

Rezmer Jakub, Wasilewska Inga, Świątek Łukasz. Use of 3d printing technology in the development of a prosthetic thumb. *Journal of Education, Health and Sport*. 2022;12(7):405-409. eISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2022.12.07.039>
<https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/JEHS.2022.12.07.039>
<https://zenodo.org/record/6815097>

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. 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. Przypisane dyscypliny naukowe: 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: 22.06.2022. Revised: 22.06.2022. Accepted: 10.07.2022.

Use of 3d printing technology in the development of a prosthetic thumb

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:**

Over the years, the popularisation of 3D printing technology created new possibilities for developing customized and cheap prosthetics in a shorter time than time-consuming and expensive conventional methods. With the available software and knowledge, there are limitless possibilities for tailoring every prosthetic exclusively to the patient when keeping the costs reasonably low.

Objective:

The objective of the study was to research, review and compare data available on PubMed about the use of 3D printing in the development of a prosthetic thumb.

A brief description of the state of knowledge:

Conventional methods of prosthetic manufacture require a skilled professional prosthetist, a lot of time, and the costs from 4000-8000\$ for a body-powered one, to 25000-50000\$ for an externally powered one. That could be a major financial barrier for a patient. The 3D printing technology development over the last 15 years provided a fast and cheap method of manufacture for low-batch prosthetics, including thumb prosthetics, while being able to easily alter the project to customize it to the patient's needs.

Conclusions:

There is a possibility to create fully functioning and durable thumb prosthetics with 3D printing technology. However, we need more research to provide a universal and fully customizable one to meet every patient's needs.

Keywords: 3d printing; prosthetic thumb;

WPROWADZENIE I CEL PRACY

Druk 3D jest jedną z metod wytwarzania przyrostowego, polegającej na wytwarzaniu trójwymiarowych obiektów przygotowanych wcześniej poprzez obróbkę modelu cyfrowego z pomocą technik komputerowych. W ciągu ostatnich 15 lat nastąpił znaczny wzrost popularności wykorzystania drukarek 3D, co wiązało się z ułatwieniem ich obsługi, powiększeniem bazy dostępnych materiałów jak i spadkiem kosztów samego druku. Z tego względu nie jest on już tylko wykorzystywany na poziomie przemysłowym, ale z łatwością może go używać każdy. Bardzo dobrze sprawuje się on w szybkim prototypowaniu, ponieważ czas i koszty produkcji poszczególnych części nie są długie.

Wykonanie protezy klasyczną metodą wymaga długiego czasu, ze względu na konieczność indywidualnej produkcji większości części, jak i dużej liczby potrzebnego wyspecjalizowanego personelu, przez to cały proces jest bardzo kosztowny. Protezy mechaniczne (pasywne) działają za pomocą energii dostarczanej przez fizyczną pracę mięśni, a ich koszt waha się od 4000-8000\$. Umożliwiają one wykonywanie prostych czynności. Wyróżniamy także protezy zasilane zewnętrznym zasilaniem (aktywne), które wykonują ruchy protezą za pomocą silników. Są one dużo bardziej zaawansowane technologicznie, przez co ich cena jest znacznie wyższa i sięga od 25000-50000\$.

Celem naszej pracy jest analiza sposobu wykonania protezy kciuka przy użyciu technologii jaką jest druk 3D w bazie PubMed.

MATERIAŁ I METODY

Dokonano systematycznego przeglądu piśmiennictwa naukowego według słów kluczowych w języku angielskim w bazie danych PubMed. Użyto słów "3d printing" oraz "prosthetic thumb". W wynikach zwrotnych uzyskano 8 artykułów w datach od 2015 do 2021 r., zanalizowano wszystkie i ostatecznie do pracy przyjęto 6. Kryteriami doboru były tytuł pracy, treść abstraktu, oraz tematyka związana z drukiem 3D oraz protezą kciuka.

OPIS STANU WIEDZY

Projektowanie protezy kciuka

Aby odpowiednio zaprojektować protezę, należy indywidualnie podejść do każdego przypadku pacjenta. W zależności od miejsca amputacji należy dobrać odpowiednie mocowanie samej protezy jak i jej projekt. W przypadku pracy Štefanovič i wsp. [1] zdecydowano się na skan zarówno ręki zdrowej, jak i chorej, z wrodzonym brakiem kciuka i kości śródreżca. Otrzymany skan posłużył jako model służący do wstępnego dopasowania protezy. Ze względu na wady anatomiczne pacjenta zaprojektowano dwie bazy - jedną elastyczną a drugą sztywną. Po przymiarkach przez pacjenta zmodyfikowano je jeszcze raz, ze względu na to, że elastyczna zajmowała zbyt wiele niepotrzebnego miejsca, a sztywna ograniczała poruszanie innych palców. Protezę zaplanowano jako protezę pasywną, której celem było wspomaganie pozostałych palców przy chwycie obiektów. Ważną kwestią dla pacjenta były nie tylko kształt i pozycja protezy, ale także odpowiednia sztywność oraz możliwość samodzielnego zakładania. Spełnienie wszystkich tych wymogów umożliwiło pacjentowi wykonanie chwytu szczypcowego, trójpunktowego jak i siłowego [1].

Używając metody skanowania 3D swoją protezę wykonali także Lee i wsp. [2] Proteza ta miała za zadanie służyć pacjentowi z kciukiem amputowanym przy stawie śródreżeczno-palczkowym kciuka. W tym celu zeskanowali oni obie dłonie pacjenta, po czym podczas obróbki cyfrowej skopiowali oraz odbili kciuk z ręki zdrowej, tworząc tym samym protezę. Dla pacjenta ważne było uzyskanie chwytu trójpunktowego, aby był w stanie pisać oraz podnosić małe objekty. Na powierzchni dłoniowej kciuka autorzy zaprojektowali także antypoślizgowy wzór, który miał zwiększyć siłę chwytu pacjenta i zapobiegać ślizganiu się przedmiotów. Proteza ta była protezą pasywną. Pacjent nie wymagał rehabilitacji, od razu mógł wykonywać wyżej wymienione czynności [2].

Mohammadi i wsp. [3] zaprojektowali protezę aktywną całej ręki, którą bardzo łatwo jest zmodyfikować i dopasować indywidualnie do każdego pacjenta. Wykonana została ona z materiału elastycznego. Kciuk został zaprojektowany jako element stały, bez stawów międzypalczkowych. Pacjent mógł go odwoździć oraz przywoździć, co umożliwiło mu wykonanie wielu rodzajów chwytów. W miejscu opuszka powierzchnia protezy posiada mikroząbki, co ułatwia podnoszenie małych przedmiotów przy chwycie szczypcowym [3].

W badaniu przeprowadzonym przez Gretsch i wsp. [4] zaprojektowano aktywną protezę całej dłoni, w której kciuk może poruszać się niezależnie. Posiada on dwa własne stawy. Do wykonania ruchu przywodzenia lub odwodzenia konieczne jest wykonanie odpowiedniego wzoru ruchów ramieniem do przodu i do tyłu. Projekt umożliwia łatwe skalowanie, co jest istotne zwłaszcza dla pacjentów w okresie rozwoju szkieletu. W każdym momencie pacjent może wydrukować nowy, zaktualizowany model. [4]

Prakash i wsp. [5] udało się zaprojektować aktywną protezę całej ręki, w której kciuk posiada dwa stawy oraz czujnik siły nacisku oraz czujnik informacji zwrotnej na szczycie. Niestety, uzyskano tylko jeden typ chwytu - siłowy [5].

W protezie pasywnej wykonanej przez Swartz et al. dla pacjenta z częściowo amputowaną ręką niedominującą kciuk zamontowano w części dłoniowej gniazda protezy, aby mógł być cały czas w opozycji do reszty palców [6].

Wykonanie protezy kciuka

We wszystkich zbadanych pracach zdecydowano się na użycie druku 3D w technologii FDM (fused deposition modelling), czyli osadzania topionego materiału. Polega on na tym, że głowica drukarki podająca odpowiedni materiał porusza się w zaprogramowanym wcześniej kierunku tworząc obrys materiału, a po wykonaniu każdej z warstw podnosi się o wcześniej ustaloną wysokość warstwy i wykonuje kolejny obrys, aż do całkowitego ukończenia wydruku. Ta technologia druku 3D wyróżnia się obszerną ofertą dostępnych materiałów, niskimi kosztami produkcji modelu oraz możliwością uzyskania złożonych i kompleksowych kształtów bez konieczności obróbki modelu po wydrukowaniu. [3]

W zależności od materiału można regulować jego cechy, takie jak między innymi sztywność, odporność na promieniowanie UV czy temperaturę. Materiały używane w druku protez to poliaktyd (PLA), ABS oraz TPU90 [1, 3-6]. Druk 3D w technologii FDM umożliwia stworzenie zarówno obiektów pustych w środku, jak i wypełnionych tylko częściowo - dzięki temu łatwo możemy modyfikować masę danego modelu oraz jego wytrzymałość. W druku protez używano gęstości od 20-50%. Im większa jest gęstość modelu, tym większa wytrzymałość mechaniczna.

Dzięki możliwości produkcji pojedynczych części, w przypadku zepsucia się fragmentu protezy, możliwe jest szybkie wyprodukowanie tylko uszkodzonego fragmentu niewielkim kosztem, bez potrzeby produkcji kolejnej protezy w całości. Koszty wyprodukowania protezy przy pomocy druku 3D są wielokrotnie niższe, niż w przypadku klasycznego sposobu wykonania protezy. W przypadku protezy pasywnej koszt wykonania zaczynał się od 50\$, a w przypadku aktywnej od 200-300\$ [3-5].

Podsumowanie i wnioski

Druk 3D jest technologią, która znacząco może zredukować koszty wykonania protez, co pozwoli na poszerzenie dostępności dla pacjentów, których nie byłoby stać na protezę wykonaną metodami tradycyjnymi. Ze względu na łatwość modyfikacji protez możliwe jest ich idealne dopasowanie do każdego pacjenta w krótkim czasie. Dzięki obecnie dostępnym materiałom jesteśmy w stanie wyprodukować protezy kciuka, które będą jednocześnie trwałe i funkcjonalne. Istotną wadą jest brak standaryzacji. Obiecujące dla rozwoju technologii tworzenia protez przy pomocy druku 3D byłoby przeprowadzenie dalszych badań w celu stworzenia uniwersalnej protezy kciuka. Szczególną uwagę należy zwrócić na korzystną możliwość indywidualnej modyfikacji protezy według potrzeb pacjenta za pomocą części wymiennych.

References

1. Štefanovič B, Michalíková M, Bednarčíková L, Trebuňová M, Živčák J. Innovative approaches to designing and manufacturing a prosthetic thumb. *Prosthet Orthot Int.* 2021 Feb;45(1):81-84. doi: 10.1177/0309364620949717. PMID: 33834748.
2. Lee KH, Kim SJ, Cha YH, Kim JL, Kim DK, Kim SJ. Three-dimensional printed prosthesis demonstrates functional improvement in a patient with an amputated thumb: A technical note. *Prosthet Orthot Int.* 2018 Feb;42(1):107-111. doi: 10.1177/0309364616679315. Epub 2016 Dec 20. PMID: 27913783.
3. Mohammadi A, Lavranos J, Zhou H, Mutlu R, Alici G, Tan Y, Choong P, Oetomo D. A practical 3D-printed soft robotic prosthetic hand with multi-articulating capabilities. *PLoS One.* 2020 May 14;15(5):e0232766. doi: 10.1371/journal.pone.0232766. PMID: 32407396; PMCID: PMC7224508.
4. Gretsche KF, Lather HD, Peddada KV, Deeken CR, Wall LB, Goldfarb CA. Development of novel 3D-printed robotic prosthetic for transradial amputees. *Prosthet Orthot Int.* 2016 Jun;40(3):400-3. doi: 10.1177/0309364615579317. Epub 2015 May 1. PMID: 25934422.
5. Prakash A, Sharma S. A low-cost transradial prosthesis controlled by the intention of muscular contraction. *Phys Eng Sci Med.* 2021 Mar;44(1):229-241. doi: 10.1007/s13246-021-00972-w. Epub 2021 Jan 19. PMID: 33469856.
6. Swartz AQ, Turner K, Miller L, Kuiken T. Custom, rapid prototype thumb prosthesis for partial-hand amputation: A case report. *Prosthet Orthot Int.* 2018 Apr;42(2):187-190. doi: 10.1177/0309364617706421. Epub 2017 Jun 22. PMID: 28639474.