

Application of acrylic resins in the treatment of edentulism with the use of digital technology – a literature review. Part 2 – 3D printing

Zastosowanie żywic akrylowych w leczeniu bezzębia z wykorzystaniem technologii cyfrowej – przegląd piśmiennictwa. Część 2 – Druk 3D

**Paula Aleksandra Łasica¹, Marta Wróblewska¹, Dorota Cylwik-Rokicka¹,
Teresa Sierpińska¹, Ewa Stokowska²**

¹ Zakład Protetyki Stomatologicznej, Specjalistyczna Lecznica Stomatologiczna,
Uniwersytet Medyczny w Białymstoku
Department of Prosthodontics, Medical University of Białystok
Head: prof. dr hab. n. med. *Teresa Sierpińska*

² Samodzielna Pracownia Gerostomatologii, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku
Independent Geriatric Dentistry Laboratory, Medical University of Białystok
Head: dr hab. n. med. *Ewa Dąbrowska*

KEY WORDS:

PMMA, 3D printing, complete dentures

HASŁA INDEKSOWE:

PMMA, druk 3D, protezy całkowite

Summary

The number of patients wearing complete dentures is increasing due to longer life expectancy. Additionally, the growing awareness and patients' expectations force both doctors and prosthetic technology specialists to constantly implement innovations and to improve the quality and aesthetics of the existing acrylic systems and resins. Each patient assesses the quality of life through a number of personal and subjective criteria. Complete edentia and the applied therapeutic procedures contribute to the patient's self-assessment and the way they function on a daily basis in the society. In dentistry, the introduction of digital technology has enabled its use primarily in prosthodontics, in order to automate many of the stages of the manufacture of prosthetic restorations, including complete dentures. 3D printing, increasingly used in medicine, seems to

Streszczenie

Liczba pacjentów użytkujących całkowite protezy stomatologiczne zwiększa się wraz z rosnącą średnią wieku życia. Wzrastająca również świadomość i wymagania pacjentów, zmuszają zarówno lekarzy, jak i przedstawicieli technologii protetycznych do ciągłego wdrażania innowacji i poprawy jakości oraz estetyki już obecnych systemów i żywic akrylowych. Każdy pacjent ocenia jakość życia poprzez szereg indywidualnych i subiektywnych kryteriów. Całkowite braki zębowe oraz zastosowane leczenie również wpływają na samoocenę pacjenta i jego codzienne funkcjonowanie w społeczeństwie. W stomatologii, wprowadzenie technologii cyfrowych umożliwiło wykorzystanie ich przede wszystkim w protetyce, celem zautomatyzowania wielu etapów wykonawstwa uzupełnień protetycznych, w tym protez całkowitych. Druk 3D coraz częściej stosowany

be the future in the fabrication of complete dentures, mainly because of its speed, accuracy and the possibility to print elements with complex shapes. More advanced acrylic resins for 3D printing are turning up on the market; according to the manufacturers, they surpass the traditional acrylic resins, and even those used in the milling method. Since the research and publications concerning this area are still scarce, 3D printing technology requires more careful evaluation and observation.

w medycynie, wydaje się być przyszłością wykonawstwa protez całkowitych, przede wszystkim ze względu na jego szybkość, precyzję oraz możliwość druku elementów o skomplikowanych kształtach. Na rynku pojawiają się coraz to nowocześniejsze żywice akrylowe do druku 3D, które według producentów przewyższają te tradycyjne, a nawet żywice akrylowe w metodzie frezowania. Ze względu na wciąż niewielką liczbę badań i publikacji, technologia druku 3D wymaga dokładniejszej oceny i obserwacji.

Introduction

Each patient assesses the quality of their life based on a number of individual and subjective criteria. It is affected by their general health condition, the applied treatment, as well as physical and mental well-being. The complete loss of teeth and the therapeutic procedures also affect the patient's self-esteem and their daily functioning in the society.¹⁻³

Most edentulous patients seem to be satisfied with the treatment provided. Unfortunately, there are still a number of patients who are not able to adapt to their prostheses, despite the fact that the restorations meet all the standards of prosthodontics.⁴⁻⁷

The growing awareness and patients' expectations force the doctors to use state-of-the-art solutions. These include digital technology, the purpose of which is primarily to improve the quality, simplify and accelerate the fabrication of conventional prosthetic restorations.⁸

Digital dentistry is already widespread and increasingly available in everyday practice.⁹ Currently, this technology can be used to produce almost all prosthetic restorations, including complete dentures. Restorations made of polymethyl methacrylate (PMMA) using this method are said to have better mechanical properties and accuracy of fit,

Wstęp

Każdy pacjent ocenia jakość życia poprzez szereg indywidualnych i subiektywnych kryteriów. Wpływa na nią ogólny stan zdrowia, stosowane leczenie, dobrostan fizyczny i psychiczny. Całkowite braki zębowe oraz zastosowane leczenie również wpływają na samoocenę pacjenta i jego codzienne funkcjonowanie w społeczeństwie.¹⁻³

Wydaje się, że większość pacjentów bezzębnych jest zadowolona z przeprowadzonego leczenia. Niestety, jest wciąż wielu pacjentów, którzy nie są w stanie zaadaptować się do użytkowanych protez, mimo że spełniają one wszelkie kryteria dobrego uzupełnienia protezy. ⁴⁻⁷

Wzrastająca świadomość oraz wymagania pacjentów, zmuszają lekarzy do korzystania z najnowocześniejszych rozwiązań. Należą do nich technologie cyfrowe, których celem jest przede wszystkim poprawa jakości, uproszczenie oraz przyspieszenie wykonania konwencjonalnego uzupełnienia protezy. ⁸

Stomatologia cyfrowa jest już szeroko rozpowszechniona i coraz bardziej dostępna w codziennej pracy.⁹ Obecnie, w technologii tej można wykonać prawie wszystkie uzupełnienia protezy, także protezy całkowite. Uzupełnienia wykonane z polimetakrylanu metylu (PMMA) tą metodą, mają wyróżniać

thanks to the elimination of errors made during the traditional manufacturing process in the dental laboratory. They include, among others, the lack of control over the course of thermal polymerisation of acrylic material.¹⁰⁻¹⁴

The aim of the present literature review was to systematise the available knowledge concerning acrylic materials used to manufacture complete dentures in 3D printing.

The literature for 2011-2021 was reviewed using the PubMed and Google Scholar databases and the following key words: “PMMA”, “3D printing”, “druk 3D”, “complete dentures”. A total of 31 papers fulfilling the assumed criteria were qualified for the analysis.

3D printing

The 3D printing technique consists in designing a restoration using digital technology, and then printing a three-dimensional object. This is performed by applying successive layers of resin, curing the liquid or sintering the powder layer by layer until the desired shape is obtained.

Currently, there are numerous 3D printing techniques that have various applications in medicine.

Among the known methods, those used in dentistry include: FDM/FFF (liquid thermoplastic material modelling-fused deposition modelling/fused filament fabrication), SLS technology (selective metal sintering- selective laser sintering), Jett Modelling, DLP (curing of resins using UV light- digital light processing) and CLIP (continuous liquid interface production) technology.¹⁵⁻¹⁷

The FDM/FFF technology is based on a very precise, layered construction of a model from a thermoplastic resin. Thanks to FDM, we are able to produce the final prosthetic work, such as complete dentures, but also individual impression trays or surgical templates. In addition, one of the innovative methods is the

się lepszymi właściwościami mechanicznymi oraz dokładnością dopasowania, dzięki eliminacji błędów popełnianych podczas tradycyjnego wykonywania w laboratorium techniki dentystrycznej. Należą do nich między innymi brak kontroli nad przebiegiem polimeryzacji termicznej tworzywa akrylowego.¹⁰⁻¹⁴

Celem przeglądu piśmiennictwa było usystematyzowanie dostępnej wiedzy na temat materiałów akrylowych wykorzystywanych do wykonywania protez całkowitych w druku 3D.

Dokonano przeglądu piśmiennictwa za lata 2011-2021, wykorzystując bazę danych PubMed oraz Google Scholar używając kluczowych słów: „PMMA”, „3D printing”, „druk 3D”, complete dentures”. Do analizy zakwalifikowano w sumie 31 prac, spełniających założone kryteria.

Druk 3D

Technika druku 3D polega na zaprojektowaniu uzupełnienia w technologii cyfrowej, a następnie wydrukowaniu trójwymiarowego obiektu. Odbywa się to poprzez nakładanie kolejnych warstw żywicy, utwardzanie cieczy lub spiekanie proszku warstwa po warstwie, aż do uzyskania pożądanego kształtu. Obecnie istnieje wiele technik druku 3D, które mają różnorodne zastosowanie w medycynie.

Wśród znanych metod, w stomatologii znalazły zastosowanie, między innymi: FDM/FFF (modelowanie ciekłym tworzywem termoplastycznym-fused deposition modeling/fused filament fabrication), technologia SLS (selektywne topienie metali – selective laser sintering), Jett Modeling (modelowanie strumieniowe), DLP (utwardzanie żywic światłem UV – digital light processing) oraz technologia CLIP (continuous liquid interface production).¹⁵⁻¹⁷

Technologia FDM/FFF polega na bardzo precyzyjnym, warstwowym budowaniu modelu z żywicy termoplastycznej. Dzięki FDM istnieje możliwość wytworzenia długoczasowej

use of polylactide (PLA) – a material derived from corn, belonging to the biocompatible and renewable materials – to produce individual trays.¹⁶⁻¹⁹

The SLS technology is based on selective sintering, by a computer-controlled laser, of a powder layer with a thickness of 0.12 mm.²⁰⁻²⁴ It should be observed that *Chena* et al. emphasise the possibility of a more precise design of the partial denture plate compared to conventional methods, considering the spaces for relief.²⁵ Additionally, *Hems* et al. believe that for the production of partial dentures, 3D printing technology is even more preferable to CAD/CAM. The authors emphasise the savings in material, which is characteristic of the additive method. Also there are unlimited production possibilities, which do not depend on the size of the working tip or the range of its movements, as in the CAD/CAM technology.²⁶ In addition, numerous publications confirm that the characteristics of prosthetic restorations obtained with 3D printing in the SLS technology correspond to the characteristics of restorations obtained using the traditional method and CAD/CAM technology.^{16,27}

Jet Modelling (JM) consists in spraying the polymer in a liquid phase from the printhead and then curing it with UV light. It is the use of a UV lamp that constitutes the difference between JM and the FDM technology. The literature indicates that Jet Modelling seems to have the widest application in dentistry.^{16,21,28-31}

The DLP technique is based on the gradual emergence of the produced restoration from the bathtub filled with the photopolymer. The material is cured with UV light projected from digital transducers.^{17,21}

The CLIP technology seems to be the most innovative and promising of the 3D printing techniques. It is a product of a Carbon3D company, and the concept is similar to the DLP technique. However, thanks to the implementation of the presence of oxygen,

pracy protetycznej, takiej jak protezy całkowite, ale także indywidualnych łyżek wyciskowych czy szablonów chirurgicznych. Ponadto, jedną z nowatorskich metod jest wykorzystanie polilaktydu (PLA) – materiału uzyskiwanego z kukurydzy, należącego do materiałów biokompatybilnych i odnawialnych, w celu wykonania łyżek indywidualnych.¹⁶⁻¹⁹

Technologia SLS polega na selektywnym spiekaniu, komputerowo sterowanym laserem, warstwy proszku o grubości 0,12 mm.²⁰⁻²⁴ Należy zaznaczyć, że *Chena* i wsp. podkreślają możliwość dokładniejszego zaprojektowania płyty protezy częściowej w stosunku do metod konwencjonalnych, uwzględniając również miejsca na odciążenia.²⁵ Dodatkowo, *Hems* i wsp. uważają, że do produkcji protez częściowych, technologia druku 3D jest nawet bardziej wskazana w stosunku do CAD/CAM. Autorzy podkreślają oszczędność materiału, która jest charakterystyczna dla metody addytywnej oraz nieograniczone możliwości produkcji, które nie zależą od wielkości końcówki pracującej i zakresu jej ruchów, tak jak w technologii CAD/CAM.²⁶ Dodatkowo, liczne publikacje potwierdzają, że właściwości uzupełnień protetycznych uzyskanych przy pomocy druku 3D technologią SLS odpowiadają właściwościom uzupełnień uzyskanych metodą tradycyjną oraz w technologii CAD/CAM.^{16,27}

Jet Modeling (JM) polega na natryskiwaniu polimeru w fazie ciekłej, z głowicy drukującej, a następnie utwardzaniu jej światłem UV. Zastosowanie lampy UV stanowi właśnie różnicę w porównaniu z technologią FDM. Literatura wskazuje, że Jet Modeling wydaje się mieć najszersze zastosowanie w stomatologii.^{16,21,28-31}

Technika DLP polega na stopniowym wynurzeniu się wytworzonego uzupełnienia z wanny wypełnionej fotopolimerem. Materiał utwardzany jest światłem UV, rzucanym z cyfrowych przetworników.^{17,21}

Technologia CLIP wydaje się być najbardziej

the printing speed has increased to 40 inches (101.6 cm) per hour, and the printing itself is seamless. This is a relatively new method that requires further observation.¹⁷

Resins in 3D printing

PMMA (polymethyl methacrylate) is the most widely used material in dental technology. It is an odourless acrylic acid polymer, and thanks to its characteristics such as ease of preparation, aesthetics, low price and satisfactory mechanical properties, it is still the main material for the production of complete dentures.³² Thermally polymerizable resins are still the most preferred ones. However, because of their numerous disadvantages, apart from resins used in the milling technique, attempts were made to use acrylic in 3D printing technology.

The most popular resins in 3D printing include ABS – acrylonitrile butadiene styrene terpolymer, PC – polycarbonate, PLA – polylactide, polylactic acid, PEI – polyetherimide, UA – urethane acrylate and PCL – polycaprolactone.³³

Two colours of resins are used in prosthetics for 3D printing of complete dentures: pink for denture plates and white for artificial teeth. Unpolymerised monomer residues in traditional technology may cause irritation of the prosthetic substrate mucosa, therefore the manufacturers indicate that 3D printing resins have a high degree of polymerisation (conversion level). The higher the degree of polymerisation, the more biocompatible the material. As the result of the small number of tests on 3D printing resins, we do not know the exact level of cytotoxicity of these materials.⁸

The DLP (curing of resins using UV light – digital light processing) is one of the most popular technologies. The acrylic resins used in this system consist of a monomer in liquid form, which is a thermosetting photosensitizer such as UDMA (urethane dimethacrylate) and TEGDMA (triethylene glycol dimethacrylate),

innowacyjną i obiecującą techniką druku 3D. Jest to produkt firmy Carbon3D, a koncepcja jest zbliżona do techniki DLP. Jednak dzięki wdrożeniu obecności tlenu, szybkość druku wzrosła do 40 cali (101,6 cm) na godzinę, a sam druk jest bezszwowy. Jest to stosunkowo nowa metoda, wymagająca dalszej obserwacji.¹⁷

Żywice w druku 3D

PMMA (polimetakrylan metylu) jest najczęściej stosowanym materiałem w technice dentystycznej. Jest bezwonny polimerem kwasu akrylowego, a dzięki swoim właściwościom, takim jak łatwość w przygotowaniu, estetyka, niska cena i zadowalające właściwości mechaniczne, nadal jest głównym materiałem do wykonywania protez całkowitych.³² Wciąż preferowane są przede wszystkim żywice polimeryzujące termicznie. Jednak, ze względu na ich liczne wady, poza żywicami stosowanymi w technice frezowania, podjęto próby zastosowania akrylu w technologii druku 3D.

Do najczęściej stosowanych żywic w druku 3D należą: ABS – terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy, PC – poliwęglan, PLA – polilaktyd, polikwas mlekowy, PEI – poliete-roimid, UA – akrylan uretanu oraz PCL – polikaprolakton.³³

W protetyce mają zastosowanie 2 kolory żywic do druku protez całkowitych w 3D: różowy na płyty protez, oraz biały na zęby sztuczne. Niepolimeryzowane resztki monomeru w technologii tradycyjnej mogą powodować podrażnienia błony śluzowej podłoża protezy, dlatego też przedstawiciele wskazują, że żywice do druku 3D mają wysoki stopień polimeryzacji (poziom konwersji). Im wyższy stopień polimeryzacji, tym bardziej biokompatybilny materiał. Ze względu na nieznaczoną liczbę badań żywic do druku 3D, nie znany jest dokładny poziom cytotoxyczności tych materiałów.⁸

Technologia DLP (utwardzanie żywic światłem UV – digital light processing) jest jedną

photoinitiators and additives. During the manufacturing process, the carbon double bonds are broken and converted into single bonds, which transforms the liquid form of the resin into its solid form. Usually, the printed elements are subjected to an additional curing process with UV light. The obtained material characteristics may vary and depend on such parameters as pigmentation, stabilisation or resin composition. Additional factors may include the size and geometry of the manufactured prosthesis. The manufacturers indicate the good physical characteristics and biocompatibility of the applied resins. They add that light and higher temperatures during additional curing improve the mechanical characteristics and the degree of conversion of the acrylic.³⁴

Dimitrova et al. quite accurately described the properties of the PCL (polycaprolactone) material when comparing traditional PMMA with resins for 3D printing. It is synthetic polyester with a density similar to polyolefins. Its elasticity and fracture toughness demonstrate average values, and its tensile strength is similar to nylon. This material is milky-white, with a medium density, similar to polyethylene, and a wax-like structure. There is still no research confirming the satisfactory properties of this material as a resin for complete denture plates.³⁵⁻³⁷ Formlabs Dental, one of the manufacturers of 3D printing technology, indicates that denture plates made of their resin are characterised by lower shrinkage during polymerisation compared to traditionally processed PMMA. However, they have poorer elasticity, flexural strength and lower fracture toughness. One of the reasons for the inferior physical characteristics of these resins may be the lower number of double bonds during conversion compared to traditional acrylic. Yet another reason may be poor bonding of the successive layers during printing.³⁵

NextDent Denture 3D+ is a resin intended for

z najbardziej rozpowszechnionych. Żywice akrylowe stosowane w tym systemie składają się z monomeru w postaci płynnej, będącego termoutwardzalnym fotouczulaczem, takim jak UDMA (dimetakrylan uretanu) oraz TEGDMA (dimetakrylan glikolu trietylenowego), fotoinicjatorów oraz dodatków. Podczas procesu wytwarzania, podwójne wiązania węgla ulegają rozerwaniu i przekształceniu w wiązania pojedyncze, co powoduje przemianę formy płynnej żywicy do postaci stałej. Zazwyczaj, wydrukowane elementy są poddawane procesowi dodatkowego utwardzania przy pomocy światła UV. Uzyskiwane właściwości materiału mogą się różnić, a zależą od, takich parametrów jak: pigmentacja, stabilizacja czy skład żywicy. Dodatkowymi czynnikami mogą być rozmiar i geometria wytwarzanej protezy. Producenci wskazują na dobre właściwości fizyczne oraz biokompatybilność stosowanych żywic. Dodają, że światło i wyższa temperatura podczas dodatkowego utwardzania, podnoszą mechaniczne właściwości i poziom konwersji akrylu.³⁴

Dimitrova i wsp. podczas porównywania tradycyjnego PMMA z żywicami do druku 3D, dość dokładnie opisała właściwości materiału PCL – polikaprolaktonu. Jest to poliestery syntetyczny, o gęstości zbliżonej do poliolefin. Elastyczność i odporność na złamanie wykazują przeciętne wartości, a wytrzymałość na rozciąganie jest zbliżona do nylonu. Materiał ten występuje w postaci mleczno-białej, o średniej gęstości, zbliżonej do polietylenu oraz strukturze przypominającej wosk. Wciąż brakuje badań potwierdzających zadowalające właściwości tego materiału jako żywicy na płyty protez całkowitych.³⁵⁻³⁷ Formlabs Dental, będący jednym z producentów technologii druku 3D, wskazuje, że płyty protez wykonane z ich żywicy, charakteryzują się mniejszym skurczem podczas polimeryzacji, w stosunku do tradycyjnie przetwarzanego PMMA. Jednak, mają one gorszą elastyczność, wytrzymałość na zginanie

complete denture plates and other removable dentures. According to the classification of medical devices, it is a material of class IIA, biocompatible and, according to the manufacturer, characterised by extremely good physical properties, competing with traditional PMMA. It is available in five colours: dark pink, light pink, matt pink, red pink and translucent pink.³⁵

In their research, *Chhabra* et al. focused on comparing acrylic resins used in 3D printing with traditional techniques. They emphasised that flexural strength and impact strength are particularly important for the characteristics of materials used for complete denture plates. Based on their research, they stated that these characteristics turned out to be better in the case of traditional PMMA, and that further refinement and improvement of the quality of resins for 3D printing are recommended.³⁸

Borello et al. indicated that the possibility of parallel printing of chemically different materials already exists in 3D printing. They hoped that this technology would develop towards multi-material printing. This would allow printing of the denture plate together with the teeth during one cycle, without deteriorating the mechanical characteristics and quality of the connection of subsequent layers of the material.³⁹

Conclusion

3D printing, already commonly used in medicine, is an innovative method for the production of complete dentures. 3D printers and their dedicated CAD systems are constantly being improved, and manufacturers indicate continuously advanced characteristics of both the systems and acrylic resins. They enable digital precision of fast 3D printing of restorations with complex shapes, while maintaining lower material consumption than in the milling technology. It seems that along

i niższą odporność na złamania. Jedną z przyczyn gorszych właściwości fizycznych tych żywic, może być niższa liczba podwójnych wiązań podczas konwersji, w porównaniu do tradycyjnego akrylu. Jeszcze innym powodem, może być słabe połączenie kolejnych warstw podczas druku.³⁵

NextDent Denture 3D+ jest żywicą przeznaczoną na płyty protez całkowitych oraz innych protez ruchomych. Jest to według klasyfikacji wyrobów medycznych materiał klasy IIA, biokompatybilny, a według producenta charakteryzujący się niezwykle dobrymi właściwościami fizycznymi, konkurującymi z tradycyjnym PMMA. Występuje w 5 kolorach: ciemnoróżowym, jasnoróżowym, matowym różowym, czerwonym różowym i półprzezroczystym różu.³⁵

Chhabra i wsp. w swoich badaniach skupił się na porównaniu żywic akrylowych stosowanych w druku 3D oraz technice tradycyjnej. Podkreślił, że wytrzymałość na zginanie i uderzenia są szczególnie ważne w przypadku właściwości materiałów na płyty protez całkowitych. Na podstawie badań stwierdził, że właściwości te okazały się lepsze w przypadku tradycyjnego PMMA i wskazane są dalsze udoskonalanie i poprawa jakości żywic do druku 3D.³⁸

Borello i wsp. w swoich badaniach wskazuje, że w druku 3D istnieje już możliwość równoległego druku różnych chemicznie materiałów. Dodaje jednak, że ma nadzieję na rozwój tej technologii w kierunku druku wielomateriałowego. Umożliwiłoby to druk płyty protezy wraz zębami podczas jednego cyklu, nie pogarszając właściwości mechanicznych i jakości połączenia kolejnych warstw materiału.³⁹

Podsumowanie

Druk 3D, rozpowszechniony już w medycynie, jest innowacyjną metodą w wykonawstwie protez całkowitych. Drukarki 3D oraz dedykowane im systemy CAD są wciąż udoskonalane,

with the development and refinement of 3D printing technology, its greater availability and the improvement of the quality of materials, this system may become an alternative to traditional techniques of the production of complete dentures.

a producenci wskazują na coraz lepsze właściwości zarówno samych systemów, jak i żywic akrylowych. Umożliwiają szybki druk 3D z cyfrową precyzją uzupełnień o skomplikowanych kształtach, zachowując jednocześnie mniejsze zużycie materiału w stosunku do technologii frezowania. Wydaje się, że wraz z rozwojem i udoskonaleniem technologii druku 3D, poprawą jakości materiałów oraz większą dostępnością, system ten może stać się alternatywą dla tradycyjnych technik wykonywania protez całkowitych.

References / Piśmiennictwo

1. *Carlsson G, Omar R*: The future of complete dentures In oral rehabilitation. A critical review. *J Oral Rehabil* 2010; 37: 143-156.
2. *Douglass CW, Shih A, Ostry L*: Will there be a need for complete dentures In the United States In 2020. *J Prosthet Dent* 2002; 87, 1: 5-8.
3. *Xavier FM, Ferraz MP, Marc N, Escosteguy NU, Moriguchi EH*: Elderly people's definition of quality of life. *Rev Bras Psiquiatr* 2003; 25(1): 31-39.
4. *Johansson A, Unell L, Johansson A-K, Carlsson GE*: A 10- year longitudinal study of self-assessed chewing ability and dental status in 50-year-old subjects. *Int J Prosthodont* 2007; 20: 643-645.
5. *Bellini D, Dos Santos MB, De Paula Prisco Da Cunha V, Marchini L*: Patients' expectations and satisfaction of complete denture therapy and correlation with locus of control. *J Oral Rehabil* 2009; 36: 682-686.
6. *Heydecke G, Klemetti E, Awad MA, Lund JP, Feine JS*: Relationship between prosthodontic evaluation and patient ratings of mandibular conventional and implant prostheses. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 307-312.
7. *Carlsson GE*: Critical review of some dogmas in prosthodontics. *J Prosthodont Res* 2009; 53: 3-10.
8. *Sierpińska T*: *Stomatologia cyfrowa*. Quintessence Publishing Polska 2021; 3-8: 83-88.
9. *Reymus M, Fabritius R, Keßler A, Hickel R, Edelhoff D, Stawarczyk B*: Fracture load of 3D-printed fixed dental prostheses compared with milled and conventionally fabricated ones: the impact of resin material, build direction, post-curing, and artificial aging-an in vitro study. *Clin Oral Investig* 2020; 24(2): 701-710.
10. *Bidra AS, Taylor TD, Agar JR*: Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspectives. *J Prosthet Dent* 2013; 109: 361-366.
11. *Ayman AD*: The residual monomer content and mechanical properties of CAD/CAM resins used in the fabrication of complete dentures as compared to heat cured resins. *Electron Physician* 2017; 9: 4766-4772.
12. *Infante L, Yilmaz B, McGlumphy E, et al.*:

- Fabricating complete dentures with CAD/CAM technology. *J Prosthet Dent* 2014; 111: 351-355.
13. *Pacquet W, Benoit A, Hatège-Kimana C, et al.*: Mechanical properties of CAD/CAM denture base resins. *Int J Prosthodont* 2019; 32: 104-106.
 14. *de Oliveira E, de Figueiredo EZ, Spohr AM, Grossi ML*: Properties of Acrylic Resin For CAD/CAM: A Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. *J Prosthodont* 2021; 30(8): 656-664.
 15. *Łasica PA, Sierpińska T, Cylwik-Rokicka D*: Temporary prosthetic restorations in digital technology – literature review. *Protet Stomatol* 2021; 71(3): 234-243.
 16. *Wróbel-Bednarz K, Surowiecki D*: Application and properties of 3D printing technology, the future of prosthodontics. *Prosthodontics* 2016; 66(6): 453-460.
 17. *Nowicki A, Jagucka-Mętel W, Sobolewska E*: 3D printers – application in dental practice. *Mag Stomatol* 2015; 11: 74-76.
 18. *Salmi M*: Medical applications of additive manufacturing in surgery and dental care. *School of engineering* 2013; 3: 28-32.
 19. *Chen H, Yang X, Chen L, Wang Y, Sun Y*: Application of FDM three – dimensional printing technology in the digital manufacture of custom edentulous mandible trays. *Sci Rep* 2016; 6: 19207.
 20. *Azari A, Nikzad S*: The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rapid Protot J* 2009; 15, 3: 216-225.
 21. *Siemiński P, Budzik G*: Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2015.
 22. *Mangano F, Bazzoli M, Tettamanti L, Farronato D, Maineri M, Macchi A, Mangano C*: Custom-made, selective laser sintering (SLS) blade implants as a non-conventional solution for the prosthetic rehabilitation of extremely atrophied posterior mandible. *Lasers Med Sci* 2013; 28: 1241-1247.
 23. *Lima JMC, Anami LC, Araujo RM, Pavanelli C*: Removable Partial Dentures: Use of Rapid Prototyping. *J Prosthodont* 2014; 1-4: 11.
 24. *Bibb R, Eggbber D, Williams R*: Rapid manufacture of removable partial denture frameworks. *Rapid Protot J* 2006; 12: 95-99.
 25. *Chen J, Ahmad R, Suenaga H, Li W, Sasaki K, Swain M, Li Q*: Shape Optimization for Additive Manufacturing of Removable Partial Dentures – A New Paradigm for Prosthetic CAD/CAM. *PLoS ONE* 2015; 7: 10.
 26. *Hems E, Knott N*: 3D printing in prosthodontics. *FDJ* 2014; 5: Issue 4.
 27. *Choi YJ, Koak JY, Heo SJ, Kim SK, Ahn JS, Park DS*: Comparison of the mechanical properties and microstructures of fractured surface for Co-Cr alloy fabricated by conventional cast, 3-D printing laser-sintered and CAD/CAM milled techniques. *J Korean Acad Prosthodont* 2014; 52, 2: 67-73.
 28. *Murugesan K, Anandapandian PA, Sharma SK, Vasantha-Kumar M*: Comparative Evaluation of Dimension and Surface Detail Accuracy of Models Produced by Three Different Rapid Prototype Techniques. *J Indian Prosthodont Soc* 2012; 1, 12: 16-20.
 29. Superior 3D Printing of Dental Models. *Product News, Br Dent J* 2014; 216: 261.
 30. *Raghavan R, Kumar R, Geethaprasad TS*: 3-D Printing – An Innovation Driving Prosthodontics To Future. *Guident* 2016; 1: 28-30.
 31. *Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, Dostalova T, Prochazka A, Eliasova H, Prusa J, Kakawand S*: Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomed Eng Online* 2013; 12: 49.
 32. *Wróblewska M, Łasica PA, Cylwik-Rokicka D, Sierpińska T, Stokowska E*: Zastosowanie żywic akrylowych w leczeniu bezzębia z wykorzystaniem technologii cyfrowej – przegląd piśmiennictwa. Część 1 – CAD/CAM. *Prosthodont* 2022; 72(3): 265-271.
 33. *Tzeng JJ, Yang TS, Lee WF, Chen H,*

- Chang HM*: Mechanical Properties and Biocompatibility of Urethane Acrylate-Based 3D-Printed Denture Base Resin. *Polymers (Basel)* 2021; 13(5): 822.
34. *Perea-Lowery L, Gibreel M, Vallittu PK, Lassila LV*: 3D-Printed vs. Heat-Polymerizing and Autopolymerizing Denture Base Acrylic Resins. *Materials* 2021; 14.
35. *Dimitrova M, Corsalini M, Kazakova R, Vlahova A, Chuchulska B, Barile G, Capodiferro S, Kazakov S*: Comparison between Conventional PMMA and 3D Printed Resins for Denture Bases: A Narrative Review. *J Compos Sci* 2022; 6: 87.
36. *Berli C, Thieringer F, Sharma N, Müller J, Dedem P, Fischer J, Rohr N*: Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *J Prosthet Dent* 2020; 124: 780-786.
37. *Arslan M, Murat S, Alp G, Zaimoglu A*: Evaluation of flexural strength and surface properties of prepolymerized CAD/CAM PMMA-based polymers used for digital 3D complete dentures. *Int J Comput Dent* 2018; 21: 31-40.
38. *Chhabra M, Kumar MN, RaghavendraSwamy KN, Thippeswamy HM*: Flexural strength and impact strength of heat-cured acrylic and 3D printed denture base resins- A comparative in vitro study. *J Oral Biol Craniofac Res* 2022; 12(1): 1-3.
39. *Borrello J, Nasser P, Iatridis J, Costa KD*: 3D Printing a Mechanically-Tunable Acrylate Resin on a Commercial DLP-SLA Printer. *Addit Manuf* 2018; 23: 374-380.

Zaakceptowano do druku: 1.12.2022 r.

Adres autorów: 15-276 Białystok,
ul. M. Skłodowskiej-Curie 24.

© Zarząd Główny PTS 2022.