

Obróbka strumieniowo-ścierna w stomatologii klinicznej – przegląd piśmiennictwa

Abrasive blasting in clinical dentistry – literature review

**Marcin Szerszeń¹, Aleksandra Koczwarą², Marek Mazur²,
Katarzyna Pindelska²**

¹ Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Polska
Department of Prosthodontics, Medical University of Warsaw
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jolanta Kostrzeva-Janicka

² Studenckie Koło Naukowe, Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Students' Research Group, Department of Prosthodontics, Medical University of Warsaw

HASŁA INDEKSOWE:

piaskowanie, abrazja powietrzna, kinetyczne opracowanie zębów, piaskowanie profilaktyczne, ścierniwa

KEY WORDS:

air abrasion, kinetic teeth preparation, sandblasting, air polishing, abrasive powders

Streszczenie

Stomatologia minimalnie inwazyjna (MID - *minimally invasive dentistry*) od lat 90-tych ubiegłego wieku zyskuje coraz większe zastosowanie i zaczyna być dominującą koncepcją leczenia dentystycznego ze szczególnym uwzględnieniem procedur z zakresu stomatologii zachowawczej, oraz coraz częściej protetyki stomatologicznej. Klinicyści mający do czynienia z odtwarzaniem jakościowych ubytków zębów w celu uzyskania jak najmniejszej ingerencji we własne tkanki pacjenta wykorzystują postęp dokonujący się na polu materiałów, jak również urządzeń użytkowanych w gabinetach stomatologicznych. Metoda abrazji powietrznej w stomatologii, pomimo iż jest znana już od lat 40-tych XX wieku, dobrze wpisuje się w założenia minimalnej interwencji w strukturę zębów. Wykorzystanie abrazji powietrznej, ze względu na ograniczenia materiałów wypełnieniowych, przez wiele lat było jednak traktowane jako metoda drugorzędna, a niekiedy wręcz niekorzystnie wpływająca na rokowanie leczenia odtwórczego. Dzięki odkryciu zjawiska adhezji, wykorzystującej chemiczne i mikromechaniczne

Summary

Minimally invasive dentistry (MID) has been gaining in popularity since the 1990s, and is becoming the dominant concept of dental treatment with particular emphasis on procedures in the field of conservative dentistry, and increasingly in prosthodontics. In order to interfere as little as possible in the patient's own tissues, clinicians dealing with restoration of qualitative tooth defects take advantage of the progress made in the field of materials, as well as devices used in dental offices. The concept of air abrasion in dentistry, although known since the 1940s, is well suited to the assumptions of MID. However, the use of air abrasion, due to the limitations of filling materials, has for many years been regarded as secondary, and even as one adversely affecting the outcome of restorative treatment. Thanks to the discovery of adhesion, utilizing the chemical and micromechanical bonding of the composite material with enamel and dentine, the retentive shape of cavity preparation was no longer necessary, and the conservative preparation of tooth tissues has become a new standard of

połączenia materiału złożonego ze szkliwem i zębina, retencyjny kształt opracowania ubytków nie był już konieczny, a oszczędna preparacja tkanek zęba zaczęła być nowym kanonem postępowania. Pomimo, iż wykorzystanie wiertel w opracowywaniu struktur zęba jest nadal najczęściej wybieranym wariantem, technika abrazyjnej zyskuje coraz szersze grono zwolenników ze względu na, między innymi korzystny wpływ na mikro i makrostrukturę preparowanych tkanek, a także pozytywne opinie pacjentów na temat tej metody leczenia. Wykorzystując słowa kluczowe „air abrasion”, „sandblasting”, „kinetic preparation” i „air polishing” oraz ich polskie tłumaczenia, przeszukano bazę biblioteczną Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego z dostępem przez intranetowy portal SSL-VPN oraz bazy medyczne: PubMed/Medline, EBSCOhost, PBL, ProQuest, ScienceDirect wyszukując tylko pełnotekstowe publikacje bez ustalania filtra okresu publikacji. W przeglądzie wykorzystano artykuły oraz opracowania książkowe najbardziej odpowiadające zakładanej tematyce pracy.

management. Although the use of drills is still the most frequently chosen option, the technique of air-abrasion is gaining a growing number of supporters due to its beneficial effect on the micro- and macrostructure of the prepared tissues, and the positive opinions of patients about this method. Using the key words: “air abrasion”, “sandblasting”, “kinetic preparation” and “air polishing” and their Polish translations, the library database of the Medical University of Warsaw was searched through the intranet portal and medical databases: PubMed/Medline, EBSCOhost, PBL, ProQuest, ScienceDirect only for full-text publications without setting the publication period filter. Only papers and books most relevant to the assumed subject of work have been used in the review.

Wstęp

Stomatologiczna abrazyja powietrzna (ang. air abrasion) nazywana również metodą strumieniowo-ścierną lub metodą abrazyjno-kinetyczną jest minimalnie inwazyjną metodą preparacji polegającą na kinetycznym opracowaniu twardych tkanek zęba za pomocą mieszanki proszku (ścierniwa) oraz sprężonego gazu (najczęściej powietrza). W ujęciu technicznym metoda strumieniowo-ścierna posiada niemal 150-letnią historię i należy do ściernych, ubytkowych metod kształtowania i obróbki powierzchni.¹⁻³ Pierwsze próby wykorzystania tej metody obróbki w stomatologii podjął amerykański dentysta *Robert Black* (uważany za prekursora piaskowania w dentystyce) w latach 40-tych XX wieku i poskutkowało one wprowadzeniem na rynek pierwszego na świecie dostępnego komercyjnie unitu abrazyjnego

o nazwie Airdent (S.S. White, USA). Piaskarki i opracowanie strumieniem sprężonego powietrza oraz ścierniwa miało być alternatywą do wykorzystywanych w tamtym okresie wiertel napędzanych mikrosilnikami stomatologicznymi. Jak wynika z prac opublikowanych przez *Blacka*, metoda przez niego zaproponowana była stworzona w celu polepszenia odczuć pacjentów w trakcie zabiegów stomatologicznych poprzez eliminację bólu, wibracji, nieprzyjemnych dźwięków, zapachów i w założeniu miała przyspieszyć opracowanie ubytków próchnicowych.^{4,5} Według badań *Blacka* z 1955 roku ówczesni lekarze stomatolodzy uważali, że technika abrazyjnej powietrznej okazała się cennym i praktycznym dodatkiem do opracowywania próchnicy oraz profilaktyki, a dodatkowo przyczyniła się do minimalizacji zmęczenia fizycznego oraz psychicznego dentystów. W kolejnych badaniach *Black* dokonał ponownej

oceny techniki abrazyjnej i określił główne zalety tej metody, takie jak: najszybsza metoda ekskawacji szkliwa, najszybsza metoda profilaktycznego czyszczenia powierzchni szkliwa z osadów, minimalne zmęczenie fizyczne operatora, praktycznie brak lęku lub dyskomfortu związanego z zabiegiem u pacjenta, biokompatybilność ze względu na brak urazu zęba. Metoda ta posiadała w tamtym okresie jednak wiele wad, między innymi: utrudniony lub całkowity brak możliwości ostrokonturowego opracowania ubytku, brak możliwości nadania retencyjnego kształtu opracowanego ubytku (wymaganego przez materiały odtwórcze tamtego okresu – amalgamat, złoto), znaczne zapylenie pola zabiegowego jak i pomieszczenia, w którym wykonywany był zabieg.^{6,7}

Wprowadzenie w późnych latach 50-tych XX wieku szybkoobrotowych wiertarek powietrznych (turbina powietrzna *Bordena*), umożliwiając dużo szybsze opracowanie ubytków oraz wyeliminowanie w ten sposób wad występujących w metodzie abrazyjnej przesądziło o niskiej propagacji, a w niektórych przypadkach zupełne zarzucenie wykorzystywania techniki strumieniowo-ścierniej w stomatologii.^{8,9}

Pomimo tego, że ogólna koncepcja abrazyjnej powietrznej nie zmieniała się na przestrzeni lat, wydaje się, iż swoisty renesans tej metody został podyktowany trzema głównymi czynnikami: wprowadzeniem metod adhezyjnego wiązania pomiędzy materiałami odtwórczymi a tkankami zęba, rozpowszechnieniu metod izolacji pola zabiegowego oraz wprowadzeniu ssaków stomatologicznych o wysokiej wydajności.^{7,8,10,11} Istotne zmiany w technice piaskowania zachodziły natomiast w kwestii wykorzystywania nowych materiałów ściernych, możliwości dostosowania właściwości urządzenia abrazyjnego w zależności od pożądanego efektu zabiegu oraz dzięki miniaturyzacji urządzeń piaskujących. W 1992 roku FDA (ang. Food and Drug Administration – Agencja

Żywności i Leków), amerykańska instytucja rządowa zajmująca się między innymi kontrolą urządzeń medycznych zatwierdziła możliwość wprowadzenia na rynek systemów abrazyjno-kinetycznego opracowywania zębów.¹² W świetle wielu badań skuteczność techniki piaskowania jest porównywalna z tradycyjnymi metodami, a dodatkowymi zaletami abrazyjnej powietrznej podkreślonymi przez niektórych autorów było podniesienie komfortu zabiegów przeprowadzanych u dorosłych i dzieci, sprzyjając na przykład braku powstawania dentofobii lub braku konieczności podawania anestetyków w przypadku opracowywania ubytków niepróchnicowego pochodzenia.¹³⁻¹⁵ Od wielu lat nierozstrzygnięta pozostaje kwestia wpływu metod strumieniowo-ściernych na połączenie tkanek zęba z adhezyjnymi systemami łączącymi. W założeniu technika ta, przy odpowiednio dobranych parametrach, nadaje mikrochropowatość, rozwijając w ten sposób powierzchnię opracowywanych tkanek jak również oczyszcza i usuwa warstwę mazistą, jednak dyskusyjna jest wyższość takiego działania nad standardową procedurą opracowania wiertłem i wytrawiania kwasem ortofosforowym.¹⁶⁻²⁰

Mechanizm działania oraz czynniki wpływające na efekt obróbki strumieniowo-ścierniej

Piaskowanie w schematycznym ujęciu polega na skrawaniu materiału obrabianego wykorzystując energię kinetyczną ziaren ściernych (ścierniwa) nadaną poprzez medium rzucające (strumień sprężonego gazu lub wody). Obróbka strumieniowo-ścierna została opisana w normie PN-EN ISO 8504-2:2020-04 i jest przedstawiona jako „uderzenie strumieniem ścierniwa, charakteryzujące się wysoką energią kinetyczną w powierzchnię, która ma być przygotowana”. Warto doprecyzować, iż wymieniona norma zatwierdzona przez Polski Komitet Normalizacyjny odnosi się do wytycznej branżowej z obszaru „Przygotowania podłoża stalowych przed nakładaniem farb

i pochodnych”, jednak w aspekcie podstaw technologicznych, mechanizm tego rodzaju obróbki w zakresie zabiegów stomatologicznych jest z nią tożsamy.^{21,22}

W stomatologicznej obróbce strumieniowo-ścierniej wybór odpowiedniego rodzaju urządzenia oraz ścierniwa determinowany jest oczekiwanym efektem końcowym, zależnym od rodzaju wykonywanego zabiegu w trakcie procesu leczniczego. Niezależnie jednak od rodzaju urządzenia i ścierniwa istnieją parametry wpływające na efekt obróbki tego rodzaju. Wiele z tych czynników ma wpływ na strukturę, którą lekarz może uzyskać w odniesieniu do tkanek twardych zębów, a jednym z najważniejszych jest ciśnienie medium rzucającego (gazu pędnego). Jego wzrost niezależnie od innych parametrów powoduje zwiększenie efektywności skrawania. Ciśnienie gazu użytego do napędzania ścierniwa bezpośrednio wpływa na prędkość cząsteczek abrazyjnych (ścierniwa) nadając im energię kinetyczną. Energia kinetyczna ziaren ściernych określona jest wzorem:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

m – masa cząsteczki ścierniwa,

v – prędkość cząsteczki ścierniwa nadana przez ciśnienie.

Zwiększenie prędkości 2-krotnie powoduje 4-krotny wzrost energii cząstek ściernych, a co za tym idzie znacznie zwiększa efektywność skrawania. Rodzaj gazu pędnego również ma wpływ na skuteczność cięcia tkanek zęba. Użycie helu jako gazu do napędzania cząsteczek powoduje wzrost wydajności skrawania nawet o 40% (przy ciśnieniu 100 psi). Jest to spowodowane niższą gęstością właściwą helu – wydostaje się on z końcówki piaskarki z ok. 2,5-krotnie większą prędkością niż powietrze. Efektywność skrawania w przypadku helu w odróżnieniu od powietrza nie jest jednoznacznie skorelowana z wartością ciśnienia, ponieważ cząsteczki poruszają się w nim bardziej bezwładnie.²³⁻²⁶

Podany powyżej wzór obrazuje, iż drugim istotnym parametrem w pracy piaskarką jest masa cząstek ścierniwa. Logicznym może się wydawać, że im większa masa cząsteczek abrazyjnych, tym większa będzie efektywność procesu abrazyjnego. Rozumowanie takie jest prawdziwe tylko w przypadku tkanek twardych. Im większe ziarna, tym głębsze i bardziej chropowate będą opracowywane ubytki w tkankach twardych. W tkankach zainfekowanych przez próchnicę, abrazyja ziarnami większymi przynosi skutek odwrotny do zamierzonego. Usunięte zostają mniejsze ilości mas próchnicowych niż przy użyciu piasków o drobniejszej średnicy. Cząsteczki o dużej średnicy (np.: 125 µm) posiadają większą energię kinetyczną, co prowadzi do tego, że grzęzną głębiej w miękkich masach próchnicowych i wytracają tam swoją całą energię. Cząsteczki o mniejszej masie nie zapadają się tak głęboko i mogą bardziej efektywnie usuwać tkanki próchnicowe.^{25,27}

Kolejnymi ważnymi parametrami w pracy piaskarką jest odległość dyszy od opracowywanej powierzchni oraz kąt nachylenia końcówki piaskarki. Zdaniem *Paolinelisa* i wsp.²⁸ optymalna odległość pomiędzy powierzchnią poddawaną abrazyjii a końcówką dyszy wynosi 5 mm, przy kącie 60° w przypadku cięcia w miejscu i 75° przy cięciu dynamicznym. Dowodzą oni, że do efektywnego cięcia tkanek zęba, konieczne jest umożliwienie swobodnego odpływu cząsteczkom zużytego ścierniwa. Zwiększenie odległości końcówki piaskarki od powierzchni zęba i odpowiednie ustawienie dyszy powoduje wzrost siły skrawania, gdyż zużyty piasek może wtedy swobodnie opuścić ubytek. Ponadto dynamiczne ruchy końcówki piaskarki doprowadzają w ten sam sposób do zauważalnego wzrostu efektywności cięcia. W opozycji do badań *Paolinelisa* i wsp. pozostają doniesienia *Peruchi* i wsp., którzy optymalną odległość pomiędzy opracowywaną powierzchnią a wylotem dyszy określili na około 2 mm – jednak badania te posiadały inny

przyjęty protokół postępowania i dotyczyły zębów mlecznych.²⁹

Wpływ na efektywność cięcia tkanek zęba ma również wskaźnik zwany PFR (powder flow rate - wielkość przepływu proszku). PFR jest to parametr, możliwy do ustawienia ręcznego w odpowiednio do tego przystosowanych urządzeniach. Określa on jak dużo środka ściernego ma wydostawać się w jednostce czasu z dyszy. Wzrost ilości proszku podawanego do dyszy nie powoduje istotnych zmian w sile cięcia, a jedynie zwiększa zapylenie obszaru operacyjnego. Samo zwiększenie ilości ścierniwa bez podniesienia ciśnienia nie może zwiększyć abrazyjności, gdyż większe ilości proszku wymagają większej ilości gazu pędnego zdolnego nadać cząstkom energię kinetyczną.²⁸

Czynnikiem wpływającym na efektywność piaskowania jest również czas - dłuższe działanie ścierniwa powoduje zwiększenie efektywności skrawania. Szczególnie duże znaczenie ma on w przypadku statycznego opracowania punktowego, przy dynamicznym wykonywaniu ruchów końcówką, czas nie wpływa bardzo istotnie na efektywność. Okres oddziaływania cząsteczek abrazyjnych na tkankę ma także wpływ na chropowatość powierzchni opracowywanej.²⁸ Istnieją doniesienia, iż mającą pewien wpływ na siłę cięcia zmienną jest poziom wypełnienia pojemnika ze środkiem abrazyjnym. Jak pokazały badania *Banerjee* i wsp., w niektórych urządzeniach do piaskowania obserwuje się spadek wielkości PFR (powder flow rate - ilość ścierniwa przechodzącego do dyszy w jednostce czasu). Zjawisko to związane jest z budową urządzenia oraz systemu zasysającego piasek z pojemnika do dyszy piaskarki.³⁰

Niezależnie od wymienionych wyżej parametrów, rodzaj ścierniwa i rodzaj urządzenia wykorzystującego metodę strumieniowo-ścierną ma decydujące znaczenie dla efektu terapeutycznego i określenia typu zabiegu możliwego do uzyskania przez operatora. Kwestie konkretnych ustawień opisanych parametrów stają się

natomiast fundamentalne w przypadku badań naukowych, gdzie zmienne mogą mieć wpływ na partykularne wyniki porównań przyjętych metod.

Rodzaje urządzeń i zabiegów stomatologicznych wykorzystujących metodę obróbki strumieniowo-ścierniej

Wybór urządzenia wykorzystującego mechanizm obróbki strumieniowo-ścierniej jest kluczowy dla rezultatu wykonanego nim zabiegu stomatologicznego. Na rynku istnieje wiele narzędzi i systemów wykorzystujących ten rodzaj obróbki. Z przeprowadzonego przeglądu dostępnego piśmiennictwa wynika, iż aktualnie wyróżnić można trzy główne grupy urządzeń, a podział uzależniono od możliwego do osiągnięcia wyniku: piaskarki profilaktyczne, piaskarki abrazyjne oraz mikropiaskarki abrazyjne.

Piaskarki profilaktyczne – (APDs – ang. Air-polishing devices) są to urządzenia służące do wykonania zabiegu piaskowania profilaktycznego (ang. air-polishing). Zabieg ten stosowany jest do usuwania osadów, powierzchniowych przebarwień zewnątrzpochodnych, polerowania powierzchni zębów, a w niektórych przypadkach również do usuwania złogów nazębnych i może być uzupełniającym elementem zabiegów fazy podtrzymującej niechirurgicznego leczenia przewlekłego zapalenia przyzębia.³¹⁻³³ Piaskowanie profilaktyczne zostało zaproponowane w latach 70-tych XX wieku jako alternatywa dla polerowania z wykorzystaniem szczotek, gumek i past polerskich. Zaletami wprowadzenia tego typu wygładzania powierzchni w stosunku do metod wykorzystywanych wcześniej było: wyeliminowanie możliwości przegrzania tkanek, mniejsze zmęczenie operatora, większy komfort dla pacjenta oraz efektywniejsze usuwanie przebarwień.³⁴⁻³⁶ W założeniu zabieg piaskowania profilaktycznego jest bezbolesny i nie uszkadza struktury szkliwa, istnieją natomiast doniesienia poparte obrazami ze skaningowych mikroskopów elektronowych oraz

wynikami profilometrii laserowych ukazujące możliwość uszkodzenia struktury cementu korzeniowego w przypadku wykorzystania nieodpowiedniego ścierniwa (np. profilaktycznych piasków z zawartością partykuł NaHCO_3 lub CaCO_3).^{32,37-39} Niemniej jednak na rynku narzędzi stomatologicznych dostępne są końcówki piaskarek profilaktycznych wraz z dedykowanymi dyszami oraz ścierniwem umożliwiające usuwanie biofilmu również poddłużsłowo (np. PERIOFLOW® EMS).⁴⁰⁻⁴² Zhang i wsp. w systematycznym przeglądzie porównali profilaktyczne piaskowanie poddłużsłowe do tradycyjnego skalingu ultradźwiękowego, jednak wyniki badań zostały określone jako nierozstrzygnięte, ponieważ żadna z metod nie wykazała lepszych efektów klinicznych nad drugą.⁴³

Urządzenia do piaskowania profilaktycznego są dostępne w dwóch formach konstrukcyjnych: specjalnie ukształtowane rękojeści zakładane na rękaw końcówek turbinowych unitu stomatologicznego (np.: Air-Flow® Handy EMS, Prophy-Mate® NSK, PROPHYflex® Kerr) lub jako oddzielne wolno stojące stacje robocze posiadające niezależne zasilanie (np.: UDS-J Woodpecker, Air-Flow® S1 EMS, AirMax® Satelec). Wolno stojące odmiany występują w różnych konfiguracjach, a jedną z dostępnych opcji jest umieszczenie rękojeści do piaskowania oraz skalera ultradźwiękowego w jednym urządzeniu (np.: Varios® Pro NSK, PT-A Woodpecker, Air Flow Master Piezon® EMS).^{35,44}

Piaskarki abrazyjne – (ang. air abrasion units, air abrasion systems, air abrasion devices) urządzenia umożliwiające wykonanie zabiegów piaskowania (opracowania) abrazyjnego. Są to w znacznej większości oddzielne, niepodłączane do unitu stomatologicznego wolno stojące systemy składające się z kilku podzespołów. Niezależnie od producenta konkretnego aparatu, w składzie wszystkich wolno stojących systemów można wyróżnić – rękojeść piaskującą zakończoną wąską dyszą oraz jednostkę centralną (sterującą) podłączoną do rękojeści

przewodem ciśnieniowym. Większość jednostek centralnych pełni funkcję sterownika parametrami urządzenia, takimi jak ciśnienie oraz ilość cząstek ścierniwa w strumieniu abrazyjnym. W zależności od rodzaju jednostki może posiadać ona sterownik nożny oraz różne gniazda wejściowe/wyjściowe np.: wodne i/ lub sprężonego powietrza zazwyczaj w postaci szybkozłączy hydraulicznych. Istnieją również proste piaskarki abrazyjne, które podłącza się bezpośrednio do rękawa unitu o wyglądzie przypominającym piaskarki profilaktyczne (np. RONDOflex® plus 360, Kerr). Jakkolwiek jest to rozwiązanie praktyczne, to w rękawie turbinowym nie osiąga się dostatecznie wysokiego ciśnienia, co przekłada się na niższą skuteczność takich piaskarek.^{7,18,30} Wśród piaskarek abrazyjnych wyróżnia się te zasilane z kompresora unitu lub butli ze sprężonym powietrzem, np. MSP (Mikropreparator Stomatologiczno-Protetyczny, Art-Dent). W drugim przypadku korektor na ujściu butli nosi funkcję regulatora ciśnienia strumienia abrazyjnego.¹⁸ Wyróżnia się dwie główne grupy systemów piaskarek abrazyjnych i są to: piaskarki abrazyjne bez płaszczka wodnego (np. PrepStart®, Danville; Sandman Futura®, Zenith Dental, MSP, Art-Dent) oraz piaskarki abrazyjne z płaszczem wodnym (np. PrepStart H2O®, Danville; AquaCare®, Velopex).

W przypadku zestawów bez płaszczka wodnego strumień sprężonego powietrza wymieszanego ze ścierniwem jest wyrzucany z dyszy w systemie pracy pulsacyjnej (naprzemienne wyrzucanie strumienia powietrza z i bez zawartości ścierniwa) lub ciągłej (ciągłe wyrzucanie strumienia powietrza ze ścierniwem). Piaskarki z płaszczem wodnym muszą posiadać podłączenie do bieżącej wody lub posiadają własny zbiornik, który uzupełnia się płynem przed rozpoczęciem procedury klinicznej. W zależności od budowy rękojeści urządzenia płaszcz wodny może otaczać strumień powietrzno-ścierny (takie rozwiązanie wymaga koncentrycznego

układu rurek dyszy, gdzie zewnętrzny strumień tworzy woda a wewnętrzny powietrze i ścierniwo) lub może mieszać się z nim przed ujściem z końcówki dyszy, czego efektem jest jednorodny strumień zawiesiny. Niezależnie od rozwiązania wykorzystanie płaszcza wodnego znacząco obniża zapylenie pola zabiegowego i jednocześnie przemywając polepsza jego widoczność. Wykorzystanie strumienia wodno-powietrzno-ściernego zmniejsza również temperaturę opracowywanych tkanek w porównaniu do opracowania powietrzno-ściernego. Występujące w piśmiennictwie określenie „abrazji wodnej” (ang. aquabrasion) w stosunku do piaskowania abrazyjnego z płaszczem wodnym w opinii autorów niniejszej pracy jest błędne, ponieważ czynnikiem ściernym w tym przypadku nadal jest ścierniwo a nie jak sugeruje nazwa – strumień wody. Piaskarki abrazyjne dzięki możliwości dostrojenia parametrów zabiegu oraz wykorzystaniu odpowiedniego ścierniwa posiadają również funkcję piaskowania profilaktycznego, niektóre z nich wyposażone w dodatkowy zbiornik na ścierniwo profilaktyczne umożliwiając szybkie manewrowanie pomiędzy dwoma rodzajami obróbki strumieniowo-ściernej – piaskowaniem abrazyjnym i piaskowaniem profilaktycznym (np. AquaCare Twin®, Velopex).^{18,45,46}

Mikropiaskarki abrazyjne – (ang. mini sandblasters) są to poręczne urządzenia o budowie rękojeści z końcówką w postaci dyszy i ze zintegrowanym z rękojeścią zbiornikiem na ścierniwo. Pomimo, iż przeznaczone są do piaskowania stricte abrazyjnego ze względu na odmienny mechanizm działania niż standardowe piaskarki abrazyjne charakteryzują się mniejszą efektywnością podczas opracowywania szkliwa i zębiny. Powstawanie strumienia powietrzno-ściernego jest w przypadku mikropiaskarek efektem działania efektu *Venturiego* (ścierniwo ze zbiornika jest pobierane poprzez wytworzenie podciśnienia w rurce ssącej połączonej w końcowej części rękojeści z przewodem

ciśnieniowym dochodzącym do zwężonej w tylnej części dyszy wyprowadzającej strumień abrazyjny). Mikropiaskarki najczęściej występują jako końcówki zakładane na rękaw turbinowy (np. MicroEtcher CD®, Danville) lub jako rękojeści podłączane do źródła sprężonego powietrza wyprowadzonego z jednostki sterującej lub bloku spluwaczki unitu stomatologicznego (np. MicroEtcher IIa®, Danville; Dento-Prep®, Ronvig, Airsonic Mini Sandblaster®, Hager Werken; MicroBlaster®, Bio-Art). Pierwszy opisany rodzaj połączenia umożliwia operowanie mikropiaskarkami abrazyjnymi przy pomocy sterownika nożnego unitu, drugi rodzaj wymaga innej konstrukcji rękojeści i musi być ona wyposażona w przycisk spustowy – jest on najczęściej umiejscowiony na bocznej powierzchni końcówki roboczej w taki sposób, aby możliwe było operowanie nim przy pomocy kciuka. Nie posiadają one możliwości dostosowania parametrów ciśnienia ani podłączenia źródła wody.

Mikropiaskarki mogą być użytkowane zarówno w jamie ustnej, jak i poza nią. Zewnątrzustnie sprawdzają się w dokładnym, szybkim oczyszczaniu zabrudzonych uzupełnień protetycznych (np. wnętrza koron lub mostów), jak również nadają chropowatą mikrostrukturę materiałom, takim jak metal, porcelana czy materiały złożone. W protetyce stomatologicznej mogą być wykorzystywane między innymi do usuwania resztek cementu zarówno ze stałego uzupełnienia, które utraciło retencję, jak i oczyszczenia szkliwa czy zębiny przed osadzeniem konstrukcji protetycznej na tkankach zęba. W wyniku przeprowadzonego przeglądu piśmiennictwa znaleziono liczne badania porównujące efektywność różnych metod modyfikacji powierzchni metalu bądź tlenku cyrkonu przed procedurami cementowania. Wykazano, że chropowacenie powierzchni z użyciem mikropiaskarek powoduje polepszenie retencji, pod warunkiem ustalenia odpowiednich parametrów pracy piaskarki.⁴⁷⁻⁵⁰ W przypadku

użytkowania poza jamą ustną zalecane jest piaskowanie wewnątrz specjalistycznych komór wyciągowych (np. MicroCab®, Danville; BioChamber®, Bio-Art) ograniczających zapylenie pomieszczenia. Teoretycznie istnieje możliwość wewnątrzustnego opracowania ubytków mikropiaskarkami abrazyjnymi, jednak byłyby to procesy bardzo pracochłonne ze względu na ograniczoną efektywność tych urządzeń. Urządzenia tego typu są wskazane w przypadku bardzo małych ubytków, dokładnego oczyszczania powierzchni zębów ze wszelkich zanieczyszczeń, przygotowania bruzd do lakowania. Istnieją również doniesienia na temat pozytywnego wpływu opracowania struktury szkliwa i zębiny względem następowych procedur adhezyjnych. Producenci tych urządzeń przekonują, iż rozwinięcie powierzchni (nadanie mikrochropowatości) oraz usunięcie warstwy mazistej poprzez piaskowanie z wykorzystaniem mikropiaskarek abrazyjnych może być postrzegane jako alternatywa dla kondycjonowania tkanek twardych zębów np. w procedurze wytrawiania przed cementowaniem adhezyjnym. Mikropiaskarki mogą być ponadto użyteczne w naprawach uzupełnień stałych licowanych porcelaną. Tradycyjne postępowanie naprawcze często okazuje się niewystarczające i konieczne jest użycie abrazyjnej powłoki powietrznej celem lepszego rozwinięcia powierzchni i uzyskania trwalszego połączenia pomiędzy dwoma rodzajami materiałów składowych naprawianego uzupełnienia.^{48,51-54} Mikropiaskarki abrazyjne z uwagi na swoją uniwersalność zastosowań mogą stanowić alternatywę dla klasycznych piaskarek abrazyjnych przy wykonywaniu niektórych procedur. Największym mankamentem tego rodzaju urządzeń jest stosunkowo duże zapylenie pola zabiegowego w trakcie ich pracy, wynikające z braku płaszcza wodnego.^{1,18}

Pomimo że nie jest to tematem niniejszego przeglądu, należy wspomnieć, iż oprócz wymienionych wyżej rodzajów narzędzi

klinicznych wykorzystujących obróbkę strumieniowo-ścierną, istnieje jeszcze grupa urządzeń ściśle technicznych, nazywana najczęściej piaskarkami piórowymi lub piórkowymi, wykorzystująca tę samą technologię abrazyjną w laboratoriach techniki dentystycznej.

Rodzaje ścierniwa wykorzystywane w metodzie obróbki strumieniowo-ścierniej

Rodzaj urządzenia stomatologicznego wykorzystującego obróbkę strumieniowo-ścierną predestynuje operatora do uzyskania odpowiedniego efektu terapeutycznego. Kluczową kwestią wpływającą na rezultat zabiegu oprócz doboru urządzenia oraz jego ustawień jest również wybór odpowiedniego ścierniwa w zależności od wskazań klinicznych. Zabiegi piaskowania abrazyjnego, profilaktycznego czy mikropiaskowania pozwalają na wykorzystanie różnych typów i rozmiarów ścierniwa o diametralnie odmiennym oddziaływaniu na tkankę zęba.

Tlenek glinu (Al_2O_3) – jest to ścierniwo najbardziej powszechne w przypadku zabiegów abrazyjnej powłoki powietrznej. Charakteryzuje się wysoką abrazyjnością ze względu na kształt drobin w postaci ostrokonturowych cząstek oraz twardość – ok 2000 w skali Knoop-a.⁵⁵ Dzięki swoim właściwościom nadaje się do opracowywania ubytków próchnicowych, cięcia, mikrochropowacenia, oczyszczania tkanek twardych zębów (np. z cementów tymczasowych) oraz oczyszczania metali czy porcelany. Efektywność procesu skrawania może być kontrolowana przez ustalenie ciśnienia strumienia ściernego, dobór urządzenia oraz ustawienia parametrów piaskarki abrazyjnej. Ścierniwo to jest używane zarówno przez piaskarki abrazyjne, jak i mikropiaskarki abrazyjne, niewskazane jest zastosowanie tego rodzaju piasku w piaskarkach profilaktycznych ze względu na możliwość ich uszkodzenia. Autorzy niniejszej pracy dokonali przeglądu aktualnie dostępnych na polskim rynku ścierniw tlenku glinu uzyskując informacje o szerokim spektrum gradacji partykuł ścierniwa od 27 do

90 μm (zakres wskazany do pracy wewnątrzustnie to 27-50 μm).^{18,27,56,57}

Wodorowęglan sodu (NaHCO_3) – jest najczęściej wykorzystywanym środkiem do nadziaślowego piaskowania profilaktycznego. Partykuły tego ścierniwa posiadają rozmiar około 250 μm . Jest to ścierniwo bardzo efektywne w usuwaniu osadów ze szkliwa, a kulisty kształt drobin oraz niskie ciśnienie piaskarek profilaktycznych powodują, iż oczyszczane szkliwo jak również wypełnienia z nowoczesnych materiałów złożonych pozostają nieuszkodzone, a nawet jeśli ulegają defektom to w nieznacznym stopniu.^{30,35,38,44,45} Poza zastosowaniami o charakterze profilaktycznym może on być z powodzeniem wykorzystywany w protetyce stomatologicznej jako ścierniwo eliminujące zanieczyszczenia (np. resztki cementu po usunięciu uzupełnień tymczasowych), warstwę mazistą po opracowywaniu twardych tkanek zębów wiertłami oraz jako ścierniwo poprawiające mikroretencję systemów wiążących do zębiny. Mankamentem wodorowęglanu sodu jest to, iż pozostawione na powierzchni zębów drobiny stanowią zanieczyszczenie wpływające negatywnie na siłę adhezji.⁵⁷ W piśmiennictwie można odnaleźć przeciwskazania do wykorzystywania tego rodzaju ścierniwa u pacjentów ze schorzeniami ogólnoustrojowymi wymagającymi kontroli przyjmowanych ilości sodu takimi jak nadciśnienie tętnicze czy choroby nerek.^{35,38}

Szkło bioaktywne – składa się głównie z krzemu, wapnia, sodu, tlenu i fosforu. W przeciwieństwie do tlenku glinu szkło bioaktywne jest materiałem o zaokrąglonych krawędziach, z nielicznymi ostrymi brzegami. Charakteryzuje się mniejszą twardością od tlenku glinu i wykazuje mniejsze zdolności skrawania przy porównywalnych parametrach preparacji. Z tego względu preparacja przy pomocy tego ścierniwa może być znacznie wydłużona, co przekłada się na zastosowanie głównie w zabiegach profilaktycznych.

Mimo tych mankamentów, szkło bioaktywne jest materiałem, który posiada zaletę, w postaci biozgodności z tkankami zęba oraz zdolność indukowania remineralizacji.^{58,59} Biorąc pod uwagę tę właściwość, szkła bioaktywne mogą być uznawane za preferencyjne w stosunku do tlenku glinu w przypadku opracowywania ubytków próchnicowych. Kolejną zaletą tego materiału, jest zdolność do znoszenia nadwrażliwości zębiny. Istnieją publikacje donoszące, iż po zastosowaniu piaskowania szkłem bioaktywnym zablokowaniu uległo 100% kanalików zębinowych, nawet pomimo następowego wytrawienia powierzchni kwasem cytrynowym, nadal 94% z nich wciąż pozostawało zamkniętych. Takie właściwości szkła bioaktywnego Sylc® (SYLC, OSspray) zostały zobrazowane i udowodnione obrazami z SEM przez *Sauro* i wsp.⁴⁵ Szkło bioaktywne wykazuje ponadto działanie przeciwbakteryjne. Z uwagi na możliwość mnogich modyfikacji zwiększając zawartość jonów, może podnosić miejscowo pH, a dodatek związków cynku zaburza syntezę bakteryjnego DNA. Badania wykazały, że powierzchnia poddana działaniu szkła bioaktywnego, szczególnie z dodatkiem związków cynku może zostać oczyszczona z bakterii, bez jej uszkodzenia. Szkła bioaktywne nie powodują tworzenia miejsc retencyjnych dla biofilmu, a działając na powierzchnię tytanu, skutecznie eradykują bakterie ze szczepu *S.mutans*.⁶⁰

Wodorotlenek glinu ($\text{Al}(\text{OH})_3$) – jest najbardziej abrazyjnym ze środków wykorzystywanych w metodzie piaskowania profilaktycznego, o wielkości partykuł porównywalnych do wodorowęglanu sodu. Udowodniony jest negatywny jego wpływ na strukturę materiałów wypełnieniowych, cementów i odbudów protetycznych. Proszki na bazie wodorotlenku glinu są alternatywą dla wykorzystania wodorowęglanu sodu u osób z przeciwskazaniem do jego stosowania (nadciśnienie tętnicze, pacjenci z dietą ubogosodową).^{18,35,61,62}

Glicyna (Gly) – jest ścierniwem o niskim

stopniu abrazyjności – polecanym w przypadku piaskowania profilaktycznego zębiny lub cementu korzeniowego, o wielkości partykuł około 63 μm lub mniejszej. Posiada znacznie zmniejszone działanie uszkodzające w porównaniu do wodorowęglanu sodu lub wodorotlenku glinu. Udowodniono w badaniach, iż wykorzystanie proszku glicynowego jako ścierniwa do piaskowania poddślazowego wykazało lepszą efektywność w usuwaniu kamienia nazębnego w porównaniu do instrumentów ręcznych w kieszonkach dziąsłowych głębokości 3-5 mm.^{18,35,40,44}

Hydroksyapatyt (HAp) – jest ścierniwem o niewielkim stopniu abrazyjności i kulistych partykułach o średnicy 1- 5 μm . Nie uszkodza powierzchni zęba poddanego jego działaniu, a jedynie oczyszcza je ze złogów i osadów. Hydroksyapatyt może tworzyć na powierzchni poddanej jego działaniu warstwę bogatą w wapń i fosfor, dlatego też uważa się, iż ma właściwości remineralizujące względem tkanek twardych zęba.^{58,62}

Węgiel wapnia (CaCO_3) – piaski na podstawie węglanu wapnia charakteryzują się sferycznym kształtem partykuł ścierniwa o wielkości około 45 μm , a więc porównywalną z proszkami na bazie glicyny. Skuteczność usuwania osadów jest porównywalna do NaHCO_3 , jednak ze zwiększonym potencjałem destrukcyjnym w stosunku do cementu korzeniowego.^{18,35,39,44,63}

Podsumowanie

Zagadnienie piaskowania profilaktycznego oraz abrazyjnego jest od dawna znane w stomatologii, jednak dzięki postępowi dokonującemu się w zakresie materiałoznawstwa stomatologicznego w ostatnich latach, cieszy się coraz większą przydatnością kliniczną i nadal prężnie rozwija. Na rynku pojawiają się coraz nowocześniejsze rodzaje piaskarek a możliwość dostosowania odpowiednich parametrów urządzenia abrazyjnego w zależności od planowanego

zabiegu pozwala na uzyskanie powtarzalnych i przewidywalnych efektów, dzięki czemu obróbka strumieniowo-ścierna jest coraz chętniej stosowana przez lekarzy praktyków w zakresie specjalności, takich jak: stomatologia zachowawcza, stomatologia dziecięca, protetyka, ortodoncja czy periodontologia. Opierając się na wiedzy teoretycznej wspartej doświadczeniem, lekarz może z powodzeniem stosować piaskowanie abrazyjne i profilaktyczne w przypadku rozlicznych procedur klinicznych i laboratoryjnych. Niezależnie od postępu technologicznego dotyczącego urządzeń, wydaje się, iż to wprowadzanie nowych ścierniw lub modyfikacje już istniejących, przesądzi o kierunku rozwoju tej minimalnie inwazyjnej metody opracowania zębów.

Piśmiennictwo

1. *Huang CT, Kim J, Arce C, Lawson NC: Intraoral Air Abrasion: A Review of Devices, Materials, Evidence, and Clinical Applications in Restorative Dentistry. Compendium of Continuing Education in Dentistry 2019; 40(8): 508-514.*
2. *Tilghman BC: Improvement in cutting and engraving stone, metal, glass, &c. United States Patent Office. 1870; Patent No. 108.408.*
3. *Woźniak K: Materiały ścierne stosowane we współczesnej obróbce strumieniowo-ścierniej. Obróbka metalu 2017; 1: 34-42.*
4. *Black RB: Technique for nonmechanical preparation of cavities and prophylaxis. J Am Dent Assoc 1945; 32: 955-965.*
5. *Black RB: Air abrasive: Some fundamentals. J Am Dent Assoc 1950; 41: 701-710.*
6. *Black RB: Application and re-evaluation of the air abrasive technique. J Am Dent Assoc 1955; 50: 408-414.*
7. *Hegde VS, Khatavkar RA: A new dimension to conservative dentistry: Air abrasion. J Conserv Dent 2010; 13(1): 4-8.*

8. *Walmsley AD*: Transfer technology in dentistry. *Br Dent J* 2003; 194(4): 226-227.
9. *Myers TD*: Advances in air abrasive technology. *J Calif Dent Assoc* 1994; 22(9): 41-44.
10. *Buonocore MG*: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955; 34(6): 849-853.
11. *Christensen G*: Cavity preparation: Cutting or abrasion? *J Am Dent Assoc* 1996; 127: 1651-1654.
12. *Rinaudo PJ, Cochran MA, Moore BK*: The Effect of Air Abrasion on Shear Bond Strength to Dentin with Dental Adhesives. *Oper Dent* 1997; 22: 254-259.
13. *Waszkiel D, Marczuk-Kolada G, Szafrąńska B, Łuczaj-Cepowicz E*: Zachowanie pacjenta i utrzymanie laków szczelinowych po opracowaniu powierzchni zęba metodą tradycyjną oraz metodą air-polishing. *Annales Academiae Medicae Stetinensis* 2007; 53: 155-158.
14. *Jadczyk B, Szumiłowicz JP*: Natężenie bólu podczas opracowania ubytków próchnicowych metodą abrazyj powietrznej w subiektywnej ocenie pacjentów. *Doniesienie wstępne. Nowa Stomatol* 2004; 1: 7-10.
15. *Organa J, Opalko K, Kozakiewicz M*: Odczucie bólu podczas opracowywania przyszjkowych ubytków niepróchnicowego pochodzenia metodą abrazyj powietrznej. *Stom Współcz* 2010, 17(2): 8-14.
16. *Borsatto MC, Catirse AB, Palma Dibb RG, Nascimento TN, Rocha RA, Corona SA*: Shear bond strength of enamel surface treated with air-abrasive system. *Braz Dent J*. 2002; 13(3): 175-178.
17. *Laurell K, Lord W, Beck M*: Kinetic cavity preparation effects on bonding to enamel and dentin. *J Dent Res* 1993; 72: 283.
18. *Organa J, Opalko K*: Abrazja w stomatologii Praktyczne kompendium, Wydawnictwo Czelej, Lublin 2013.
19. *Charles A, Senkutvan RS, Subbiah S, Jacob S*: Evaluation of Shear Bond strength between Acid etching, Air Abrasion and Bur abrasion Technique. *Virtual Journal of Orthodontics* 2014; 10, 2: 13-22.
20. *Carvalho EM, Lima DM, Carvalho CN, Loguercio AD, Martinelli JR, Bauer J*: Effect of airborne-particle abrasion on dentin with experimental niobophosphate bioactive glass on the microtensile bond strength of resin cements. *J Prosthodont Res* 2015; 59(2): 129-135.
21. *Olszak W*: Obróbka skrawaniem. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Sp. z o.o., Warszawa 2009.
22. Norma PN-EN ISO 8504-2:2020-04 - Przygotowanie podłoży stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów - Metody przygotowania powierzchni - Część 2: Obróbka strumieniowo-ścierna. Data publikacji: 23.04.2020, data dostępu 2.11.2020.
23. *Nayak D, Ignatius G, Shenoy A, Nayak SD*: Minimal Intervention Dentistry: Air Abrasion. *Heal Talk* 2013; 5(4): 12-13.
24. *Milly H, Austin RS, Thompson I, Banerjee A*: In vitro effect of air-abrasion operating parameters on dynamic cutting characteristics of alumina and bio-active glass powders. *Oper Dent* 2014; 39(1): 81-89.
25. *Coskun ME, Akar T, Tugut F*: Airborne-particle abrasion; searching the right parameter. *J Dent Sci* 2018; 13(4): 293-300.
26. *Paolinelis G, Banerjee A, Watson TF*: An in vitro evaluation of the efficiency of an air-abrasion system using helium as a propellant. *Dent Mater* 2009; 25(11): 1442-1445.
27. *Motisuki C, Lima LM, Bronzi ES, Spolidorio DM, Santos-Pinto L*: The effectiveness of alumina powder on carious dentin removal. *Oper Dent* 2006; 31(3): 371-376.
28. *Paolinelis G, Banerjee A, Watson TF*: An in vitro investigation of the effects of variable operating parameters on alumina air-abrasion cutting characteristics. *Oper Dent* 2009;

- 34(1): 87-92.
29. *Peruchi C, Santos-Pinto A, Dias TC, Oliveira AC, Santos-Pinto L*: Influence of air abrasion tips and operation modes on enamel-cutting characteristics. *Eur J Dent* 2013; 7(1): 1-5.
30. *Banerjee A, Uddin M, Paolinelis G, Watson TF*: An investigation of the effect of powder reservoir volume on the consistency of alumina powder flow rates in dental air-abrasion devices. *J Dent* 2008; 36(3): 224-227.
31. *Westfelt E*: Rationale of mechanical plaque control. *J Clin Periodontol* 1996; 23: 263-267.
32. *Petersilka GJ, Bell M, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF*: Root defects following air polishing. An in vitro study on the effects of working parameters. *J Clin Periodontol* 2003; 30: 165-170.
33. *Tsang YC, Corbet EF, Jin LJ*: Subgingival glycine powder air-polishing as an additional approach to nonsurgical periodontal therapy in subjects with untreated chronic periodontitis. *Journal of Periodontal Research* 2018; 53(3): 440-445.
34. *Willmann DE, Norling BK, Johnson WN*: A new prophylaxis instrument: effect on enamel alterations. *J Am Dent Assoc* 1980; 101(6): 923-925.
35. *Graumann SJ, Sensat ML, Stoltenberg JL*: Air polishing: a review of current literature. *J Dent Hyg* 2013; 87(4): 173-180.
36. *Buhler J, Amato M, Weiger R, Walter C*: A systematic review on the patient perception of periodontal treatment using air polishing devices. *Int J Dent Hyg* 2016; 14(1): 4-14.
37. *Agger MS, Hörsted-Bindslev P, Hovgaard O*: Abrasiveness of an air-powder polishing system on root surfaces in vitro. *Quintessence Int* 2001; 32(5): 407-411.
38. *Gutmann ME*: Air polishing: a comprehensive review of the literature. *J Dent Hyg* 1998; 72(3): 47-56.
39. *Pelka M, Trautmann S, Petschelt A, Lohbauer U*: Influence of air-polishing devices and abrasives on root dentin-an in vitro confocal laser scanning microscope study. *Quintessence Int* 2010; 41(7): 141-148.
40. *Petersilka G, Steinmann D, Häberlein I, Heinecke A, Flemmig T*: Subgingival plaque removal in buccal and lingual sites using a novel low abrasive air-polishing powder. *Journal of Clinical Periodontology* 2003; 30(4): 328-333.
41. *Sculean A, Bastendorf KD, Becker C, Bush B, Einwag J, Lanoway C, Platzer U, Schmage P, Schoeneich B, Walter C, Wennström JL, Flemmig TF*: A paradigm shift in mechanical biofilm management? Subgingival air polishing: a new way to improve mechanical biofilm management in the dental practice. *Quintessence Int* 2013; 44(7): 475-477.
42. *Muller N, Moene R, Cancela JA, Mombelli A*: Subgingival air-polishing with erythritol during periodontal maintenance: randomized clinical trial of twelve months. *J Clin Periodontol* 2014; 41(9): 883-889.
43. *Zhang J, Liu J, Li J, Chen B, Li H, Yan F*: The Clinical Efficacy of Subgingival Debridement by Ultrasonic Instrumentation Compared with Subgingival Air Polishing During Periodontal Maintenance: A Systematic Review. *J Evid Based Dent Pract* 2019; 19(4): (101314): 1-10.
44. *Barnes CM*: An in-depth look at air-polishing. *Dimensions of Dental Hygiene*. 2010; 8(3): 32-40.
45. *Sauro S, Watson TF, Thompson I*: Dentine desensitization induced by prophylactic and air-polishing procedures: an in vitro dentine permeability and confocal microscopy study. *J Dent*. 2010; 38(5): 411-422.
46. *Salerno M, Benedicenti S, Itri A*: Hydro air abrasion on dental glass-ceramics: A direct 3D analysis by stylus profilometry. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2019; 93: 36-42.
47. *Kern M, Barloi A, Yang B*: Surface conditioning influences zirconia ceramic bonding. *J Dent Res*. 2009; 88(9): 817-822.

48. *Shahin R, Kern M*: Effect of air-abrasion on the retention of zirconia ceramic crowns luted with different cements before and after artificial aging. *Dental Materials* 2010; 26(9): 922-928.
49. *Colombo M, Gallo S, Padovan S, Chiesa M, Poggio C, Scribante A*: Influence of Different Surface Pretreatments on Shear Bond Strength of an Adhesive Resin Cement to Various Zirconia Ceramics. *Materials (Basel)* 2020; 13(3): 652.
50. *Antanasova M, Kocjan A, Hocevar M, Jevnikar P*: Influence of surface airborne-particle abrasion and bonding agent application on porcelain bonding to titanium dental alloys fabricated by milling and by selective laser melting. *J Prosthet Dent* 2020; 123(3): 491-499.
51. *Zakavi F, Mombeini M, Dibazar S, Gholizadeh S*: Evaluation of shear bond strength of zirconia to composite resin using different adhesive systems. *J Clin Exp Dent* 2019; 11(3): 257-263.
52. *Blatz MB, Oppes S, Chiche G, Holst S, Sadan A*: Influence of cementation technique on fracture strength and leakage of alumina all-ceramic crowns after cyclic loading. *Quintessence International* 2008; 39(1): 23-32.
53. *Blatz MB, Phark JH, Ozer F, Mante FK, Saleh N, Bergler M, Sadan A*: In vitro comparative bond strength of contemporary self-adhesive resin cements to zirconium oxide ceramic with and without air-particle abrasion. *Clin Oral Investig* 2010; 14(2): 187-192.
54. *Asano R, Otake S, Nozaki K, Yoshida K, Miura H*: Effect of elapsed time after air abrasion on bond strength of luting agent to CAD/CAM resin blocks. *J Oral Sci* 2019; 61(3): 459-467.
55. *Tan MH, Hill RG, Anderson P*: Comparing the Air Abrasion Cutting Efficacy of Dentine Using a Fluoride-Containing Bioactive Glass versus an Alumina Abrasive: An In Vitro Study. *Int J Dent* 2015; 521901: 1-8.
56. *Milly H, Austin RS, Thompson I, Banerjee A*: In vitro effect of air-abrasion operating parameters on dynamic cutting characteristics of alumina and bio-active glass powders. *Oper Dent* 2014; 39(1): 81-89.
57. *Sutil B, Susin AH*: Dentin pretreatment and adhesive temperature as affecting factors on bond strength of a universal adhesive system. *J Appl Oral Sci* 2017; 25(5): 533-540.
58. *Hassan U, Farooq I, Moheet IA, AlShwaimi E*: Cutting efficiency of different dental materials utilized in an air abrasion system. *Int J Health Sci (Qassim)* 2017; 11(4): 23-27.
59. *Farooq I, Tylkowski M, Muller S, Janicki T, Brauer DS, Hill RG*: Influence of sodium content on the properties of bioactive glasses for use in air abrasion. *Biomed Mater* 2013; 8(6): 065008.
60. *Abushahba F, Soderling E, Aalto-Setälä L, Hupa L, Narhi TO*: Air Abrasion With Bioactive Glass Eradicates Streptococcus mutans Biofilm From a Sandblasted and Acid-Etched Titanium Surface. *J Oral Implantol* 2019; 45(6): 444-450.
61. *Johnson WW, Barnes CM, Covey DA, Walker MP, Ross JA*: The effects of a commercial aluminum airpolishing powder on dental restorative materials. *J Prosthodont* 2004; 13(3): 166-172.
62. *Janicki T, Sobczak A, Skomro P*: Hydroksyapatyt naturalny jako ścierniwo oczyszczające zastosowane w technice airpolishingu – badania in vitro. *Implantoprotetyka* 2009; 10(37): 30-32.
63. *Barnes CM, Covey D, Watanabe H, Simech B, Schulte JR, Chen H*: An in vitro comparison of the effects of various air polishing powders on enamel and selected esthetic restorative materials. *J Clin Dent* 2014; 25(4): 76-87.

Zaakceptowano do druku: 7.12.2020 r.

Adres autorów: 02-091 Warszawa, ul. Binieckiego 6.

© Zarząd Główny PTS 2020.