

**3D NYOMTATOTT MODELLEK SZEREPE MŰTÉTI TERVEZÉS SORÁN -
IRODALMI ÁTTEKINTÉS ÉS KEZDETI TAPASZTALATAINK**

**THE ROLE OF 3D PRINTED ANATOMICAL MODELS IN PREOPERATIVE
PLANNING – LITERATURE REVIEW AND OUR INITIAL EXPERIENCES**

ZSÁKAI ZSOLT* – KEMÉNY RAFAEL

*Borsod-Abaúj-Zemplén Vármegyei Központi Kórház és Egyetemi Oktatókórház Ortopéd-
sebészeti osztály*

Levelező szerző: Dr. Zsákai Zsolt; Borsod-Abaúj-Zemplén Vármegyei Központi Kórház és Egyetemi Oktatókórház Ortopéd-sebészeti osztály, 3526 Miskolc Szentpéteri kapu 72-76, zsakaizsolt@zsakaizsolt.com, +36-30-779-8233

Rövid cím: 3D modellek használata az ortopédiában

Összefoglalás: A 3D nyomtatás egyre szélesebb körben történő elterjedése és megjelenése az egészségügyi ellátás bizonyos ágazataiban, lehetővé teszi, hogy egyes képképző vizsgálatok alapján (CT, MRI) készített 3D nyomtatással előállított modellek hozzásegítsék az ellátó személyzetet néhány komplex anatómia elváltozás pontosabb megértéséhez. Ennek segítségével műtét előtti tervezés során azonosíthatóak azok a kritikus mozzanatok, melyekkel műtét során szembesülhet a sebész. Kezdeti próbálkozásainkkal arra keressük a választ, hogy mennyiben könnyíti meg a műtét előtti tervezést egy 3D nyomtatott modell (gyorsabb módszerváltás, műtét idő rövidülése), a tervezés során mért paraméterek mennyire egyeznek meg a valós, intraoperatív kialakult helyzettel, és az ezzel szerzett tapasztalatok hogyan ültethetőek át a napi gyakorlatba.

Kulcsszavak: *3D nyomtatott modell, műtét előtti tervezés, csípő protézis*

Summary: The increasing spread of 3D printing and its appearance in certain sectors of healthcare make it possible for 3D printed models created on the basis of certain imaging examinations (CT and MRI) to help care staff to better understand some complex anatomical lesions. This helps identify critical moments that the surgeon may face during surgery. With our initial attempts, we are looking for the answer to how much a 3D printed model facilitates pre-operative planning (faster method change, shortening of surgical time), to what extent the parameters measured during planning match the real, intraoperative situation, and how the experiences gained with this can be transferred to daily practice.

Keywords: *3D printed model, preoperative planning, hip prosthesis*

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A 3D nyomtatott technológiák térnyerését jól szimbolizálja az ezzel kapcsolatosan leközölt cikkek számának rohamos emelkedése.

Philip Tack és mtsai [1] által az egyik legnépszerűbb egészségügyi tudományos gyűjtemény honlapjának keresőmotorját használva készített irodalmi áttekintő közlése alapján, 2000 előtt a témában leközölt cikkek száma összesen kettő volt, majd a 2000-es évek közepétől meredeken emelkedő tendenciát mutatott; 2015-ben az ezzel kapcsolatos közlések száma már 70 fölötti volt. A 3D nyomtatási technológia alkalmazási körét tekintve az áttekintett cikkek túlnyomó részében sebészi „vezérfonalként” az átláthatóságot segítő, műtét előtti tervezéshez használt modellekkel szerzett tapasztalatok kerültek leírásra, valamint az egyedi instrumentáriumokkal elért eredmények, kisebb részben egyedi implantátumok alkalmazása lett leközölve.

D. G. Alemayehu és mtsai [2] gerinc, csípő, térd és boka rekonstrukciós műtétek előtt nagyszámban elvégzett 3D nyomtatott modellek használatával rávilágítottak arra, hogy ezen járulékos technikák komplex esetekben nagyban megkönnyítik a preoperatív tervezést, és hosszú távon a napi rutin részévé is válhatnak. A szélesebb körben való elterjedést segítheti, hogy bár az egyszerűbb technikával készült 3D modellek minimálisan pontatlanabbak voltak, mint egy költséges képfeldolgozó szoftveren és profi high-end resin nyomtatón készült verzió, de az olcsóbb módszerrel előállított preparátumok is ugyanolyan hasznosnak bizonyultak a műtét előtti tervezés során, mint a drágább előállítási költségű modellek. [3]

P.E. Fadero és mtsainak [4] áttekintő cikkében szintén a 3D nyomtatott modellek alkalmazási lehetőségeit gyűjtötték össze, főleg a csípőízület akut töréssel szövődött, degeneratív és tumoros folyamat miatt indikált műtétek esetén. Kihangsúlyozták, hogy a nyomtatott modell nagyban hozzájárul az adott elváltozás vizualizálásához, elősegíti preoperatív a megfelelő műtétnem és kiemelten a megfelelő implantátum típus kiválasztását, és ezek együttesen egy beteg-specifikusabb ellátást, hosszabb implantátum élettartamot tesznek lehetővé. M. Galvez és munkacsoportja által végzett kis esetszámú tanulmány a szokványostól eltérő, konvencionális technikákkal nem, vagy nehezen ellátható esetekben látta előnyösnek modellek alkalmazását. [5]

A legtöbb vizsgálat azonban arra irányult, hogy egy preoperatív tervezés során alkalmazott 3D modell milyen hatással van a műtéti időtartamra, kockázatokra, vérvesztésre, funkcionális eredményekre. Zhang YD és mtsai által végzett meta-analízis kimutatta, hogy traumás medence és acetabulum sérülések ellátása során használt 3D modellek jelentősen rövidebb műtéti időt, kevesebb vérvesztést és intraoperatív szövődményt eredményeztek a kontrollcsoporthoz képest. [6]. Hallux valgus műtéti tervezése során is publikáltak 3D modell használatot műtéti tervezéshez, amely szintén jobb rálátást engedett a beteg-specifikus anatómia vonatkozásában és ez jobb műtét utáni funkcionális score értékekben is megmutatkozott. [7] Hasonló eredményt hoztak azok a vizsgálatok, ahol gerinctörések műtéti ellátása [8], illetve atlanto-axialis ficam ellátása során vizsgálták a műtéti időt, szövődmény rátát és a vérvesztést [9]. Ezekben a nyilvánvaló előnyökön kívül kimutatták (főleg traumatológiai indikációval végzett műtétek esetén) az intraoperatív röntgen idő csökkenését, így a beteg- és a személyzet sugárterhelésének csökkenését. [10]

Ortopéd sebészeti és traumatológiai ellátáson túl, számos más szakterületen teret hódít a műtéti előtti tervezésben a 3D modellek alkalmazása. Ezek közül kiemelendő a májsebészet (főleg tumoros indikációval) [11], nőgyógyászati [12], szájsebészeti beavatkozások [13], szívsebészeti [14] és idegsebészeti esetek tervezése [15], valamint invazív radiológiai ellátás előkészítése során [16].

A fentebb leírt következtésekből egyértelmű, hogy a 3D nyomtatott technológiák alkalmazása a műtéti tervezésben egyrészt hasznosak a sebész számára, másrészt előnyösek a beteg részére, de D. H. Ballard és mtsai [17] által közölt cikk szerint költséghatékonyak is abból a szempontból, hogy az általuk vizsgált anyagban mind a 3D nyomtatott modellek, mind az egyedi 3D nyomtatott vágó sablonok esetében is jelentős műtéti idő csökkenést sikerült kimutatni. Ez szintén előny a beteg részére is, de az intézmény fenntartó számára is mérlegelendő, hogy ezekkel a technikákkal adott esetben több beavatkozás is elvégezhető adott idő alatt. Bár a fenti tanulmány főleg ortopédia és szájsebészeti esetekre fókuszál, hasi sebészeti területen is (főleg májsebészeti vonatkozásban) kimutatták 3D nyomtatott modellek alkalmazásának költséghatékonyágát [18], sőt már állatgyógyászati szakterületen is jelentek meg ezzel kapcsolatos publikációk [19].

K. C. Wong [20] által leírt közlemény szintén a fentebb leírt előnyöket tagalja, kiemelve, hogy egy komplex medence környéki csontvesztéses állapot – akár degeneratív, tumoros, vagy traumás etiológiájú – pontosabb megértéséhez, a beteg „saját” anatómiájának jobb vizualizálásához vezet a 3D nyomtatott modellek használata. Cikkében azonban más, jövőbe mutató lehetőségeket is bemutatnak 3D nyomtatási technológiát illetően, mint például az egyedi betegspecifikus instrumentumokat, és az aktuálisan elérhető leginkább személyre szabott ellátási módot, az egyedi 3D nyomtatással készült implantátumokat.

A fenti konkrét sebésztechnikai előnyökön kívül az orvos-beteg kommunikációban is van kimutatott pozitív hozadéka a 3D anatómia modellek alkalmazásának. Növelik a beteg elégedettségét [21], elősegítik a terápiával kapcsolatos közös döntéshozatalt [22] és minőségibb beteg edukációt tesznek lehetővé [23].

Nem utolsó sorban pedig M. C. Girotto és mtsai által [24] leközölt tanulmány összegzéseként elmondható, hogy a 3D nyomtatott modellek alkalmazása műtéti tervezés során nemcsak tapasztalt, operáló orvosoknak lehet hasznára a napi betegellátás során, hanem kiemelten hatékony eszköz az oktatás, szakorvos képzés területén. Erre a következtetésre jutott A. Frithioff és munkacsoportja azzal a kiegészítéssel, hogy 3D modellekkel a cadaveren végzett gyakorló beavatkozások egy része is elkerülhető, [25]. Erre vonatkozó kontrollált kohort tanulmány készült is, fogorvosi szakképzésben részvevő hallgatók bevonásával, ahol szintén eredményesnek találták a 3D nyomtatott modelleket [26].

MÓDSZER

A fentiek alapján kísérletet tettünk annak bizonyítására, hogy a rutinszerű esetektől eltérő műtéti helyzetekben valóban tud-e egy előzetes kinyomtatott 3D modell segítséget nyújtani. Kezdeti próbálkozásunk során szakrendeléseinken jelentkező betegeink közül olyan csípő protézis beültetésre váró pácienseket választottunk ki, akiknél a műtét előtti kivizsgálás alapvető vizsgálataként elvégzett antero-posterior irányú összehasonlító csípő röntgenfelvételen, etiológiától függetlenül valamilyen komplex csípőízületi elváltozás volt

észlelhető. Betegszelekció során főleg a Paprosky 1, 2A, 2B [27], dominánsan az ízületi vápatetőt érintő csontdefektussal bíró eseteket választottuk ki. [1. kép]. Ezen kritériumokkal öt beteget emeltünk ki, melyből 3 férfi, 2 nő, életkoruk 40 és 83 év közötti. A műtéti területről készített CT modalitású képanyagot [2. kép] az interneten ingyenes fellelhető 3D SLICER program segítségével feldolgoztuk, a CT képekből 3D modellezéshez felhasználható .stl, illetve .pwmX kiterjesztésű file-okat generáltunk, melyeket felhasználva Anycubic Photon Mono X típusú resin (gyanta) 3D nyomtató segítségével 1:1 arányú modellt készítettünk a vizsgált ízületéről [3. kép]. A kész 3D nyomatot mosással és UV kezeléssel tettük alkalmassá a további feldolgozásra. A tervezett műtéti beavatkozás előtt az adott beteg 3D nyomtatott modelljén a műtét során is használatos instrumentárium segítségével, szakmai irányelveknek megfelelően az implantátum tervezett helyét és méretét kialakítottuk [4. kép]. Az elért eredményt a műtétet követően készített röntgenfelvétellel is ellenőriztük [5. kép].

EREDMÉNYEK

Kezdeti próbálkozásaink során az öt kiválasztott betegből három esetben sikerült a definitív műtéti ellátást is beleértve végig vinni a fentebb taglalt folyamatot. Bár az alacsony esetszám miatt vizsgálatunk korlátozott értékű, de minden esetben a műtét előtti 3D modellen végzett kialakítással megegyező méretű implantátum került beültetésre, és az az opció is előre megbecsülhető volt, hogy a röntgenfelvételen, CT-n, majd a végleges modellen észlelt vápatetőt érintő csonthiány miatt speciális kiegészítő implantátum alkalmazása a műtét során szükséges lesz-e, és ha igen, milyen méretben. A kevés esetszám miatt jelenleg csak limitációk meghatározásával tudjuk kijelenteni, de szubjektív megítélésünk szerint a műtét alatti döntési folyamatot az előzetes 3D minta használata gyorsította, így a műtéti idő is vélhetően rövidebb volt, mint a modellek használata nélkül lett volna.

KÖVETKEZTETÉS

Az irodalomban fellelhető adatoknak megfelelően kis számú vizsgálatunkban úgy találtuk, hogy a 3D nyomtatott modellek alkalmazása valóban elősegíti komplex elváltozások pontosabb megértését. Előzetesen modellen elvégzett „próbaműtét” hozzájárul a beteg egyéni adottságaihoz legjobban igazodó implantátum típus és -méret kiválasztásához és végső soron egy személyre szabottabb ellátást tesz lehetővé. 3D anatómiai modellek nagy előnye továbbá, hogy bizonyos implantátum elhelyezéssel kapcsolatos nehézségekkel az ellátó személyzet nem műtét alatt találkozik először, hanem a műtéti előtti tervezés során már identifikálhatóak bizonyos kritikus mozzanatok, így azokra előre fel lehet készülni, ami pedig gyorsabb, pontosabb intraoperatív döntéseket eredményez, így csökkentve a műtéti időt, ezzel bizonyos szövődmények valószínűségét is. Az alacsony esetszám miatt vizsgálatunk nyilván korlátozott értékű, de a jövőben egyre több beteg bevonásával egy reprezentatívabb jellegű tanulmány elkészítése, valamint kifejezetten komplex esetekben a napi szintű gyakorlatba történő átültetése tervben van.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *BioMedical Engineering OnLine* volume 15. 2016 Oct, Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> DOI: 10.1186/s12938-016-0236-4
- [2] Alemayehu DG, Zhang Z, Tahir E, Gateau D, Zhang DF, Ma X. Preoperative Planning Using 3D Printing Technology in Orthopedic Surgery. *Biomed Res Int*. 2021 Oct, Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> DOI: 10.1155/2021/7940242
- [3] Salazar DA, Cramer J, Markin NW, Hunt NH, Linke G, Siebler J, Zuniga J. Comparison of 3D printed anatomical model qualities in acetabular fracture representation. *Ann Transl Med*. 2022 Apr;10(7):391. doi: 10.21037/atm-21-5069. PMID: 35530954; PMCID: PMC9073767.
- [4] Fadero PE, Shah M, Three dimensional (3D) modelling and surgical planning in trauma and orthopaedics, *The Surgeon*. 2014. Dec; 12(6):328-333
- [5] Galvez M, Asahi T, Baar A, Carcuro G, Cuchacovich N, Fuentes JA, Mardones R, Montoya CE, Negrin R, Otayza F, Rojas GM, Chahin A. Use of Three-dimensional Printing in Orthopaedic Surgical Planning. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*. 2018 May 17;2(5):e071. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-17-00071. PMID: 30211394; PMCID: PMC6132335.
- [6] Zhang YD, Wu RY, Xie DD, Zhang L, He Y, Zhang H. [Effect of 3D printing technology on pelvic fractures:a Meta-analysis]. *Zhongguo Gu Shang*. 2018 May 25;31(5):465-471. Chinese. doi: 10.3969/j.issn.1003-0034.2018.05.013. PMID: 29890808.
- [7] Ozturk AM, Suer O, Coban I, Ozer MA, Govsa F. Three-Dimensional Printed Anatomical Models Help in Correcting Foot Alignment in Hallux Valgus Deformities. *Indian J Orthop*. 2020 Apr 23;54(Suppl 1):199-209. doi: 10.1007/s43465-020-00110-w. PMID: 32952931; PMCID: PMC7474028.
- [8] Öztürk AM, Süer O, Govsa F, Özer MA, Akçalı Ö. Patient-specific three-dimensional printing spine model for surgical planning in AO spine type-C fracture posterior long-segment fixation. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2022 Mar;56(2):138-146. doi: 10.5152/j.aott.2021.21332. PMID: 35416167; PMCID: PMC9612656.
- [9] Tu Q, Chen H, Ma XY, Wang JH, Zhang K, Xu JZ, Xia H. Usefulness of a Three-Dimensional-Printed Model in the Treatment of Irreducible Atlantoaxial Dislocation with Transoral Atlantoaxial Reduction Plate. *Orthop Surg*. 2021 May;13(3):799-811. doi: 10.1111/os.12961. Epub 2021 Mar 15. PMID: 33719205; PMCID: PMC8126926.
- [10] Ozturk AM, Suer O, Derin O, Ozer MA, Govsa F, Aktuglu K. Surgical advantages of using 3D patient-specific models in high-energy tibial plateau fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2020 Oct;46(5):1183-1194. doi: 10.1007/s00068-020-01378-1. Epub 2020 May 6. PMID: 32377923.
- [11] Soon DS, Chae MP, Pilgrim CH, Rozen WM, Spychal RT, Hunter-Smith DJ. 3D haptic modelling for preoperative planning of hepatic resection: A systematic review. *Ann Med Surg (Lond)*. 2016 Jul 12;10:1-7. doi: 10.1016/j.amsu.2016.07.002. PMID: 27489617; PMCID: PMC4959920.
- [12] Flaxman TE, Cooke CM, Miguel OX, Sheikh AM, Singh SS. A review and guide to creating patient specific 3D printed anatomical models from MRI for benign gynecologic surgery. *3D Print Med*. 2021 Jul 5;7(1):17. doi: 10.1186/s41205-021-00107-7. PMID: 34224043; PMCID: PMC8256564.
- [13] Cohen A, Laviv A, Berman P, Nashef R, Abu-Tair J. Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009 Nov;108(5):661-6. doi: 10.1016/j.tripleo.2009.05.023. Epub 2009 Aug 28. PMID: 19716728.

- [14] Gomes EN, Dias RR, Rocha BA, Santiago JAD, Dinato FJS, Saadi EK, Gomes WJ, Jatene FB. Use of 3D Printing in Preoperative Planning and Training for Aortic Endovascular Repair and Aortic Valve Disease. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2018 Sep-Oct;33(5):490-495. doi: 10.21470/1678-9741-2018-0101. PMID: 30517258; PMCID: PMC6257534.
- [15] Waran V, Narayanan V, Karuppiyah R, Pancharatnam D, Chandran H, Raman R, Rahman ZA, Owen SL, Aziz TZ. Injecting realism in surgical training-initial simulation experience with custom 3D models. *J Surg Educ.* 2014 Mar-Apr;71(2):193-7. doi: 10.1016/j.jsurg.2013.08.010. Epub 2013 Nov 22. PMID: 24602709.
- [16] Stana J, Grab M, Kargl R, Tsilimparis N. 3D printing in the planning and teaching of endovascular procedures. *Radiologie (Heidelb).* 2022 Dec;62(Suppl 1):28-33. English. doi: 10.1007/s00117-022-01047-x. Epub 2022 Sep 16. PMID: 36112173.
- [17] Ballard DH, Mills P, Duszak R, Weisman JA, Rybicki FJ, Woodard PK. Medical 3D Printing Cost-savings in Orthopedic and Maxillofacial Surgery: Cost Analysis of Operating Room Time Saved with 3D Printed Anatomic Models and Surgical Guides, *Academic Radiology* 2020 Aug; 27(8):1103-1113
- [18] Witowski JS, Pędziwiatr M, Major P, Budzyński A. Cost-effective, personalized, 3D-printed liver model for preoperative planning before laparoscopic liver hemihepatectomy for colorectal cancer metastases. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2017 Dec;12(12):2047-2054. doi: 10.1007/s11548-017-1527-3. Epub 2017 Jan 31. PMID: 28144830; PMCID: PMC5702382.
- [19] Bejdić, Pamela & Turkić, Neriman & Škaljić, Edin. (2021). Cost-effectiveness of 3d printing of anatomical models. *Veterinaria.* 70. 9-14. 10.51607/22331360.2021.70.S1.9.
- [20] Wong KC, 3D-printed patient-specific applications in orthopedics, *Orthop Res. and Rev.* 2016; 8: 57–66.
- [21] Zheng W, Chen C, Zhang C, Tao Z, Cai L. The Feasibility of 3D Printing Technology on the Treatment of Pilon Fracture and Its Effect on Doctor-Patient Communication. *Biomed Res Int.* 2018 Jan 18;2018:8054698. doi: 10.1155/2018/8054698. PMID: 29581985; PMCID: PMC5822891.
- [22] van de Belt TH, Nijmeijer H, Grim D, Engelen LJLPG, Vreeken R, van Gelder MMHJ, Ter Laan M. Patient-Specific Actual-Size Three-Dimensional Printed Models for Patient Education in Glioma Treatment: First Experiences. *World Neurosurg.* 2018 Sep;117:e99-e105. doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.190. Epub 2018 Jun 2. PMID: 29870846.
- [23] Biglino G, Capelli C, Leaver LK, Schievano S, Taylor AM, Wray J. Involving patients, families and medical staff in the evaluation of 3D printing models of congenital heart disease. *Commun Med.* 2015;12(2-3):157-69. doi: 10.1558/cam.28455. PMID: 29048144.
- [24] Giroto MC, de Lucena RL, Schwartsmann CR, Neto ASU, Introini GO, Spinelli LF, Use of 3D Printing in Planning the Reconstruction of Total Hip Arthroplasty: A Teaching Tool, *Rev Bras Ortop (Sao Paulo).* 2021 Dec; 56(6): 809–812.
- [25] Frithioff A, Weiss K, Frendø M, Senn P, Mikkelsen PT, Sieber D, Sørensen MS, Pedersen DB, Andersen SAW. 3D-printing a cost-effective model for mastoidectomy training. *3D Print Med.* 2023 Apr 17;9(1):12. doi: 10.1186/s41205-023-00174-y. PMID: 37062800; PMCID: PMC10108487.
- [26] Seifert LB, Schnurr B, Herrera-Vizcaino C, Begic A, Thieringer F, Schwarz F, Sader R. 3D-printed patient individualised models vs cadaveric models in an undergraduate oral and maxillofacial surgery curriculum: Comparison of student's

perceptions. Eur J Dent Educ. 2020 Nov;24(4):799-806. doi: 10.1111/eje.12522. Epub 2020 Mar 14. PMID: 32133720.

- [27] Paprosky WG, Perona PG, Lawrence JM: Acetabular defect classification and surgical reconstruction in revision arthroplasty: a 6-year follow-up evaluation. J Arthroplasty. 1994;9(1):33–44.

Képek

1. kép



2. kép



3. kép



4. kép



5. kép

