

Ocena stabilności koloru żywicy stosowanej do druku 3D na ekspozycję kawy i herbaty – pilotażowe badanie *in vitro*

Evaluating the color stability of 3D printing resin after exposure to coffee and tea – a pilot *in vitro* study

Jakub Stępniewski¹, Natalia Gryko¹, Michał Dąbkowski¹, Julia Gumieźna¹, Katarzyna Mańka-Malara², Marcin Szerszeń³

¹ Studenckie Koło Naukowe, Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny

² Zakład Ortodontji, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Orthodontics, Medical University of Warsaw
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Małgorzata Zadurska

³ Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Prosthodontics, Medical University of Warsaw
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jolanta Kostrzeva-Janicka

HASŁA INDEKSOWE:

druk 3D, stomatologia cyfrowa, żywice stomatologiczne, przebarwienia uzupełnień protetycznych

KEY WORDS:

3D printing, digital dentistry, dental resins, prosthodontic restoration discoloration

Streszczenie

Wstęp. Wraz z rosnącym wykorzystaniem technologii druku 3D (SLA, DLP) w wykonawstwie stałych uzupełnień protetycznych, kluczowym wyzwaniem klinicznym pozostaje długoterminowa stabilność koloru stosowanych materiałów żywicznych. Ponieważ główną przyczyną niepowodzeń estetycznych i konieczności wymiany uzupełnień są przebarwienia zewnętrzne wywoływane przez barwniki dietetyczne, uzasadniona jest stała ocena odporności na przebarwienia nowoczesnych żywic przeznaczonych do druku 3D w stomatologii.

Cel pracy. Ocena wpływu kawy oraz czarnej herbaty na stabilność koloru żywicy stosowanej w druku 3D stałych uzupełnień protetycznych.

Materiał i metody. Zmiany koloru analizowano po 3, 6, 9 oraz 12 dniach zanurzenia próbek w roztworach barwiących. Z badanej żywicy wydrukowano 15 próbek w kształcie ściętych stożków, które następnie losowo podzielono na 3 grupy ba-

Summary

Introduction. With the increasing use of 3D printing technologies (SLA, DLP) in the fabrication of fixed prosthodontic restorations, the long-term color stability of the utilized resin materials remains a key clinical challenge. Since extrinsic staining caused by dietary chromogens is a primary reason for aesthetic failures and the subsequent need for restoration replacement, continuous evaluation of the stain resistance of modern 3D-printing dental resins is justified.

Aim of the study. The purpose of this study was to evaluate the effect of coffee and black tea on the color stability of a 3D-printing resin used for fixed prosthodontic restorations.

Material and methods. Fifteen truncated cone-shaped specimens were printed from the tested resin and randomly divided into three experimental groups: coffee, tea, and distilled water (control group), with 5 specimens per group. Color evaluation was performed after

dawcze: kawa, herbata, oraz woda destylowana (grupa kontrolna) – po 5 próbek w każdej grupie. Ocena koloru przeprowadzono po 3, 6, 9 i 12 dniach zanurzenia próbek, w przestrzeni barw CIELAB z wykorzystaniem kolorymetru. Zmiany koloru (ΔE) obliczono i poddano analizie statystycznej.

Wyniki. Czas zanurzenia próbek w obu badanych roztworach istotnie wpływał na wzrost wartości ΔE ($p < 0,05$). Większe przebarwienia materiału odnotowano w grupie próbek zanurzonych w kawie niż w herbacie.

Wnioski. Kontakt żywicy z często spożywanymi napojami: kawą oraz herbatą prowadzi do postępujących zmian koloru materiału. Spośród analizowanych roztworów większy potencjał barwiący wykazała kawa. Analiza według klasyfikacji National Bureau of Standards (NBS) wykazała, że uzyskane przebarwienia były klinicznie dostrzegalne już po 3 dniach ekspozycji.

3, 6, 9, and 12 days of sample immersion in the staining solutions, utilizing a colorimeter within the CIELAB color space. Color changes (ΔE) were calculated and statistically analyzed.

Results. The immersion time in both tested solutions significantly affected the increase in ΔE values ($p < 0.05$). Greater material discoloration was observed in the group of specimens immersed in coffee compared to tea.

Conclusion. Analysis according to the National Bureau of Standards (NBS) classification revealed that the resulting discolorations were clinically perceptible after just 3 days of exposure. The contact of the resin with commonly consumed beverages, namely coffee and tea, leads to progressive changes in the material's color. Among the analyzed solutions, coffee demonstrated a higher staining potential.

Wstęp

W ostatnich latach wykorzystanie technologii druku 3D w stomatologii zachowawczej oraz estetycznej znacząco wzrosło.¹ Potencjał kliniczny tej technologii jest szczególnie widoczny w wykonywaniu koron, wkładów (inlays), nakładów (onlays) oraz licówek.² Wraz z coraz szerszym zastosowaniem uzupełnień drukowanych w technologii 3D w codziennej praktyce klinicznej, szczególne zainteresowanie zaczęła budzić estetyka stosowanych materiałów, zwłaszcza ich stabilność koloru. Przebarwienia materiałów wykorzystywanych do wykonywania uzupełnień protetycznych mogą obniżać efekty estetyczne leczenia, prowadząc do niezadowolenia pacjentów oraz konieczności wymiany uzupełnień, co wiąże się z dodatkowymi kosztami terapii.¹

Najczęściej stosowane w protetyce techniki druku 3D: stereolitografia (SLA) oraz digital light processing (DLP), wykorzystują światłoczułe żywice płynne, które ulegają

polimeryzacji pod wpływem światła o określonej długości fali.² Zmiany barwy materiałów żywicznych przypisywane są czynnikom wewnątrz- i/lub zewnątrzpochodnym.^{1,3} Na przebarwienia wewnątrzpochodne wpływają, m.in.: skład matrycy żywicy, zastosowany system fotoinicjatorów oraz rodzaj wypełniaczy nieorganicznych.³ Z kolei przebarwienia zewnątrzpochodne są związane głównie z adsorpcją i absorpcją substancji chromogennych obecnych w powszechnie spożywanymi pokarmach i napojach.³ Liczne badania *in vitro* wykazały, że niektóre produkty dietetyczne, takie jak kawa, herbata, czerwone wino, soki owocowe, napoje typu cola, sos sojowy czy przyprawy (w tym musztarda i keczup), mogą powodować istotne zmiany barwy żywic kompozytowych.⁴⁻⁹ Co istotne, wykazano, że specyficzne substancje, takie jak kawa, powodują znacznie silniejsze przebarwienia w porównaniu z innymi (np. colą), mimo zbliżonych właściwości kolorymetrycznych tych płynów.^{7,10} Współczesne doniesienia wskazują, że w pełni spolimeryzowane

materiały kompozytowe wykazują minimalne zmiany koloru podczas przechowywania w samej wodzie,^{10,11} co wskazuje na ograniczony wpływ czynników wewnątrzpochodnych w takich warunkach. Znaczące zmiany barwy obserwuje się przede wszystkim w wyniku ekspozycji na substancje chromogenne zawarte w diecie lub w przypadku niepełnej polimeryzacji materiału.³ Wyniki dotychczasowych badań podkreślają zatem istotną rolę przebarwień zewnątrzpochodnych w obniżaniu stabilności koloru materiałów żywicznych, co uzasadnia potrzebę ciągłych badań nad odpornością na przebarwienia nowoczesnych materiałów żywicznych, w tym tych opracowanych specjalnie do druku 3D uzupełnień stałych.

Cel pracy

Celem niniejszej pracy była ocena zmian barwy często stosowanej żywicy do druku 3D przeznaczonej do wykonywania stałych estetycznych uzupełnień protetycznych: Bego VarseoSmile Crown Plus, w wyniku jej ekspozycji na kawę oraz herbatę. Sformułowano następujące hipotezy zerowe: 1) czas ekspozycji nie wpłynie istotnie na stopień przebarwienia materiału, oraz 2) rodzaj roztworu barwiącego nie wpływa istotnie na zmianę barwy żywicy.

Materiał i metody

Badanie zostało przeprowadzone jako eksperyment *in vitro* w Katedrze i Zakładzie Protetyki Stomatologicznej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego.

Wybór żywicy i przygotowanie próbek

Jako materiał doświadczalny wybrano żywicę do druku 3D przeznaczoną do wykonywania uzupełnień protetycznych stałych: Bego VarseoSmile Crown Plus w odcieniu A2. Skład matrycy żywicznej oraz wypełniacz wybranego materiału przedstawiono

w tabeli 1. Kształt próbek zaprojektowano w programie Onshape (PTC Inc., USA) jako stożek ścięty o wymiarach przedstawionych na rycinie 1. Geometrię próbek dobrano w taki sposób, aby zapewnić powtarzalność pomiarów, poprzez wykonywanie ich zawsze na tej samej, większej powierzchni próbki. Łącznie wydrukowano 15 próbek w jednym cyklu roboczym z wykorzystaniem drukarki Anycubic Photon Mono X2 (Anycubic, Chiny), co miało na celu ograniczenie zmienności związanej z kalibracją urządzenia oraz czynnikami środowiskowymi. Do przygotowania modeli do druku wykorzystano oprogramowanie Chitubox V2.1 (CBD-Tech, Chiny). Próbki drukowano przy wysokości warstwy wynoszącej 30 μm . Po wydrukowaniu wszystkie próbki oczyszczano w myjce ultradźwiękowej Vevor 3l z zastosowaniem alkoholu izopropylowego (IPA) o stężeniu 99%. Następnie próbki osuszono i poddano końcowemu utwardzaniu w komorze UV NextDent LC-3DPrint Box (NextDent B.V., Holandia). Zarówno proces oczyszczania, jak i utwardzania były zgodne z zaleceniami producenta.¹² Po zakończeniu procesu utwardzania próbki wypolerowano zgodnie ze standardowym protokołem w celu uzyskania porównywalnej gładkości powierzchni przed oceną koloru. Próbki oznakowano przy użyciu turbiny diamentowej. Oznaczenia wykonano na mniejszej podstawie stożka, aby uniknąć wpływu na pomiary koloru. Po oznakowaniu próbki ponownie przemyto alkoholem izopropylowym, w warunkach identycznych jak opisane wcześniej, w celu usunięcia ewentualnych pozostałych zanieczyszczeń powierzchniowych.

Wyjściowa ocena koloru

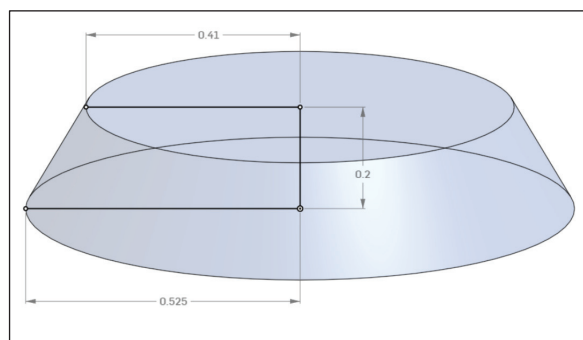
Kolor wypolerowanych próbek żywicznych oceniano w przestrzeni barw Commission Internationale de l'Eclairage L^*a^*b (CIELAB). System CIELAB mierzy wartości chromatyczne na trzech współrzędnych: L^* – jasność

Tabela 1. Skład Bego Varseosmile Crown Plus

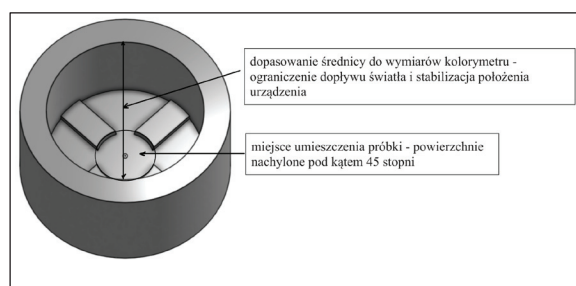
Źródło: <https://www.bego.com/3d-printing/materials/varseosmile-crown-plus/>

Nazwa handlowa	Matryca organiczna	Wypełniacze	Inicjatory
Bego VarseoSmile Crown Plus	Bis-EMA	Silanizowane szkło dentystyczne (śr. wielkość cząstek $\approx 0,7 \mu\text{m}$); całkowita zawartość wypełniacza: 30-50% masowo	MBF, TPO

Bis-EMA – dimetakrylan etoksylowanego bisfenolu A, MBF – benzoiloformian metylu, TPO – tlenek difenylo(2,4,6-trimetylobenzoilo)fosfiny.



Ryc. 1. Geometria oraz wymiary (w cm) wydrukowanych próbek. Źródło: Opracowanie własne w programie Onshape.



Ryc. 2. Schemat światłoszczelnego stanowiska do pomiarów kolorymetrycznych. Źródło: Opracowanie własne w programie Onshape.

koloru od czerni ($L^* = 0$) do bieli ($L^* = 100$); a^* – barwa w wymiarze czerwonym ($a^* > 0$) i zielonym ($a^* < 0$); oraz b^* – barwa w wymiarze żółtym ($b^* > 0$) i niebieskim ($b^* < 0$) (3).

Pomiary wykonano za pomocą cyfrowego kolorimetru ColorReader (Datacolor AG Europ, Szwajcaria) z bezprzewodowym interfejsem Bluetooth. Aby wyeliminować zakłócenia światła otoczenia i zapewnić jednolite warunki oświetleniowe, wszystkie pomiary przeprowadzono wewnątrz specjalnie zaprojektowanego, wydrukowanego w 3D światłoszczelnego pudełka (ryc. 2). Zastosowane stanowisko umożliwiała standaryzację położenia próbek oraz ograniczenie wpływu światła zewnętrznego na wyniki pomiarów. Wykonano kalibrację za pomocą standardowej białej płytki referencyjnej przed każdym pomiarem. Dla każdej próbki rejestrowano jeden pomiar koloru.

Wybór i przygotowanie barwiących roztworów spożywczych

Do badania wybrano dwa powszechnie spożywane napoje, które mogą powodować przebarwienia powierzchni żywic kompozytowych: kawę (Tchibo Family Instant Coffee) oraz herbatę (Twinings Earl Grey Tea). Roztwór kawy przygotowano poprzez rozpuszczenie dwóch łyżeczek (ok. 4 g) kawy rozpuszczalnej w 250 ml wrzącej wody (100°C). Roztwór herbaty przygotowano poprzez parzenie jednej torebki w 250 ml wrzącej wody (100°C) przez 5 minut. Oba roztwory schłodzono do temperatury 70°C przed rozpoczęciem eksperymentu. Przyjęto, że podczas stopniowego stygnięcia napojów, zanurzone w nich próbki będą ekspozowane na zakres temperatur, odpowiadającym warunkom typowego spożycia kawy i herbaty. Wykorzystano trzy szklane słoiki o pojemności 85 ml (wymiary: średnica = 3.8 cm, wysokość =

7.5 cm), które napełniono 70 ml odpowiedniego roztworu: kawy, herbaty lub wody destylowanej stanowiącej grupę kontrolną. Wszystkie pojemniki oznakowano odpowiednio do rodzaju zastosowanego roztworu w celu zapewnienia jednoznacznej identyfikacji próbek podczas całego eksperymentu.

Immersja próbek

Próbki żywicy Bego VarseoSmile Crown Plus umieszczono w przygotowanych słoikach (po 5 próbek w każdym naczyniu). Stożki ułożono na dnie pojemników (wszystkie na mniejszej podstawie), dbając o ich równomierne rozmieszczenie oraz brak wzajemnego kontaktu pomiędzy próbkami. Następnie słoiki szczelnie zamknięto i przechowywano w temperaturze pokojowej (ok. 24°C) w kontrolowanych warunkach wewnętrznych.

Zastosowano metodę ciągłego zanurzenia w celu symulacji skumulowanej ekspozycji materiału na działanie roztworów barwiących oraz przyspieszenia procesu starzenia w standaryzowanych warunkach eksperymentalnych. W celu utrzymania stałych warunków ekspozycji, kawę, herbatę oraz wodę destylowaną wymieniano na świeżo przygotowane w 3, 6 i 9 dniu trwania eksperymentu.

Ocena koloru po 3, 6, 9 i 12 dniach

Po 72 godzinach próbki wyjmowano ze słoików, a następnie delikatnie osuszano bezpyłową włókniną stomatologiczną. Każdą próbkę umieszczano następnie w tym samym, specjalnie zaprojektowanym i wydrukowanym w technologii 3D światłoszczelnym pudełku wykorzystywanym podczas wyjściowej oceny koloru (ryc. 2). Pomiar przeprowadzono przy użyciu tego samego kolorymetru cyfrowego, opisanego wcześniej. W celu uniknięcia zanieczyszczenia krzyżowego, pudełko było czyszczone bezpyłową włókniną stomatologiczną pomiędzy kolejnymi pomiarami. Po zakończeniu procedury pomiarowej, próbki ponownie

umieszczono w odpowiednich roztworach barwiących, zachowując identyczny układ oraz warunki przechowywania. Procedurę powtarzano po 6, 9 i 12 dniach (144, 216 i 288 godzinach) ekspozycji. W każdym punkcie czasowym wykonywano jeden pomiar dla każdej próbki.

Analiza statystyczna

Dane zebrano w programie Microsoft Excel, a następnie poddano analizie statystycznej przy użyciu programu GraphPad Prism 10 (GraphPad Software, USA). W celu oceny wpływu rodzaju roztworu barwiącego, czasu zanurzenia oraz interakcji pomiędzy tymi czynnikami (roztwór \times czas), na zmianę koloru próbek żywicy Bego VarseoSmile Crown Plus zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji z powtarzanymi pomiarami (two-way repeated-measures ANOVA). Do porównania obu roztworów barwiących z grupą kontrolną w poszczególnych punktach czasowych wykorzystano test wielokrotnych porównań Dunnetta.

W analizie zastosowano korekcję Geissera–Greenhouse’a. Za poziom istotności statystycznej przyjęto wartość $\alpha = 0,05$.

Klasyfikacja zmiany koloru

W celu klinicznej interpretacji zmian barwy zastosowano klasyfikację National Bureau of Standards (NBS), umożliwiającą ocenę dostrzegalności zmian koloru podczas oceny wizualnej. Aby skorelować uzyskane wartości ΔE ze standardami klinicznymi, przekształcono je na jednostki NBS zgodnie z równaniem: $NBS = \Delta E \times 0,92$ (12). Sposób interpretacji wartości NBS przedstawiono w tabeli 2.

Wyniki

Całkowita zmiana koloru (ΔE)

Zmiany całkowitej barwy (ΔE) obliczono zgodnie z równaniem CIELAB¹³, przyjmując

Tabela 2. Klasyfikacja National Bureau of Standards (NBS) stosowana do interpretacji zmian koloru
Źródło: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12461948/>

Jednostki National Bureau of Standards	Opis zmiany koloru
0,0–0,5	Śladowa (trace): zmiana ekstremalnie mała
0,5–1,5	Nieznaczna (slight): niewielka zmiana
1,5–3,0	Dostrzegalna (noticeable): zauważalna
3,0–6,0	Wyrażna (appreciable): znacząca zmiana
6,0–12,0	Duża (much): ekstremalnie wyrażna zmiana
12,0 i więcej	Bardzo duża (very much): zmiana w kierunku innego koloru

Tabela 3. Średnie zmiany koloru oraz odchylenia standardowe próbek materiału Bego VarseoSmile Crown Plus po 3, 6, 9 i 12 dniach zanurzenia w badanych roztworach i próbie kontrolnej

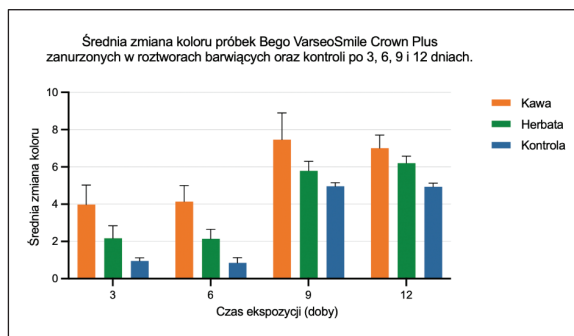
Czas (doby)	Kawa	Herbata	Próba kontrolna
3	3,98 ± 1,04	2,17 ± 0,67	0,95 ± 0,17
6	4,14 ± 0,86	2,14 ± 0,51	0,85 ± 0,28
9	7,46 ± 1,44	5,79 ± 0,51	4,96 ± 0,19
12	7,01 ± 0,70	6,20 ± 0,38	4,94 ± 0,39

wartości wyjściowe z dnia 0 jako punkt odniesienia (baseline):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Obliczono średnie wartości ΔE oraz odpowiadające im odchylenia standardowe po dniach 3, 6, 9 i 12 dniach ekspozycji (tab. 3). Trendy zmian barwy w poszczególnych grupach zaprezentowano na rycinie 3.

We wszystkich badanych grupach zaobserwowano wzrost wartości ΔE wraz z wydłużeniem czasu zanurzenia. Największe zmiany koloru odnotowano w próbkach zanurzonych w kawie, natomiast najmniejsze w grupie kontrolnej przechowywanej w wodzie destylowanej. Najwyższą wartość ΔE uzyskano dla próbek zanurzonych w kawie po 9 dniach ekspozycji ($\Delta E = 7,46 \pm 1,44$).



Ryc. 3. Średnia zmiana koloru próbek Bego VarseoSmile Crown Plus zanurzonych w badanych roztworach oraz roztworze kontrolnym po 3, 6, 9 i 12 dniach.

Wpływ roztworu barwiącego

Dwuczynnikowa analiza wariancji z powtórzanymi pomiarami (ANOVA) wykazała istotny wpływ czasu ekspozycji ($p < 0.0001$), rodzaju roztworu barwiącego ($p < 0.0001$) oraz

Tabela 4. Skorygowane wartości p z testu wielokrotnych porównań Dunnetta, porównujące każdy roztwór barwiący z grupą kontrolną w 3, 6, 9 i 12 dniu dla próbek żywicy Bego Varseosmile Crown Plus. Wartości pogrubione wskazują na $p < 0.05$

Czas (doby)	Analizowany roztwór w porównaniu z grupą kontrolną	
	Kawa	Herbata
3	0,0070	0,0381
6	0,0016	0,0072
9	0,0472	0,0510
12	0,0033	0,0029

interakcji pomiędzy tymi czynnikami (czas x roztwór; $p < 0.0001$) na zmianę koloru próbek.

W celu porównania poszczególnych roztworów barwiących z grupą kontrolną w kolejnych punktach czasowych przeprowadzono test wielokrotnych porównań Dunnetta (tab 4). Wartości pogrubione oznaczają istotność statystyczną na poziomie $p < 0,05$.

Kawa wykazała istotne statystycznie różnice względem grupy kontrolnej we wszystkich punktach czasowych, natomiast herbata – we wszystkich punktach poza 9 dniem ekspozycji.

Klasyfikacja NBS dla zmian koloru

Wartości całkowitej zmiany koloru (ΔE) przeliczono na jednostki National Bureau of Standards (NBS, w celu klinicznej interpretacji uzyskanych wyników). Roztwór kontrolny prowadził do „nieznacznej” zmiany koloru ($0.5 < NBS < 1.5$) po 3 i 6 dniach oraz zmiany „wyraźnej” ($3.0 < NBS < 6.0$) po 9 i 12 dniach. Herbata wywołała „dostrzegalną” zmianę koloru ($1.5 < NBS < 3.0$) w 3 i 6 dniu, natomiast po 9 i 12 dniach zaobserwowano zmianę „wyraźną”. Kawa skutkowała „dużą” zmianą koloru ($6.0 < NBS < 12.0$) po 9 i 12 dniach, podczas gdy we wcześniejszych punktach czasowych odnotowano przebarwienia na poziomie „wyraźnym”.

Dyskusja

Wyniki niniejszego badania wykazały, że całkowita zmiana koloru żywicy Bego VarseoSmile Crown Plus istotnie wzrastała wraz z wydłużaniem czasu ekspozycji zarówno na kawę, jak i herbatę ($p < 0,0001$). Uzyskane wyniki są zgodne z wcześniejszymi badaniami wskazującymi na postępujące przebarwienia materiałów żywicznych podczas długotrwałego kontaktu z czynnikami chromogenymi.^{1,5,7,10,14}

Chociaż woda destylowana powodowała znacznie mniejsze zmiany koloru niż kawa i herbata, również w grupie kontrolnej odnotowano istotny statystycznie wzrost wartości ΔE w czasie ($p < 0,0001$). Podobne obserwacje zostały opisane w kilku pracach,^{4,15} m.in. przez *Ardu i wsp.*, którzy wykazali występowanie mierzalnych zmian barwy już po tygodniu przechowywania próbek w wodzie. Woda destylowana została wybrana jako medium kontrolne ze względu na jej powszechne zastosowanie w badaniach nad stabilnością koloru oraz wiele wcześniejszych doniesień wskazujących, że przechowywanie żywic kompozytowych w wodzie prowadzi jedynie do niewielkich zmian barwy.^{14,16-19} Zaobserwowana zmiana koloru w wodzie destylowanej może wynikać z sorpcji wody do sieci polimerowej

materiału. Zjawisko to wpływa na współczynnik załamania światła matrycy żywicznej oraz cząstek wypełniacza, prowadząc do stopniowej zmiany właściwości optycznych materiału.²⁰ Ponadto absorpcja wody może powodować pęcznienie i plastyfikację matrycy żywicznej, a także hydrolityczną degradację na granicy faz wypełniacz–matryca. Procesy te mogą sprzyjać powstawaniu mikropęknięć oraz uwalnianiu resztkowych monomerów, wtórnie zwiększając podatność materiału na przebarwienia.²¹

Podatność materiału Bego VarseoSmile Crown Plus na przebarwienia była zależna od rodzaju zastosowanego roztworu. Kawa wywołała największą zmianę koloru, przewyższając wpływ herbaty we wszystkich punktach czasowych. Dodatkowo kawa różniła się istotnie od grupy kontrolnej we wszystkich ocenianych punktach czasowych (3, 6, 9 i 12 dni), natomiast herbata wykazywała istotne różnice względem kontroli jedynie po 3, 6 i 12 dniach ekspozycji. Uzyskane wyniki są zgodne z wcześniejszymi doniesieniami wskazującymi na wysoki potencjał barwiący kawy.^{4-6,9-11,17} Kawa jest silnym chromogenem, a obecność związków chromogennych o niskiej masie cząsteczkowej umożliwia ich łatwą penetrację oraz nasycenie materiałów żywicznych.¹⁶ Powinowactwo pomiędzy fazą polimerową a tymi barwnikami ułatwia ich absorpcję do matrycy organicznej materiałów na bazie żywic.¹⁶ Ponadto kawa zawiera związki o wysokiej masie cząsteczkowej, głównie melanoidyny,²² które odpowiadają za jej charakterystyczne brązowe zabarwienie oraz przyczyniają się do powstawania przebarwień powierzchniowych.²² Potencjał barwiący herbaty wiązany jest natomiast głównie z obecnością tanin oraz innych polifenoli zdolnych do adsorpcji na powierzchni materiałów żywicznych.²³ Chociaż niektóre wcześniejsze badania opisywały herbatę jako napój o potencjale barwiącym porównywalnym lub nawet większym niż kawa,^{7,11,24} wyniki niniejszego badania wskazują na wyraźnie mniejszy efekt

przebarwiający herbaty w przypadku badanej żywicy do druku 3D.

W grupie kawy najwyższą wartość ΔE odnotowano po 9 dniach ekspozycji, natomiast po 12 dniach obserwowano niewielki spadek wartości średniej. Różnica ta może wynikać ze zmienności pomiarowej oraz ograniczonej liczebności próby.

Ocena zmian barwy przy użyciu klasyfikacji National Bureau of Standards (NBS) umożliwiła określenie klinicznego znaczenia uzyskanych wyników. Przebarwienia wywołane przez kawę i herbatę przekroczyły próg ostrzegalności wizualnej (co najmniej „dostrzegalna” zmiana koloru). Największe zmiany barwy obserwowano w grupie kawy, w której po 9 i 12 dniach wartości NBS odpowiadały „dużej” zmianie koloru. Herbata powodowała umiarkowane przebarwienia, klasyfikowane początkowo jako „dostrzegalne”, a następnie jako „wyraźne”. Zmiany koloru obserwowane w grupie kontrolnej odpowiadały zmianom „nieznacznym” po 3 i 6 dniach oraz „wyraźnym” po 9 i 12 dniach. Jednostki NBS potwierdziły zatem silniejszy potencjał barwiący kawy. Dodatkowo wykazano, że zmiany barwy powodowane przez badane roztwory były dostrzegalne podczas oceny wizualnej już po 3 dniach ekspozycji.

Niniejsze badanie posiadało pewne ograniczenia. Zastosowany model ciągłego zanurzenia nie odzwierciedla w pełni warunków panujących w jamie ustnej, w których istotną rolę odgrywają między innymi ślina, zmiany temperatury oraz mechaniczne oczyszczanie powierzchni materiału. Dodatkowo stosunkowo krótki okres obserwacji może nie odzwierciedlać długoterminowej stabilności koloru badanej żywicy. Konieczne są dalsze badania prowadzone w warunkach bardziej zbliżonych do środowiska klinicznego.

Na podstawie uzyskanych wyników odrzucono obie hipotezy zerowe, stwierdzając, że zarówno czas ekspozycji, jak i rodzaj roztworu

barwiącego istotnie wpływają na stabilność koloru żywicy Bego VarseoSmile Crown Plus.

Wnioski

1. Wydłużenie czasu ekspozycji na kawę oraz czarną herbatę prowadzi do postępującej zmiany barwy żywicy do druku 3D Bego VarseoSmile Crown Plus.
2. Spośród badanych roztworów kawa wykazywała większy potencjał barwiący niż herbata.
3. Analiza zmian koloru z wykorzystaniem klasyfikacji National Bureau of Standards (NBS) wykazała, że przebarwienia wywołane przez badane napoje były klinicznie dostrzegalne już po 3 dniach ekspozycji.

Piśmiennictwo

1. *Shishehian A, Firouz F, Khazae S, Rajabi H, Farhadian M, Niaghiha F*: Evaluating the color stability of 3D-printed resins against various solutions. *European Journal of Translational Myology* 2023; 33(3). doi: org/10.4081/ejtm.2023.11493
2. *Liang X, Yu B, Dai Y, Wang Y, Hu M, Zhong H, He J*: Three-dimensional printing resin-based dental provisional crowns and bridges: recent progress in properties, applications, and perspectives. *Materials* 2025; 18(10): 2202. doi: org/10.3390/ma18102202
3. *Ren Y, Lin F, Serban D, Malmstrom H*: Effects of common beverage colorants on color stability of dental composite resins: the utility of a thermocycling stain challenge model in vitro. *J Dent* 2012; 40(4): e48-56. doi: org/10.1016/j.jdent.2012.04.017
4. *Ardu S, Duc O, Di Bella E, and Krejci I*: Color stability of recent composite resins. *Odontology* 2016; 105(1): 29-35. doi: org/10.1007/s10266-016-0234-9
5. *Fujita M, Kawakami S, Noda M, Sano H*: Color change of newly developed esthetic restorative material immersed in food-simulating solutions. *Dent Mater J* 2006; 25(2): 352-359. doi: org/10.4012/dmj.25.352
6. *Falkensammer F, Arnetzl VG, Wildburger A, Freudenthaler J*: Color stability of different composite resin materials. *J Prosthet Dent* 2013; 109(6): 378-383. doi: org/10.1016/s0022-3913(13)60323-6
7. *Chowdhury D, Mazumdar P, Desai P, Datta P*: Comparative evaluation of surface roughness and color stability of nanohybrid composite resin after periodic exposure to tea, coffee, and coca-cola: an in vitro profilometric and image analysis study. *J Conser Dent* 2020; 23(4): 395. doi: org/10.4103/jcd.jcd_401_20
8. *Noor JF, Jubair M, Padmanabhan K*: Spectrophotometric evaluation of color stability of composite resin after exposure to cold drinks: an in vitro study. *J Conser Dent Endodont* 2024; 27(2): 195-199. doi: org/10.4103/jcde.jcde_230_23
9. *Anderson C, Fraga Briso AL, Sundfeld RH, Coelho Goiato M, dos Santos PH*: Color stability of sealed composite resin restorative materials after ultraviolet artificial aging and immersion in staining solutions. *J Prosthetic Dent* 2011; 105(4): 236-241. doi: org/10.1016/s0022-3913(11)60038-3
10. *Barutçigil Ç, Yıldız M*: Intrinsic and extrinsic discoloration of dimethacrylate and silorane based composites. *J Dent* 2012; 40(1): e57-63. doi: org/10.1016/j.jdent.2011.12.017
11. *Bagheri R, Burrow MF, Tyas M*: Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *J Dent* 2004; 33(5): 389-398. doi: org/10.1016/j.jdent.2004.10.018
12. "Systemkompatibilität Für BEGO 3D-Druck Materialien -DE." n.d. Accessed May 15, 2026. www.bego.com/fileadmin/user_downloads/Mediathek/3D-Druck/de_20960_0022_so_de_en.pdf.
13. *Gómez-Polo C, Muñoz MP, Lorenzo Luengo MC, Purificación V, Purificación G, Martín*

- Casado AM*: Comparison of the CIELab and CIEDE2000 color difference formulas. *J Prosthetic Dent* 2016; 115(1): 65-70. doi: org/10.1016/j.prosdent.2015.07.001.
14. *Hajj RJ, Nasr L, Khairallah C, Hardan L*: In vitro assessment of the color stability of two resin composites. *Current Res Dent* 2023; 14(1): 30-40. doi: org/10.3844/crdsp.2023.30.40
15. *Mańka-Malara K, Szerszeń M, Górski B, Tanabe G, Ueno T, Mierzwińska-Nastalska E*: Disinfection and isotonic drinks' influence on hardness and color stability of ethylene-vinyl-acetate copolymer mouthguards used in martial arts: an in vitro study. *Polymers* 2023; 15(8): 1822. doi: org/10.3390/polym15081822
16. *Jrady A, Ragab H, Algahtani FN, Osman E*: In vitro study on the impact of various polishing systems and coffee staining on the color stability of bleach-shaded resin composite. *BMC Oral Health* 2024; 24(1). doi: org/10.1186/s12903-024-04474-5
17. *Tian F, Yap AUJ, Wang X, Gao X*: Effect of staining solutions on color of pre-reacted glass-ionomer containing composites. *Dent Mater J* 2012; 31(3): 384-388. doi: org/10.4012/dmj.2011-223
18. *Gupta R, Parkash H, Shah N, Jain V*: A spectrophotometric evaluation of color changes of various tooth colored veneering materials after exposure to commonly consumed beverages. *J Indian Prosthodont Soc* 2005; 5(2): 72. doi: org/10.4103/0972-4052.16873
19. *Cierech M, Szerszeń M, Wojnarowicz J, Łojkowski W, Kostrzewa-Janicka J, Mierzwińska-Nastalska E*: Colorimetric study of zinc oxide poly(methyl methacrylate) nanocomposite – new biomaterial for denture bases. *Prosthodont* 2020; 70(4): 335-351. doi: org/10.5114/ps/131247
20. *Madhuranthakam, CMR, Pandiyan S, Chaalal O, Elkamel A*: Study of water sorption in methacryl-based polyhedral oligomeric silsesquioxane (POSS) dental composites using molecular dynamics simulations. *Polymers* 2023; 15(20): 4161. doi: org/10.3390/polym15204161
21. *Costa MP, Jacomine JC, Mosquim V, Santin DC, Zabeu GS, Agulhari MAS, Mondelli RFL, Honorio HM, Wang L*: Analysis of color stability and degree of conversion of different types of resin composites. *Braz Oral Res* 2024; 38. doi: org/10.1590/1807-3107bor-2024.vol38.0003
22. *Iriondo-DeHond A, Rodríguez Casas A, del Castillo MD*: Interest of coffee melanoidins as sustainable healthier food ingredients. *Frontiers in Nutrition* 2021; 8(10). doi: org/10.3389/fnut.2021.730343
23. *Subramanya JK, Muttagi S*: In vitro color change of three dental veneering resins in tea, coffee and tamarind extracts. *J Dent* 2011; 8(3): 138. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3260018/>
24. *Omata Y, Shigeru U, Yasuko N, Toru T, Hidehiko S, Shigemitsu Y, Sharanbir KS*: Staining of hybrid composites with coffee, oolong tea, or red wine. *Dent Mater J* 2006; 25(1): 125-131. doi: org/10.4012/dmj.25.125.

Zaakceptowano do druku: 5.06.2026 r.

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

© Zarząd Główny PTS 2026.