



Távoktatás

A Magyar Orvosi Kamara Fogorvosi Tagozat távoktatási rendszerében az on-line továbbképzésben meghirdetett közlemények bibliográfiája és a vonatkozó tesztvizsgakérdések a <http://www.oftex.hu.hu> internetes oldalon olvashatók.

A 3D nyomtatás és hatása a digitális ortodoncia fejlődésére

Dr. Balogh Enikő, Dr. Horváth János, Dr. Németh Orsolya, Dr. Kivovics Péter

Semmelweis Egyetem Fogorvostudományi Kar
Fogászati és Szájsebészeti Oktató Intézet

A 3D nyomtatás olyan addiktív technológia, melynek során a digitális modellből valós tárgy keletkezik. Alkalmazása során szinte bármilyen alakzat előállítható. A fogsabályozás területén set up-ok, alinger technológia során használt minták és sínek nyomtathatók vele, valamint a fémport alkalmazó 3D nyomtatóknak köszönhetően különböző fogsabályozó készülékeket lehet 3D nyomtatóval előállítani. Ezek közé tartoznak például a Hyrax készülékek és a minicsavarok is. A fogsabályozás nem csupán digitalizálódik, de egyre több szerep jut a robottechnológiának is. Kifejlesztésre került az Orthorobot, amely már az egyszerűbb fogsabályozási lépések elvégzésével tudja segíteni az orthodontus munkáját.

A digitális fogsabályozás fejlődését a különböző iparágakban megjelenő új technológiák fogsabályozásba importálhatóságának mértéke és üteme határozza meg. Jelenleg a világon az Ipar 4.0 (Industry 4.0) korszaka zajlik.¹ Az „Industry 4.0” a gyártási technológiák automatizálásának és adatcseréjének jelenlegi trendje. A kifejezés a német kormány high-tech stratégiájának egyik projektjéből ered, amely elősegíti a gyártási folyamatok számítógépesítését.² Létrehozza az úgynevezett „intelligens gyárat”. A moduláris strukturált intelligens gyárakban a cyber-fizikai rendszerek monitorozzák a fizikai folyamatokat, létrehozzák a fizikai világ virtuális mását, és decentralizált döntéseket hoznak. Az OIT-n (Over the Internet of Things)

keresztül a cyber-fizikai rendszerek valós időben kommunikálnak, és együttműködnek egymással és az emberekkel. A felhőalapú számítástechnikán keresztül mind belső, mind szervezetek között szolgáltatásokat kínálnak az értéklánc résztvevői számára.³ Az automatizálási technológiát különböző módszerek bevezetésével folyamatosan javítják, ilyen például az önoptimalizálás, az önkonfiguráció, az öndiagnosztika, a megismerés és a dolgozók intelligens támogatása egyre összetettebb munkák elvégzése során.⁴ Az ipar 4.0 fontos építőköve a 3D technológia, amely napjainkra már lehetővé tette a 3D nyomtatást. 2014-ben 139 500 kisméretű (személyi) 3D nyomtatót értékesítettek a világon, míg az eladott ipari 3D berendezések száma 12 850 volt.⁵

A 3D nyomtatás története

François Willème 24 szögből fotózott képek segítségével tárgyak, személyek 3D modelljének létrehozó technikája,⁶ valamint Joseph E. Blather egyesült államokbeli térképész 1892-es szabadalma a 3D-s modellezés 19. századi alapja. Blather egymás feletti szintvonalak által határolt területek egymásra rétegezésével hozta létre szintvonalas domborzati térképek térbeli leképezését.⁷ A 20. század forradalmian új felfedezését egy műanyagipari vállalat dolgozója Charles W. Hull tette 1983-ban. A vállalat fő profilja a bútorelemekre UV-fény segítségével műanyag réteg felhelyezése volt. Hull felismerte, hogy ezekből a rétegekből akár több ezret is egymásra helyezhetne, és a megfelelő rétegparaméterek számítógépes meghatározása segítségével végül összefüggő térbeli alakzatot nyerhet. Szabadalmát 1986-ban jegyeztette be „Háromdimenziós objektumok létrehozása sztereolithográfia által” címmel.⁸ 1987-ben hozták létre az első sztereolithográf gépet, a 3D Systems SLA-1-et, mely az első, piacra készült 3D nyomtatónak tekinthető⁹ (1. ábra). Az újdonságot először a kilencvenes években nevezték el 3D nyomtatásnak, amikor Jim Bredt és Tim Anderson, két fiatal doktorandusz úgy átalakított egy tintasugaras nyomtatót, hogy azok ne tintát fecskendezzenek rá a papírra, hanem rétegeket olvassanak egymásra, hogy így térbeli, 3D-s objektumokat hozhassanak létre. Ennek az elvnek az alapján született meg a mai modern 3D-s nyomtatás elődje.¹⁰ A 3D Printing/Additive Manufacturing (AM) forradalmian új technológiát jelent, amely felgyorsíthatja az elmúlt két évszázad megközelítéseit a tervezés és a gyártás tekintetében geopolitikai, gazdasági, társadalmi, demográfiai, környezeti és biztonsági szempontból is.¹¹

3D-s nyomtatási technológiák

A háromdimenziós nyomtatás additív gyártási folyamatként és prototípus-készítésként is ismert. A folyamat eredményeként valós tárgy készül egy háromdimenziós tervből. A 3D nyomtató használata során szükség van egy digitális tervrajzra. A digitális háromdimenziós modellt rendszerint a számítógépes tervezési (CAD) szoftver készíti, vagy egy meglévő tárgy beszkennelésével készül, majd STL fájlformátumban kerül mentésre és jut el a nyomtatóhoz. A digitális tervrajzot a gép rétegenként olvassa be, majd ezt követően a megfelelő folyadék és por, esetleg sík lemezek felhasználásával vékony rétegekből kezdi felépíteni a valós 3D-s modellt. Ezek a rétegek egymáshoz tapadnak, vagy egymáshoz kerülnek összeragasztásra. A folyamat lépéseit a 2. ábra lépésről lépésre ábrázolja. Többféle technológia alkalmas háromdimenziós nyomtatásra. A legfontosabb eltérések



1. ábra: Az első 3D nyomtató: 3D Systems SLA-1⁹



2. ábra: Általában használt additív technológia folyamatábrája, szemlélteti, hogyan lesz a CAD-modellből 3D-s tárgy. (Balról jobbra: 3D CAD-modell, STL-file, szeletelő szoftver, szeletelt rétegek, 3D nyomtató, valós tárgy)²⁰

abban rejlenek, hogy a rétegek hogyan épülnek egymásra a tárgyak készítésekor.¹² A lehetőségek a SLS (Selective Laser Sintering), a FDM (Fused Deposition Modeling) és a SLA (Stereolithography). Az első és a második technológia anyagok olvasztásával vagy puhításával állítja elő a rétegeket. A módszerrel szinte bármilyen geometriai alakzat előállítható, ám az előállítás a nyomtató típusától, teljesítményétől és a modell bonyolultságától függően néhány perc, de akár néhány óra is lehet.

A 3D nyomtatás felhasználási területei

A háromdimenziós nyomtatás lehetővé teszi, hogy bármilyen megtervezett gépi alkatrész elkészülhessen órán belül, és ezzel lehetővé teszi a tervezőknek és fejlesztőknek, hogy a monitor figyelése helyett a valóságban végezhesék tevékenységüket. Ez korábban súlyos költségekbe került, hiszen ehhez egy komplett gyártósort kellett beüzemelni és beállítani, de ma elegendő egy mérnök és egy 3D nyomtató ahhoz, hogy a készterméknek akár a méretarányos, működő és működő replikája néhány órán belül kézbe vehetővé, kipróbálhatóvá és tesztelhetővé váljon, ami óriási spórolás a cégek számára. A gyors prototípus-készítés az autó- és repülőgépiparban már évtizedek óta bevált eljárás. A háromdimenziós



3. ábra: Otthoni 3D nyomtatással készült sínek általi kezelés eredménye (jobb oldali fotó), kiindulási állapot (bal oldali fotó)²⁴



4. ábra: Mérnök által tervezett 3D nyomtatott sín, saját használatra²⁴



5. ábra: Ortho Regulation által gyártott és forgalmazott 3D nyomtatott Herbst zsanér, amely kobalt-króm és titán változatban is kapható³¹

nyomtatók a gyors prototípus-készítő gépek egyszerűsített változatai. 2011-ben a Wake Forest Intézet kutatóorvosai kifejlesztettek egy módszert, amellyel módosított tintasugaras technológiát alkalmazhatnak a szív-, csont- és véredényszövetek építésére a laborban. A tintasugaras technológia segítségével több sejttípust és más szöveti összetevőket tudunk előre meghatározott helyeken nagy pontossággal elhelyezni. A sterilizált tintapatronok kútjaiban különböző cellatípusok vannak elhelyezve, és egy beprogramozott nyomtató rendezi el a sejteket előre meghatározott sorrendben.¹³ 2014-ben már kutatások és kísérletek folytak testazonos szövetek sikeres nyomtatására, melyeknek a hosszú távú célja a transzplantálható szervek nyomtatása.¹⁴ A megoldás megtalálásához közelebb vihet a 3D nyomtatás és a nanotechnológia együttes alkalmazása.¹¹

3D nyomtatás előnyei, hátrányai, korlátai

A bonyolultabb formák előállítására nem jelent többletköltséget, hiszen nincs szükség egy új géprendszer bevezetésére, ha más formát szeretnénk létrehozni. Hulladékcsökkentés: Az AM folyamatok természetüknél fogva „zöldek”. Mivel az anyagot rétegenként adják hozzá, csak a gyártáshoz szükséges anyagot használják fel. A 3D szkener azon eszközök közé tartozik, melynek előnye, egyben a legnagyobb hátránya is, szinte bármi nyomatható vele, így nem meglepő, hogy 2013. május 6-án felkerült a világhálóra a világ első 3D nyomtatással elkészíthető,

működő lőfegyverének, a Liberatornak a háromdimenziós terve. (Nevét a II. világháború idejéből származó FP-45 Liberator pisztolyról kapta.⁵ Az addiktív technológia jelentős hatással lehet a biztonságra és a terrorizmusra: A fegyvergyártás könnyebbé válhat – fegyverek, golyók, bombák olcsóbbá és könnyebben hozzáférhetővé válhatnak.¹¹ A 3D nyomtatók rengeteg energiát használnak el. Példaként összehasonlítva a direkt lézeres fémszinterézést a hagyományos fröccsöntés alkalmazásával, előbbi nagyjából százszor annyi áramot használ el működés közben, mint az utóbbi.¹⁵ Ráadásul a szálolvasztásos eljárással, speciális műanyagokkal dolgozó nyomtatók az egészségre rendkívül káros anyagokat bocsátanak magukból a légtérbe, melyeknek komoly tüdőkárosító hatásuk van, kiváltképp az asztmában szenvedők körében.¹⁵ Olcsó, könnyen beszerezhető, nagy mennyiségben rendelkezésre álló és a környezetet nem károsító alapanyagok jelenleg még nem állnak rendelkezésre egyik nyomtatási módszer területén sem. Az ipari felhasználás kérdésében egyértelmű áttörési pontot jelentene, ha fejlett, gazdaságos és hatékony, fémalapú 3D nyomtatási eljárások léteznének. Többféle anyag egy időben történő felhasználását lehetővé tévő módszer kifejlesztése is folyamatban van. Ezen terület megreformálására tesz kísérletet az izraeli XJet vállalat, mely nanorészecskékkel dúsított folyékony fémet fecskendező nyomtatófej segítségével hozza létre a modelleket. A első gépüket 2016 második negyedévében mutatták be.¹⁶

Lehetőségek a jelenben

A digitális lenyomatvételi rendszerekkel a kényelem, a pontosság, a hatékonyság, a testreszabás, a vizualizáció és az innováció biztosított. Az iTero szkennereket úgy alakították ki, hogy az ügyfelek számára a legjobb munkafolyamatot biztosítsák az Invisalign rendszerrel és az kizárólagos Invisalign kimenetel szimulátorral. Az oktatást és támogatást online az interaktív, önállóan irányított online tanfolyamon keresztül biztosítják az iTero.com-on.¹⁷ Az iTero szkennerek nyílt architektúrájú platformon működnek, így az orvosok és a laboratóriumok képesek a digitális lenyomatot tartalmazó egyedi és általános STL fájlok exportálására és továbbítására más, harmadik fél vagy fogorvosi szolgáltató számára. A 3D-s digitális modellfájl különböző eljárásokhoz és szolgáltatásokhoz alkalmazható. A digitális modellek bevezetése az orthodontusoknak életképes alternatívát jelentett a gipszmodellek elkészítéséhez, az elektronikus tárolás, a minimális tárhely, az egyszerű és pontos katalogizálás és a gyors kommunikáció gyors továbbítása érdekében.¹⁸ Digitális modelleket a CAD/CAM technológiákkal együtt alkalmazva egyedi breketteket tervezhetünk és gyárthatunk felnőtt pácienseink részére. Így egy stabilabb fog-/brekett kapcsolat és egy jobb biomechanikai ellenőrizhetőség érhető el a fogmozgatás során.¹⁹ Az, hogy a digitális fogászat mennyire dinamikus fejlődő ágazat, a Dolphin cég története összegezve szemlélteti. Az alapító dr. Mark Lebchen 1985-ben Chicagóban gondolta ki a jövőbeli fogászati képalkotást, ebben az időben még csak álmodtak a 3D-s technikáról. Egy éven belül sikerült létrehozniuk egy nem radiológiai képalkotó eszközt. Mára a Dolphin harminc évtizedes múlttal rendelkezik. A Dolphin Imaging and Management Solutions az egyik legjobb, világszerte ismert 2D/3D ortodonciai képalkotó, diagnosztizáló, praxisszervező, esetismertető és páciens-oktatási szoftver. Minden termékükhez elérhető felhő- és mobilbeállítások.²⁰

Lehetőségek a jövőben

A nyomtatók minden formája és kifinomultsága valószínűleg egyre növekvő ügyfélkörrel rendelkező új iparág lesz, az otthoni nyomtatóktól kezdve, a helyi gyártási központokon keresztül, a kormányzati szervekig. Becslések szerint a 3D nyomtatás 2020-ra 5,2 billió dollár értékű üzlet lesz.²¹ 2013. február 12-én, Barack Obama, az Egyesült Államok elnöke, évértékelő beszédében maga is méltatta a technológiát, valamint bejelentette, hogy Youngstownban (Ohio, USA) létrehozta egy kutatóközpontot – kizárólag innovatív 3D nyomtatási



6. ábra: Ívhajlító és breketttragasztó Orthorobot²⁵

kutatási célra – 1 milliárd dollár támogatással, melyet három további követ, és amelyek a Védelmi- és Energia Minisztériummal kooperálva fognak működni.²² A katonai célú felhasználás kutatásai révén lesz lehetőség arra, hogy 3D technológia drasztikus fejlődésen menjen keresztül.²³ A fogszabályozás jövője az új anyagok és a technológiai fejlődésétől függ. Napjainkban a fogszabályozás nagymértékben digitalizált. A páciensigényeket a gyors, hatékony láthatatlan kivehető fogszabályozó kezelések látszólag kielégítik, és már megjelent az első blogbejegyzés a sikeres otthoni 3D nyomtatással létrehozott sínek által megvalósuló fogszabályozói kezeléstről²⁴ (3. ábra). A bonyolultabb esetek sikeres kezelése a fogszabályozó fogszakorvos szakértelmén és tapasztalatain alapuló megoldásain múlik. A digitális fogászat magában hordozza a költségtöbblet nélküli egyéni fogszabályozás lehetőségét, személyre szabott brekettek gyártását. A páciensek igényeinek rangsorában az esztétika és profil prioritást élvez már napjainkban is, a funkcionalitással szemben. A digitális fogszabályozás jövőbeli feladata a súlyos ortodonciai eltérések kezelésére is alkalmas láthatatlan fix készülékek kifejlesztése. Az Incognito és Win rendszerek a linguális technika képviselőiként esztétikus fix megoldást jelentenek, de jelenleg csak bizonyos esetekben alkalmasak az eltérések korrekciójára. A jövőben valószínűleg ez a technika is hatalmas fejlődésen megy majd keresztül, elterjednek az egyéni linguális brekettek (4. ábra). A fix fogszabályozó készülékek aktiválási idejét az előre hajlított ívek gyártása lerövidítette. A további fejlődést az egyéni ívek területén ívhajlító robotok tervezésével lehetne elérni. A robotok bevezetése a fogszabályozásba nem újkeletű gondolat, már kifejlesztettek breketttragasztó robotokat. Az Orthorobot a breketttragasztás mellett már bizonyos linguál ívek hajlítására is képes²⁵ (5-6. ábra). 2008-as tanulmányok igazolták, hogy a fogszabályozásban a

mini implantátumok ideiglenes rögzítési eszközökként használhatók.²⁶ Feltehetőleg a jövőben a mini implantátumoknak köszönhetően csökkeni fog a kezelési idő, valamint egyre ritkábban lesz szükség gyűrűk használatára, és elterjedtebb lesz a szekcionált ívek alkalmazása. A virtuális valóság és a mesterséges intelligencia is befolyásolni fogja a jövő eseményeit. Egy 2005-s tanulmány szerint „A virtuális valóságot a távorvoslás, az oktatás, a betegellátás, a kezeléstervezés és számos egyéb területen fogják használni, és a felhasználásának csak a képzeletünk tud határt szabni.”²⁷ Míg a virtuális valóság önuralomra tör, a szakmai blogok²⁸ és vlogok nyújtotta információk révén a fogszabályozó szakorvosok gyorsabban

tudják elsajátítani az új technológiákat. A 3D-s technológián, a robotok felhasználásán túl a PACS, a CAD-rendszerek és a képkötő eljárások is fejlődni fognak. A PACS rendszerek még megbízhatóbbak, gyorsabbak lesznek, és a kapacitásuk is növekedni fog. A CAD-rendszerek elterjedésével lehetőség nyílik a kutatók felgyorsítására, és egy új képkötővel kapcsolatos tudomány kialakulására is számítani lehet. Lényegében az orvostudomány ezen területének fejlesztése érdekében szükséges az ismeretek lefordítása egy olyan közös nyelvre, amelyet a kutatók, mérnökök és informatikusok egyaránt értenek. A különböző tudományterületen a kutatók szoros együttműködése elengedhetetlen.²⁹

Irodalom

1. <https://www.revolvy.com/main/index.php?s=Industry%204.0> (Letöltve: 2017.10.20)
2. BMBF-Internetredaktion (21 January 2016). „Zukunftprojekt Industrie 4.0 – BMBF”. Bmbf.de. (Letöltve: 2018.1.4) <https://www.bmbf.de/de/zukunftprojekt-industrie-4-0-848.html>
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0 (Letöltve:2018.1.8)
4. Stefan Windmann (Fraunhofer IOSB-INA) Oliver Niggemann (Fraunhofer IOSB-INA), atp edition, vol. 56, no. 04, pp. 54-61, 2014 Aug 4, Jürgen Jasperneite; Oliver, Niggemann: Intelligente Assistenzsysteme zur Beherrschung der Systemkomplexität in der Automation. In: ATP edition - Automatisierungstechnische Praxis, 9/2012, Oldenbourg Verlag, München, September 2012
5. Szalavetz A. (2016): Az ipar 4.0 technológiák gazdasági hatásai – Egy induló kutatás kérdései. *Külgazdaság*, 7–8. 27–50.
6. Szobieszek, R. A.: Sculpture as the Sum of Its Profiles: François Willème and Photosculpture in France. *The Art Bulletin*, 1980, 4. pp. 617–630
7. Blanther, J. E. (1892) Manufacture of Contour Relief Maps. Patent 473901, USA
8. 3D Systems About Us (2013) 3D Systems. (Letöltve: 2017. 10. 2) Online: <http://www.3dsystems.com/30-yearsinnovation>
9. <https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>(Letöltve: 2017.12.9)
10. http://engineering.blog.hu/2016/03/30/3d_nyomtato_tortenete (Letöltve: 2017.11.11)
11. Thomas Campbell Christopher Williams Olga Ivanova Banning Garrett, Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing. Washington, DC, October 2011. Atlantic Council
12. <https://3dnyomtato.shoppe.hu/pages/a-3d-nyomtatasrol> (Letöltve: 2017.11.9)
13. Using Ink-Jet Technology to Print Organs and Tissue, accessed July 2011 (Letöltve: 2017.10.20) <http://www.wakehealth.edu/Research/WFIRM/Our-Story/Inside-the-Lab/Bioprinting.htm>
14. Barnatt, Ch. (2014) 3D Printing. (Second Edition) CreateSpace Independent Publishing Platform, Nottingham, „Printing Body Parts: Making a Bit of Me” *The Economist*, February 18, 2010
15. Gilpin, L. (2014) The Dark Side of 3D Printing: 10 Things to Watch. (Letöltve 2017.4.12)
16. www.xjet3d.com/technology.html (Letöltve 2018.1.20)
17. <http://www.itero.com/en> (Letöltve: 2017.10.9)
18. Antonio Gracco, Mauro Buranello, Mauro Cozzani, Giuseppe Siciliani: Digital and plaster models: a comparison of measurements and times, *Progress in Orthodontics*, vol.8, nr.2, 2007, pp.252-259
19. Alexandru Ogodescu, Cosmin Sinescu, Emilia Ogodescu, Meda Negrutiu: Engineering and Biomechanics in the Orthodontic Treatment of Periodontally Compromised Adult Patients, *Advances in Manufacturing Engineering, Quality and Production Systems, Volume I, WSEAS Press*, 2009
20. <https://www.dolphinimaging.com/Company/Overview> (Letöltve: 2017.12.9)
21. 3D printing will be a \$5.2 billion market by 2020. (Letöltve: 2017.10.1) http://money.cnn.com/video/technology/2011/06/02/tt_3d_printer_systems.cnnmoney/?source=cnn_bin&hpt=hp_bn3, accessed July 2011
22. The White House President Barack Obama’s State of the Union Address. Washington [s.n.], February 12, 2013. Wohlers Terry Wohlers Report 2015 [Report]. [s.l.] Wohlers Associates Inc., 2015.
23. Horváth Ádám, Kurucz Attila: A 3D nyomtatás története és jövőbeli kérdései (Letöltve: 2017.10.12) http://kgk.sze.hu/images/dokumentumok/kautzkiadvany2016/HorvathA_KuruczA.pdf
24. <http://money.cnn.com/2016/03/16/technology/homemade-invisalign/index.html> (Letöltve: 2018.1.26)
25. <http://www.orthorobot.com/en/i-am-a-patient/what-is-orthorobot> (Letöltve: 2018.1.29)
26. Reint Reynders’, Laura Ronchi, Shandra Bipat, Mini-implants in orthodontics: A systematic review of the literature, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedic*, May 2009 Volume 135, Issue 5, Pages 564.e1–564.e19 (Letöltve: 2017.9.13) <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.09.026>
27. James Mah, The digital decade, Abstracts of the 81st Congress of the European *Orthodontic Society*, Amsterdam, 2005
28. <http://kevinobrienorthoblog.com/> (Letöltve: 2017.10.12)
29. Kunio Doi, Kurt Rossmann: Diagnostic imaging over the last 50 years: research and development in medical imaging science and technology, Laboratories for Radiologic Image Research, Department of Radiology, The University of Chicago, 5841 South Maryland Avenue, Chicago, IL 60637, USA Received 5 March 2006, in final form 21 March 2006 Published 20 June 2006 doi:10.1088/0031-9155/51/13/R02
30. Judith Czarnota, Robert Fuhrmann, Jeremias Hey: Validation of 3D documentation of palatal soft tissue shape, color, and irregularity with intraoral scanning Clin Oral Investig. 2017 Oct 6. (Letöltve: 2017.10.20) [<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28983706>]
31. <https://www.pinterest.com/pin/234750199304352389/?lp=true>