

Badania twardości i chropowatości tlenku cyrkonu stosowanego w wykonawstwie łączników implantologicznych

Assessment of the microhardness and roughness of zirconium oxide used in the production of individual ceramic implant abutments

**Bohdan Bączkowski¹, Anna Ziębowicz², Bogusław Ziębowicz³,
Elżbieta Wojtyńska¹, Elżbieta Mierzińska-Nastalska¹**

¹ Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Chair of Prosthodontics, Medical University of Warsaw
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Elżbieta Mierzińska-Nastalska

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

³ Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej
Chair of Engineering Materials and Biomaterials, Silesian University of Technology
Kierownik: dr hab. inż. Tomasz Tański, prof PŚ

HASŁA INDEKSOWE:

łączniki implantologiczne, twardość, chropowatość

KEY WORDS:

implant abutments, hardness, roughness

Streszczenie

Wprowadzenie. Współczesne postępowanie kliniczne i laboratoryjne w zakresie wykonawstwa stałych uzupełnień protetycznych opartych na wszczepach stomatologicznych, jak również oczekiwania pacjenta, podążają w kierunku uzyskania coraz lepszych efektów estetycznych i biomechanicznych. Rozwój materiałoznawstwa stomatologicznego prowadzi do sukcesywnej eliminacji stopów metali z protetyki stomatologicznej. Zastosowanie tlenku cyrkonu w wykonawstwie indywidualnych łączników implantologicznych wprowadziło możliwość zastosowania elementów biokompatybilnych oraz wykluczenia częstego defektu estetycznego, jakim było przeświecanie szarości w okolicy dziąsła brzeżnego, związanej z kolorem łącznika, szczególnie przy cienkim biotypie dziąsła.

Summary

Introduction. Contemporary clinical and laboratory procedures in the field of permanent prosthetic restorations based on dental implants, as well as patient expectations, are heading towards obtaining better and better aesthetic and biomechanical effects. The development of dental material science will lead the way towards gradual elimination of metal alloys from dental prosthetics. The use of zirconium oxide in individual implant abutments has enabled the introduction of biocompatible elements. This excluded the occurrence of a gray translucency in the marginal gingival area – a frequent aesthetic defect associated with the abutment colour, especially in the case of a thin gingival biotype.

Aim of the study. To carry out laboratory assessment of the microhardness and roughness of

Cel pracy. Celem pracy była laboratoryjna ocena twardości i chropowatości tlenku cyrkonu stosowanego w wykonawstwie implantologicznych indywidualnych łączników ceramicznych.

Material i metody. Material do badań stanowiło 20 próbek z tlenku cyrkonu w kształcie walców o średnicy 10 mm i wysokości 10 mm. Pierwszą grupę stanowiły próbki materiału Wieland (Wieland, Niemcy) w liczbie 10 sztuk, drugą - próbki materiału Robocam (Robocam, Polska) - 10 sztuk.

Wyniki. Właściwości fizykochemiczne w zakresie twardości i chropowatości badanych materiałów Wieland i Robocam mieszczą się w granicach dopuszczalnych norm i mogą być stosowane w wykonawstwie łączników implantologicznych.

Wnioski. Ceramikę tlenkową Wieland cechują jednak stwierdzone w badaniach własnych mniej korzystne właściwości w porównaniu z ceramiką Robocam, co może mieć wpływ na uwarunkowania kliniczne.

zirconium oxide used in the production of individual ceramic implant abutments.

Material and methods. The test material consisted of 20 samples of zirconium oxide, cylindrical in shape, with a height and diameter of 10 mm, respectively. The first group consisted of 10 samples of Wieland material (Wieland, Germany), and the second group consisted of 10 samples of Robocam material (Robocam, Poland).

Results. The physicochemical properties of hardness and roughness of the tested Wieland and Robocam materials are within the permissible standards and can be used in the manufacture of implant abutments.

Conclusions. Basing on the authors' research studies and experience, it can be concluded that Wieland oxide ceramics are characterized by less favourable properties in comparison with Robocam ceramics, which may affect clinical conditions.

Współczesne postępowanie kliniczne i laboratoryjne w zakresie wykonawstwa stałych uzupełnień protetycznych opartych na wszczepach stomatologicznych, jak również oczekiwania pacjenta, podążają w kierunku uzyskania coraz lepszych efektów estetycznych i biomechanicznych. Rozwój materiałoznawstwa stomatologicznego, a szczególnie jego części związanej z techniką skanowania i następowego frezowania struktury obiektu z materiałów ceramicznych prowadzi do sukcesywnej eliminacji stopów metali z protetyki stomatologicznej. Zastosowanie tlenku cyrkonu w wykonawstwie indywidualnych łączników implantologicznych wprowadziło możliwość zastosowania elementów biokompatybilnych oraz wykluczenia częstego defektu estetycznego, jakim było przeświecanie szarości w okolicy dziąsła brzęznego, związanej z kolorem łącznika, szczególnie przy cienkim biotypie dziąsła.^{1,2}

Cyrkon jest metalem należącym do grupy tytanowców. Odkryty został przez Klaprotha w 1789 roku, natomiast wyizolowany w postaci czystej w 1824 roku przez szwedzkiego chemika Barzeliusa. Nazwa pochodzi najprawdopodobniej od perskiego słowa zargun – podobny do złota. Tlenek cyrkonu jest polimorficznym materiałem bez obecności fazy szklanej, tworzącym ziarna o wielkości 0,1 do 0,5 [µm]. W zależności od temperatury występuje w trzech formach krystalicznych, zwanych postaciami allotropowymi. W temperaturze pokojowej występuje w formie monoklinicznej, ogrzewany do temperatury 1170°C przechodzi w formę tetragonalną – korzystną pod względem biomechaniki, natomiast powyżej 2370°C przekształca się w formę kubiczną, inaczej zwaną cylindryczną. Możliwość ustabilizowania formy tetragonalnej w temperaturze pokojowej uzyskuje się poprzez dodanie tlenków itru, magnezu, wapnia i ceru. W chwili

obecnej w stomatologii wykorzystywany jest materiał o symbolu 3Y-TZP (Ytrium Stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystals). Interesujące jest opisane w 1975 roku zjawisko tzw. transformacji wzmacniającej, związane z przemianą formy tetragonalnej w monokliniczną, polegające na wzroście objętości pod wpływem propagującego pęknięcia. Wzrost ten, jak podają autorzy wynosi od 3 do 5%, a materiał nazywany jest samonaprawiającym się.³⁻⁵

Jednym z rozwiązań możliwych do zastosowania podczas implantologicznej rekonstrukcji protetycznej braków zębowych jest możliwość wykorzystania łączników pomiędzy częścią śródkostną implantu a nadbudową protezy. W znakomitej większości wykonywane są one z tlenku cyrkonu ze względu na wymienione powyżej właściwości. Łączniki ceramiczne dzieli się na standardowe całoceramiczne lub hybrydowe, dostarczane przez producenta systemu implantologicznego i indywidualne wykonywane w technice CAD/CAM. Wśród łączników indywidualnych wyróżnia się łączniki całoceramiczne oraz hybrydowe składające się z tytanowej platformy i ceramicznej nadbudowy wykonywanej z tlenku cyrkonu w technologii CAD/CAM. Elementy są łączone za pomocą cementów kompozytowych. Bazy tytanowe dostarczane są przez producentów nie związanych z systemami implantologicznymi. Również frezowana nadbudowa może być wykonana w dowolnym systemie CAD/CAM pod warunkiem, że istnieje w nim możliwość zaprojektowania tego typu konstrukcji, jak również zawiera on katalog baz tytanowych danego producenta.⁶

Ze względu na ograniczoną dostępność badań określających właściwości fizykochemiczne, dotyczące zachowania się łączników ceramicznych wykonanych z tlenku cyrkonu, zaplanowano w pierwszej kolejności badania dotyczące twardości i chropowatości materiałów, z których są wykonywane łączniki implantologiczne.

Mianem twardości określa się opór stawiany przeciwko trwałym odkształceniom, który powstaje poprzez zagłębianie się wgłębnika w badany materiał. Twardość jest wartością umowną, służącą do porównywania odporności na uszkodzenie powierzchni materiałów. Próby wytrzymałościowe powinny cechować się szybkością i łatwością dokonywania pomiarów, nieniszczącym charakterem próby oraz nieskomplikowanym urządzeniem pomiarowym. Zwykle próby dzielone są na trzy grupy: statyczne (obciążony statycznie wgłębnik powoduje trwałe odkształcenie), dynamiczne (opór pod wpływem dynamicznego obciążenia wgłębnika charakteryzuje własności plastyczne lub sprężyste materiału) oraz specjalne (badanie własności magnetycznych lub elektrycznych). Metoda Vickersa należy do statycznych metod pomiarowych twardości. Jest najbardziej uniwersalną metodą pomiaru.⁷

Chropowatość materiału oznacza nierówności, występujące na powierzchni ciała stałego nie wynikające z jej kształtu, które można rozpoznać wzrokowo lub są wyczuwalne mechanicznie. Jest to zbiór drobnych wzniesień oraz zagłębień, które występują na powierzchni badanego obiektu.

Cel pracy

Celem pracy była laboratoryjna ocena mikrotwardości i chropowatości tlenku cyrkonu stosowanego w wykonawstwie implantologicznych indywidualnych łączników ceramicznych.

Materiał

Materiał do badań stanowiło 20 próbek z tlenku cyrkonu w kształcie walców o średnicy 10 mm i wysokości 10 mm. Pierwszą grupę stanowiły próbki materiału Wieland (Wieland, Niemcy) w liczbie 10 sztuk, drugą – próbki materiału Robocam (Robocam, Polska) - 10 sztuk.

Materiał wycięto z bloczków przygotowanych przez producentów, poddanych izostycznemu prasowaniu pod ciśnieniem 200 MPa i presynteryzowanych w temperaturze 950°C. Walce do badań wyfrezowano na obrabiarce numerycznej czteroosiowej (CNC), następnie poddano synteryzacji zgodnie ze wskazanym przez producenta protokołem.

Metody

Metoda badania twardości

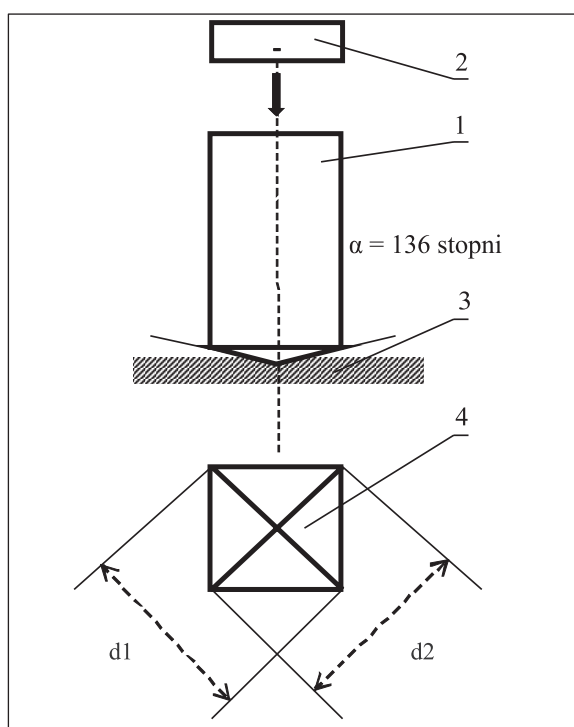
Metoda Vickersa zastosowana w badaniach polegała na powolnym zagłębianiu w badany materiał wgłębnika, którym jest diamentowy ostrosłup o podstawie kwadratu i kątem pomiędzy dwoma przeciwległymi ścianami równym $\alpha = 136^\circ$.⁷ Dokonując pomiaru metodą Vickersa po zagłębianiu wgłębnika z określonym obciążeniem przez dany czas zmierzono przekątne d_1 oraz d_2 i na ich podstawie obliczono twardość materiału według wzoru:

$$HV = 0.102 \cdot \frac{2F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2}$$

gdzie:

F – siła obciążająca wgłębnik [N], $\alpha=136^\circ$,
d – średnia arytmetyczna wartości długości przekątnych [mm]. Metodę pomiaru przedstawiono na rycinie 1.

Metoda Vickersa jest uważana za uniwersalną, ponieważ służy również do mierzenia mikrotwardości. Zasada pomiaru jest taka sama jak przy pomiarze twardości z tą różnicą, że jej pomiary wykonuje się przy pomocy obciążeń nie większych niż 10 [N].⁷ Badanie mikrotwardości zostało przeprowadzone z zastosowaniem mikrotwardościomierza FM 700 (Future Tech Corp, Stany Zjednoczone AP). Badaniom poddano próbki z ceramiki cyrkonowej: dziesięć bloczków firmy Wieland (Wieland, Niemcy) i dziesięć bloczków firmy Robocam (Robocam, Polska). Badanie przeprowadzono



Ryc. 1. Schemat pomiaru twardości metodą Vickersa: 1 – wgłębnik w postaci diamentowego ostrosłupa, 2 – siła obciążająca, 3 – badana próbka, 4 – odcisk z zaznaczonymi przekątnymi d_1 i d_2 (118).

pięciokrotnie dla każdej próbki, przy użyciu obciążenia równego 100 [g].

Badania topografii powierzchni – metoda profilometryczna

Analizę chropowatości przeprowadzono przy użyciu profilometru. Polegała ona na przesuwaniu ostrza pomiarowego po nierównościach powierzchni badanej próbki. Wielkość chropowatości powierzchni jest zależna od rodzaju materiału oraz od jego wcześniejszej obróbki. Pomiar dokonywany był na elementarnym odcinku L_c , którego długość wyrażona w milimetrach wybierana była spośród sześciu wartości: 25; 8; 2,5; 0,8; 0,25; 0,08. Do określenia wartości chropowatości najczęściej służy średnia arytmetyczna odchylenia chropowatości od linii średniej, określana jako parametr R_a [μm].⁸

Badanie chropowatości powierzchni

zostało przeprowadzone zgodnie z zaleceniami normatywnymi przedstawionymi w normie PN-EN ISO 4287⁹ przy użyciu profilometru Surtronic 3+ (Taylor Hobson, Wielka Brytania). Ustalona długość odcinka pomiarowego

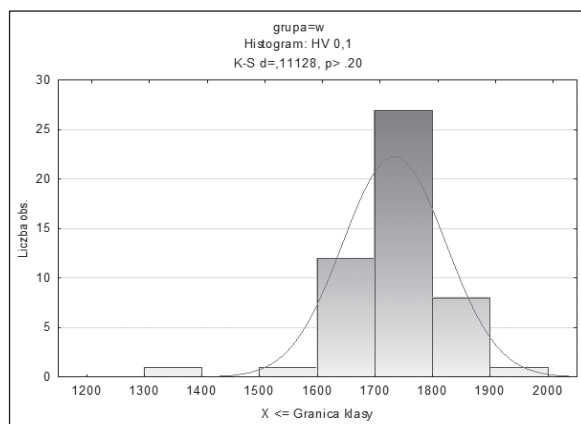
wynosiła $L_c = 0,8$ mm. Badanie przeprowadzono w dwóch grupach ceramiki: Wieland i Robocam. Wykonano po pięć pomiarów dla każdej próbki i obliczono średnią arytmetyczną profilu chropowatości.

T a b e l a 1. Wyniki pomiaru mikrotwardości próbek z tlenku cyrkonu firmy Wieland

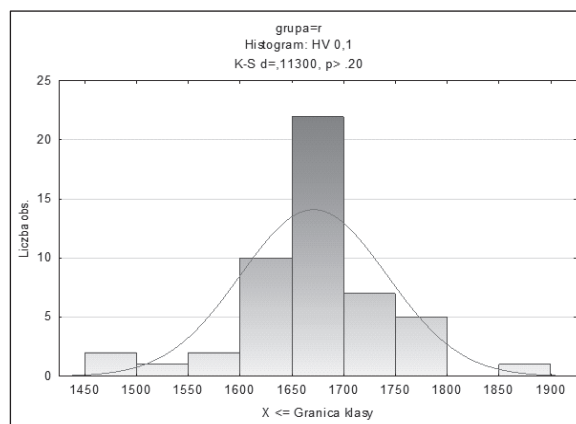
Nr próbki	Wieland HV 0,1; nr pomiaru					Średnia wartość
	I	II	III	IV	V	
W1	1720	1776	1733	1695	1686	1722,0
W2	1706	1725	1657	1730	1680	1699,6
W3	1594	1617	1708	1735	1643	1659,4
W4	1747	1733	1762	1735	1806	1756,6
W5	1834	1616	1835	1358	1944	1717,4
W6	1867	1890	1859	1794	1810	1844,0
W7	1681	1769	1752	1803	1757	1752,4
W8	1713	1746	1791	1783	1785	1763,6
W9	1731	1759	1764	1753	1621	1725,6
W10	1679	1721	1709	1671	1694	1694,8
HV 0,1						1733,5

T a b e l a 2. Wyniki pomiaru mikrotwardości próbek z tlenku cyrkonu firmy Robocam

Nr próbki	Robocam HV 0,1; nr pomiaru					Średnia wartość
	I	II	III	IV	V	
R1	1668	1864	1628	1735	1761	1731,2
R2	1667	1512	1605	1630	1490	1580,8
R3	1655	1592	1630	1490	1654	1604,2
R4	1789	1721	1747	1682	1762	1740,2
R5	1672	1626	1601	1689	1694	1656,4
R6	1659	1610	1691	1578	1634	1634,4
R7	1758	1692	1743	1730	1687	1722,0
R8	1630	1651	1646	1670	1652	1649,8
R9	1692	1678	1714	1683	1780	1709,4
R10	1703	1675	1662	1678	1694	1682,4
HV 0,1						1671,8



Ryc. 2. Parametr mikrotwardości (HV 0,1). Dla ceramiki Wieland (W) uzyskano rozkłady normalne potwierdzone testem Kołmogorowa–Smirnowa dla poziomu istotności $p = 0,05$.



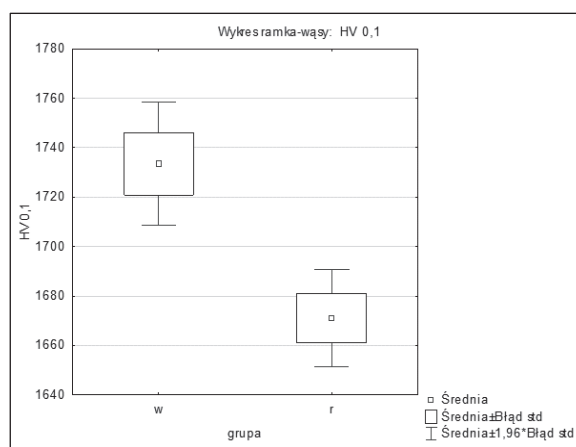
Ryc. 3. Parametr mikrotwardości (HV 0,1). Dla ceramiki Robocam (R) uzyskano rozkłady normalne potwierdzone testem Kołmogorowa – Smirnowa dla poziomu istotności $p = 0,05$.

Wyniki

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono różnice mikrotwardości próbek materiału ceramicznego Wieland i Robocam. Średnia wartość mikrotwardości materiału Wieland wynosiła 1733 HV, natomiast próbki Robocam 1671 HV. Maksymalna twardość (HV max) dla ceramiki Wieland wynosiła 1890, podczas gdy HV min 1594 ($\Delta = 296$). Dla ceramiki Robocam wyniki kształtowały się w przedziale HV max 1864 i HV min 1490 ($\Delta = 374$) (tab. 1, 2).

Wyniki poddano analizie statycznej. W przypadku parametru mikrotwardości (HV 0,1) dla materiału Wieland (W), jak i Robocam (R) uzyskano rozkłady normalne potwierdzone testem Kołmogorowa-Smirnowa dla poziomu istotności $p = 0,05$ (ryc. 2, 3).

Stwierdzono także jednorodność wariancji dla poszczególnych parametrów przy pomocy dwóch niezależnych testów: Browna-Forsythe'a i Levene'a. Zostały zatem spełnione warunki dla zastosowania parametrycznego testu t-studenta dla grup niezależnych. Na podstawie powyższego testu dla poziomu istotności $p=0,05$ stwierdzono istotne statystyczne różnice parametru mikrotwardości



Ryc. 4. Różnice parametru mikrotwardości dla materiału Wieland i Robocam przy poziomie istotności $p = 0,05$ (wartość testu $t = 3,869349$; $p = 0,000197$).

porównywanych materiałów (wartość testu $t = 3,869349$; $p = 0,000197$) (ryc. 4).

W wyniku badań przeprowadzonych przy użyciu profilometru otrzymano po pięćdziesiąt wyników chropowatości powierzchni ceramiki Wieland i Robocam przedstawionych w tabelach 3 i 4. Podczas przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono różnice w chropowatości powierzchni próbek materiału Wieland i Robocam. Wyniki poddano analizie statycznej. Średnia chropowatość dla materiału Wieland wynosiła $R_a 0,92$ [μm], natomiast dla

T a b e l a 3. Wyniki badania chropowatości powierzchni próbek z tlenku cyrkonu firmy Wieland

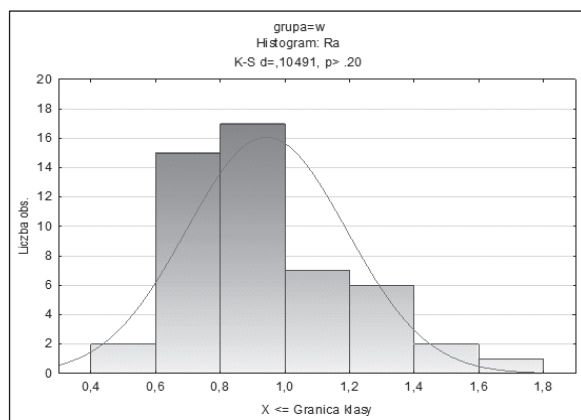
Nr próbki	Wieland; nr pomiaru					Wartość średnia
	I	II	III	IV	V	
W1	0,86	0,92	0,72	0,68	0,62	0,76
W2	0,72	0,92	0,94	1,64	0,72	0,99
W3	1,22	1,42	0,94	1,22	1,08	1,18
W4	1,24	0,92	1,12	1,20	1,60	1,22
W5	0,80	0,76	0,80	0,64	0,82	0,76
W6	0,73	0,81	0,65	0,58	0,57	0,67
W7	0,76	0,96	1,02	1,21	0,87	0,76
W8	0,99	1,25	0,91	1,12	0,98	1,05
W9	1,12	1,06	0,83	0,93	1,27	1,04
W10	0,91	0,64	0,73	0,76	0,97	0,80
Ra [μm]					0,92	

T a b e l a 4. Wyniki badania chropowatości powierzchni próbek z tlenku cyrkonu firmy Robocam

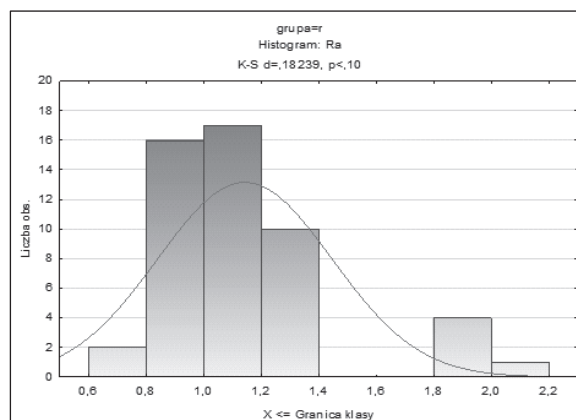
Nr próbki	Robocam; nr pomiaru					Wartość średnia
	I	II	III	IV	V	
R1	0,84	0,92	0,90	0,76	0,80	0,84
R2	1,08	1,26	1,26	1,06	1,06	0,94
R3	1,02	1,16	0,86	0,98	1,10	1,02
R4	0,92	0,84	1,15	0,84	0,90	0,93
R5	1,89	1,94	1,84	1,90	2,05	1,92
R6	0,92	1,05	1,12	0,89	0,97	0,99
R7	1,12	1,23	1,11	1,32	1,18	1,19
R8	1,22	1,27	1,20	0,89	1,18	1,15
R9	0,83	1,04	0,98	1,21	0,99	1,01
R10	1,09	1,30	1,29	1,24	1,18	1,22
Ra [μm]					1,22	

materiału Robocam R_a 1,22 [μm]. W podziale na dwie badane grupy R_a max dla Wieland wynosiła 1,64 [μm], podczas gdy R_a min 0,57 ($\Delta = 0,65$). Wyniki dla Robocam kształtowały

się w przedziale R_a max 2,05 oraz R_a min 0,76 ($\Delta = 1,29$). W przypadku parametru chropowatości (R_a) dla materiału Wieland, jak i Robocam uzyskano rozkłady normalne potwierdzone



Ryc. 5. Ocena parametru chropowatości dla ceramiki Wieland.

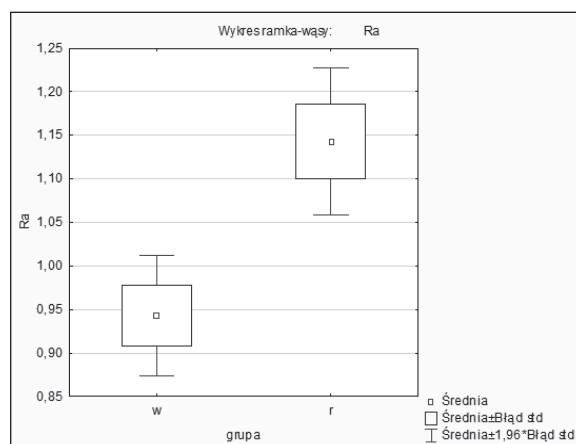


Ryc. 6. Ocena parametru chropowatości dla ceramiki Robocam.

testem Kołmogorowa-Smirnowa dla poziomu istotności $p = 0,05$ (ryc. 5, 6, 7).

Dyskusja

Tlenek cyrkonu znajduje coraz częstsze zastosowanie w protetyce stomatologicznej w wykonawstwie stałych uzupełnień protetycznych. Właściwości, takie jak wytrzymałość na zginanie, sztywność oraz wytrzymałość na złamanie powodują, że jest on dobrą alternatywą dla uzupełnień ceramicznych na podbudowie metalowej. Dodatkową jego dużą zaletą pozostaje kolor zbliżony do tkanek zęba oraz fakt braku podbudowy metalowej mogącej powodować reakcje alergiczne oraz zjawisko korozji zachodzące w środowisku jamy ustnej.¹⁰ Z drugiej jednak strony dostępne są badania opisujące niekorzystne procesy zachodzące podczas długoczasowego użytkowania stałych uzupełnień protetycznych wykonanych na podbudowie z tlenku cyrkonu. Głównym problemem wydaje się być odpryskiwanie ceramiki licującej tzw. chipping^{11,12} oraz do chwili obecnej niedostatecznie udokumentowany wpływ przemiany wewnętrznej na długoczasową stabilność materiału w warunkach jamy ustnej.¹³ W dostępnym piśmiennictwie brakuje także dostatecznej liczby prac opisujących zachowanie się



Ryc. 7. Różnice parametru chropowatości dla ceramiki Wieland i ceramiki Robocam.

ceramiki cyrkonowej w łącznikach implantologicznych wykonywanych w technologii hybrydowej lub jednolicie ceramicznej w aspekcie wytrzymałości w środowisku jamy ustnej oraz oceny ich przydatności klinicznej.

W badaniach *in vitro* przeprowadzonych w obecnej pracy dotyczących właściwości fizykochemicznych ceramiki cyrkonowej wykorzystano próbki materiału Wieland (Wieland, Niemcy) i Robocam (Robocam, Polska). Badania te wykazały istotne statystycznie różnice w parametrach fizykochemicznych, w odniesieniu do mikrotwardości i chropowatości.

Twardość materiału jest wyznacznikiem jego odporności na zużycie przez tarcie, które

proceeds to mass loss of the material. High hardness values may be a consequence of internal stress generation during the material processing and lead to damage of the structure. Hardness of ceramic materials ensures the presence of ionic bonds and non-valency network of the crystal structure, which resists dislocation. Microhardness studies showed higher values for Wieland (1733,54 HV) compared to Robocam (1671,8 HV). It was confirmed that there is a statistically significant difference between the materials. The obtained higher hardness of Wieland may also have an influence on its brittleness. However, it should be stated that both materials fit within the limits specified by the manufacturer's norms.¹⁴ Registered results were also close to those obtained in other studies for this type of ceramic.¹⁵

Surface roughness was determined using a profilometer. The study, through its accessibility and simple methodology, is the first study chosen for the determination of surface roughness of the material. It was shown that there is a difference between the surface roughness of Wieland and Robocam, where R_a is higher for Robocam.

It was also confirmed that there is a statistically significant correlation ($r = -0,2046$; $p = 0,41$) between the microhardness and surface roughness of the studied materials, which may indicate a greater suitability of Robocam in the manufacture of implantological joints.

Wnioski

1. Właściwości fizykochemiczne w zakresie twardości i chropowatości badanych materiałów Wieland i Robocam mieszczą się w granicach dopuszczalnych norm i mogą być stosowane w wykonawstwie łączników implantologicznych.

2. Ceramikę tlenkową Wieland cechują jednak stwierdzone w badaniach własnych mniej korzystne właściwości w porównaniu z ceramiką Robocam, co może mieć wpływ na uwarunkowania kliniczne.

Piśmiennictwo

1. *Majewski S*: Nowe technologie wytwarzania stałych uzupełnień protetycznych: galwanofarming, technologia CAD/CAM, obróbka tytanu i współczesne systemy ceramiczne. *Protet Stomatol* 2007; LVII, 2: 124-131.
2. *Bączowski B, Wojtyńska E, Michalik R*: Leczenie protetyczne z zastosowaniem uzupełnień stałych na podbudowie z tlenku cyrkonu. *Protet Stomatol* 2010; 1, 10: 285-293.
3. *Okoński P, Lasek K, Mierzwińska-Nastalska E*: Kliniczne zastosowanie wybranych materiałów ceramicznych. *Protet Stomatol* 2012; LXII, 3: 181-189.
4. *Manicone PF, RossiIometti P, Rafaelli L*: An overview of zirconia ceramics basic properties and clinical applications. *J Dent* 2007; 35: 819-826.
5. *Anish P, Vaidhyanathan B, Binner J*: Hydrothermal aging behavior of nanocrystalline Y-TZP ceramics. *J Am Ceram Soc* 2011; 94: 2146-215.
6. *Kelly JR, Denry I*: State of art of zirconia for dental applications. *Dent Mater J* 2008; 24: 299-307.
7. *Marciniak J* (red.): Ćwiczenia laboratoryjne z metaloznawstwa, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2001.
8. <http://www.ktmiap.po.opole.pl/dydaktyka/Cwiczenie5.pdf>.
9. PN-EN ISO 4287: Specyfikacje geometrii wyrobów, Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni, Warszawa, 1999.
10. *Lucchetti MC, Fratto G, Valeriani F*: Cobalt-chromium alloys in dentistry: An evaluation

- of metal ion release. *J Prosthet Dent*, 2015; 114: 602-608.
11. Schmitter M, Mussotter K, Rammelsberg P: Clinical performance of extended zirconia frame-works for fixed dental prostheses: two-year results. *J Oral Rehabil* 2009; 36: 610-615.
 12. Ortorp A, Kihl M, Carlsson G: A 3-year retrospective and clinical follow-up study of zirconia single crowns performed in a private practice. *J Dent* 2009; 37: 731-736.
 13. Kohorst B, Brinkmann H, Li J: Marginal accuracy of four – unit zirconia fixed dental prostheses fabricated using different computer – aided manufacturing systems. *Eur J Oral Sci* 2009; 116: 319-325.
 14. ISO 13356: 2008 (E), Implants for surgery – Ceramic materials based on yttria – stabilized tetragon al zirconia (Y-TZP).
 15. Jaegermann Z, Michalik R: Materiały ceramiczne dla protetyki stomatologicznej – badanie właściwości fizycznych i mikrostruktury tworzyw cyrkonowych. *Szkło i Ceramika*, 2010.
- Zaakceptowano do druku: 9.01.2020 r.
Adres autorów: 02-091 Warszawa, Binieckiego 6.
© Zarząd Główny PTS 2020.