

Háromdimenziós technológiák a fogorvoslásban

PAPP ILDIKÓ, ZICHAR MARIANNA

*Debreceni Egyetem, Informatikai Kar, Komputergrafika és Képfeldolgozás Tanszék
{papp.ildiko, zichar.marianna}@inf.unideb.hu*

Kulcsszavak: 3D szkennelés, intraorális szkennelés, 3D modellezés, 3D nyomtatás, digitális fogászat

A háromdimenziós eszközök, szoftverek már a fogorvoslásban is elérhetőek, de egyelőre még nem terjedtek el széleskörűen. Ennek okát nem kerestük, ellenben bemutatjuk a jelen pillanatban elérhető 3D technológiákat, a háttérben meghúzódó elveket, kitérve a gyakorlati alkalmazásra is.

1. Bevezetés

A régóta megszokott (hagyományos) fogászati beavatkozások az orvos, az asszisztens és a fogtechnikus összehangolt munkáján alapulnak. Gondoljuk csak végig egy korona elkészítésének folyamatát. Az orvos lecsiszolja a fogat, amelyről egy szilikon lenyomat készül. Ennek a lenyomathoz kettős célja van: egyrészt a csiszolt fog maradványát és a szomszédos fogakhoz bemért helyzetét mutatja; másrészt harapásteszt is készül, amely a fogsor záródását, ezzel az új fog magasságát és barázdáltságát fogja mutatni. A szilikon lenyomat alapján gipszminta készül, melyre a technikus felépíti a koronát. Amíg ez elkészül, addig egy ún. ideiglenes korona kerül a fogra, amely leginkább csak egy védőkupak, egyáltalán nem illik a fogsorba, bár igyekeznek a ragasztás előtt valamennyire formára szabni. Már maga a lenyomatvétel is kényelmetlen, a szilikon kötéseig matatnak a beteg szájában. A gipszminta pedig csak közel pontos másolata a fogív egy szakaszának, előfordulhat, hogy első alkalommal még csak próba történik, és ezután az orvos észrevételei alapján készül el a végleges korona. Láthatjuk, hogy a teljes folyamat napokig, akár több hétig is eltarthat, attól függően, hogy mikor tudja a páciens újra felkeresni az orvosát, illetve a technikus és az orvos milyen gyakorisággal egyeztet.

Gyorsan fejlődő világunkban az informatikai vívmányok teret hódítanak az élet minden területén, s ez alól a fogorvostudomány sem kivétel. Cikkünkben összefoglaljuk azokat a már létező technikákat, melyekkel a fogászati beavatkozások gyorsabban, pontosabban, a páciens számára kényelmesebben történhetnek, miközben az orvos több időt tud fordítani a beteggel való kommunikációra.

Meg kell még említenünk, hogy a fogászati céllal alkalmazott háromdimenziós technológiák mögött igen komoly kutató- és fejlesztő munka folyik az eszközök gyártása során, melyet kiegészít az alkalmazható alapanyagok vizsgálata és tesztelése.

A következő szakaszban bemutatjuk azt, hogy milyen eszközökkel rendelkezhetnek a digitális fogászati

rendelők és laborok. Ezek közül kiemeltünk néhányat: a 3. szakaszban részletesebben bemutatjuk a lenyomat-készítést forradalmasító intraorális szkennelést, a 4. szakaszban pedig a fogászati céllal alkalmazható 3D nyomtatásról írunk. Végül az utolsó szakaszból megtudhatjuk, hogy a Debreceni Egyetemen több kar összefogásával hogyan vált a fogorvos képzés részévé a digitális technológiák megismerése.

2. Digitális fogászati labor felszereltsége

Manapság gyakorlatilag már az élet bármely területén találkozhatunk számítógépekkel és különböző digitális eszközökkel, így a fogászati rendelőben, fogászati laboratóriumokban is. A digitális technológia megjelenésétől és rutinná válásától általánosságban a pontosság és a gyorsaság növekedését várjuk el. Ez természetesen csak akkor következhet be, ha a humán erőforrás, azaz a személyzet is megfelelően fel lett készítve a technológia használatba vételére. Ebben a szakaszban röviden áttekintjük, hogy milyen eszközökkel találkozhatunk egy digitális fogászati laborban, legyen az része egy fogászati rendelőnek vagy sem.

A fogászat területén igen elterjedtek már a különféle digitális képalkotó eljárások. Az egyszerűbb digitális fogászati röntgen, vagy a digitális panoráma röntgen a pontosabb képalkotás mellett jelentősen kisebb sugárterhelésnek teszi ki a páciensét amellet, hogy az információ megosztását, dokumentálását is egyszerűbbé teszi. Az eljárás során keletkezett, számítógépen megjeleníthető felvétel élesebb, részletgazdagabb, dinamikusan nagyítható, árnyékolható, azaz összességében több információ nyújt a szakembereknek. Lokális problémák feltárásához kisméretű intraorális röntgen készülékek alkalmazhatóak.

Igazi áttörést jelentett a fogászati diagnosztikában a háromdimenziós képalkotások megjelenése, melyek immáron lehetővé teszik 3D arckoponya- és fogászati CT felvételek elkészítését. Különösen nagy a jelentősége az így elérhető precizitásnak az implantátumok beülte-

tésénél, csontpótló, szájsebészeti beavatkozások tervezésénél, illetve fogágybetegségek kezelésénél. Az alig pár másodperces képalkotást követően a monitoron megjelenő 3D kép nagy felbontásban ábrázolja az érintett térfogatot, illetve számos eszközt biztosítanak a feldolgozó programok a fogazat, illetve az állkapcsok anatómiai elhelyezkedésének pontos feltárásához.

A fogpótlások tervezéséhez nagy segítséget nyújtanak a digitális lenyomatvételhez használt intraorális szkennerek, míg a pótlások elkészítésénél a CAD/CAM technológiák mellett a 3D nyomtatás is megjelent már. Így akár pár órára lecsökkenthető a páciens számára a lenyomatvétellel induló, majd a tervezést követően akár azonnal kinyomtatható pótlás beépítése. A következő szakasz részletesebben bemutatja az intraorális szkennerek működési elvét, melyek háromdimenziós információk összegyűjtésével lehetővé teszik például a foghiány pótlásának precíz megtervezését.

3. Intraorális szkennelés

A pótlások tervezéséhez vagy egy fogszabályozó készítéséhez elengedhetetlen, hogy információt szerezünk a környezetről, ami majd befogadja a pótlást, illetve amire illeszkednie kell a fogszabályzóknak. Ehhez a legnagyobb segítséget az intraorális szkennerek nyújtják, melyek fogkeféknél alig nagyobb méretűknél fogva a szájüregbe helyezhetők, hogy letapogassák a pótlást fogadó fogat, a szomszédos fogakat, vagy igény esetén a teljes fogsort. Nagy előny, hogy a szkennelés perce(i) alatt a páciens nem érintkezik idegen anyaggal, viszont gyorsan nagy pontosságú információkat rögzít a rendszer, melyből a kapcsolódó számítógépes szoftver háromdimenziós digitális modellt épít, kiváló alapot szolgáltatva ezzel a további munkafolyamatokhoz. A digitális modell az idő múlásával sem veszít az állapotából, tárolása lényegesen egyszerűbben megoldható, mint a hagyományos, fizikailag is testet öltő lenyomat esetén.

A szakértelem természetesen nem mellőzhető az eszköz és a szoftverek hatékony használatához, illetve a működési alapelvek ismerete is elősegíti a hibamentes méréseket, ezzel együtt az ésszerű használatot. Tekintsük át röviden a különböző intraorális szkennerek technológiai hátterét, mely igen gyakran képezi osztályozásának alapját is [1, 2].

3.1. Konfokális lézeres pásztázó mikroszkóp (Confocal Laser Scanning Microscope – CLSM)

A konfokális mikroszkópia alapelve szerint a minta egy pontjáról úgy szerzünk információt a kialakítandó képhez, hogy csak a minta fókuszsíkjából származó fényt tartjuk meg, míg a fókuszon kívülről érkezőket kirekesztjük. Ez utóbbi megvalósításához a fénydetektor elé a minta fókuszsíkjával kon-

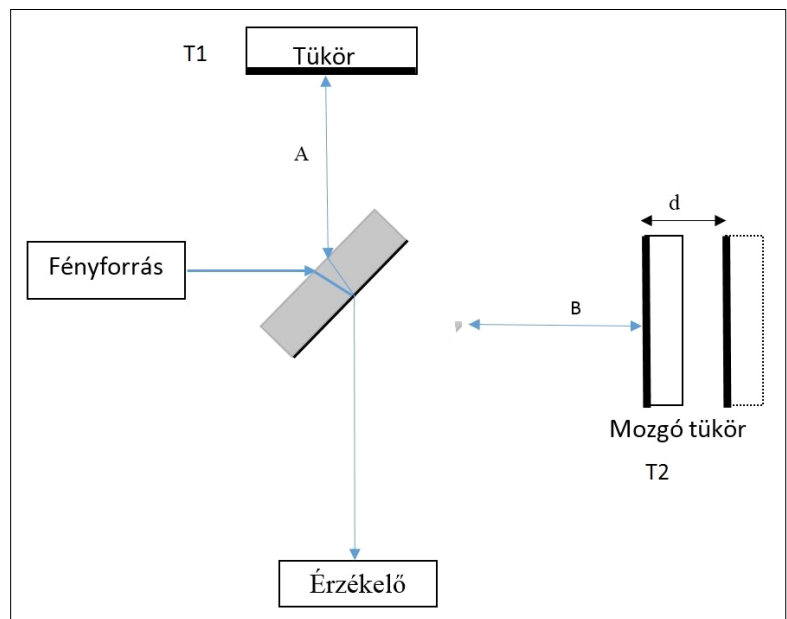
jugált síkba egy apertúrát (fényútban kialakított kicsiny rés, másnéven tűfokot) kell helyezni, mely ezáltal csak a fókuszsíkból érkező fényt engedi eljutni a detektorhoz. A pásztázás biztosítja, hogy a letapogató minta fókuszsíkjának minden pontjáról legyen információnk. Az objektív vagy a tárgyasztal helyzetének változtatásával újabb, az előzővel párhuzamos fókusz-sík pásztázható. Az egyes pozíciókban keletkezett két-dimenziós fókusz-sík képek felhasználásával lehetővé válik akár a minta 3D rekonstrukciója is megfelelő számítógépes program segítségével.

3.2. Interferometria

A fényforrásból érkező párhuzamos nyalábot egy nyalábosztó kettéosztja, melyek továbbhaladva egy-egy tükörről visszaverődve, majd a nyalábosztón ismét áthaladva, illetve visszaverődve szuperponálódnak és az érzékelőn a szuperpozíciójuk eredménye válik láthatóvá. A tükrök egyike rögzített (referenciátükrök), míg a másik mozgatható; mikrométercsavarral a fény-sugár haladási irányában eltolható. A kettéosztott nyalábok közül a referencia tükrö felé haladó, majd visszavertő nyaláb a nyalábosztó üvegen háromszor halad át. Eközben a másik nyaláb, mely a mozgó tükrö felé haladt, csupán egyszer teszi meg ezt az utat. Közös fényforrások esetén, azok kicsi koherenciahossza miatt, az útkülönbségek kiegyenlítésére az egyik nyaláb útjába a nyalábosztóval egyenlő vastagságú lemezt (kiegyenlítő lemezt) kell elhelyezni (1. ábra).

Nagy koherenciahossz (pl. lézertény) esetén az optikai úthossz kiegyenlítésére nincs feltétlenül szükség. Az interferométerbe nézve T1 közvetlenül látható, melyre szuperponálódva jelenik meg T2 virtuális képe. Ha valamelyik kar (azaz a nyalábosztó és a tükrö távolsága) hosszúsága megváltozik, akkor az interferáló nyalábok (hullámok) közötti fáziskülönbség, és ebből következően a kilépő intenzitás is megváltozik.

1. ábra Az interferométer vázlatos felépítése



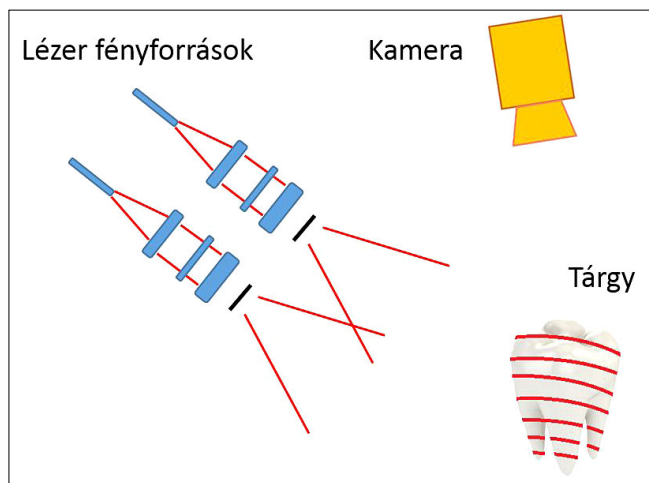
3.3. Aktív hullámfront mintavételezés

Az aktív hullámfront-mintavételezés (Active Wavefront Sampling, AWS) egy olyan 3D felület-képkalkotó eljárás, mely egyetlen kamerából és egy AWS modulból áll. A sztereó rendszerekkel ellentétben itt elegendő csak egyetlen optikai pad a mélységi információk meghatározásához, ezáltal megközelítőleg elfeleződnek az optika kialakítására fordítandó kiadások. További költségmegtakarítást jelent, hogy mellőzhetjük a drága lézeres megvilágítást.

Az adatgyűjtés igen gyors; a 3D mélységi térkép előállítása valós időben történik. Működése leegyszerűsítve egy fényképezőgéphez hasonlítható, melynél a kétszeres fókusz távolságon belül található tárgyról készül éles kép. A rendszerbe jutó fény mennyiségének csökkentésével elérhető, hogy a fókusz távolságon kívül eső tárgyról is éles képet készíthessünk. Egy két rést tartalmazó blende használatával szabályozzák a fény mennyiségét, mely, ha a saját tengelye körül még forog is, akkor 3D kép előállítására is alkalmas.

3.4. Accordion Fringe Interferometry (AFI)

Az AFI gyakorlatilag a hagyományos lineáris lézeres interferometria háromdimenziósra való kiterjesztésének tekinthető. Képkalkotása a 3D háromszögelési módszerekhez köthető, ahol strukturált fényt (fókusz-síkban lévő maszkkal generált mintázatot) vetítenek a céltárgyra, míg itt a koherens fénynyalábok interferencia mintázatát vetítjük a tárgyra (2. ábra).



2. ábra Az AFI működési alapelve

Egy nagy pontosságú digitális kamerával rögzítjük az interferenciacsíkok görbületét egy, a vetítőtől eltolt nézőpontból. A látható görbület nagysága, a kamera és a lézer fényforrások helyzetének ismerete lehetővé teszi, hogy az AFI algoritmusok digitalizálják a letapogató tárgy felületét. Az AFI alapú képkalkotók a kamera képének minden egyes pixeléhez a tárgy egy felületi pontjának az X, Y, Z értékét rögzítik. A letapogató során keletkezett pontfelhőből, a különböző eszközökhöz kifejlesztett szoftverek készítenek végül háromdimenziós felületeket.

3.5. Időmérésen alapuló távolságmérés (Time of Flight – TOF)

A TOF kamera az általa kibocsátott fény kibocsátásának pillanata és a visszaverődött fény visszaérkezésének pillanata között eltelt idő mérésével a fénysebesség ismeretében határozza meg az előtte elhelyezkedő objektum(ok) távolságát. A fénykibocsátó egységnek nagy frekvenciával kell villognia, ezért általában infravörös LED, vagy lézervediódák kerül alkalmazásra. Egy lencse az, ami összegyűjti a környezetből visszaverődő fényt, és egy sávszűrő segítségével biztosítja az infravörös tartományra való szűrést, illetve a háttérzajok kiszűrését. A legegyszerűbb TOF kamera fényimpulzusokat használ. A világítás nagyon rövid időre bekapcsol, megvilágítja a környezetet, a fény visszaverődik a környezetben elhelyezkedő objektumokról. A kamera lencséje összegyűjti a visszaverődő fényt, és az érzékelő felületre vetíti. A fény annál később ér vissza a kamerába, minél messzebből verődött vissza.

Ezeket a kamerákat általánosságban kompakt felépítés jellemzi, könnyen kezelhetőek, és igen nagy pontossággal alkalmazhatók az ipar több területén, például előszeretettel használják a robotikában is.

3.6. Amplitude Modulated Continuous Wave (AMCW)

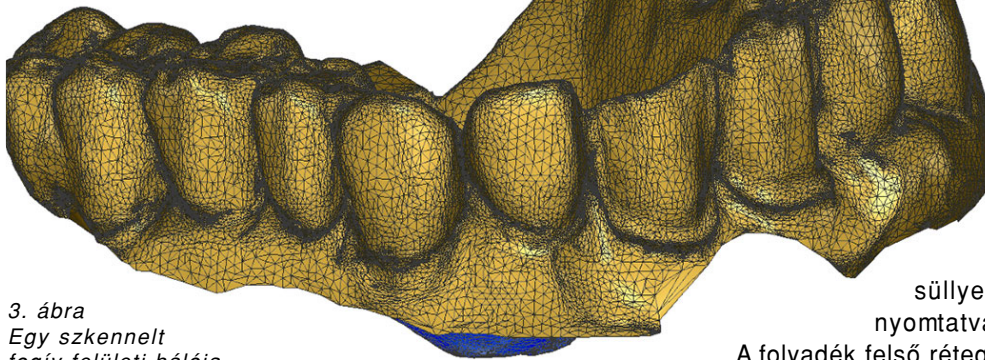
Az időmérésből fakadó pontatlanság a digitális modellben hibákat eredményezhet, ezért egy másik módszer is használhatunk, amely a kibocsátott és visszaverődő fény közötti fáziseltolódást vizsgálja. Ha egy tárgyat egy amplitúdó modulált folyamatos hullámot (AMCW) kibocsátó fényforrással világítunk meg, akkor a kibocsátott és visszaverődő fény közötti fáziseltolódásból a tárgy és a kamera közötti távolság meghatározható. Ehhez jellemzően infravörös közeli fénykibocsátó diódákat (LED-eket) használnak. A speciális képérzékelő a visszaverődő fényből vett mintát összehasonlítja a kibocsátott fényvel, és ebből számítja ki a mélységet. Az önálló fázisú méréseket párhuzamosan kell végeznie minden egyes pixelen, így lesz a rendszer képes az egész jelenet gyors mérésére, illetve gyors frissítésre (pl. videók készítése esetén).

4. 3D nyomtatás

A 3D nyomtatás az a folyamat, amely során egy digitális modellből egy kézzel fogható tárgy készül valamilyen alapanyag vékony rétegekben történő felhordásával. A rétegről rétegre történő építkezés egy új szemléletet jelent a hagyományosabb szubsztraktív technológiákkal szemben, ahol mindenképpen szükség van egy előgyártmányra, melyből a felesleg eltávolításával készül el a tárgy. Az additív gyártás folyamán többnyire nem, vagy arányaiban kevés hulladék keletkezik.

A 3D nyomtatás alapja minden esetben egy digitális modell, amely keletkezhetsz egy létező tárgy 3D szkennelésével, vagy egy tervezési folyamat eredményeként, vagy akár ezek együttes alkalmazásával. A 3D modellek tervezésére és szerkesztésére használt szoftve-

rek többnyire saját szerkeszthető fájlípussal dolgoznak, így mindenképpen szükség van olyan formátum létrehozására, mely kapcsolatot teremt a CAD rendszerek és a prototípusgyártó rendszerek között. Az STL (Standard Triangulation Language) formátum egyszerűsége és pontos modellábrázolása miatt a 3D nyomtatás területén szinte szabvánnyá vált. Az STL fájl a 3D modellnek csak a felületi geometriáját adja meg, a szín, a textúra vagy egyéb tulajdonság nem őrződik meg. A generálás során a test felületét apró háromszögek, pontosabban azokból álló felületi háló írja le (3. ábra).



3. ábra
Egy szkennelt
fogív felületi hálój
(Forrás: <https://www.3dreshaper.com>)

Részletgazdag alakzat esetén magasabb felbontás beállítása ajánlott, amely természetesen nagyobb fájl-mérettel jár együtt [2, 3].

A nyomtatás megkezdése előtt a modellt leíró STL fájl egy megfelelő szeletelő program feldolgozza, és az adott nyomtató számára értelmezhető kóddá alakítja. A szeletelés (slicing) során a szoftver a beállított rétegvastagságnak megfelelően átpásztzza a virtuális testet, rétegenként megkeresi a test kontúrvonalait és meghatározza, hogy a kontúrvonal melyik felén helyezkedik el a test. Ahol a test elhelyezkedik, ott kell az anyagfelhordást elvégezni. A rétegvastagság megadása az adott technológiától és a test kívánt felbontásától függ.

A szeletelő programok az adott 3D nyomtatás technológiájától függően szeletelésen kívül egyéb többlépcsős szolgáltatással is rendelkezhetnek: a nyomtatást segítő támaszanyag (support) és a modell nyomtatás során történő tapadását biztosító raft generálására vagy anyag- és időtakarékosági megfontolásból üreges test létrehozására is van lehetőség (4. ábra).

Maga a nyomtatás az előkészített, felszeletelt modell alapján az előzetesen beállított igényeknek megfelelően, emberi beavatkozás nélkül történik. A legtöbbek által ismert 3D nyomtatás az olvasztott műanyag rétegzésével dolgozó FDM (Fused Deposition Modelling) technológia. Ennek az alapanyaga 1,75 vagy 3 mm átmérőjű, hőre lágyuló műanyag szál (termoplasztikus anyag), melyet a nyomtatófej a lágyulási hőmérséklet fölé hevít, a keletkező olvadék rétegezésével épül fel a modell.

Orvosi, különösen fogászati céllal történő alkalmazásokban sem pontosság, sem a felhasználható alapanyag nem megfelelő. Míg számos ipari ágazatban elfogadható egy modell 0,1 mm körüli pontossága, addig a fogászat terén a pontatlanság nem haladhatja meg a 0,025 mm-t. A továbbiakban olyan nyomtatási technológiákat mutatunk be, melyek az alapanyag és a pontosság terén is alkalmasak fogászati felhasználásra.

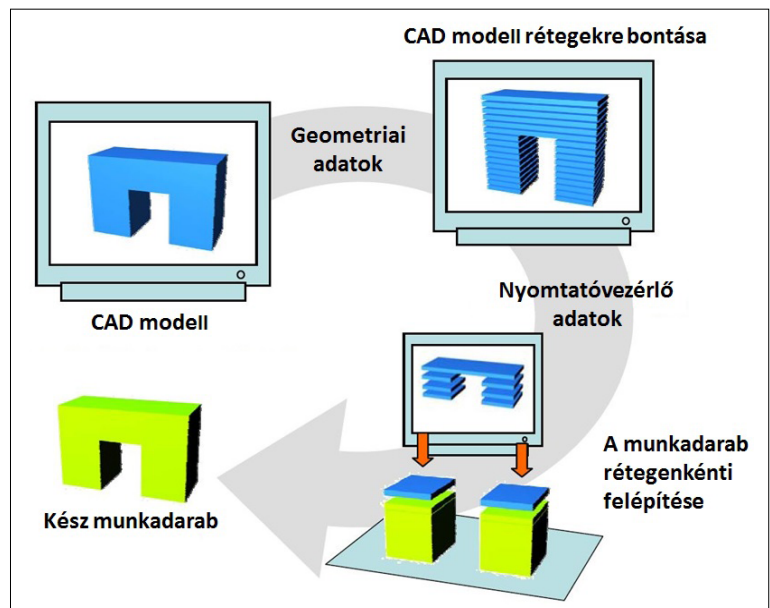
4.1. Sztereolitográfia

A sztereolitográfiai eljárás során a térbeli modelleket fényre keményedő műgyanta alapanyagból állítjuk elő. Ehhez hagyományosan a fotopolimer (UV fényre keményedő műgyanta) egy olyan tartályban terül el, melyben van egy süllyeszthető platform, melyen a nyomtatvány készül (5. ábra).

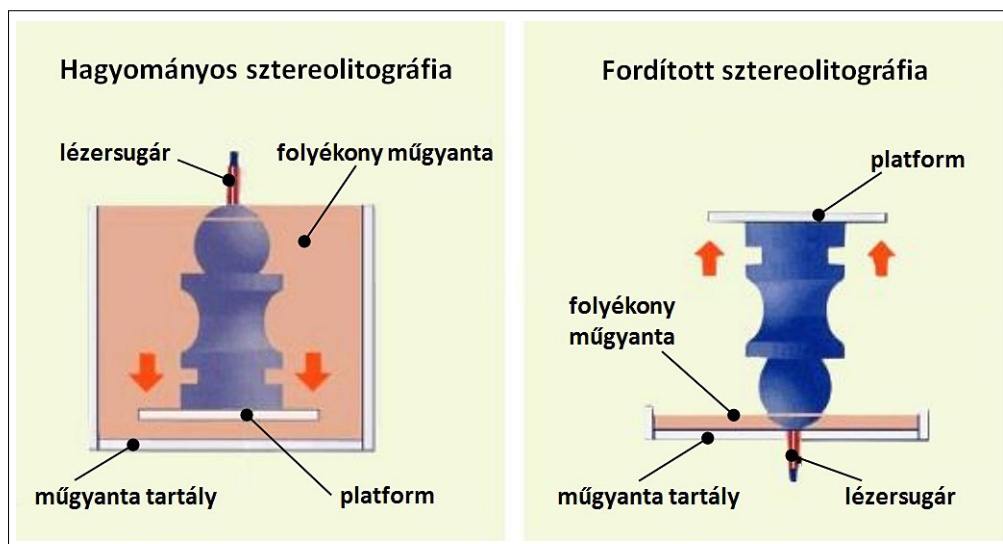
A folyadék felső rétege kerül megvilágításra, melynek eredményeként a gyanta a levilágítás helyén megszilárdul, majd az egymásra épülő rétegek végül egy egészet alkotnak és együttesen elmerülnek a gyantával töltött tartályban. Az elkészült darabokat gyakran UV fény alatt még utókezelni kell, hogy végleges szilárdságukat elérjék.

A levilágítás módjában kétféle lehetőséggel találkozhatunk: vagy lézerefénnyel „rajzolják” az egyes layereket (SLA, StereoLithography Apparatus), vagy egy réteget egyszerre egy projektor által világítanak le (DLP, Digital Light Processing). Az SLA/DLP technológia maximális felbontása 50-100 mikron körül mozog, amely már megfelel a fogorvosi modellek pontossági kívánalmainak.

4. ábra A munkadarab előállításának folyamata [2]



5. ábra
A hagyományos és
a fordított sztereolitográfia
elve [4]



A sztereolitográfiai eljárásnak létezik egy fordított megvalósítása is, amely során a platform a műgyanta szintje felett helyezkedik el, egy függőleges tengely mentén mozog, a folyamat során elmerül a folyékony anyagban (5. ábra). A lézersugár az átlátszó tartályon keresztül, a tartály alól érkezik a folyadékba, megkeményítve ezzel a kívánt réteget. Ebben az esetben a lézersugárnak jóval vékonyabb folyadék rétegen kell áthatolnia, hogy elérje a nyomtatási területet. A platform eközben a tengely mentén rétegenként egyre feljebb emelkedik, kiemelve a műgyantából a már megkeményített részeket [4,5].

4.2. PolyJet

A PolyJet technológia esetén a modell felépítését teljes mértékben a nyomtatófej végzi, amelyben fúvókák százai megfelelő helyre lövik a műanyag cseppeket. Nyomtatóanyagként UV fény hatására térhálósodó műanyagot, polyakrilit használ. A nyomtatás folyamán a friss réteg azonnal levilágításra kerül, ezáltal a térhálósodás folyamata csak elindul, a harmadik rányomatott réteg levilágításakor eléri a 90%-ot, és a teljes kötés a modell végső levilágításakor alakul ki. Ez a lépcsőzetes térhálósítás a rétegek egymáshoz tapadása miatt indokolt. A kinyomtatott munkadarabok méretpontossága 0,05 mm, rétegvastagsága pedig 16 μm [2, 6].

4.3. A 3D nyomtatás fogászati alkalmazása

A 3D nyomtatást leggyakrabban a gipszmintákat helyettesítő modellek (Stone-modellek) gyártása során alkalmazzák (6. ábra). A műgyantából nyomtatott modell

pontosabb és tartósabb alapot biztosít a bonyolultabb fogpótlások és kiegészítők készítésekor. Bizonyos esetekben magát a gipsznyomatot is érdemes beszkenyelni és nyomtatni, máskor nem készül hagyományos lenyomat, a fogívekről közvetlenül a szájban történő szkennelés útján gyűjtik az adatokat. A mai fogászati 3D-nyomtatók kifejezetten kompakt felépítésűek, a kisebb teljesítményűek közel akkora méretűek, mint egy nagyobb mikrohullámú sütő. A nagyobb, fejlettebb modellek előnye, hogy több, akár 30-40 teljes fogsor modell egyidejű gyártására is alkalmasak.

A különböző kivehető vagy rögzített fémanyagú fogszabályzók mellett igen elterjedt az átlátszó sínes eszközök alkalmazása. A fogszabályzás előtt a fogorról készült szkenn alapján egy fogászati tervező szoftver segítségével megtervezik a fogsor végleges állapotát. A kiinduló állapot és a végső állapot közötti változásokat a szoftver megfelelő mennyiségű lépésre osztja, figyelembe véve, hogy egy lépésben nem lehet túl nagy a fogak elmozdulása, mert az a fogak elvesztéséhez vezetne. Az egyes lépésekhez tartozó nyomtatott fogívekre átlátszó fóliából vákuumformázással készítik az aktuális sínt (7. ábra). Az átlátszó fogszabályzó sínek viselésének legnagyobb előnye, hogy a viselés közben gyakorlatilag nem látszik és könnyen tisztán tartható. A kívánt hatás elérése céljából egy-egy sínt 2-3 hétig, napi legalább 20 óráig ajánlott viselni [7, 8].

A fogászati implantátumok tervezése és azok pontos helyének, helyzetének meghatározása speciális szoftverrel történik. A tervezést CT-felvételek alapján végzik olyan szájba illeszkedő nyomtatott CT-sablon haszná-

6. ábra
3D nyomtatott Stone-modellek (Forrás: www.javelin-tech.com)



7. ábra
Átlátszó sínes fogszabályzók [8]



latával, amely segíti a furatok helyes pozíciójának beállítását a csontozat és a lágy részek figyelembe vételével. A fogakra, ínyre, csontra a műtét idejére ideiglenesen illeszthető fúrósablon alkalmazásával az implantátum az idegcsatornák kikerülésével olyan helyre kerül, ahol a megfelelő csontállomány is rendelkezésre áll (8. ábra). A sebészeti beavatkozás nemcsak pontosabbá, hanem gyorsabbá is vált, és kevesebb szövődémmel kell számolni [7, 9].



8. ábra
Fúrósablon kipróbálása a Stone-modellen
(<http://mass.innovationnights.com/>)

5. Digitális fogászat megjelenése a fogorvos képzésben

A digitális fogászati-, illetve fogtechnikai laborok hatékony működtetése elképzelhetetlen képzett szakemberek nélkül. A Debreceni Egyetem (DE) Fogorvostudományi Karán az elmúlt években fontos lépéseket tettek annak érdekében, hogy a klasszikus ismeretek mellett a digitális fogászati technikák is a szakorvosképzés és továbbképzés részévé váljanak. CEREC AC intraorális szkennert és 3D nyomtatót is tartalmazó komplett rendszer, később egy Objet30 OrthoDesk nyomtató beszerzésével lehetővé vált a digitális technika mindennapos alkalmazása a gyógyító munka során.

A hazai fogorvosképzésben résztvevő intézmények a versenyképességük megerősítése érdekében lépéseket tettek a képzések gyakorlatorientált módon történő megújítására. 2015 folyamán a debreceni, budapesti és pécsi képzőhelyek mellett a DE Informatikai Karának és Műszaki Karának oktatóinak bevonásával elkészült egy olyan tananyag, amely bemutatja a fogszabályozásban, fogpótlásban és a szájsebészetben használható digitális technikákat, a fogászati CAD/CAM rendszerek alkalmazhatóságát és azok műszaki hátterét. 2016 tavaszától minden fogorvostan-hallgató számára lehetőség nyílt a fenti technikákkal való ismerkedésre szabadon választható kurzus formájában.

6. Összefoglalás

Cikkünkben áttekintést adtunk a fogászat különböző területein alkalmazható háromdimenziós technológiákról. Segítségükkel pontosabb pótlások, koronák, fogsza-

bályzó eszközök, fúrósablonok készülnek, melyekkel nemcsak időt lehet megtakarítani, hanem teljes mértékben figyelembe vehető a páciens anatómiai egyedisége, a beavatkozás kockázata pedig nagymértékben csökkenthető.

A szerzőkről



PAPP ILDIKÓ okleveles matematika-informatika-ábrázoló geometria szakos tanárként végzett a KLTE-n (ma Debreceni Egyetem), majd doktori fokozatot szerzett a Differenciálgeometria és alkalmazásai alprogram keretében. 1994 óta dolgozik a Debreceni Egyetemen, jelenleg az Informatikai Kar adjunktusa. Fő kutatási területe a görbék és felületek számítógépes modellezése, konstruktív és ábrázoló geometria, vizualizáció. Az utóbbi időben az élményközpontú matematikaoktatással és a 3D nyomtatás technológiájával, illetve alkalmazási lehetőségeivel is foglalkozik.



ZICHAR MARIANNA okleveles matematika-informatika szakos tanárként végzett a KLTE-n (ma DE), majd tíz évig szoftverfejlesztőként dolgozott. Közben óraadó munkatársként oktatott volt alma materében, illetve PhD tanulmányokat folytatott. Doktori értekezését geoinformatikából írta, mely a mai napig meghatározza fő kutatási tevékenységét. 2005-től kezdődően már főállásban dolgozik a DE Informatikai Karán, a Komputergrafika és Képfeldolgozás Tanszéken, de a TTK-n tanuló geoinformatikus szakirányos alap-, és mesterhallgatók képzésében is jelentős részt vállal. Az utóbbi időben tanszéki kollégáival a 3D nyomtatás technológiájával illetve alkalmazási lehetőségeivel is foglalkozik.

Irodalomjegyzék

- [1] S. Logozzo, E. M. Zanetti, G. Fanceshini, A. Kilpela, A. Makynen: Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry, *Optics and Lasers in Engineering* 54 (2014), pp.203–221.
- [2] Hegedűs Csaba, Husi Géza, Szemes Péter Tamás, Papp Ildikó, Zichar Marianna, Tomán Henrietta, Kunkli Roland, Marada Gyula, Borbély Péter, Hegedűs Viktória, Borbély Judit, Lampé István, Medgyesi Gergely, Redl Pál, Boda Róbert, Bogdán Sándor, Csernátony Zoltán, Manó Sándor: Digitális fogászat a gyakorlatban, (2015).
<http://dental.unideb.com/hu/digitalis-fogaszat-gyakorlatban> (letöltve: 2016.11.16.).
- [3] 3D-Druck-Howto,
http://www.finescale.org/finescale.org/3D_Druck.html (letöltve: 2016.11.16.).
- [4] Dentaltrade,
<http://www.dentaltrade.hu/dws-3d-nyomtatasi/> (letöltve: 2016.11.16.).
- [5] 3D Fizz – A 3D nyomtatás világa,
<https://3dnyomtato.wordpress.com/2014/11/02/3d-nyomtatasi-sla-technologiaival/> (letöltve: 2016.11.16.).
- [6] Mechatronika, Modul 9: Gyors prototípusgyártás, Munkafüzet, Jegyzet, Oktatói segédlet, EU-Project Nr. 2005-146319 „MINOS”, EU-Project Nr. DE/08/LLP-LDV/TOI/147110 „MINOS”,
<http://www.adam-europe.eu/prj/3810/prd/1/8/Modul%209%20ungarisch%20komplett.pdf> (letöltve: 2016.11.16.).
- [7] Dental.hu, a fogászati szakma kezdőlapja,
<http://www.dental.hu/> (letöltve: 2016.11.16.).
- [8] ClearSmile, A láthatatlan fogszabályzás,
<http://keramiadental.hu/> (letöltve: 2016.11.16.).
- [9] Varinex: Digitális fogászati megoldások,
www.dental.varinex.hu (letöltve: 2016.11.16.).