

Rezmer, Jakub, Wasilewska, Inga, Świątek, Łukasz. Use of 3d printing technology in the treatment of microtia and other outer ear deformities. Review. *Journal of Education, Health and Sport*. 2022;12(9):381-387. eISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2022.12.09.042> <https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/39623> <https://zenodo.org/record/7041463>

The journal has had 40 points in Ministry of Education and Science of Poland parametric evaluation. Annex to the announcement of the Minister of Education and Science of December 21, 2021. No. 32343. Has a Journal's Unique Identifier: 201159. Scientific disciplines assigned: Physical Culture Sciences (Field of Medical sciences and health sciences); Health Sciences (Field of Medical Sciences and Health Sciences). Punkty Ministerialne z 2019 - aktualny rok 40 punktów. Załącznik do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 21 grudnia 2021 r. Lp. 32343. Posiada Unikatowy Identyfikator Czasopisma: 201159. Przynależność dyscypliny naukowej: Nauki o kulturze fizycznej (Dziedzina nauk medycznych i nauk o zdrowiu); Nauki o zdrowiu (Dziedzina nauk medycznych i nauk o zdrowiu). © The Authors 2022; This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Nicolaus Copernicus University in Torun, Poland Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author (s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non commercial license Share alike. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited. The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper. Received: 15.08.2022. Revised: 20.08.2022. Accepted: 01.09.2022.

Use of 3d printing technology in the treatment of microtia and other outer ear deformities

Jakub Rezmer¹, Inga Wasilewska¹, Łukasz Świątek²

¹Student Research Group, Department of Virology with SARS Laboratory, Medical

University of Lublin, ul. Witolda Chodźki 1, 20-400 Lublin, Poland

²Department of Virology with SARS Laboratory, Medical University of Lublin, Doktora ul. Witolda Chodźki 1, 20-400 Lublin, Poland

ORCID ID and an email address:

Jakub Rezmer: <https://orcid.org/0000-0002-0717-9061>, jakubrezmer1@gmail.com

Inga Wasilewska: <https://orcid.org/0000-0002-0864-9993>, wasilewskainga@gmail.com

Łukasz Świątek: <https://orcid.org/0000-0003-1626-680X>, lukaszswiatek@umlub.pl

Summary:

Introduction:

Microtia and other outer ear deformations may cause a lot of psychical, social, and mental stress for a patient. In order to surgically treat it, we need a very experienced plastic surgeon specializing in such operations. With the use of 3D printing technology, such as fused

deposition modeling or a sacrificial layer process there are a lot of possibilities starting from creating aids for plastic surgeons to printing ear prosthesis from live cells.

Objective:

The study's objective was to research, review and compare data available on PubMed about the use of 3D printing in the treatment of microtia and other ear deformations.

A brief description of the state of knowledge:

With the current state of knowledge, with the 3D printing technology, we can quickly create highly individualized and helpful training aids for plastic surgeons that would help them during operations. There is also a possibility of developing a personalized splint that would help correct the ears better than conventional methods. What's more, we can also print prosthetics, not only with the use of conventional materials used in 3D printing but also with live chondrocytes and adipocytes that were able to chondro and adipogenesis, respectively.

Conclusions:

There are a couple of ways we can use 3D printing in the treatment of outer ear deformities. The most promising is printing with live cells, but we need more research to develop better methods and techniques to use in the future prosthetics.

Keywords: 3d printing, microtia, ear deformities

WPROWADZENIE I CEL PRACY

Mikrocja to wada wrodzona charakteryzująca się deformacją lub ubytkiem ucha zewnętrznego. Zdarza się raz na 5000 urodzeń, dwukrotnie częściej w uchu prawym niż lewym.[1] Może powodować psychiczny, fizyczny oraz społeczny dyskomfort u pacjenta.[2] Najczęściej stosuje się leczenie chirurgiczne, którego efekt zależy od zdolności chirurga, ponieważ jest to procedura skomplikowana i bardzo wymagająca. Polega ono na wykorzystaniu chrząstki żebrowej w celu odtworzenia małżowiny usznej. Niewielu chirurgów plastycznych posiada odpowiednie doświadczenie w takich operacjach.[3] Jeżeli

pacjent nie może poddać się operacji, należy rozważyć leczenie za pomocą protezy. Tradycyjnie protezy ucha wykonuje się z silikonu metodą wulkanizacji w temperaturze pokojowej. Minusem tej metody trudność jej wykonania i czasochłonność.[1]

Wykorzystanie technologii druku 3D pozwala na możliwość pełnej indywidualizacji modelu pochodzącego od określonego pacjenta, ponieważ zestawy zdjęć pochodzących z tomografu komputerowego lub rezonansu magnetycznego można w łatwy sposób przekonwertować do modelu 3D, a następnie wydrukować na dostępnej drukarce. Jest to metoda pozwalająca każdemu na łatwą i szybką produkcję potrzebnych modeli.

Celem naszej pracy jest analiza wykorzystania druku 3D w leczeniu mikrocji i innych deformacji ucha.

MATERIAŁ I METODY

Dokonano systematycznego przeglądu piśmiennictwa naukowego według słów kluczowych w języku angielskim w bazie danych Pubmed. Użyto kombinacji słów "3d printing", "3d printer" "ear", "printed", "microtia". W wynikach zwrotnych uzyskano 26 artykułów w datach od 2014 do 2022 roku, przeanalizowano jest wszystkie i ostatecznie do pracy przyjęto 7. Kryteriami doboru pracy był tytuł pracy, treść abstraktu, oraz tematyka związana z drukiem 3D i deformacjami ucha.

OPIS STANU WIEDZY

Model 3D jako pomoc dla lekarza przy zabiegu korekcyjnym mikrocji

Mussi i wsp. [1] przeanalizowali metody powstawania modeli treningowych dla chirurgów, aby pomóc im zdobyć niezbędne doświadczenie i ułatwić rzeźbienie chrząstki podczas zabiegu operacyjnego. Pierwszym etapem było wykonanie wysokorozdzielczej tomografii komputerowej, skanu 3D lub fotogrametrii, które następnie za pomocą oprogramowania komputerowego przerabiane są na model 3D małżowiny usznej. Na jego podstawie wykonuje się cyfrowy model formy, który drukowany jest następnie na drukarce 3D w technologii osadzania topionego materiału. Powstałą formę zalewa się silikonem o właściwościach mechanicznych podobnych do chrząstki i uzyskuje się finalny model, który jest dokładną anatomiczną kopią zdrowej małżowiny usznej pacjenta. Dzięki temu chirurg

przed zabiegiem może zaplanować jak najlepszą strategię. Śródoperacyjnie model może być wykorzystany jako punkt odniesienia lub bezpośredni wzór potrzebny do właściwego wymodelowania chrząstki.[1]

Jovic i wsp. [2] zbadali przydatność wydrukowanego modelu 3D żebra oraz wydrukowanego szkieletu małżowiny usznej podczas szkolenia dotyczącego mikrocji dla rezydentów chirurgii plastycznej. Wykorzystano ogólnodostępną tomografię komputerową i utworzono modele 3D żeber 6-9, z których następnie utworzono cyfrowe modele form. Wydrukowano je zarówno w technologii osadzania topionego materiału (FDM) wykorzystując polilaktyd, jak i w technologii stereolitografii przy wykorzystaniu żywicy. Stworzono i wydrukowano także modele poszczególnych części małżowiny, odpowiadające odpowiednim chrząstkom. Rezydenci przeszli 3 godzinne szkolenie, po którym wypełnili kwestionariusz oceniający poziom symulacji wydrukowanych obiektów. Wszyscy rezydenci stwierdzili, że wydrukowane modele uszu znacząco i bezpośrednio pomogły im w nauce.[2]

Alazzam i wsp. [3] zeskanowali twarz pacjenta z mikrocją za pomocą smartfona posiadającego skaner 3D. Cały proces trwał jedynie 4 minuty, był prosty w użyciu i wykorzystywał tanią aplikację. Następnie za pomocą oprogramowania CAD stworzono maskę składającą się z nosa, oraz przestrzeni okołoooczodołowej wraz z małżowiną po stronie zdrowej. Za pomocą technologii osadzania topionego materiału wydrukowano maskę. Po jej założeniu przez pacjenta oznaczono na skórze po stronie chorej kształt i wielkość prawidłowej małżowiny usznej, co może następnie służyć do zaplanowania operacji. Bardzo niskim kosztem i łatwą do nauczenia techniką osiągnięto efekt podobny do tego zapewnianego przez dużo droższą i zaawansowaną technologię. [3]

Wykorzystanie modelu 3D jako spersonalizowanej szyny

Argyropolous i wsp. [4] w swoim badaniu sprawdzili, czy druk 3D może mieć zastosowanie w leczeniu odstających uszu za pomocą indywidualnie wyprodukowanej szyny. W tym celu zeskanowali ucho pacjenta za pomocą smartfona oraz oprogramowania komputerowego. Za pomocą programu CAD stworzono spersonalizowane nakładki. Wydrukowano je następnie za pomocą technologii osadzania topionego materiału za pomocą polikaprolaktonu 100 oraz filamentu Z-Flex. Obie nakładki były bardzo lekkie oraz dokładnie pasowały do ucha pacjenta, który jednocześnie mógł nosić także okulary. Potrzebne jest jednak więcej badań z wykorzystaniem większej ilości pacjentów, a także przy użyciu innych

materiałów i metod druku 3D. [4]

Podobne badanie przeprowadzili Xu i wsp. [5] na pacjentach z mikrocją którzy przeszli operację podniesienia uszu. Po 4 tygodniach od operacji zrekonstruowane małżowiny zeskanowano laserowym skanerem 3D, a następnie w programie do grafiki 3D wymodelowano odpowiednia szynę, którą następnie wydrukowano korzystając z technologii osadzania topionego materiału wykorzystując ABS. Grupa kontrolna otrzymała konwencjonalne szyny wykonane z termoplastycznego materiału. Zbadano także skalę VSS, która nie różniła się pomiędzy obiema grupami. Po 24 tygodniach zbadano satysfakcję pacjentów oraz ponownie skalę VSS. Wyniki pokazały, że szyny wytworzone w technologii druku 3D lepiej chronią przed przykurczami bliznowatymi, lepiej zachowują kształt małżowiny, a także wiążą się z wyższym poziomem satysfakcji u pacjentów. [5]

Model 3D jako proteza małżowiny usznej

Suaste-Gómez i wsp. [6] stworzyli protezę małżowiny usznej wykorzystując program CAD, a następnie druk 3D w technologii osadzania topionego materiału polifluorkiem winylidenu (PVDF). PVDF posiada właściwości zarówno pizo, pyro jak i ferroelektryczne, jest także biokompatybilny. Dzięki temu z pomocą odpowiednich sensorów może on imitować receptory na prawdziwej skórze, ze względu na jego reakcje na ciśnienie czy ciepło i zimno [6].

Lee i wsp. [7] wykorzystali w swoim badaniu druk modelu 3D małżowiny usznej z wykorzystaniem technologii znanej jako *sacrificial layer process*, którą udoskonalili tak, aby można było ją wykorzystać do druku chondrocytami i adipocytami. Jako strukturę wykorzystano polikaprolakton, część "ofiarną" stworzono z polietylenoglikolu, a do stworzenia hydrożelu wykorzystano sól sodową oraz kwas alginowy. W programie CAD stworzono model małżowiny usznej, a całość następnie wydrukowano. Zarówno adipocyty jak i chondrocyty były po wydrukowaniu modelu zdolne do proliferacji. Można się spodziewać, że druk 3D w tej technologii może posłużyć do regeneracji większości tkanek, jak i organów posiadających struktury stworzone z wielu kształtów i typów komórek, tak jak małżowina uszna. [7]

Podsumowanie i wnioski

Druk 3D jest technologią która pozwala w krótkim czasie wyprodukować wysoce zindywidualizowane modele przy zachowaniu niskich kosztów produkcji. Technologia ta dzięki łatwości modyfikacji modeli za pomocą oprogramowania komputerowego, a także faktu, że do jego stworzenia wystarczy szeroko dostępna tomografia komputerowa lub rezonans magnetyczny pozwala na powszechne jej stosowanie w wielu gałęziach medycyny. W przypadku deformacji małżowiny usznej, możemy wykorzystać ją nie tylko do polepszenia treningu chirurgów plastycznych czy do zaplanowania operacji, ale także do stworzenia spersonalizowanych szyn korekcyjnych, czy finalnie protez małżowiny usznej. W dalszym ciągu niestety brakuje badań na większej ilości pacjentów, które pozwoliłyby na standaryzację i powszechność stosowania tej technologii. Szczególną uwagę trzeba zwrócić zdecydowanie na druk 3D z wykorzystaniem żywych komórek, dzięki czemu w przyszłości możemy spodziewać się wykorzystania tej technologii do stworzenia całych skomplikowanych struktur czy organów zindywidualizowanych pod każdego pacjenta.

References

1. Mussi E, Furferi R, Volpe Y, Facchini F, McGreevy KS, Uccheddu F. Ear Reconstruction Simulation: From Handcrafting to 3D Printing. *Bioengineering (Basel)*. 2019 Feb 5;6(1):14. doi: 10.3390/bioengineering6010014. PMID: 30764524; PMCID: PMC6466171.
2. Jovic TH, Combella EJ, Jessop ZM, Whitaker IS. Using 3D Printing Technology to Teach Cartilage Framework Carving for Ear Reconstruction. *Front Surg*. 2020 Jul 17;7:44. doi: 10.3389/fsurg.2020.00044. PMID: 32766275; PMCID: PMC7380086.
3. Alazzam A, Aljarba S, Alshomer F, Alawirdhi B. The Utility of Smartphone 3D Scanning, Open-Sourced Computer-aided Design, and Desktop 3D Printing in the Surgical Planning of Microtia Reconstruction: a Step by Step Guide and Concept Assessment. *JPRAS Open*. 2021 Jun 18;30:17-22. doi: 10.1016/j.jpra.2021.06.001. PMID: 34355054; PMCID: PMC8321891.
4. Argyropoulos A, Botsaris PN. Modern Applications of 3D Printing: The Case of an Artificial Ear Splint Model. *Methods Protoc*. 2021 Aug 6;4(3):54. doi: 10.3390/mps4030054. PMID: 34449685; PMCID: PMC8395834.
5. Xu J, Aung ZM, Cheong S, Won T, Zhang R, Xu F, Fan J, Han D. Corrigendum to 'Evaluation of effectiveness of three-dimensional printed ear splint therapy following

ear elevation surgery in microtia patients: A randomized controlled trial' [J Cranio-Maxillofacial Sur, volume 48, (8), (2020), 786-791]. J Craniomaxillofac Surg. 2020 Nov;48(11):1087. doi: 10.1016/j.jcms.2020.09.010. Epub 2020 Sep 29. Erratum for: J Craniomaxillofac Surg. 2020 Aug;48(8):786-791. PMID: 33008699.

6. Suaste-Gómez E, Rodríguez-Roldán G, Reyes-Cruz H, Terán-Jiménez O. Developing an Ear Prosthesis Fabricated in Polyvinylidene Fluoride by a 3D Printer with Sensory Intrinsic Properties of Pressure and Temperature. Sensors (Basel). 2016 Mar 4;16(3):332. doi: 10.3390/s16030332. PMID: 26959026; PMCID: PMC4813907.
7. Lee JS, Hong JM, Jung JW, Shim JH, Oh JH, Cho DW. 3D printing of composite tissue with complex shape applied to ear regeneration. Biofabrication. 2014 Jun;6(2):024103. doi: 10.1088/1758-5082/6/2/024103. Epub 2014 Jan 24. PMID: 24464765.