

# Ocena właściwości biomechanicznych układu implant – łącznik podczas funkcjonalnego obciążenia

## Evaluation of the biomechanical properties of the implant-abutment system during functional loading

**Bohdan Bączkowski<sup>1</sup>, Anna Ziębowicz<sup>2</sup>, Elżbieta Wojtyńska<sup>1</sup>,  
Elżbieta Mierzwińska-Nastalska<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny  
Department of Prosthodontics, Medical University of Warsaw  
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jolanta Kostrzewa-Janicka

<sup>2</sup> Wydział Biomateriałów i Urządzeń Medycznych Politechniki Śląskiej  
Department of Biomaterials and Medical Appliances, Silesian University of Technology  
Kierownik: prof. dr hab. inż. Zbigniew Paszczenka

---

---

### HASŁA INDEKSOWE:

implanty, łączniki hybrydowe, łączniki ceramiczne, obciążenie funkcjonalne, badania zmęczeniowe

---

---

---

---

### KEY WORDS:

implants, hybrid implant abutments, ceramic implant abutments, functional load fatigue tests

---

---

### Streszczenie

**Wprowadzenie.** W badaniach symulacyjnych<sup>1</sup> skupiono się głównie na wynikach żywotności konstrukcji i rozkładu naprężeń. Konieczne zatem było przeprowadzenie cyklicznych zmęczeniowych badań doświadczalnych, weryfikujących wyniki badań MES.

**Cel pracy.** Ocena właściwości biomechanicznych układu implant - łącznik hybrydowy oraz implant - łącznik całoceramiczny podczas funkcjonalnego obciążenia.

**Materiał i metoda.** Materiał do badań obejmował 10 łączników indywidualnych hybrydowych metalowo-ceramicznych oraz 10 ceramicznych łączników indywidualnych wykonanych z tlenku cyrkonu (Robocam, Polska). Część ceramiczną łącznika hybrydowego wykonano również z materiału Robocam. Badania zmęczeniowe przeprowadzono w dwóch układach korzystając ze stanowiska pomiarowego. W pierwszym zbadano układ implant – śruba – łącznik hybrydowy, w drugim implant – śruba – łącznik całoceramiczny. Ocenie poddano żywot-

### Summary

**Introduction.** The simulation studies<sup>1</sup> focused mainly on the results of the structure and stress distribution. Therefore, it was necessary to carry out cyclic fatigue experimental tests to verify the results of MES analysis.

**Aim of the study.** To evaluate the biomechanical properties of the implant-hybrid abutment and implant-all-ceramic abutment during functional load.

**Material and method.** The study material included ten individual hybrid metal-ceramic abutments and ten individual ceramic abutments made of zirconium oxide (Robocam, Poland). Fatigue tests were carried out in two systems using a measuring stand. In the first one, the implant-screw-hybrid abutment system was examined, and in the second one, implant-screw-all-ceramic abutment system. The lifetime of the system elements was assessed, differentiated by the material from which the connector was made. Layouts were placed in the MTS Criterion dynamic testing machine (USA) at an angle of 30°

ność elementów systemu różnicując na materiał z którego wykonany był łącznik. Układy zostały umieszczone w dynamicznej maszynie wytrzymałościowej MTS Criterion (USA) pod kątem  $30^\circ$  do osi głównej implantu. Właściwości zmęczeniowe określano poprzez zbadanie 5 próbek każdego układu dla stałej wartości amplitudy. W obciążeniu dynamicznym układy z łącznikiem hybrydowym i łącznikiem ceramicznym poddano cyklowi  $5 \times 10^6$  ( $n_F$ ) w amplitudzie obciążenia 20-200 N przy częstotliwości 15 Hz w temperaturze  $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ .

**Wyniki.** Wyniki przedstawiono na wykresie liczby cykli obciążenia przez jakie każdy z układu zachował trwałość (w skali logarytmicznej) i odpowiadających im wartości amplitudy obciążenia (w skali liniowej). Układ z łącznikiem hybrydowym wytrzymał zakładaną liczbę cykli  $n_F$  podczas gdy łącznik ceramiczny nie wytrzymał zakładanej liczby cykli, utrata stabilności występowała średnio po 4,6 mln cykli.

**Wnioski.** Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować o bezpiecznym zastosowaniu łącznika hybrydowego w warunkach jamy ustnej, w odróżnieniu od łącznika całoceramicznego, który nie wytrzymał zadanych obciążeń.

to the axis of the implant. Fatigue properties were determined by testing five samples of each system for a constant value of the amplitude. Under dynamic load, systems with a hybrid abutment and with a ceramic connector were cycled  $5 \times 10^6$  ( $n_F$ ) with a load amplitude of 20-200 N at a frequency of 15 Hz at a temperature of  $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ .

**Results.** The results are presented in a graph of the number of load cycles for which each system maintained durability (on a logarithmic scale) and the corresponding load amplitude values (on a linear scale). The system with the hybrid connector remained durable during the assumed number of cycles, while the ceramic abutment failed the assumed number of cycles, with the loss of stability occurring after an average of 4.6 million cycles.

**Conclusions.** Based on the obtained results, it can be concluded that the hybrid abutment can be safely used in the oral cavity, unlike the all-ceramic abutment, which failed to withstand the tested loads.

## Wprowadzenie

W poprzednio opublikowanej pracy<sup>1</sup> podjęto próbę określenia przydatności łączników w praktyce klinicznej, na podstawie badań symulacyjnych oceny rozkładu naprężeń w układzie implant – łącznik hybrydowy oraz implant – łącznik całoceramiczny. Dowiedziono, że zarówno układ całoceramiczny, jak również układ hybrydowy nie przekroczyły granicy plastyczności materiału. Wyniki uzyskane w badaniu symulacyjnym (MES) potwierdziły nieskończoną trwałość konstrukcji.

W badaniu MES przeprowadzono symulację żywotności konstrukcji badanych układów. Uzyskane wyniki minimalnych wartości wytrzymałości świadczą o jej stabilności.

Należy jednak mieć na uwadze, że są to badania o charakterze wyłącznie symulacyjnym, które nie odzwierciedlają całkowicie złożonych warunków, jakie mają miejsce w jamie ustnej. Rozkład naprężeń zależy od wielu czynników, między innymi od modułu elastyczności kęsa pokarmowego, kierunku działania sił, które zmieniają się podczas kolejnych faz aktu żucia.<sup>2</sup> Doświadczenia symulacyjne miały na celu sprawdzenie założeń dotyczących możliwości zastosowania obydwu rodzajów łączników. W celu weryfikacji wyników otrzymanych w badaniu symulacyjnym w obecnej pracy przedstawiono badania zmęczeniowe.

Zmęczeniem materiału określa się stan, w którym uszkodzenie następuje przy liczbie

cykli obciążenia mniejszej niż 1000. Procesy uszkodzenia zmęczeniowego dzielone są na trzy etapy: inicjacja mikropęknięcia, propagacja rys zależna od stanu naprężeń w elemencie, właściwe pęknięcie w wyniku utraty stabilności rysy następuje zniszczenie materiału. Pojawienie się efektów inicjacji, jest stanem który dyskwalifikuje układ implant – łącznik do dalszej eksploatacji w jamie ustnej. W badaniach symulacyjnych skupiono się głównie na wynikach żywotności konstrukcji i rozkładu naprężeń. Konieczne zatem było przeprowadzenie cyklicznych zmęczeniowych badań doświadczalnych, prezentowanych w obecnej pracy.

## Cel pracy

Ocena właściwości biomechanicznych układu implant – łącznik hybrydowy oraz implant – łącznik całoceramiczny podczas funkcjonalnego obciążenia.

## Materiał i metoda

Materiał do badań biomechanicznych obejmował 10 łączników indywidualnych hybrydowych metalowo-ceramicznych oraz 10 ceramicznych łączników indywidualnych wykonanych z tlenku cyrkonu (Robocam, Polska). Wzorzec dla frezowania łączników całoceramicznych został określony na podstawie cech geometrycznych łącznika hybrydowego. Część ceramiczną łącznika hybrydowego wykonano również z materiału Robocam. Łączniki osadzono w implantach Replace Select Tapered Rp o średnicy 4,3 mm (Nobel Biocare, Szwecja).

W celu oceny właściwości biomechanicznych układu implant – łącznik hybrydowy oraz implant – łącznik całoceramiczny podczas funkcjonalnego obciążenia, przeprowadzono badania zmęczeniowe.

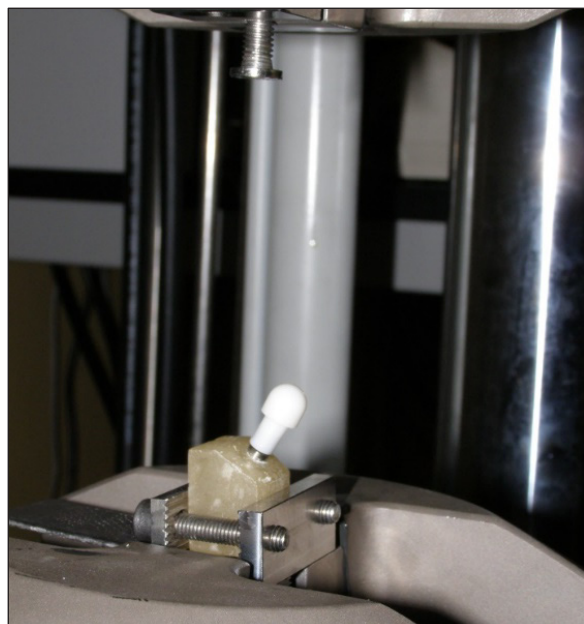
## Doświadczalna analiza badań zmęczeniowych

W celu określenia wytrzymałości konstrukcji w warunkach laboratoryjnych przeprowadzono badania zmęczeniowe w dwóch układach korzystając ze stanowiska pomiarowego (ryc. 1, 2). W pierwszym zbadano układ implant – śruba – łącznik hybrydowy, w drugim implant – śruba – łącznik całoceramiczny. Badania przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 14801:2008. Ocenie poddano żywotność elementów systemu różnicując na materiał z którego wykonany był łącznik. Norma ISO dotyczy dynamicznych badań zmęczeniowych dentystycznych implantów śródkostnych. Uwzględnia ona opis parametrów pracy implantu w warunkach obciążeń dynamicznych, które są określane jako najbardziej niekorzystne. Przed rozpoczęciem badania dokonano obserwacji mikroskopowej stanu powierzchni łączników oraz śrub łączących. Implanty zostały zatopione w żywicy o wartości modułu Younga zbliżonym do modułu Younga kości ludzkiej w taki sposób aby zachować odległość od nominalnego poziomu kości wynoszącego 3 mm. Następnie zamocowano układ w uchwycie wykonanym specjalnie na potrzeby badania. Układ ten został umieszczony w dynamicznej maszynie wytrzymałościowej MTS Criterion (USA) pod kątem 30° do osi głównej implantu, co było zgodne z wymogami normatywnymi. Schemat przyłożenia siły w próbie zmęczeniowej i parametry doświadczenia przedstawiono w tabeli 1 oraz na rycinach 1 i 2.

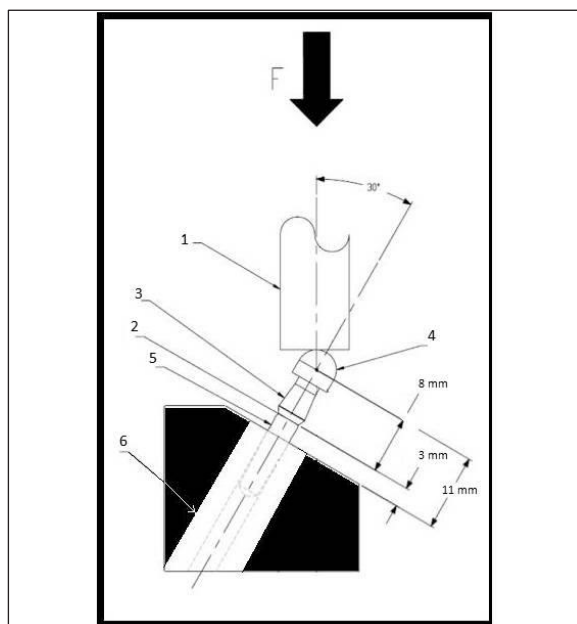
Właściwości zmęczeniowe określano poprzez zbadanie 5 próbek każdego układu dla stałej wartości amplitudy. Łączniki zostały dokręcone kluczem dynamometrycznym zgodnie z zaleceniami producenta: 25 Ncm dla łączników całoceramicznych i 35 Ncm dla łączników hybrydowych. Układ poddano obciążeniom dynamicznym. W obciążeniu dynamicznym układy z łącznikiem hybrydowym i łącznikiem ceramicznym poddano cyklem  $5 \times 10^6$

T a b e l a 1. Warunki badania w próbie zmęczeniowej

	Warunki badania (zgodne z ISO 14801)
Siła obciążająca [N]	badanie dynamiczne 20-200 [N]
Liczba cykli [ $n_F$ ]	$5 \times 10^6$
Częstotliwość	15 Hz
Środowisko	powietrze o temperaturze $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$



Ryc. 1. Stanowisko pomiarowe. PN-EN ISO 14801:2008.



Ryc. 2. Części składowe układu. 1 – obciążenie, 2 – platforma tytanowa łącznika, 3 – łącznik cyrkonowy, 4 – czasza kulista 5 – implant, 6 – żywica PMMA.

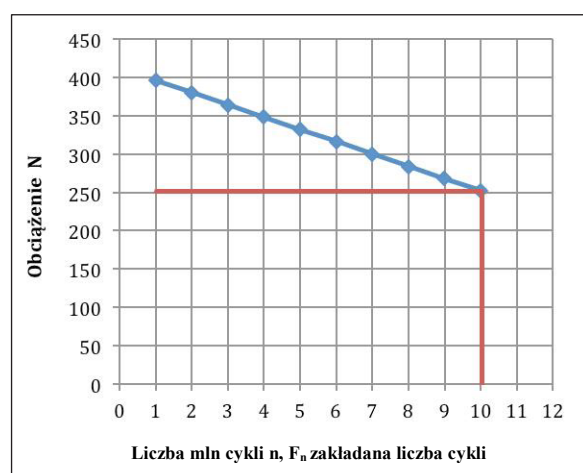
( $n_F$ ) w amplitudzie obciążenia 20-200 N przy częstotliwości 15 Hz w temperaturze  $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ . Warunki te odpowiadają w przybliżeniu w pełni funkcjonalnej obecności implantu w jamie ustnej w okresie 9 lat.

## Wyniki

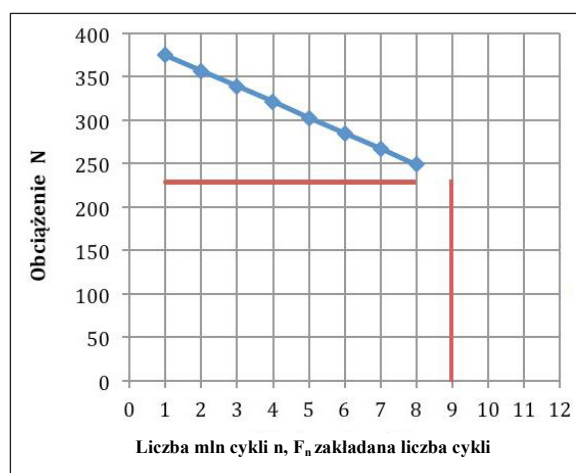
Badania zmęczeniowe układów prowadzono przy cyklicznie zmiennym obciążeniu, o z góry określonej amplitudzie i rejestrowano liczbę cykli do wystąpienia niestabilności układu.

Wyniki przedstawiono na wykresie liczby cykli obciążenia przez jakie każdy z układu zachował trwałość (w skali logarytmicznej) i odpowiadających im wartości amplitudy obciążenia (w skali liniowej) (ryc. 3).

Z wykresu obciążenie – liczba cykli wyznaczono granice zmęczenia układów, jako maksymalne obciążenie, przy którym nie pojawia się zmęczenie nawet przy nieskończonej liczbie cykli obciążania, lub przy liczbie cykli  $5 \times 10^6$  wybranej w celu zakończenia badania, które nie zakończyło się zniszczeniem. Każdy punkt



Ryc. 3. Zależność obciążenia od liczby cykli dla łącznika hybrydowego.

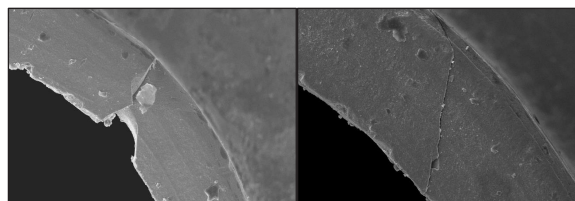


Ryc. 4. Zależność obciążenia od liczby cykli dla łącznika całoceramicznego.

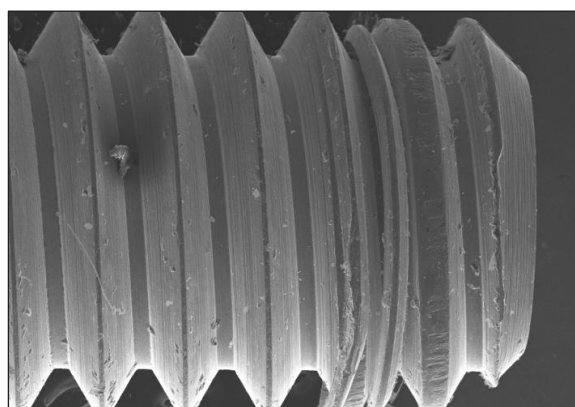
reprezentuje wynik dla badanego układu implant – łącznik.

Obciążeniem odpowiadającym granicy zmęczenia jest wartość  $F_{FL}$  wynosząca odpowiednio 276 N dla układu implant – łącznik hybrydowy i 217 N z łącznikiem ceramicznym. Należy zaznaczyć, że układ z łącznikiem hybrydowym wytrzymał zakładaną liczbę cykli  $n_F$  i badanie to zostało przerwane bez zaobserwowania utraty stabilności połączenia elementów układu. Łącznik ceramiczny nie wytrzymał natomiast zakładanej liczby cykli. Utrata stabilności występowała średnio po 4,6 mln cykli. Uzyskano również niższą wartość granicy zmęczenia wynoszącą średnio 217 N. Stabilność tracona była na drodze pęknięcia elementu ceramicznego w gnieździe implantu lub też na skutek zerwania gwintu śruby łączącej i następnego luzowania się całoceramicznego łącznika i jego pęknięcia (ryc. 4).

Wskazuje to na zbyt słabą wytrzymałość tego typu konstrukcji w warunkach jamy ustnej. Po badaniach zmęczeniowych zweryfikowano stan powierzchni w mikroskopie elektronowym. Otrzymane obrazy elementów poddawanych uprzednio obciążeniu potwierdzają wyniki badań (ryc. 5, 6)



Ryc. 5. Obraz w mikroskopie SEM łącznika całoceramicznego; widoczne pęknięcie elementu.



Ryc. 6. Obraz w mikroskopie SEM śruby łącznika; widoczne pęknięcie gwintu.

## Dyskusja

W badaniach metodą elementów skończonych (MES) przeprowadzono symulację żywotności konstrukcji badanych układów. Żaden z układów zarówno całoceramiczny,

jak i hybrydowy nie przekroczył granicy plastyczności materiału.<sup>1</sup> W celu weryfikacji wyników otrzymanych w badaniu symulacyjnym wykonano badania zmęczeniowe, które wykazały ograniczoną przydatność łącznika całoceramicznego. Według badań *Dejak*<sup>2</sup> rozkład naprężeń zależny jest między innymi od modułu elastyczności kęsa pokarmowego i kierunku działania sił żucia, które są zmienne podczas kolejnych faz aktu żucia. Ze względu na planowane w obecnej pracy doświadczenie zmęczeniowe, dotyczące żywotności konstrukcji wg normy ISO 14801,<sup>3</sup> w którym to kierunku działania siły odchylony jest od osi długiej konstrukcji o 30° zdecydowano o zastosowaniu uproszczonego modelu MES. Prowadzenie badań zmęczeniowych wiązało się z wyznaczeniem wielu parametrów wejściowych dla wykonania eksperymentu. Próbę taką przeprowadzali także inni autorzy zajmujący się zagadnieniami obciążania wszczepów śródkostnych i ich łączników w warunkach *in vitro*.<sup>4-6</sup>

Długość czasu w jakim obciążony wszczep pozostaje w jamie ustnej oraz rokowanie co do jego przetrwania można oceniać klinicznie i radiologicznie. W badaniach *in vitro* odnoszących się do norm można jedynie symulować zachowanie się wszczepu w warunkach zbliżonych do fizjologii. Badania te jednak mogą dać odpowiedź co do przydatności danego rozwiązania w długoczasowym zastosowaniu klinicznym. Wyniki przeprowadzonej próby wskazują jednoznacznie na małą przydatność łącznika całoceramicznego, który nie wytrzymał zakładanej liczby obciążeń. Utrata stabilności układu występowała średnio po 4,6 mln cykli. Zaznaczyć należy, że żadna z próbek nie wytrzymała zadanego czasu testowania. Zagrożenie uszkodzeniami mechanicznymi może wzrastać podczas rozwijania w obszarze koron opartych na implantach maksymalnych i nieosiowych sił żucia. Dochodzić może wtedy do uszkodzeń mechanicznych wywołanych dużymi stanami

naprężeń poszczególnych składowych układu. Najbardziej podatnym elementem na uszkodzenia jest śruba łącznika implantu. W przypadku łączników całoceramicznych wykonanych z materiału Robocam następowały uszkodzenia i pęknięcia elementu ceramicznego w gnieździe implantu, co powodowało niszczenie śruby mocującej łącznik. Skutkowało to przedwczesnym luzowaniem elementów układu i utratą stabilności. Stopień podatności na luzowanie połączenia śrubowego zależy od charakterystyki gwintu i wartości momentu dokręcania.<sup>7,8</sup> Oba rodzaje łączników były przykręcane takimi samymi śrubami do takich samych implantów, a różniły się tylko momentem dokręcania (zgodnie z zaleceniami producenta). Domniemywać należy, że powodem niszczenia ceramicznej części wpustowej było luzowanie się połączenia śrubowego ze względu na mniejszy moment dokręcania powodowany obawą o zniszczenie platformy ceramicznej podczas czynności dokręcania łącznika. Łącznik hybrydowy wytrzymał przewidziane normą warunki obciążania cyklicznego i w żadnym z przypadków nie uległ odkręceniu i zniszczeniu.

*Junker* i wsp. oraz *Bickford*<sup>9,10</sup> przedstawili teorię, że luzowanie śruby łącznika powstaje w efekcie ruchów wibracyjnych w płaszczyźnie poprzecznej. Ruchy te powodują utratę kontaktu w okolicy głowicy śruby. Śruba tworzy płaszczyznę połączenia, która poprzez zmniejszenie sił tarcia ślizga się w dół powodując niszczenie gwintu, co w efekcie zmniejsza siłę zacisku. W badaniach przeprowadzonych w pracy własnej zaobserwowano podobny mechanizm niszczenia połączenia gwintowanego śruby łącznika.

Siły obciążające zęby, rozwijane w układzie stomatognatycznym w odcinku przednim wahają się pomiędzy 150 N do 290 N.<sup>11,12</sup> W badaniach *in vivo* prowadzonych dla porównania właściwości łączników cyrkonowych z tlenku glinu i tytanu osiągnięto średnie maksymalne

wartości sił niszczących na poziomie odpowiednio 239 N.<sup>13</sup> Zatem przyjęta do badań w pracy własnej zmęczeniowa amplituda sił pomiędzy 20 a 200 N wydaje się być zasadna jako symulacja warunków panujących w jamie ustnej podczas aktu żucia. W pracy *Butz* i wsp.<sup>14</sup> znamionym wydaje się być wynik osiągnięty w przypadku łącznika tytanowego przekraczającego znacznie wartości potrzebne do zniszczenia pozostałych łączników. W konkluzji do swoich badań autorzy zalecają stosowanie łączników ceramicznych z tytanową bazą, co pokrywa się z wynikami zawartymi w niniejszej pracy. Pod uwagę należy brać również typ połączenia implantu z łącznikiem. *Truninger* i wsp.<sup>6</sup> wykazali, że istnieje zależność pomiędzy typem połączenia oraz materiałem, z którego wykonany jest łącznik. Ciekawym wydaje się być wynik świadczący o większej wytrzymałości łączników całoceramicznych z połączeniem wewnętrznym niż posiadających połączenie typu hex zewnętrzny.<sup>4,15</sup> W badaniach porównawczych pomiędzy łącznikami całocermicznymi wykonanymi w technologii klasycznej i „platform switching”, te ostatnie wykazały większą odporność na uszkodzenia.<sup>4</sup>

W podsumowaniu należy stwierdzić, że na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych łączniki hybrydowe metalowo-ceramiczne mogą gwarantować uzyskanie lepszych długoczasowych wyników leczenia protetycznego z zastosowaniem uzupełnień opartych na implantach. Zarówno wyniki badań szczelności brzeżnej połączenia implant – łącznik,<sup>1,16</sup> jak i obecna próba zmęczeniowa przedkładają łączniki hybrydowe jako bardziej bezpieczne w zastosowaniu klinicznym niż łączniki całoceramiczne. Łącznik hybrydowy w badaniu zmęczeniowym wytrzymał zakładaną liczbę cykli, w przybliżeniu równą dziewięciu latom użytkowania, tym samym udowadniając możliwość bezpiecznego zastosowania w warunkach jamy ustnej.

W badaniach planowanych w przyszłości należałoby poddać długoczasowej ocenie proces starzenia i zużycia się materiału, a także sposoby łączenia elementów łącznika hybrydowego w aspekcie oczekiwanej wytrzymałości układu. Proces starzenia się cyrkonu, szczególnie w środowisku jamy ustnej, jest zagadnieniem dotychczas nie do końca zbadanym. Zjawisko to może mieć znaczący wpływ na jego właściwości mechaniczne. Dodatkowo czynniki, takie jak wilgoć i obciążenia mechaniczne mogą przyspieszać ten proces.<sup>5,11,17-21</sup>

## Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzonej próby zmęczeniowej można wnioskować o bezpiecznym zastosowaniu łącznika hybrydowego w warunkach jamy ustnej, w odróżnieniu od łącznika całoceramicznego, który nie wytrzymał zadanych obciążeń.

## Piśmiennictwo

1. *Bączkowski B, Ziębowicz A, Mierzwińska-Nastalska E*: Ocena właściwości mechanicznych w symulacji rozkładu naprężeń w układzie implant – łącznik. *Protet Stomatol* 2023; 73, 1: 29-37.
2. *Dejak B*: Ocena naprężeń w zębach trzonowych podczas trójwymiarowej symulacji żucia i zaciskania zębów. *Protet Stomatol* 2007; LVII, 4: 260-268.
3. PN-EN ISO 14801:2008 Stomatologia – Implanty – badania zmęczeniowe śródkostnych implantów dentystycznych.
4. *Leutert C, Stawarczyk B, Truninger T*: Bending moments and types of failure of zirconia and titanium abutments with internal – abutment connections: a laboratory study. *Int J Oral Maxillofac Impl* 2012; 27, 3: 505-512.
5. *Muhlemann T, Truninger T, Stawarczyk B*: Bending moments of zirconia and titanium implant abutments supporting all-ceramic

- crowns after aging. *Clin Oral Impl Res* 2014; 25: 74-81.
6. *Truninger T, Stawarczyk B, Lautert CH*: Bending moments of zirconia and titanium abutments with internal and external implant-abutment connections after aging and chewing simulation. *Clin Oral Impl Res* 2012; 23: 12-18.
  7. *Wierszycki M*: Numeryczna analiza wytrzymałościowa wszczepów uzębienia oraz segmentu kręgosłupa ludzkiego. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska 2007.
  8. *Gratton DG, Aquilino SA, Stanford CM*: Micromotion and dynamic fatigue properties of the dental implant-abutment interface. *J Prosthet Dent* 2001; 85: 47-52.
  9. *Junker GH, Wallace PW*: The bolted joint: economy of design through improved analysis and assembly methods. *Proc Inst Mech Eng* 1984; 255-266.
  10. *Bickford J*: An introduction to the design and behavior of bolted joints. New York, Marcel Dekker 1981; 528-542.
  11. *Guess K, Att W, Strub J*: Zirconia in fixed implant. *Prost J Comp* 2010, Wiley Period Inc: 1-13.
  12. *Kiliardis S, Kjellberg H, Wennberg B*: The relationship between maximal bite force endurance and facial morphology during growth. A cross sectional study. *Acta Odontol Scand* 1993; 51: 323-331.
  13. *Nothdurft FP, Doppler KE, Erdelt KJ*: Influence of artificial aging on the load-bearing capability of straight or angulated zirconia abutments in implant/tooth-supported fixed partial dentures. *Int J Oral Maxillofac Impl* 2010; 25, 5: 991-998.
  14. *Butz F, Hydecke G, Okutan M*: Survival rate, fracture strength and failure of ceramic implant abutments after chewing simulation. *J Oral Rehabil* 2005; 32: 838-843.
  15. *Khraisat, Stegaroiu R, Nomura S*: Fatigue resistance of two implant/abutment joint design. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 604-610.
  16. *Bączkowski B, Wojtyńska E, Mierzińska-Nastalska E*: Ocena szczelności brzeżnej elementów antyrotacyjnych w układzie implant – łącznik hybrydowy oraz implant – łącznik całoceramiczny. *Protet Stomatol* 2021; 71, 1: 59-66.
  17. *Okoński P, Lasek K, Mierzińska-Nastalska E*: Kliniczne zastosowanie wybranych materiałów ceramicznych. *Protet Stomatol* 2012; LXII, 3: 181-189.
  18. *Piosik A, Gajdus P, Hędzielek W*: Zastosowanie łączników cyrkonowych w leczeniu implantoprotetycznym – przegląd piśmiennictwa. *Protet Stomatol* 2013; LXIII, 6: 459-465.
  19. *Kelly JR., Denry I*: Stabilized zirconia as a structural ceramics; an overview. *Dent Mater J* 2008; 24: 289-298.
  20. *Manicone PF, Rossi Iometti P, Rafaelli L*: An overview of zirconia ceramics basic properties and clinical applications. *J Dent* 2007; 35: 819-826.
  21. *Górowski K, Orczykowska M, Pihut M*: Nowoczesne materiały na bazie tlenku cyrkonu: właściwości optyczne i mechaniczne – przegląd piśmiennictwa *Protet Stomatol* 2021; 71(4): 392-400.

Zaakceptowano do druku: 10.06.2023 r.

Adres autorów: 02-097 Warszawa, ul. Binieckiego 6.

© Zarząd Główny PTS 2023.