

# Porównanie odporności na złamania koron monolitycznych cienkościennych i pełnokonturowych z ceramik tlenku cyrkonu

## Comparison of fracture resistance of monolithic thin-walled and full-contour zirconia crowns

*Beata Dejak<sup>1</sup>, Cezary Langot<sup>1</sup>, Michał Krasowski<sup>2</sup>, Bartłomiej Konieczny<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Zakład Protetyki Stomatologicznej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi  
Kierownik: dr hab. B. Dejak, prof. nadzw.

<sup>2</sup> Uczelniane Laboratorium Badań Materiałowych Uniwersytetu Medycznego w Łodzi  
Kierownik: prof. dr hab. J. Sokołowski

---

---

### HASŁA INDEKSOWE:

ceramiki tlenku cyrkonu, tlenek cyrkonu o wysokiej przezierności, korony monolityczne, odporność na złamanie

---

---

---

---

### KEY WORDS:

zirconia ceramics, transparent zirconia, monolithic crowns, fracture resistance

---

---

### Streszczenie

**Wstęp.** Korony monolityczne, pełnokonturowe z tlenku cyrkonu stają się alternatywą dla koron złożonych, konwencjonalnych opartych na rdzeniu z tlenku cyrkonu w zębach bocznych. Wymagają znacznie mniejszego opracowania tkanek twardych zębów, nie odłamuje się od nich ceramika licująca. Korony te są wykonywane z bardziej przeziernego tlenku cyrkonu, dzięki temu ich estetyka jest akceptowalna. Nie wiadomo jednak, w jaki sposób zmiana struktury tlenku cyrkonu wpływa na jego wytrzymałość.

**Cel pracy.** Celem pracy była ocena odporności na złamanie koron cienkościennych i pełnokonturowych wykonanych z tlenku cyrkonu.

**Materiał i metoda.** Badaniu poddano 40 koron z tlenku cyrkonu podzielonych na 4 grupy po 10 próbek każda: konwencjonalnego tlenku cyrkonu (Ceramill Zi, Amman Girrback) – CZi cienkościenne (o grubości 0,5 mm) i FZi pełnokonturowe (o grubości 1,5 mm) oraz wykonane z przeziernego tlenku cyrkonu (Ceramill Zolid, Amman

### Summary

**Introduction.** Monolithic full zirconia crowns become a alternative for conventional zirconia-based ceramic crowns for restoration of posterior teeth. This kind of restoration requires more conservative teeth preparation, moreover, there are no complications, such as ceramic chipping. The crowns are made of more translucent zirconium oxide to ensure acceptable esthetics. However, there are no evidence how the changes in the structure of monolithic zirconia influence the strength.

**Aim of the study.** To investigate the fracture strength of thin-walled and full-contour crowns made of zirconium dioxide.

**Materials and method.** Forty zirconium oxide crowns, divided into 4 groups of 10 samples each, were used in strength investigations. Crowns were made of conventional zirconium dioxide (Ceramill Zi, Amman Girrback): group CZi – thin-walled (thickness, 0.5 mm), group FZi – full-contour (thickness – 1.5 mm), and translucent

Girrbach) – cienkościennie CZol i pełnokonturowe FZol. Korony zostały wykonane techniką CAD/CAM. Przeprowadzono badanie odporności na złamanie koron w teście ściskania w uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej (Zwick Roell Z020). Dla wszystkich próbek rejestrowano wykres zależności siły do przemieszczenia głowicy zakończonej kulą o średnicy 3,5mm. Obliczono średnią siłę niszczącą dla każdej badanej grupy. Wyniki poddano analizie statystycznej. Przebieg badania był filmowany, a po jego zakończeniu przeprowadzono analizę faktograficzną próbek w celu określenia charakterystyki ich uszkodzenia.

**Wyniki.** Średnia odporność na złamanie w grupie koron pełnokonturowych wykonanych z Ceramiki konwencjonalnej tlenku cyrkonu FZi wyniosła 1290±33 N. Dla grupy koron FZol średnia odporność na złamanie wyniosła 1180±19,9 N, dla grupy CZi – 409±34,3 N, a dla grupy CZol – 319±30,4 N. Stwierdzono statystycznie znaczącą różnicę pomiędzy wartościami średnich sił uszkadzających dla koron pełnokonturowych i cienkościennych ( $p=0,05$ ). Większość koron (ok. 70%) ulegało punktowemu uszkodzeniu w obrębie powierzchni zgryzowej z zachowaniem ścian osiowych.

**Wnioski.** Korony z transparentnej ceramiki tlenku cyrkonu wykazują niższą odporność na złamanie niż korony z konwencjonalnego tlenku cyrkonu. Wytrzymałość monolitycznych koron z tlenku cyrkonu zależy od ich grubości. Im ściany tych uzupełnień są grubsze tym korony są bardziej odporne na złamanie.

Ceramika tlenku cyrkonu stabilizowanego tlenkiem itru 3Y-TZP składa się z 97%mol ZrO<sub>2</sub> i 3%mol Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.<sup>1</sup> Kryształy ZrO<sub>2</sub> tworzą ziarna o przeciętnej wielkości 0,5-1µm. Materiał ten jest bardzo sztywny – moduł Younga wynosi 210 GPa<sup>2</sup> i bardzo twardy – twardość wg Vickersa wynosi około 1340 HV.<sup>3</sup> Jak na ceramikę ma wysoką wytrzymałość na zginanie (w granicach od 840<sup>4</sup> do 1200MPa<sup>5</sup>) i małą kruchość (współczynnik intensywności naprężeń ma wartość 9-10 MPa\*m<sup>1/2</sup>).<sup>5</sup> Ceramika

zirconium dioxide (Ceramill Zolid, Amman Girrbach): group CZol – thin-walled and group FZol – full-contour. The crowns were fabricated using the CAD/CAM method. Fracture resistance tests were performed with universal testing machine (Zwick Roell Z020), using 3.5 mm ball-shape head. The graphs demonstrating force to deformation function were recorded for all the samples. The results were subjected to statistical analysis. The investigation was filmed, and then the failure analysis was done.

**Results.** The mean fracture strength was recorded for group FZi, 1290±33 N, group FZol, 1180±19.9 N, group CZi, 409±34.3 N and group CZol, 319±30.4 N. The difference between the mean fracture strength values for full-contour and thin-walled crowns was statistically significant. The main pattern of crown failure (70 %) was the spot damage on the occlusal surface with axial walls intact.

**Conclusion.** The ceramic crowns made of translucent zirconium dioxide demonstrated a lower fracture resistance than the crowns made of conventional zirconium dioxide. The fracture strength of monolithic zirconium crowns depends on their thickness. The thicker are the walls of the crowns the higher is the fracture resistance.

tlenku cyrkonu jest biogodna z tkankami. Materiał ma mleczną barwę i jest opakowalny, a więc niepodobny do tkanek zęba.

Ze względu na dobre parametry mechaniczne 3Y-TZP może zastępować metal w uzupełnieniach protetycznych. Materiał ten jest wykorzystywany do wykonywania podbudów koron i mostów, które są pokrywane za pomocą transparentnej ceramiki fluoroapatytowej.<sup>6</sup> Wytworzone w ten sposób uzupełnienia charakteryzują się dobrą odpornością na

złamania,<sup>7</sup> a równocześnie dobrze imitują tkanki zębów. Niestety opracowanie zębów pod te korony jest agresywne, podobnie jak pod korony metalowo-ceramiczne (grubość rdzenia wynosi 0,4-0,5 mm, a licującej ceramiki około 0,8 mm). Powierzchnię żującą obniża się o 1,5-2 mm, a brzeg ze stopniem heavy chamfer preparuje na głębokość 0,8-1,0 mm. Powikłaniem klinicznym tych uzupełnień jest częste odłamanie ceramiki licującej od rdzenia sięgające 6-15% w okresie 3-9 lat,<sup>8,9</sup> (w koronach metalo-ceramicznych to powikłanie obserwowano w 4% przypadków w okresie 10 lat).

Obecnie pojawiły się materiały tlenku cyrkonu, które są przeznaczone do wykonania pełnokonturowych koron. Do najczęściej stosowanych należy Ceramill Zolid (Girrbach), Lava Plus (3M ESPE), Zenostar ZR (Wieland), BruxZir (Glidewell), Cristal Dimond Zirconia (DLMS), Cercon HT (Degudent). Składają się z dwutlenku cyrkonu  $ZrO_2$  stabilizowanego tleniem itru  $Y_2O_3 \leq 5,0\%$  i dwutlenkiem hafnu  $HfO_2 \leq 5\%$  oraz dodatkiem tlenku aluminium  $Al_2O_3 \leq 1,0\%$  i innych domieszek  $<0,5\%$ . Mają one większą przezierność nawet o 60% niż konwencjonalne 3Y-TZP (klasyczny tlenek cyrkonu przepuszcza 25% światła, a transparentny ponad 40%).<sup>10</sup> Przezierność koron zależy od ich grubości np. dla przeziernego tlenku cyrkonu o grubości 1 mm współczynnik TP wynosi 12-14 a dla konwencjonalnego 5 (dla ceramik leucytowych TP wynosi 20).<sup>11</sup> Wzrost przezierności uzyskuje się przez dodatkowe zmielenie ziaren  $ZrO_2$  i sklejenie ich tak, aby materiał nie zawierał porów. Materiał jest bardziej homogeny, a ziarna tlenku aluminium są w nim równomiernie rozmieszczone.<sup>12</sup> Firmy oferują wstępnie podbarwione bloczki prasowanego tlenku cyrkonu do synteryzacji, a gotowe prace można dodatkowo impregnować lub/i pokrywać barwnikami. Uzupełnienia wykonane z tych ceramik osiągają zadawalającą estetykę w zębach bocznych i nie wymagają pokrycia dodatkowymi ceramikami licującymi. Umożliwia

to redukcję preparacji tkanek twardych zębów pod korony do 0,5-1 mm na powierzchni żującej, 0,5 mm ścian osiowych i nawet 0,2 mm na stopniu typu chamfer. Dodatkowo korony nie podlegają odłamaniom lica.<sup>13</sup> Nie wiadomo jednak, jak skład i redukcja grubości koron wpływa na ich wytrzymałość? Czy uzupełnienia wykonane z wysoko transparentnych ceramik tlenku cyrkonu mają podobnie wysoką wytrzymałość jak konwencjonalne?

Celem pracy była ocena odporności na złamanie koron cienkościennych i pełnokonturowych wykonanych z konwencjonalnego i przeziernego tlenku cyrkonu.

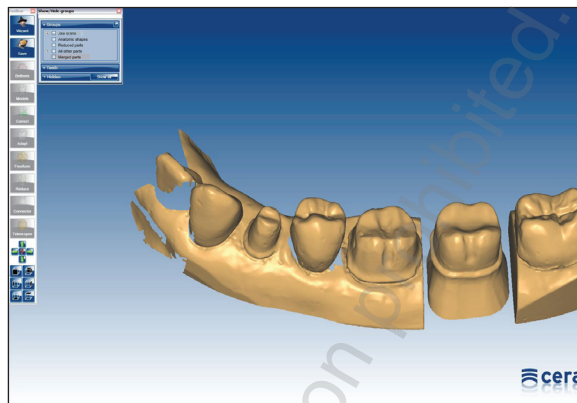
## Materiał i metody

Badaniu poddano korony cienkościennie i pełnokonturowe wykonane z przeziernego tlenku cyrkonu (Ceramill Zolid, Amman Girrbach) oraz z konwencjonalnego tlenku cyrkonu (Ceramill Zi, Amman Girrbach).

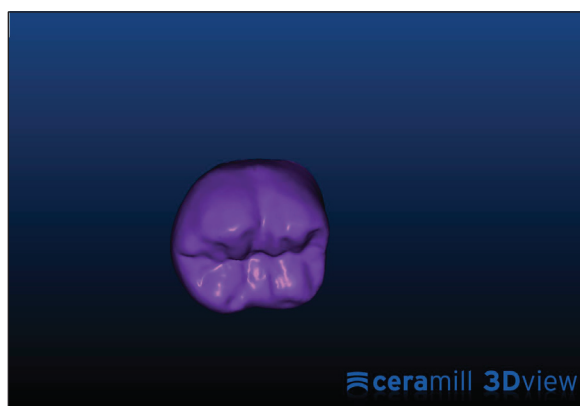
Korony zostały wykonane techniką CAD/CAM. W modelu żuchwy KaVo opracowano pod całoceramiczną koronę zęb 37. Pobrano wycisk dwuwarstwowy masą Express XT (3M ESPE). Odlano model składany z gipsu IV klasy (ryc. 1). Model zeskanowano w urządzeniu Ceramill Map 300 (Girrbach) (ryc. 2). Na wirtualnym podłożu opracowanego zęba, w programie CAD Ceramill Mind (Girrbach) zaprojektowano koronę pełnokonturową o grubości ścian 1,5 mm (ryc. 3) i koronę cienkościenną o grubości 0,5 mm (ryc. 4). Granice preparacji obu projektów zostały wyrównane w oprogramowaniu NetFabb Basic (netfabb GmbH). Tak przygotowane projekty wysłano do frezarki numerycznej Ceramill Motion1 (Girrbach). Uzupełnienia zostały wycięte z bloczków prasowanego tlenku cyrkonu 3Y-TZP -Ceramill Zi units oraz z bloczków tlenku cyrkonu przeznaczonego na korony monolityczne- Ceramill Zolid units (ryc. 5). Frezowanie przeprowadzono z wykorzystaniem narzędzi skrawających



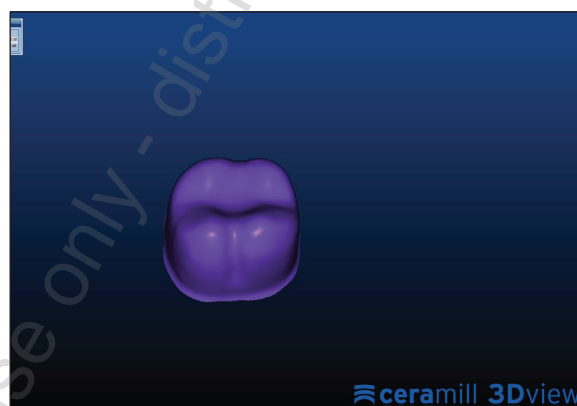
Ryc. 1. Gipsowy model dzielony z zębem filaryowym 37 opracowanym pod koronę całoceramiczną na bazie tlenku cyrkonu.



Ryc. 2. Skan podłoża protetycznego w programie Ceramill Mind (Girrbach).



Ryc. 3. Projekt korony pełnokonturowej na ząb 37 w programie Ceramill Mind (Girrbach).



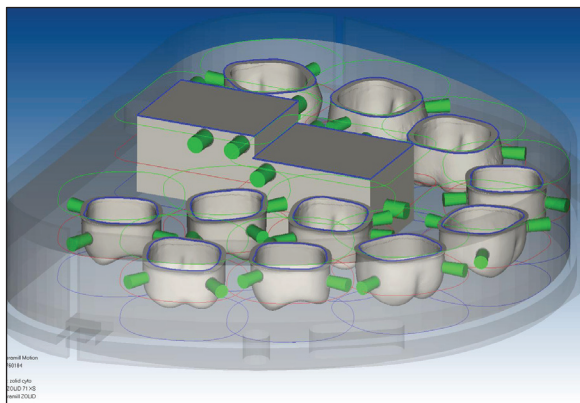
Ryc. 4. Projekt korony cienkościennej na ząb 37 w programie Ceramill Mind (Girrbach).

o następujących średnicach: 2,5 mm, 1mm, 0,6mm. Frez o średnicy 0,6 mm został użyty wyłącznie podczas obróbki koron pełnokonturowych. W dalszym etapie korony zostały poddane synteryzacji w piecu Ceramill Therm (Girrbach), z zachowaniem następujących parametrów: wzrost temperatury  $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , temperatura spiekania  $1450^{\circ}\text{C}$  przez 2 godziny, studzenie do  $200^{\circ}\text{C}$  przez ok. 10 godzin.

Wykonano 40 koron z tlenku cyrkonu podzielonych na 4 grupy po 10 próbek każda. Pierwszą grupę FZi – stanowiły korony jednolite, pełnokonturowe z tlenku cyrkonu (Ceramill Zi, Amman Girrbach), drugą grupę FZol – korony jednolite, pełnokonturowe

z transparentnego tlenku cyrkonu (Ceramill Zolid, Amman Girrbach) (ryc. 6), trzecią grupę CZi – korony cienkościenne z Ceramill Zi, czwartą grupę CZol – korony cienkościenne z Ceramill Zolid (ryc. 7). W grupie FZi oraz FZol korony pełnokonturowe miały ściany o grubości 1,5 mm, w grupie CZi i CZol grubość ceramiki wynosiła 0,5 mm.

Przeprowadzono badanie odporności na złamanie koron w teście ściskania w uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej (Zwick Roell Z020). Brzeg przydźiąsłowy koron został płasko zeszlifowany. Korony ustawiano na płaskim podłożu na podkładce z cienkiego silikonu na podstawie maszyny. Głowicę zakończoną



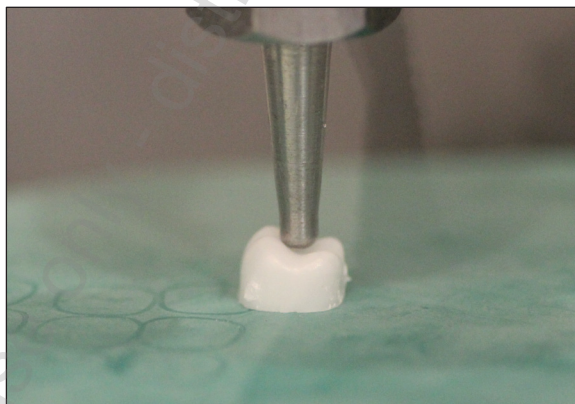
Ryc. 5. Zaprojektowane uzupełnienia w bločku Ceramill Zolid przesłane do frezowania w numerycznej frezarce Ceramil Motion (Girrbach).



Ryc. 6. Korony monolityczne, pełnokonturowe na ząb 37 z ceramiki konwencjonalnej Ceramill Zi i przezierniej Ceramill Zolid tlenku cyrkonu.



Ryc. 7. Korony monolityczne, cienkościenne na ząb 37 z ceramiki konwencjonalnej Ceramill Zi i przezierniej Ceramill Zolid tlenku cyrkonu.



Ryc. 8. Ułożenie próbki korony i głowicy w maszynie wytrzymałościowej (Zwick Roell Z020) podczas badania.

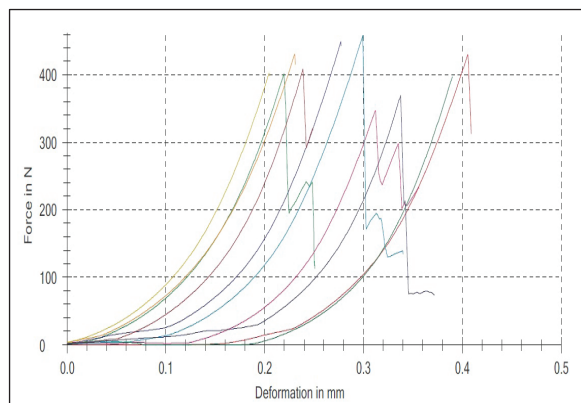
kulką o średnicy 3,5 mm pozycjonowano w bruzdzie centralnej. Głowica przesuwiała się równoległe do długiej osi korony z prędkością 2 mm/min (ryc 8). Oprogramowanie dołączone do maszyny wytrzymałościowej (Zwick Roell) rejestrowało wykres zależności siły od przemieszczenia głowicy dla wszystkich próbek (ryc. 9). Mierzono siłę (N) przy pierwszym uszkodzeniu próbki. Obliczono średnią siłę łamiącą dla każdej badanej grupy. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej, posługując się oprogramowaniem Statistica, użyto analizy ANOVA i testu Tukeya.

Przebieg badania był filmowany, a po jego

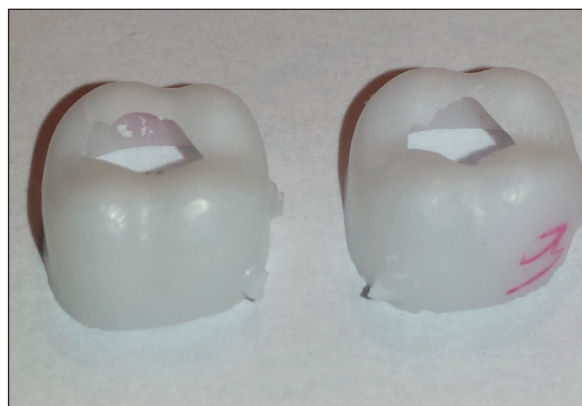
zakończeniu przeprowadzono analizę faktograficzną próbek w celu określenia charakterystyki ich uszkodzenia.

## Wyniki

Wyniki badania średnich sił niszczących dla każdej próbki zestawiono na wykresie (ryc. 10). Dla grupy FZi średnia odporność na złamanie wyniosła  $1290 \pm 33N$ , a maksymalna zarejestrowana siła łamiąca wyniosła  $1330N$ , co stanowiło najwyższą wartość dla całego badania. Dla grupy FZol średnia odporność na złamanie wyniosła  $1180 \pm 19,9N$ , dla grupy CZi –  $409 \pm 34,3N$ ,



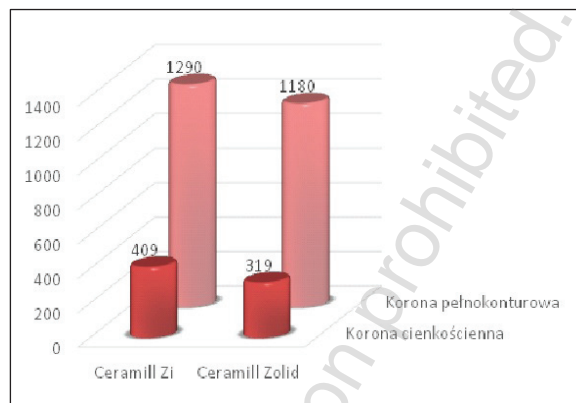
Ryc. 9. Wykresy siły (N) w zależności od przemieszczenia głowicy (mm).



Ryc. 11. Przykładowe zniszczone próbki ceramiki konwencjonalnej i przeźiernej tlenku cyrkonu.

a dla grupy CZol –  $319 \pm 30,4\text{N}$ , z minimalną zarejestrowaną wartością 274N, najniższą w całym badaniu. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Stwierdzono statystycznie znamiennej różnicę pomiędzy wartościami średnich sił uszkadzających dla koron pełnokonturowych i cienkościennych. Różnice istotne statystycznie były także pomiędzy grupą FZi i FZol oraz pomiędzy CZi i CZol ( $p=0,05$ ).

Analiza zniszczonych próbek, wykazała że większość koron (ok. 70%) ulegało punktowemu uszkodzeniu w obrębie powierzchni zgryzowej z zachowaniem ścian osiowych (ryc. 11). W pozostałych przypadkach korony łamały się na dwie lub więcej części.



Ryc. 10. Średnie maksymalne siły niszczące dla koron cienkościennych i pełnokonturowych wykonanych z ceramiki konwencjonalnej Ceramill Zi i przeźiernej Ceramill Zolid tlenku cyrkonu (N).

## Dyskusja

Z przeprowadzonych badań wynika, że siła niszcząca w teście ściskania dla koron cienkościennych wykonanych z ceramiki Ceramill Zi wyniosła 409N, a z ceramiki Ceramill Zolid była niższa o 22%. Podobnie korony pełnokonturowe z transparentnego tlenku cyrkonu łamały się przy mniejszej sile niż z nieprzeźiernej ceramiki  $\text{ZrO}_2$ . Korony wykonane z ceramiki transparentnego tlenku cyrkonu charakteryzują się niższą odpornością na złamanie niż z konwencjonalnego. Drobnziarnistość i domieszki do tlenku cyrkonu, które polepszają jego przezierność, osłabiają odporność tych koron na złamanie.

Odporność na złamanie koron monolitycznych z tlenku cyrkonu zależy głównie od ich grubości. Korony cienkościenne z transparentnej ceramiki o grubości 0,5 mm ulegały zniszczeniu przy użyciu siły (319N) ponad 3,5-krotnie mniejszej niż korony pełnokonturowe o grubości 1,5 mm (1160N). Podobnie korony z konwencjonalnego  $\text{ZrO}_2$  o mniejszej grubości, łamały się przy sile 3-krotnie niższej w porównaniu z pełnokonturowymi. Wyniki pracy są zgodne z badaniami innych autorów.

Im większa jest grubość ścian korony monolitycznej wykonanej z ceramiki tlenku cyrkonu tym wyższa jest jej odporność na złamanie. W badaniach *Nordahla* i wsp.<sup>14</sup> korony o grubości 0,3 mm ulegały uszkodzeniu przy użyciu siły 450N, a o grubości 1,5 mm przy 3248N. Według *Sun* i wsp.<sup>15</sup> korony pełnokonturowe o grubości 0,6 mm ulegały zniszczeniu przy sile 1308N, a o grubości 1,5 mm przy 4109N. Korony pełnokonturowe tlenku cyrkonu charakteryzują się najwyższą wytrzymałością na zginanie w porównaniu do pozostałych ceramik<sup>16</sup> np. 2-krotnie wyższą w porównaniu ceramiką dwukrzemianu litu.<sup>17</sup> Korony monolityczne ZrO<sub>2</sub> o grubości 1 mm wykazują podobną odporność na złamania do metalowo-ceramicznych.<sup>15</sup>

Według *Baladhandayutham* i wsp.<sup>18</sup> licowanie rdzenia ceramiką fluoroapatytową powoduje również wzrost odporności uzupełnienia na zniszczenie, w porównaniu do samego rdzenia. Zjawisko to jest spowodowane większą grubością korony. W literaturze większość badań dowodzi, że korony monolityczne mają wyższą wytrzymałość na zginanie i odporność na złamania niż licowane.<sup>15-17,19</sup> *Ramos* i wsp.<sup>20</sup> stwierdził dodatkowo, że pełnokonturowe korony tlenku cyrkonu są mniej podatne na zmęczenie w porównaniu z koronami licowanymi. Poddane cyklowi żucia korony monolityczne okazały się znacznie odporniejsze na uszkodzenia w porównaniu do dwuwarstwowych.<sup>21</sup> Jest to spowodowane faktem, że w koronach złożonych połączenie pomiędzy ceramiką tlenku cyrkonu a fluoroapatytową jest słabe i łatwo dochodzi do odłamania licującej ceramiki i uszkodzenia pracy.

Celem zastosowanej metody było zbadanie odporności na złamanie samych koron. Dlatego nie zacementowano ich na modele z opracowanymi zębami. Większość autorów cementuje korony na filarach wykonanych z akrylu.<sup>14,21</sup> Niestety rodzaj cementu (glasjonomerowy lub kompozytowy), podobnie jak materiał modelu

zęba (plastik, gips, metal) wpływa na wyniki badań.

Korony monolityczne, cienkościenne są alternatywą dla koron metalowo-ceramicznych w odcinkach bocznych łuku. Należy jednak przyjąć, że korony te powinny mieć w każdym miejscu grubość większą niż 0,5 mm. Niektórzy badacze zalecają grubość tych koron na powierzchni żującej 1,5 mm.<sup>19</sup> Uzupełnienia te nie wymagają tak agresywnego opracowania jak korony klasyczne, nie mają ceramiki licującej, która może odprysnąć.<sup>22</sup> Estetyka tych uzupełnień po zewnętrznej charakterystyce jest akceptowalna.

## Wnioski

1. Korony monolityczne z transparentnej ceramiki tlenku cyrkonu wykazują niższą odporność na złamanie niż korony z konwencjonalnego tlenku cyrkonu.
2. Im ściany tych uzupełnień są grubsze tym korony są bardziej odporne na złamanie.

## Piśmiennictwo

1. *Luthardt RG, Holzhueter M, Sandkuhl O, Herold V, Schnapp JD, Kuhlisch E, Walter M*: Reliability and properties of ground Y-TZP Zircon ceramics. *J Dent Res* 2002; 81: 487-491.
2. *Marx R, Jungwirth F, Walter PO*: Threshold intensity factors as lower boundaries for crack propagation in ceramics. *Biomed Eng* 2004; 3, 1: 41.
3. *Kuroda S, Shinya A, Yokoyama D, Gomi H, Shinya A*: Effects of coloring agents applied during sintering on bending strength and hardness of zirconia ceramics. *Dent Mater J* 2013; 32, 5: 793-800.
4. *Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV*: Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics.

- Dent Mater 2004; 20, 5: 449-456.
5. Raigrodski AJ: Contemporary materials and technologies for all-ceramic fixed partial dentures: a review of the literature. J Prosthet Dent 2004; 92, 6: 557-562.
  6. Blatz MB, Sadan A, Kern M: Resin-ceramic bonding: a review of the literature. J Prosthet Dent 2003; 89, 3: 268-274.
  7. Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthun M, Spiekermann H: Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study. Int J Prosthodont 2001; 14, 3: 231-238.
  8. Monaco C, Caldari M, Scotti R: Clinical evaluation of zirconia-based single crowns: a retrospective cohort study from the AIOP clinical research group. Int J Prosthodont 2013; 26: 435-442.
  9. Koenig V, Vanheusden AJ, Le Goff SO, Mainjot AK: Clinical risk factors related to failures with zirconia-based restorations: an up to 9-year retrospective study. J Dent 2013; 41, 12: 1164-1174.
  10. Zenostar. Guidelines for dental technicians. Wieland GmbH
  11. Wang F, Takahashi H, Iwasaki N: Translucency of dental ceramics with different thicknesses. J Prosthet Dent. 2013; 110, 1: 14-20.
  12. Saridag S, Tak O, Alniacik G: Basic properties and types of zirconia: An overview. World J Stomatol 2013; 2, 3: 40-47
  13. Zhang Y, Lee JJ, Srikanth R, Lawn BR: Edge chipping and flexural resistance of monolithic ceramics. Dent Mater 2013; 29, 12: 1201-1208.
  14. Nordahl N, Vult von Steyern P, Larsson C: Fracture strength of ceramic monolithic crown systems of different thickness. J Oral Sci 2015; 57, 3: 255-261.
  15. Sun T, Zhou S, Lai R, Liu R, Ma S, Zhou Z, Longquan S: Load-bearing capacity and the recommended thickness of dental monolithic zirconia single crowns. J Mech Behav Biomed Mater 2014; 35: 93-101.
  16. Lin WS, Ercoli C, Feng C, Morton D: The effect of core material, veneering porcelain, and fabrication technique on the biaxial flexural strength and weibull analysis of selected dental ceramics. J Prosthodont. 2012; 21, 5: 353-362.
  17. de Kok P, Kleverlaan CJ, de Jager N, Kuijs R, Feilzer AJ: Mechanical performance of implant-supported posterior crowns. J Prosthet Dent 2015; 114, 1: 59-66.
  18. Baladhandayutham B, Lawson NC, Burgess JO: Fracture load of ceramic restorations after fatigue loading. J Prosthet Dent 2015; 114, 2: 266-271.
  19. Johansson C, Kmet G, Rivera J, Larsson C, Vult Von Steyern P: Fracture strength of monolithic all-ceramic crowns made of high translucent yttrium oxide-stabilized zirconium dioxide compared to porcelain-veneered crowns and lithium disilicate crowns. Acta Odontol Scand 2014; 72, 2: 145-153.
  20. Ramos GF, Monteiro EB, Bottino MA, Zhang Y, Marques de Melo R: Failure Probability of Three Designs of Zirconia Crowns. Int J Periodontics Restorative Dent 2015; 35, 6: 843-849.
  21. Lameira DP, Silva WA, Silva FA, De Souza GM: Fracture strength of aged monolithic and bilayer zirconia-based crowns. Biomed Res Int 2015; 2015: 418641. doi: 10.1155/2015/418641.
  22. Augstin-Panadero R, Fons-Font A, Roman-Rodriguez JL, Granell-Ruiz M, del Rio-Highsmith J, Sola-Ruiz MF: Zirconia versus metal: a preliminary comparative analysis of ceramic veneer behavior. Int J Prosthodont 2012; 25, 3: 294-300.
- Zaakceptowano do druku: 4.02.2016 r.  
Adres autorów: 92-213 Łódź, ul. Pomorska 251.  
© Zarząd Główny PTS 2016.