/jopr.12788
 17. *Majewski SW, Pryliński M*: Materiały i technologie współczesnej protetyki stomatologicznej. Lublin: Czelej 2013.
 18. *Ban S*: Classification and properties of dental zirconia as implant fixtures and superstructures. *Materials (Basel)* 2021; 14(17): 4879. doi: 10.3390/ma14174879
 19. *Kongkiatkamon S, Rokaya D, Kengtanyakich S, Peampring C*: Current classification of zirconia in dentistry – an updated review. *Peer J* 2023; 11: e15669. doi: 10.7717/peerj.15669
 20. *Alqutaibi AY, Ghulam O, Krsoum M*,

- Binmahmoud S, Taher H, Elmalky W, Zafar MS*: Revolution of current dental zirconia – a comprehensive review. *Molecules* 2022; 27(5): 1699. doi: 10.3390/molecules27051699
21. *Dejak B, Konieczny B*: Indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe z ceramiki tlenku cyrkonu wykonane w systemach CAD/CAM. *Protet Stomatol* 2022; 72(4).
 22. *Perlea P, Stefanescu C, Al-Aloul OA, Ionita C, Petre AE*: Digital workflow for producing hybrid posts and cores. *Healthcare (Basel)* 2023; 11(5): 727. doi: 10.3390/healthcare11050727
 23. 3Shape: Scan posts user manual [Internet]. [cited 2025 Apr 10]. Available from: <https://manualzz.com/doc/4999806/3shape-scan-posts-user-manual>
 24. *Leven R, Schmidt A, Binder R, Kampschulte M, Vogler J, Wostmann B, Schlenz MA*: Accuracy of digital impression taking with intraoral scanners and fabrication of CAD/CAM posts and cores in a fully digital workflow. *Materials (Basel)* 2022; 15(12): 4199. doi: 10.3390/ma15124199
 25. *Perlea P, Stefanescu C, Petre AE*: Clinical acceptance of digitally produced zirconia and metal post and cores, based on the impression method. *Clin Pract* 2024; 14: 2533-2541. doi: 10.3390/clinpract14060199
 26. *Almalki A, Conejo J, Kutkut N, Blatz M, Hai Q, Anadioti E*: Evaluation of the accuracy of direct intraoral scanner impressions for digital post and core in various post lengths – an in-vitro study. *J Esthet Restor Dent* 2024; 36(4): 673-679. doi: 10.1111/jerd.13159
 27. *Usumez A, Cobankara FK, Ozturk N, Eskitascioglu G, Belli S*: Microleakage of endodontically treated teeth with different dowel systems. *J Prosthet Dent* 2004; 92(2): 163-169. doi: 10.1016/j.prosdent.2004.05.004
 28. *Blatz MB, Alvarez M, Sawyer K, Brindis M*: How to bond zirconia – the APC concept. *Compend Contin Educ Dent* 2016; 37(9): 611-617
 29. *Lima RBW, Leite JVC, Santos JVNS, Barbosa LMM, Macedo Neto HN, Silva JGR, Muniz IAF, Campos DS, De Souza GM*: Tribochemical silica-coating or alumina blasting for zirconia bonding? A systematic review of in vitro studies. *Int J Adhes Adhes* 2024; 129: 103554. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2023.103554
 30. *Seefeld F, Wenz H, Ludwig K, Kern M*: Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. *Dent Mater* 2007; 23: 265-271. doi: 10.1016/j.dental.2006.01.006
 31. *Mayer P, Kaczmar J*: Właściwości i zastosowania włókien węglowych i szklanych [Internet]. 2008 [cited 2025 Apr 10]. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Paulina-Mayer/publication/336717838_Wlasciwosci_i_zastosowania_wlokien_weglowych_i_szklanych
 32. *Fejdyś M, Landwijt M*: Włókna techniczne wzmacniające materiały kompozytowe. *Techn Wyr Włók* 2010; 18(1/2): 12-22.
 33. *Rajak DK, Pagar DD, Menezes PL, Linul E*: Fiber-reinforced polymer composites – manufacturing, properties, and applications. *Polymers (Basel)* 2019; 11(10): 1667. doi: 10.3390/polym11101667
 34. *Libonati A, Di Taranto V, Gallusi G, Montemurro E, Campanella V*: CAD/CAM customized glass fiber post and core with digital intraoral impression – a case report. *Clin Cosmet Investig Dent* 2020; 12: 17-24. doi: 10.2147/CCIDE.S237442
 35. *Kim MJ, Jung WC, Oh S, Hattori M, Yoshinari M, Kawada E, Oda Y, Bae JM*: Flexural properties of three kinds of experimental fiber-reinforced composite posts. *Dent Mater J* 2011; 30(1): 38-44. doi: 10.4012/dmj.2010-053
 36. *Wagner L*: Indywidualnie ukształtowane wkłady koronowo-korzeniowe z włókna szklanego. *Mag Stomatol* 2012; 12: 18-22.
 37. *Makarewicz D, Le Bell-Rönnlöf AM, Lassila LV, Vallittu PK*: Effect of cementation technique

- of individually formed fiber-reinforced composite post on bond strength and microleakage. *Open Dent J* 2013; 7: 68-75. doi: 10.2174/1874210601307010068
38. Wang B, Huang M, Dang P, Xie J, Zhang X, Yan X: PEEK in fixed dental prostheses – application and adhesion improvement. *Polymers (Basel)* 2022; 14(12): 2323. doi: 10.3390/polym14122323
39. Attia MA, Shokry TE, Abdel-Aziz M: Effect of different surface treatments on the bond strength of milled polyetheretherketone posts. *J Prosthet Dent* 2022; 127(6): 866-874. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.033
40. Lee J, Lee G: Fabrication of a custom polyetherketoneketone post-and-core with digital technology. *J Tech Dent* 2024; 46: 15-19. doi: 10.14347/jtd.2024.46.1.15
41. Li T, Song Z, Yang X, Du J: Influence of processing parameters on the mechanical properties of PEEK plates by hot compression molding. *Materials (Basel)* 2023; 16: 36. doi: 10.3390/ma16010036
42. Lalama M, Rocha MG, O'Neill E, Zoidis P: Polyetheretherketone (PEEK) post and core restorations – a 3D accuracy analysis between heat-pressed and CAD-CAM fabrication methods. *J Prosthodont* 2022; 31(6): 537-542. doi: 10.1111/jopr.13452
- Zaakceptowano do druku: 18.09.2025 r.
Adres autorów: 92-213 Łódź, ul. Pomorska 251.
© Zarząd Główny PTS 2025.