



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY



Mérnöki Szimpózium a Bánkiban
(ESB 2024)



A 3D nyomtatott kézprotézisek legújabb fejlesztései

Recent advances in 3D-printed hand prosthetics

¹Cocchioni Vince

¹Óbudai Egyetem – Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest,
Magyarország, cocchioni.vince@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Az amputációval élők számának növekedése és a hagyományos protézisek magas költségei miatt egyre nagyobb igény mutatkozik megfizethető, személyre szabható és funkcionális alternatívák iránt. Az additív gyártás forradalmi változást hozott a felsővégtag protézisek területén, lehetővé téve a gyors, költséghatékony és testreszabott megoldások előállítását. Ez az áttekintés a 3D nyomtatott kézprotézisek tervezésében, anyaghasználatában és vezérlési mechanizmusaiban elért legfrissebb innovációkat vizsgálja, bemutatva az elmúlt évek fontos fejlesztéseit, feltárva a hiányosságokat és kijelölve a lehetséges fejlesztési irányokat.

Kulcsszavak: 3D nyomtatás, kézprotézis, additív gyártás, sEMG

Abstract

The increasing number of individuals living with amputations and the high costs of traditional prosthetics have led to a growing demand for affordable, customizable, and functional alternatives. Additive manufacturing has brought revolutionary changes to the field of upper-limb prosthetics, enabling the production of rapid, cost-effective, and tailored solutions. This review examines the latest innovations in the design, material use, and control mechanisms of 3D-printed prosthetic hands, highlighting significant advancements in recent years, identifying current shortcomings, and outlining potential future directions for development.

Keywords: 3D printing, hand prosthesis, additive manufacturing, sEMG

1. Bevezetés

Becslések szerint 2005-ben körülbelül 1,9 millió ember élt valamilyen végtagamputációval csak az Egyesült Államokban, az előrejelzések szerint ez a szám 2050-re akár meg is duplázódhat, az alacsonyabb jövedelmű országokban élők pedig alig 5%-15% számára érhetők el végtagprotézisek [1, 2]. A felsővégtag protézisek fejlesztésének célja az emberi kéz funkciójának visszaállítása, amely az elmúlt években jelentős előrelépéseken ment keresztül az additív gyártásnak köszönhetően. Az anyagtudomány, a vezérlőrendszerek és a személyre szabott tervezési eljárások kombinálása a 3D nyomtatás technológiájával új lehetőségeket nyitott a protézisek fejlesztésében. A hagyományos ortopédiai kézprotézisek gyakran nagyfokú funkcionalitást kínálnak, ugyanakkor magas árak miatt – ami fejlettebb mioelektromos modellek esetén akár a több tízezer eurót is elérheti – sok rászoruló számára továbbra is elérhetetlenek maradnak [3, 4]. Erre a problémára kívánnak megoldást adni a 3D nyomtatással készült ortopédiai eszközök, amelyek költséghatékony, testre szabható és gyorsan előállítható alternatívát kínálnak, ugyanakkor még számos fejlesztést igényelnek, hogy széleskörűen elterjedhessenek az orvosi ortopédiai eszközök terén [5].

Ez az áttekintés a 3D nyomtatott kézprotézisek tervezésében, anyaghasználatában és vezérlési mechanizmusaiiban elért legfrissebb innovációkat vizsgálja, bemutatva az elmúlt évek fontos fejlesztéseit, feltárva a hiányosságokat és kijelölve a lehetséges fejlesztési irányokat.

2. Fejlesztések a tervezés területén

Az additív gyártás egyik legnagyobb előnye a személyre szabhatóság. A parametrikus modellezés és 3D nyomtatás ötvöztetésével mérhető, egyedi művégtagok készíthetők a páciens kézméreteire szabva [6]. Az additív gyártás gyors és költséghatékony megoldást kínál feladat-specifikus, például sportág-specifikus protézisek gyártására is, csökkentve a végtagrendellenesség miatti sportfeladást, vagy lehetővé téve olyan specifikus feladatok ellátását is, ami nem, vagy csak nehezen lenne lehetséges egy klasszikus felépítésű protézissel [7].

A 3D szkennelés és nyomtatás kombinálásával automatizált, akár távolról is elvégezhető protézis tervezés és illesztés válik lehetővé. A digitalizált végtagcsontokra illesztett, parametrikusan modellezett protézis helyben vagy akár a páciens közelében is nyomtatható, így a hagyományos módszereknél gyorsabban és költséghatékonyabban biztosítható a tökéletes illeszkedés, nagyobb komfortérzet biztosítva a viselő számára [8-10].

Az additív gyártás áttörést hozott az antropomorf művégtagok terén is. Az emberi kéz összetett mozgásainak leképezése továbbra is komoly kihívás, de a 3D nyomtatás előrehaladást tesz lehetővé az ujjizületekhez és csuklóhoz hasonló, bonyolult csomópontok kialakításában [11]. A biomimetikus kézprotézisek célja az emberi kéz szerkezetének és működésének minél pontosabb leképezése. Az additív gyártás révén könnyen előállíthatók az emberi csontok bonyolult, organikus alakzatai. Ezek a protézisek nemcsak funkcionalitásban, hanem esztétikailag is közelebb állnak a természetes kézhez, javítva a viselő komfortérzetét. Ezentúl sok szabadsági fokkal rendelkeznek és adaptív megfogásuknak köszönhetően, stabilabb fogást biztosítanak [12-14].

Bár a 3D nyomtatott kézprotézisek tervezése területén elért eredmények ígéretesek, további fejlesztésekre van szükség, hogy ezek az eszközök elterjedjenek az ortopédiában. Nagy igény van művégtagok hatékony és egységesített illesztésére, amire kiváló megoldást nyújt a 3D szkennelés és 3D nyomtatás ötvöztetése. A kézprotézisek egyik legígéretesebb kutatási területe, az emberi kézzel megegyező, vagy akár azt felülmúló képességű művégtag megalkotása. A 3D nyomtatás hatalmas előrelépéseket eredményezett az antropomorf és biomimetikus kezek területén, ugyanakkor további fejlesztések szükségesek a megfelelő vezérlés, tartós felépítés és kompakt meghajtás kialakításához.

3. Fejlesztések az anyagtechnológia területén

A rugalmas anyagok nyomtatása lehetővé teszi a monolitikus felépítésű kézprotézisek legyártását, ahol a csuklópontok és a kéz többi része is egy anyagból készül. Ezek kialakításukból adódóan egyszerűbb felépítésűek, kevesebb alkatrészből állnak, gyártási és összeszerelési idejük kisebb, továbbá kis tömegű és kompakt kialakításokat eredményeznek [15].

A több anyagot egyszerre nyomtatni képes gépek lehetővé teszik a rugalmas és nem rugalmas anyagok hatékony ötvöztetését egy protézisen belül. Az így kialakított, emberi erővel működtetett protézis fogási ereje meghaladja az egyanyagú 3D nyomtatással előállított, emberi erővel működtetett protézisekét, ugyanakkor alulmarad a hagyományos technológiával gyártott modellekhez képest. A protézis adaptív megfogásra képes a kialakításának köszönhetően, ezzel megnövelve fogástípusok és a megfogható tárgyak számát. [16]

Bár a rugalmas anyagokból nyomtatott kézprotézisek egy biztató fejlesztési irány, amely egyszerűbb, könnyebb és az emberi kéz mozgását jól leképező művégtagok előállítását teszi lehetővé, az ezzel kapcsolatos kutatások még kezdetlegesek, felhasználásuk jelenleg kutatásokra

korlátozott, így további fejlesztést igényelnek a kereskedelmi kézprotézisekbe való integráláshoz.

4. Fejlesztések a vezérlés és az sEMG területén

A mioelektromos kézprotézisek az izomzat által generált, a bőrfelszínen érzékelhető elektromos jelekkel működnek. A hagyományos merev sEMG szenzorok nehezen illeszkednek a kar görbült felületéhez, ami rontja a jelminőséget. Új fejlesztések során olyan mioelektromosan érzékeny hidrogélt alakítottak ki az additív gyártás felhasználásával, ami rugalmas, ezáltal pedig fel tudja venni a végtagok alakját, jobb kapcsolódást és pontosabb mioelektromos vezérlést biztosítva [17]. A nagy felbontású szenzorok kialakítása és integrálása a nagy szabadsági fokú műkezek vezérlésébe elengedhetetlen, hogy azok irányítása megoldható legyen a felhasználó számára.

További fejlesztési terület, ami a kézprotézisek használhatóságát hivatott javítani, a kamerás szenzorok integrálása a vezérlési rendszerbe. A neurális hálóval megtámogatott képfelismerő rendszerek képesek döntést hozni az alkalmazandó megfogási módról, ezzel is segítve a felhasználót [18].

A vezérlés és sEMG területén az elmúlt években elért eredmények ígéretesek. A nagy pontosságú mioelektromos szenzorok továbbfejlesztése elengedhetetlen, hogy minél több megfogási típust tudjanak alkalmazni a felhasználók, és hogy megfelelően tudják modulálni a megfogás erősségét. A neurális hálókkal megtámogatott képfelismerő rendszerek még kezdetlegesek, ugyanakkor egy kiváló alternatívát vagy kiegészítő technológiát jelenthetnek a mioelektromos érzékelők mellé.

5. Konklúzió

Az amputációval élők számának növekedése és a drága kereskedelmi protézisek miatt egyre nagyobb az igény megfizethető, könnyen gyártható, személyre szabható alternatívákra. A 3D nyomtatás ígéretes megoldást kínál, és az elmúlt években jelentős előrelépések történtek ezeken a területeken. A további fejlesztések kulcsfontosságúak ahhoz, hogy a 3D nyomtatott kézprotézisek szélesebb körben elterjedjenek az ortopédiai ellátásban, és hogy a fejlett vezérlőrendszerekkel bíró, sok szabadsági fokkal rendelkező kezek beépíthetők legyenek a kereskedelmi forgalomban kapható egységekbe is.

6. Hivatkozások

- [1] Ziegler-Graham K, MacKenzie EJ, Ephraim PL, Travison TG, Brookmeyer R. Estimating the prevalence of limb loss in the United States: 2005 to 2050. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008 Mar;89(3):422-9. doi: 10.1016/j.apmr.2007.11.005.
- [2] Abbady, H. E. M. A., Klinkenberg, E. T. M., de Moel, L., Nicolai, N., van der Stelt, M., Verhulst, A. C., Maal, T. J. J., & Brouwers, L. (2022). 3D-printed prostheses in developing countries: A systematic review. *Prosthetics and orthotics international*, 46(1), 19–30. doi: 10.1097/PXR.0000000000000057
- [3] Kerver, N., Karssies, E., Krabbe, P. F. M., Van Der Sluis, C. K., & Groen, H. (2022). Economic evaluation of upper limb prostheses in the Netherlands including the cost-effectiveness of multi-grip versus standard myoelectric hand prostheses. *Disability and Rehabilitation*, 45(25), 4311–4321. doi: 10.1080/09638288.2022.2151653
- [4] Zuniga, J. M., Peck, J., Srivastava, R., Katsavelis, D., & Carson, A. (2016). An open source 3D-Printed transitional hand prosthesis for children. *JPO J. of Prosthetics and Orthotics*, 28(3), 103–108. doi: 10.1097/jpo.0000000000000097

- [5] Wang, Y., Tan, Q., Pu, F., Boone, D., & Zhang, M. (2020). A Review of the Application of Additive Manufacturing in Prosthetic and Orthotic Clinics from a Biomechanical Perspective. *Eng.*, 6(11), 1258–1266. doi: 10.1016/j.eng.2020.07.019
- [6] Nini, L., Ceccarelli, A., Tagliamonte, N. L., Zollo, L. & Taffoni, F. (2024). Parametric 3D Modeling of a Customized Prosthetic Hand Finger for Additive Manufacturing. 2024 10th IEEE RAS/EMBS Int. Conf. for Biomed. Robotics and Biomechatronics (BioRob), 1328-1333. doi: 10.1109/BioRob60516.2024.10719909
- [7] Bogliolo, M., Turolla, L., Salvatore, F., Segre, J., Parodi, E., Casadio, M. (2025). Design and 3D Printing of Low-Cost Functional Sports Devices for the Upper Limb. *Prosthesis*, 7(17). doi:10.3390/prosthesis7010017
- [8] Górski, F., Denysenko, Y., Kuczko, W., Żukowska, M. (2024). Automated Design and Virtual Fitting of 3D Printed Bicycle Prostheses for Children. In: Machado, J., et al. *Innovations in Mech. Eng. III. 2024. Lecture Notes in Mech. Eng.* Springer, doi:10.1007/978-3-031-62684-5_22
- [9] Ráž, K., Chval, Z., & Kemka, V. (2024). Parametric Production of Prostheses Using the Additive Polymer Manufacturing Technology Multi Jet Fusion. *Materials*, 17(10), 2347. doi:10.3390/ma17102347
- [10] Saldarriaga, A., Romero, E., Abarca, V., & Elias, D. (2024). A Parametric Design Approach for Affordable Customized 3D Socket for Transradial Upper Limb Prostheses. 745-750. doi:10.1109/CoDIT62066.2024.10708382.
- [11] Park, J. H., Chang, M., Jung, I., Lee, H. & Cho, K. (2024). 3D Printing in the Design and Fabrication of Anthropomorphic Hands: A Review. *Advanced Intelligent Systems*. 6. doi: 10.1002/aisy.202300607.
- [12] Barrera, J., Aguilar, J., Figueroa, F., Gutierrez, M. & Gómez, B. (2024). Development of an Electromechanical Biomimetic Prosthesis using 3D Printing: Initial Findings for Interphalangeal and Metacarpophalangeal Joints.
- [13] Varaganti, P., & Seo, S. (2024). Recent Advances in Biomimetics for the Development of Bio-Inspired Prosthetic Limbs. *Biomimetics*, 9(5), 273. doi:10.3390/biomimetics9050273
- [14] Narumi, S., Huang, X., Lee, J., Kambara, H., Kang, Y., & Shin, D. (2022). A Design of Biomimetic Prosthetic Hand. *Actuators*, 11(6), 167. doi:10.3390/act11060167
- [15] Mohammadi, A., Lavranos, J., Zhou, H., Mutlu, R., Alici, G., Tan, Y., Choong, P., & Oetomo, D. (2020). A practical 3D-printed soft robotic prosthetic hand with multi-articulating capabilities. *PloS one*, 15(5), e0232766. doi: 10.1371/journal.pone.0232766
- [16] Cuellar, J. S., Plettenburg, D., Zadpoor, A. A., Breedveld, P., & Smit, G. (2021). Design of a 3D-printed hand prosthesis featuring articulated bio-inspired fingers. *Proceedings of the Institution of Mech. Eng. Part H, Journal of engineering in medicine*, 235(3), 336–345. doi: 10.1177/0954411920980889
- [17] Lai, J., Xiao, L., Zhu, B., Xie, L., & Jiang, H. (2025). 3D printable and myoelectrically sensitive hydrogel for smart prosthetic hand control. *Microsystems & Nanoengineering*. 11. doi: 10.1038/s41378-024-00825-y.
- [18] Castro, M. C. F., Pinheiro, W. C., & Rigolin, G. (2022). A Hybrid 3D Printed Hand Prosthesis Prototype Based on sEMG and a Fully Embedded Computer Vision System. *Frontiers in neurorobotics*, 15, 751282. doi:10.3389/fnbot.2021.751282