

Porównanie odporności na złamania zębów odbudowanych z zastosowaniem indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych wykonanych z różnych materiałów – przegląd piśmiennictwa

Comparison of the fracture resistance of teeth restored with custom-made post-and-core systems fabricated from different materials – a literature review

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 koronowo-korzeniowe, CAD/CAM, ceramika tlenku cyrkonu, odporność na złamania, indywidualne wkłady, analiza fraktograficzna

KEY WORDS:

post and cores, CAD/CAM, zirconia, fracture resistance, individual post and cores, fractographic analysis

Streszczenie

Celem pracy jest przegląd literatury dotyczącej odporności na złamania zębów odbudowanych indywidualnymi wkładami koronowo-korzeniowymi wykonanymi z różnych materiałów. Przeanalizowano piśmiennictwo dotyczące parametrów wytrzymałościowych, analizy fraktograficznej oraz przeżywalności wkładów wykonanych ze stopów metali, ceramiki tlenku cyrkonu oraz tworzyw sztucznych. Analiza dostępnych badań wskazuje, że indywidualne wkłady metalowe wykazują bardzo wysoką odporność mechaniczną oraz zdolność przenoszenia dużych obciążeń zgryzowych, jednak często wiążą się z niekorzystną lokalizacją złamań korzenia. Indywidualne wkłady z ceramiki tlenku cyrkonu zapewniają wysoką estetykę, bardzo dobre dopasowanie do wnętrza kanału i odporność na złamania porównywalną lub wyższą niż wkłady metalowe, jednak ich kruchość, ograniczenia w procedurze adhezyjnej oraz trudność usunięcia w przypadku powikłań stanowią poważne wyzwania kliniczne. Wkłady wykonane z tworzyw sztucznych cha-

Summary

The aim of this study is to review the literature concerning the fracture resistance of teeth restored with custom-made post-and-core systems fabricated from various materials. The literature regarding mechanical strength parameters, fractographic analysis and the survival of posts made from metal alloys, zirconia ceramics and polymer-based materials was analysed. The review of available studies indicates that custom-made metal posts demonstrate very high mechanical strength as well as the ability to withstand substantial occlusal loads; however, they are often associated with unfavourable root fracture patterns. Customized posts made of zirconia ceramics provide high aesthetics, excellent adaptation to the root canal space and fracture resistance comparable to, or higher, than that of metal posts. Yet, their brittleness, limitations in adhesive procedures and the difficulty of removal in case of complications present clinical challenges. Posts fabricated from polymer-based materials are characterized

rakteryzują się niższą odpornością mechaniczną i zdolnością przenoszenia sił powstających w układzie stomatognatycznym, lecz częściej powodują uszkodzenia tkanek zęba o przebiegu naddziąsłowym. Piśmiennictwo wskazuje, że oprócz materiału, z którego wykonany jest wkład, istotne znaczenie posiadają objętość pozostałych tkanek, odpowiednia preparacja czy pozycja zęba w łuku. Indywidualne planowanie leczenia protetycznego oraz dobór odpowiedniego materiału do sytuacji klinicznej pozwalają na osiągnięcie długoterminowego sukcesu w odbudowie silnie zniszczonych zębów po leczeniu kanałowym.

by lower mechanical strength and a reduced capacity to withstand forces generated within the stomatognathic system; also, they more frequently result in supragingival structure failures. The literature indicates that apart from the material from which the post is fabricated the amount of the remaining tooth structure, appropriate tooth preparation and the position of the tooth in the dental arch are also important factors. Individualized prosthetic treatment planning and the selection of an appropriate material according to the clinical situation are instrumental in achieving long-term success in the restoration of severely damaged, endodontically treated teeth.

Zastosowanie wkładów koronowo-korzeniowych pozwala na utrzymanie w środowisku jamy ustnej zębów z rozległą utratą tkanek twardych. Uzupełnienia wykonywane indywidualnie, dzięki lepszemu dopasowaniu do anatomii systemu korzeniowego i jednoczesnemu odтворzeniu części koronowej zapewniają zębom dłuższą trwałość i lepszą biomechanikę w porównaniu do wkładów standardowych.¹

Rozwój materiałów i technologii stosowanych w stomatologii pozwolił na wykonanie dopasowanych anatomicznie wkładów nie tylko ze stopów metali, lecz także z materiałów, takich jak ceramika tlenku cyrkonu, kompozyty czy materiały polimerowe. Ewolucja systemów CAD/CAM, obejmująca zwiększenie dokładności skanerów wewnątrzustnych, rozbudowane oprogramowanie software i wprowadzenie precyzyjnych frezarek numerycznych, umożliwiła wykonanie uzupełnień protetycznych o lepszym dopasowaniu względem technik analogowych.²⁻⁴ Zaletami protokołów cyfrowych są również oszczędność czasu oraz eliminacja wy-cisków masami na łyżkach standardowych.⁵⁻⁶ Celem pracy było przedstawienie przeglądu piśmiennictwa dotyczącego odporności na złamanie zębów odbudowanych z zastosowaniem

indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych wykonanych ze stopów metali, z ceramiki tlenku cyrkonu oraz z tworzyw sztucznych.

Indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe metalowe

Wkłady koronowo-korzeniowe wykonane ze stopów metali przez wiele lat stanowiły standard w rekonstrukcji silnie zniszczonych zębów po leczeniu endodontycznym. Jako zęby silnie zniszczone uznaje się te z utratą ponad 50% tkanek naddziąsłowych, obejmującą dwie, trzy lub wszystkie ściany zęba.⁷ Ze względu na długofalowe obserwacje kliniczne często stanowią wiarygodny punkt odniesienia dla wprowadzanych nowych materiałów i technologii. Wykonywane są najczęściej ze stopów chromo-kobaltowych, srebro-palladowych czy złota.⁷ Uzupełnienia wykonane ze stopów metali posiadają dobre parametry wytrzymałościowe.⁸ Do wad tego typu konstrukcji zaliczane są: niekorzystny efekt estetyczny, wynikający ze srebrnego koloru oraz możliwość wystąpienia reakcji alergicznych.⁹⁻¹⁰ Uzupełnienia ze stopów metali wykonywane są tradycyjną techniką odlewania, w technologii CAD/CAM oraz SLM (Selective Laser Melting).⁵

Odporność na złamania zębów odbudowanych indywidualnymi wkładami koronowo-korzeniowymi metalowymi

Zęby odbudowane przy użyciu wkładów koronowo-korzeniowych lanych wykazują większą odporność na złamanie w porównaniu z zębami odbudowanymi wkładami z tworzyw sztucznych. Najwyższe wartości siły niszczącej odnotowano w przypadku indywidualnych wkładów metalowych (856,1 N), podczas gdy najniższe parametry zaobserwowano dla wkładów FRC (360,0 N).¹¹ Zęby z wkładami lanymi ulegały zniszczeniu przy znacząco wyższych wartościach siły niż zęby z indywidualnymi wkładami kompozytowymi wzmocnionymi włóknami.¹²

Direk i wsp. udowodnili, że wkłady tytanowe oraz wykonane ze stopu chromo-kobaltowego cechują się istotnie większą odpornością na złamanie niż wkłady kompozytowe i z polieteroeteroketonu (PEEK).¹³ Podobne wyniki w swoim badaniu uzyskał *Teixeira* i wsp. (2020).¹⁴ Również w badaniach z przykładowym obciążeniem cyklicznym największą odporność na złamanie posiadały zęby odbudowane indywidualnymi wkładami metalowymi.⁸

Wpływ na wytrzymałość mechaniczną ma również sposób wytwarzania wkładów metalowych. Stwierdzono istotnie wyższą odporność na złamanie zębów odbudowanych wkładami metalowymi wykonywanymi techniką CAD/CAM w porównaniu z wkładami wytworzonymi metodą wosku traconego.¹⁵

Odpowiednia preparacja ma istotny wpływ na osiągnięcie sukcesu klinicznego. Zalecane opracowanie tkanek pod wkład koronowo-korzeniowy wynosi $\frac{2}{3}$ długości kanału z pozostawieniem co najmniej 4 mm gutaperki w części wierzchołkowej oraz $\frac{1}{4}$ szerokości korzenia z pozostawieniem minimum 1 mm zębiny na obwodzie.¹⁶ Stwierdzono, że niezależnie od wykorzystanego materiału do produkcji wkładu, wraz ze wzrostem długości i szerokości, w określonych granicach,

wkładu wzrasta odporność na złamanie. W badaniu *Saad* najwyższe parametry odporności na złamanie wykazały grupy zębów odbudowanych wkładami o średnicy 1,75 mm i długości 10 mm w porównaniu z grupą odbudowaną wkładami o średnicy 1,3 mm i 10 mm długości.¹⁷ Stwierdzono również, że wykonanie zbyt krótkiej części korzeniowej wkładu znacząco zwiększa ryzyko wystąpienia powikłań, niezależnie od zastosowanego materiału.¹⁸ Obecność *ferrule effect* oraz wykonanie odpowiedniej preparacji istotnie zwiększają odporność na złamanie zębów odbudowanych wkładami koronowo-korzeniowymi niezależnie od zastosowanego materiału.¹⁹

Analiza pęknięć korzeni z indywidualnymi wkładami koronowo-korzeniowymi metalowymi

Jrab i wsp. wykazali, że odporność na złamanie zębów odbudowanych lanymi wkładami jest wyższa niż w przypadku wkładów kompozytowych wzmocnionych włóknami, wykonanych w technologii CAD/CAM. Zauważono, że korzenie zębów z indywidualnymi wkładami metalowymi ulegały pęknięciom, w sposób który uniemożliwiał ich powtórny odbudowę.²⁰ Według piśmiennictwa złamania zębów odbudowanych indywidualnymi wkładami metalowymi często przebiegają poniżej poziomu szyjki zęba lub wzdłuż korzenia.^{8,14,21-22} Badanie obciążenia cyklicznego potwierdziło, że lane wkłady mają ponad dwukrotnie większą odporność na złamanie (około 484 N) w porównaniu z wkładami kompozytowymi z włókna szklanego (około 256 N), co wskazuje na możliwość przenoszenia prawie 2-krotnie większych obciążeń bez wystąpienia uszkodzenia tkanek.⁸

Trwałość zębów odbudowanych indywidualnymi wkładami koronowo-korzeniowymi metalowymi

Współczynnik funkcjonowania zębów odbudowanych lanymi wkładami w okresie pięcioletnim jest na poziomie 90%.²³ Badania

retrospektywne *Gómez-Polo* i wsp. oraz *Mentnik* wskazują na wskaźnik obecności w jamie ustnej wynoszący 83% w ciągu 10-ciu lat.²⁴⁻²⁵ Średni czas przetrwania zębów odbudowanych indywidualnymi wkładami metalowymi wynosi około 7 lat.²³ W przypadku wkładów złotych stwierdzono wyższy wskaźnik przeżywalności w porównaniu z wkładami wykonanymi z metali nieszlachetnych.²⁶

Indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe z ceramiki tlenku cyrkonu

Alternatywą dla konstrukcji metalowych są wkłady indywidualne z ceramiki tlenku cyrkonu. Odbudowy te wykonywane są cyfrowo w technologii CAD/CAM. Charakteryzuje je korzystniejszy efekt estetyczny, większa dokładność oraz szybsza technologia produkcyjna w porównaniu z indywidualnymi wkładami metalowymi.^{27,28} Wkłady z ceramiki tlenku cyrkonu można zastosować w odbudowach zębów przednich bez konieczności stosowania opakerów w celu zamaskowania odmiennego koloru filaru.²⁹⁻³¹

Do wad wkładów ceramicznych zaliczana jest kruchość oraz występowanie zjawiska transformacji odwrotnej, które polega na degradacji fazy tetragonalnej co może prowadzić do powstawania mikropęknięcia w strukturze materiału, a ostatecznie do pęknięcia odbudowy.³² W sytuacji pęknięcia wkładu koronowo-korzeniowego z ceramiki tlenku cyrkonu bardzo trudno go usunąć z wnętrza kanału.³³

Kolejną wadą jest słabe i nieprzewidywalne połączenie z cementami kompozytowymi, które wynika z braku obecności krzemionki w strukturze ceramiki tlenku cyrkonu. Może to skutkować ryzykiem powstania mikroprzecieku, a następnie reinfekcją tkanek okołowierzchołkowych.³⁴ W przypadku reinfekcji tkanek możliwość przeprowadzenia ponownego leczenia kanałowego w zębach odbudowanych z użyciem wkładów cyrkonowych jest znacząco ograniczona.

Odporność na złamania zębów odbudowanych indywidualnymi wkładami koronowo-korzeniowymi ceramicznymi

Liczne badania wykazały, że zęby, które są odbudowane indywidualnymi wkładami z ceramiki tlenku cyrkonu posiadają wyższą odporność na złamanie niż zęby rekonstruowane wkładami wykonanymi ze stopów metali oraz tworzyw sztucznych.^{1,12,13,35,36} Podkreślono, że zęby odtworzone z użyciem indywidualnych wkładów cyrkonowych charakteryzowały się wytrzymałością na wysoką wartość siły niszczącej w testach obciążenia statycznego,¹ a także wykazywały dużą odporność na złamanie w warunkach obciążenia cyklicznego.^{37,38} W swoich badaniach *Teixeira* i wsp. (2020) doszli do podobnych wniosków, podkreślając wyższą stabilność strukturalną zębów odbudowanych wkładami ceramicznymi.¹⁴

Badania metodą elementów skończonych pozwoliły stwierdzić, że sztywny materiał wkładu koronowo-korzeniowego wpływa na redukcję naprężeń w strukturach zęba. Zastosowanie obejmujące korony i oparcie rdzenia wkładu na powierzchni nośnej również powoduje zmniejszenie występowania naprężeń w obrębie korzenia.³⁹⁻⁴¹

Analiza pęknięć korzeni zębów odbudowywanych indywidualnymi wkładami z ceramiki tlenku cyrkonu

Większość badań wskazuje, że zęby odbudowane indywidualnymi wkładami koronowo-korzeniowymi z ceramiki tlenku cyrkonu, mimo wysokiej odporności na złamanie, najczęściej ulegają pęknięciom, które przebiegają poniżej poziomu szyjki zęba lub występują w postaci pionowych pęknięć korzeni (VRF – *vertical root fracture*). Taka lokalizacja pęknięcia uniemożliwia dalszą odbudowę i wiąże się z koniecznością ekstrakcji zęba.^{17,42} Do odmiennych wniosków doszli *Palepwad* i *Kulkarni*, którzy wskazali, że według ich

obserwacji wkłady cyrkonowe powodują korzystniejsze pęknięcia w porównaniu z wkładami lanymi.⁴³

Ze względu na kruchość oraz znaczną twardość materiału usunięcie wkładu cyrkonowego z wnętrza zęba jest bardzo trudne. Z tego powodu w przypadku uszkodzenia wkładu cyrkonowego, istnieje wysokie prawdopodobieństwo konieczności usunięcia zęba.

Trwałość zębów odbudowanych indywidualnymi wkładami koronowo-korzeniowymi ceramicznymi

Indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe z ceramiki tlenku cyrkonu wykazują przeżywalność podobną do wkładów metalowych lanych. Na podstawie 3-6-letnich obserwacji wkładów cyrkonowych stwierdzono wskaźnik przeżycia na poziomie 96% oraz wskaźnik sukcesu klinicznego wynoszący 94,2%.⁴⁴ Najczęściej w zębach odbudowanych wkładami cyrkonowymi występowały powikłania w postaci uszkodzenia i odcementowania korony, obecność okołowierzchołkowych zmian zapalnych oraz pęknięcia w obrębie korzenia.⁴⁵ Zastosowanie tych wkładów należy rozważyć w przypadku odbudowy zębów przednich ze względu na ich korzystną estetykę.⁴⁴

Indywidualne wkłady koronowo-korzeniowe z tworzyw sztucznych

Trzecią grupę spośród wszystkich omawianych stanowią wkłady koronowo-korzeniowe z tworzyw sztucznych. Spotykane są uzupełnienia wykonywane z materiałów takich jak: kompozyty wzmacniane włóknami (szklanymi, węglowymi, polietylenowymi, kwarcowymi), kompozyty hybrydowe CAD/CAM typu PICN, polieterketonketon (PEKK) czy polieteroetero- keton (PEEK).⁴⁶⁻⁴⁹

Indywidualne wkłady z materiałów polimerowych wykonywane cyfrowo dają możliwość przeprowadzenia szybkiego, jednowizytowego postępowania klinicznego. Zapewniają one

lepszą estetykę w porównaniu z wkładami wykonanymi ze stopów metali.

Wkłady kompozytowe wykonywane w technice CAD/CAM wykazują znacząco lepsze połączenie adhezyjne w porównaniu z wkładami wykonanymi w tej samej technologii z innych materiałów oraz prefabrykowanych wkładów FRC.⁵⁰ Autorzy wskazują, że przyczyną lepszej siły wiązania kompozytowych wkładów indywidualnych jest bardzo dobre dopasowanie do wnętrza kanału wraz z możliwością cyfrowego zaprojektowania miejsca na jednolitą warstwę cementu.⁵⁰ W przypadku PEEKu możliwości cementowania adhezyjnego są znacząco ograniczone ze względu na hydrofobowy charakter powierzchni o niewystarczającej przyczepności.^{32,51,52} Wadą wkładów z tworzyw sztucznych są niekorzystne właściwości mechaniczne.¹³

Odporność na złamania zębów odbudowanych indywidualnymi wkładami koronowo-korzeniowymi z tworzyw sztucznych

W zdecydowanej większości analizowanych badań indywidualne wkłady wykonane z tworzyw sztucznych wykazywały słabsze parametry wytrzymałościowe w porównaniu z wkładami metalowymi lub cyrkonowymi.^{13,20} Najwyższą odporność na złamanie posiadały indywidualne wkłady metalowe (856,1 N), następnie wkłady z włókna szklanego z kompozytowym zębem koronowym (655,2 N). Istotnie niższe wartości siły niszczącej zarejestrowano dla indywidualnych wkładów wykonanych w technologii CAD/CAM (402,7 N) oraz bezpośrednich wkładów kompozytowych (360,0 N), które charakteryzowały się najniższą wytrzymałością mechaniczną.

Badanie z 2024 r. analizujące odporność na złamanie zębów odbudowywanych wkładami estetycznymi wykonanymi w technologii CAD/CAM wskazuje, że największą odporność mają zęby odbudowane wkładami FRC (452,60 ± 105,90 N), następnie PICN (426,76 ±

77,99 N) najsłabiej zaś wypadały wkłady z materiału PEEK ($286,16 \pm 67,09$ N).⁵³

Zwraca się uwagę na istotne znaczenie technologii wykonania wkładów. *Nodehi* i wsp. oraz *Eid* i wsp. wskazali, że wkłady metalowe i kompozytowe wyprodukowane w technologii CAD/CAM wykazują większą odporność niż wkłady wykonywane metodami analogowymi.^{15,54}

Przegląd systematyczny *Campos* wskazał, że choć wkłady kompozytowe wykonywane techniką CAD/CAM charakteryzują się większą odpornością niż ich analogowe odpowiedniki i są korzystniejsze od prefabrykowanych wkładów kompozytowych, nadal ustępują materiałom ceramicznym.⁵⁵ Odmienne w badaniu z 2025 r. nie wykazano istotnych różnic pomiędzy wkładami kompozytowymi wykonywanymi cyfrowo (metodą druku oraz frezowania) a wkładami standardowymi indywidualizowanymi materiałem kompozytowym.⁵⁶ Ze względu na rozbieżności w analizowanym piśmiennictwie należy kontynuować badania oraz pogłębiać obserwacje kliniczne.

Analiza pęknięć korzeni zębów odbudowywanych indywidualnymi wkładami z tworzyw sztucznych

Zęby odbudowane wkładami wykonanymi z tworzyw sztucznych częściej ulegają pęknięciom o przebiegu korzystnym, zlokalizowanym w obrębie korony lub szyjki zęba, co umożliwia dalszą odbudowę. *Kahdar* i wsp. potwierdzili, że zęby zaopatrzone indywidualnymi wkładami kompozytowymi wykazują tendencję do pęknięć powyżej brzegu dziąsła.²¹

Do podobnych wniosków doszli *Kaya* i *Ergun*, którzy na podstawie własnych badań stwierdzili, że zastosowanie indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych z kompozytu wiąże się z rzadszym występowaniem pęknięć o przebiegu poddziąsłowym w porównaniu z wykorzystaniem wkładów z ceramiki tlenku cyrkonu.⁵⁷

Materiał PEEK nie ulega typowym pęknięciom. W przypadku obciążeń przekraczających granicę jego plastyczności wykazuje tendencję do odkształceń. W warunkach klinicznych może to objawiać się jako odcementowanie wkładu.^{58,59}

Zęby odbudowane wkładami koronowo-korzeniowymi z PEEKu najczęściej ulegają pęknięciom o przebiegu korzystnym z punktu widzenia możliwości dalszego leczenia.⁵⁹

Trwałość zębów odbudowanych indywidualnymi wkładami koronowo-korzeniowymi z tworzyw sztucznych

Wkłady z tworzyw sztucznych pod względem przeżywalności uzyskiwały znacząco słabsze wyniki w obserwacjach klinicznych w porównaniu z wkładami metalowymi lanymi oraz wkładami frezowanymi z ceramiki tlenku cyrkonu. Częściej powodowały także występowanie powikłań.⁴⁴

W przytoczonych badaniach wkłady wykonane z PEEKu charakteryzowały się niższą długoczasową skutecznością oraz częściej były obserwowane przypadki odcementowania pracy.⁴⁴ *Ghanem* i wsp. odnotowali w ciągu 12 miesięcy wskaźnik przeżycia dla wkładów z PEEKu na poziomie 66,7% przy wskaźniku sukcesu klinicznego wynoszącym 63,6%. W publikacji zestawiono te wyniki z grupą zębów odbudowanych wkładami z włókna szklanego. Porównywana grupa w tym samym okresie wykazała 100% utrzymanie wkładów oraz brak zgłoszonych powikłań.⁶⁰

Korzystniejsze wyniki kliniczne przedstawił *Wang*, który w okresie 3-letnim zaobserwował przeżywalność indywidualnych wkładów z PEEKu na poziomie 93,9%. Zauważono, że znaczący wpływ na powodzenie leczenia ma objętość zachowanych tkanek odbudowanego zęba.⁶¹ Rozbieżności w raportowanej trwałości wkładów z PEEKu wynikają najprawdopodobniej z różnic metodologicznych prowadzonych badań, selekcji przypadków oraz stosowanych

protokołów cementowania. Największą liczbę niepowodzeń odnotowano we wczesnym okresie klinicznym.

W 5-letnich obserwacjach zębów odbudowanych indywidualnymi kompozytowymi wkładami koronowo-korzeniowymi odnotowano przeżywalność kliniczną na poziomie 85,2%.⁶² W ciągu 15 lat odsetek utrzymania w jamie ustnej zębów odbudowanych wkładami koronowo-korzeniowymi metalowymi oraz kompozytowymi wzmocnionymi włóknami wynosił 60%. Różnice między badanymi grupami nie były istotne statystycznie.⁶³

Dwunastoletnia analiza *Martino* i wsp. wskazała, że niezależnie od materiału zastosowanego do wykonania wkładu, znaczącą rolę odgrywają czynniki, takie jak ilość pozostałych tkanek, pozycja zęba w łuku oraz rodzaj zastosowanego cementu.⁶⁴ *Lima* i wsp. wykazali, że rodzaj materiału zastosowanego wkładu nie wpływał tak na odporność na złamanie, jak obecność obręczy (*ferrule effect*) na obwodzie badanej próbki, która istotnie wpływa na redukcję naprężeń w zębach odbudowywanych wkładami koronowo-korzeniowymi co zwiększa szansę na uzyskanie sukcesu klinicznego.⁶⁵

Wnioski

1. Wkłady koronowo-korzeniowe lane przez długi czas były metodą z wyboru w odtworczym leczeniu zębów z dużym zniszczeniem twardych tkanek. Charakteryzują się one wysoką wytrzymałością oraz zdolnością przenoszenia dużych sił zgryzowych. Ich zastosowanie wiąże się jednak z ryzykiem powstania pęknięć poddziąsłowych, które w większości przypadków skutkują koniecznością ekstrakcji, a w korzystniejszej sytuacji – przeprowadzeniem zabiegu chirurgicznego wydłużenia korony klinicznej bądź ekstruzji ortodontycznej. Istotną wadą tych wkładów jest również
2. zastosowanie ich w odcinku przednim, gdzie ze względów estetycznych koniecznym bywa stosowanie opakerów, zwłaszcza w przypadku pacjentów z wysokimi wymaganiami estetycznymi.
3. Indywidualne wkłady cyrkonowe wykonywane w technologii CAD/CAM zapewniają odbudowanym zębom lepszą estetykę oraz porównywalną odporność na złamania do wkładów lanych. Czyni to z nich realną alternatywę leczenia. Niestety kruchość ceramiki tlenku cyrkonu oraz trudność usunięcia wkładów cyrkonowych z wnętrza kanału w przypadku konieczności rewizji leczenia stanowią możliwe ograniczenia kliniczne.
4. Wkłady wykonywane z tworzyw sztucznych zapewniają niższą odporność na złamania w porównaniu z tymi wykonanymi z ceramiki tlenku cyrkonu czy stopów metali. Wykazują natomiast korzystniejszy charakter ewentualnych uszkodzeń oraz są łatwiejsze do usunięcia w porównaniu do wkładów z ceramiki tlenku cyrkonu. Wkłady z PEEKu ze względu na problemy z cementowaniem adhezyjnym oraz ich dużą elastycznością nie powinny być stosowane klinicznie.
5. Oprócz doboru materiału przyszłej odbudowy, kluczowym jest również wykonanie odpowiedniej preparacji, zachowanie *ferrule* oraz zaprojektowanie wkładu o odpowiedniej długości i szerokości. Wszystkie te czynniki wraz z indywidualnym planowaniem pracy protetycznej uwzględniającej pozycję zęba, objętość zachowanych tkanek, relacje zwarciowe czy obecność dysfunkcji i parafunkcji u danego pacjenta wpływają na sukces kliniczny. Złożoność tematu, dynamiczny rozwój materiałoznawstwa protetycznego oraz technik adhezyjnych obligują do dalszych obserwacji i zgłębiania literatury na temat wytrzymałości mechanicznej zębów odbudowywanych z zastosowaniem wkładów koronowo-korzeniowych.

Piśmiennictwo

1. *Hamitoglu B, Ozkurt-Kayahan Z*: Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with CAD-CAM milled and prefabricated post-and-core systems. *J Prosthodont* 2025.
2. *Farah RI, Aloraini AS, Al-Haj Ali SN*: Fabrication of custom post-and-core using a directly fabricated silicone pattern and digital workflow. *J Prosthodont* 2020; 29: 631-635.
3. *Jensen E, Sayardoust S*: Evaluation of internal fit in custom-made posts and cores fabricated with fully digital versus conventional techniques. *J Funct Biomater* 2024; 15: 389.
4. *Kanduti D, Korat L, Kosec T, Legat A, Ovsenik M, Kopač I*: Comparison between accuracy of posts fabricated using a digital CAD/CAM technique and a conventional direct technique. *Int J Prosthodont* 2021; 34: 212-220.
5. *Al-Qarni FD*: Customized post and cores fabricated with CAD-CAM technology – literature review. *Int J Gen Med* 2022; 15: 4771-4779.
6. *Perucelli F, Goulart da Costa R, Machado de Souza E, et al.*: Effect of half-digital workflows on the adaptation of custom CAD-CAM composite post-and-cores. *J Prosthet Dent* 2021; 126: 756-762.
7. *Dejak B*: Vademecum wykonywania protez stałych i ruchomych. Med Tour Press, Otwock 2020.
8. *Aggarwal V, Singla M, Miglani S, Kohli S*: Comparative evaluation of fracture resistance of structurally compromised canals restored with different dowel methods. *J Prosthodont* 2012; 21: 312-316.
9. *Michalakakis KX, Hirayama H, Sfolkos J, Sfolkos K*: Light transmission of posts and cores used for the anterior esthetic region. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004; 24: 462-469.
10. *Lisiecka MZ*: Allergic reactions in dental practice: classification of medicines, mechanisms of action and clinical manifestations. *Clin Rev Allergy Immunol* 2025; 68: 17.
11. *Iemsaengchairat R, Aksornmuang J*: Fracture resistance of thin wall endodontically treated teeth without ferrules restored with various techniques. *J Esthet Restor Dent* 2022; 34: 670-679.
12. *Türker SA, Özçelik B, Yılmaz Z*: Evaluation of the bond strength and fracture resistance of different post systems. *J Contemp Dent Pract* 2015; 16: 788-793.
13. *Direk A, Tekin S, Khurshid Z*: Fracture strength of CAD-CAM milled polyetheretherketone post-cores versus conventional post-cores – in vitro study. *PeerJ* 2024; 12: e18012.
14. *Teixeira KN, Duque TM, Maia HP, Gonçalves T*: Fracture resistance and failure mode of custom-made post-and-cores of polyetheretherketone and nano-ceramic composite. *Oper Dent* 2020; 45: 506-515.
15. *Nodehi D, Moraditalab A, Shafiee S, Sekandari S, Ahrari F*: Fracture resistance of endodontically treated premolars reconstructed by traditional casting and CAD-CAM milling post and cores. *Int J Dent* 2022; 2022: 6736303.
16. *Mou YB, Chen YM, Smales RJ, Yip KH*: Optimum post and tooth root diameters for a cast post-core system. *Am J Dent* 2009; 22: 311-314.
17. *Saad KB, Bakry SI, AboElhassan RG*: Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with two post-core systems in different post space diameters. *BMC Oral Health* 2023; 23: 992.
18. *Olloni T, Krasniqui TP, Xhajanka E*: Influence of zirconia and fiber posts with different lengths on fracture strength of maxillary central incisors restored with zirconia crowns. *Int J Comput Dent* 2024; 27: 161-167.
19. *Oulghazi I, El Yamani A, Morchad B*: Factors influencing vertical radicular fractures in teeth supported by metallic dental core – scoping

- review. *Clin Cosmet Investig Dent* 2024; 16: 101-114.
20. *Jrab B, Saleh AR, Al-Jadaa A, Jurado CA, Saeed MH, Afrashtehfar KI*: Fracture resistance of CAD/CAM tooth-colored versus cast metal post-and-core restorations in root-filled teeth. *Saudi Dent J* 2024; 36: 1215-1220.
21. *Khadar S, Sapkale K, Patil PG, Abrar S, Ramugade M, Huda F*: Fracture resistance and stress distribution pattern of different post-core systems in immature teeth. *Int J Dent* 2022; 2022: 2610812.
22. *Vire DE*: Failure of endodontically treated teeth – classification and evaluation. *J Endod* 1991; 17: 338-342.
23. *Figueiredo FE, Martins-Filho PR, Faria-e-Silva AL*: Do metal post-retained restorations result in more root fractures than fiber post-retained restorations? *J Endod* 2015; 41: 309-316.
24. *Gómez-Polo M, Llidó B, Rivero A, Del Río J, Celemín A*: Survival rate of teeth restored with metal prefabricated posts versus cast metal posts and cores. *J Dent* 2010; 38: 916-920.
25. *Mentink AG, Meeuwissen R, Käyser AF, Mulder J*: Survival rate and failure characteristics of all metal post and core restorations. *J Oral Rehabil* 1993; 20: 455-461.
26. *Balkenhol M, Wöstmann B, Rein C, Ferger P*: Survival time of cast post and cores – 10-year retrospective study. *J Dent* 2007; 35: 50-58.
27. *Vogler JAH, Billen L, Walther KA, Wöstmann B*: Conventional cast versus CAD-CAM post and core in a fully digital chairside workflow. *J Dent* 2023; 136: 104638.
28. *Altoman MS, Alamri MK, Alfaihi MA, Alqarni H, Kattadiyil MT*: CAD-CAM protocol for monolithic zirconia post and core fabrication. *J Prosthodont* 2025.
29. *Ozkurt Z, Işeri U, Kazazoğlu E*: Zirconia ceramic post systems – literature review and case report. *Dent Mater J* 2010; 29: 233-245.
30. *Francischone CE, D’Alpino PH, Garcia FC, Pereira JC*: Reconstruction of anterior teeth using aesthetic post and core and all-ceramic material. *Pract Proced Aesthet Dent* 2003; 15: 459-464.
31. *Hochstedler J, Huband M, Poillion C*: Porcelain-fused-to-metal post and core – esthetic alternative. *J Dent Technol* 1996; 13: 26-29.
32. *Pryliński M*: *Vademecum materiałoznawstwa protetycznego*. Med Tour Press, Otwock 2020.
33. *Mishra P, Raj S, Nikhil V*: Literature review on zirconia post system. *IP Ann Prosthodont Restor Dent* 2025; 11: 21-24.
34. *Usumez A, Cobankara FK, Ozturk N, Eskitascioglu G, Belli S*: Microleakage of endodontically treated teeth with different dowel systems. *J Prosthet Dent* 2004; 92: 163-169.
35. *Kalyoncuoğlu E, Ural C, Aydemir H, Aslan MA, Balkaya VJ*: Effect of one-piece post and core fabrication techniques on fracture strength. *Appl Biomater Funct Mater* 2015; 13: e253-e258.
36. *Abduljabbar T, Sherfudhin H, AlSaleh SA, et al.*: Fracture resistance of three post and core systems in endodontically treated teeth restored with all-ceramic crowns. *King Saud Univ J Dent Sci* 2012; 3: 33-38.
37. *Altinchi A, Hussein A, Saemundsson S, Clark W, Culp L, Sulaiman TA*: Anatomic CAD-CAM post-and-core systems – mastication simulation study. *J Prosthet Dent* 2024; 132: 586-591.
38. *Rahim NFA, Alawi R, Ariffin A, et al.*: Adaptation and fracture resistance of CAD-CAM zirconia posts in endodontically treated teeth. *Sci Rep* 2025; 15: 29792.
39. *Dejak B*: Porównanie wytrzymałości zębów odbudowanych za pomocą indywidualnych wkładów koronowo-korzeniowych i standardowych wkładów kompozytowych wzmac-

- nianych włóknami szklanymi. *Protet Stomatol* 2012; 60: 112-123.
40. *Ozcan N, Sahin E*: Fracture strength of all-ceramic core materials on zirconium posts. *Eur J Dent* 2013; 7: 455-460.
41. *Dejak B*: Wpływ kształtu powierzchni nośnej wkładu koronowo-korzeniowego na naprężenia powstałe w tkankach zęba. *Stomatol Współ* 1994; 5: 359-366.
42. *Pawar O, Marwaha J, Dass D, Arora V, Arya A, Tilokani A*: Fracture resistance in endodontically treated teeth restored with custom-milled zirconia versus prefabricated fiber posts. *Bioinformation* 2025; 21: 1865-1870.
43. *Palepwad AB, Kulkarni RS*: Fracture resistance of zirconia, glass-fiber and cast metal posts with different lengths. *J Indian Prosthodont Soc* 2020; 20: 202-207.
44. *Ying S, Chen S, Wang S, Xu L, Wang X, He F, Liu W*: Outcome of teeth restored with CAD/CAM zirconium dioxide post-cores. *BMC Oral Health* 2022; 22: 236.
45. *Yuen JJX, Beh YH, Saw ZK, Chua HS*: Clinical outcomes of nonmetallic customized post-and-core systems – systematic review. *J Endod* 2025.
46. *Sugio CYC, Rangel BT, Garcia AAMN, et al.*: Intra-radicular retention with custom designed CAD-CAM fibre-reinforced composite post-core – dental technique. *Prim Dent J* 2024; 13: 53-57.
47. *Dimitrova M, Vlahova A, Kazakova R*: Assessment of CAD/CAM fabrication technologies for post and core restorations – narrative review. *Medicina* 2024; 60: 748.
48. *Güven MÇ, Dayan SÇ, Yıldırım G, Mumcu E*: Custom and prefabricated PEKK post-core systems – bond strength evaluation. *Microsc Res Tech* 2020; 83: 804-810.
49. *Lalama M, Rocha MG, O'Neill E, Zoidis P*: Accuracy analysis between heat-pressed and CAD-CAM fabricated PEEK post-cores. *J Prosthodont* 2022; 31: 537-542.
50. *Ghanem MM, Leong XY, Veettil SK, et al.*: Do CAD-CAM fibre posts exhibit higher bond strength and fracture resistance than other types of posts? *BDJ Open* 2025; 11: 25.
51. *Wang B, Huang M, Dang P, Xie J, Zhang X, Yan X*: PEEK in fixed dental prostheses – application and adhesion improvement. *Polymers* 2022; 14: 2323.
52. *Attia MA, Shokry TE, Abdel-Aziz M*: Effect of surface treatments on the bond strength of milled PEEK posts. *J Prosthet Dent* 2022; 127: 866-874.
53. *Fathey IT, Azer AS, Abdelraheem IM*: Fracture resistance and failure mode of three esthetic CAD-CAM post-and-core restorations. *BMC Oral Health* 2024; 24: 523.
54. *Eid R, Juloski J, Ounsi H, et al.*: Fracture resistance and failure pattern of endodontically treated teeth restored with computer-aided design/computer-aided manufacturing post and cores – a pilot study. *J Contemp Dent Pract* 2019; 20(1): 56-63.
55. *Campos GB, Pellizzer EP, de Carvalho RF, et al.*: Are CAD-CAM milled glass fiber posts better than prefabricated posts? *J Prosthet Dent* 2024.
56. *El-Shorbagy HAES, Hussien GAE, Abel Sadek HM, Hamdy AM*: Fracture resistance of CAD-CAM milled, 3D-printed and customized fiber post-and-core systems. *BMC Oral Health* 2025; 26: 94.
57. *Kaya BM, Ergun G*: Effect of post length and core material on root fracture with respect to different post materials. *Acta Odontol Scand* 2013; 71: 1063-1070.
58. *Papia E, Brodde SAC, Beक्टर JP*: Deformation of polyetheretherketone with different thicknesses. *J Mech Behav Biomed Mater* 2022; 125: 104928.
59. *Özarslan M, Büyükkaplan UŞ, Özarslan MM*: Comparison of fracture strength of teeth restored with PEEK, zirconia and glass-fiber posts. *Int J Clin Pract* 2021; 75: e14440.
60. *Ghanem N, Ali H, Bahrlı N, Hassan H*:

- Clinical performance of custom-milled PEKK posts and cores – randomized pilot study. *Clin Exp Dent Res* 2024; 10: e854.
61. Wang X, Liu C, Liu Y, et al.: Clinical outcome of customized PEEK post-and-cores for residual root and crown. *Clin Exp Dent Res* 2025; 11: e70066.
62. Cloet E, Debels E, Naert I: Controlled clinical trial comparing glass-fiber composite cores versus wrought posts and cast cores – 5-year follow-up. *Int J Prosthodont* 2017; 30: 71-79.
63. Van Landuyt KL, Wouters E, Zicari F, et al.: Randomized controlled trial comparing glass-fiber versus metal posts in single-crowned teeth – 15-year follow-up. *J Dent* 2025; 156: 105694.
64. Martino N, Truong C, Clark AE, et al.: Retrospective analysis of survival rates of post-and-cores in a dental school setting. *J Prosthet Dent* 2020; 123: 434-441.
65. Lima MO, Ferretti MA, Caldas RA, Barão VAR, França FMG, Lima DANL, Martins LR, Aguiar FHB: Application of polyetheretherketone (PEEK) posts – evaluation of fracture resistance and stress distribution in the root: in vitro and finite element analyses. *Braz Oral Res* 2023; 37: e047.

Zaakceptowano do druku: 5.06.2026 r.

Adres autorów: 92-213 Łódź, ul. Pomorska 251.

© Zarząd Główny PTS 2026.