

## A 3D nyomtatás az egészségügy nagy ígérete

A 3D nyomtatás alkalmazása rohamosan terjed a gyógyászati termékek területén. A 3D nyomtatókat gyártó cégek egyre inkább nyitnak a több forrásból származó alapanyag-kínálat felé, vagyis berendezéseiket számos alapanyaggyártó termékeivel is lehet használni. Fejlesztették a fogorvosi alkalmazásokat és a sebészeti eszközöket is. Gyorsan bővül a ruházaton, a szemüvegbe beépítve, vagy a végtagokra felcsatolva hordható 3D nyomtatású egészségügyi és wellness eszközök piaca is.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fémfeldolgozás; 3D nyomtatás; PA12; egészségügy.*

Az additív gyártástechnológiák – amelyeket általában 3D nyomtatás néven ismerünk – alkalmazása rohamosan bővül, ezért egyre több, az ilyen technológiákhoz használható műanyagot fejlesztenek ki, amelyek egy része kimondottan gyógyászati, orvosi és fogorvosi használatra szolgál.

A műanyag alapanyaggyártó cégek egyre gyakrabban szövetségeket alakítanak ki a 3D nyomtatók vezető gyártóival, hogy olyan anyagokat állíthassanak elő, amelyek a teljes termékfejlesztési ciklus során alkalmazhatók. Ugyanakkor egyre több olyan 3D nyomtatócsalád jelenik meg a piacon, amelyek használhatók más gyártók alapanyagaival is. Egyre több műanyag-feldolgozó vállalat kezd bele a 3D nyomtatás használatába is, igényeiket közvetítve a hagyományos alapanyagok gyártói felé. *A legelterjedtebb, olvadó huzalos technológiát használó 3D nyomtatók* a hagyományos technológiáknál is használatos polimerekkel dolgoznak, amelyeket a 3D nyomtatást támogató adalékokkal látnak el.

Jelenleg a 3D nyomtatással előállított termékek, alkatrészek volumene messze 1 % alatti, míg pl. a fröccsöntött alkatrészeké pedig több száz milliárd USD, noha egyes szakemberek szerint a 3D nyomtatás a jövőben elérheti az 1–5%-ot.

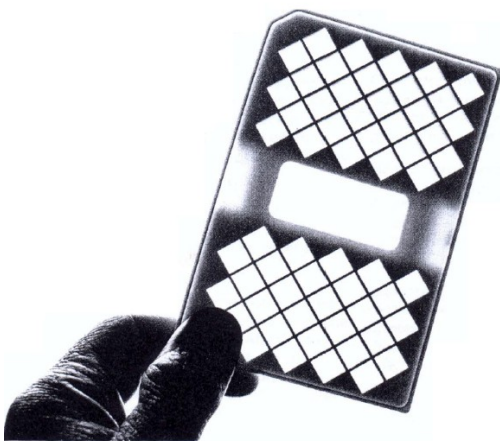
## Új anyagok az új termékekhez

Amikor az egyik vezető egészségügyi termékeket gyártó amerikai vállalat, a Becton, Dickinson and Co. a fröccsöntés alternatíváját igényelte egy új, kritikus alkatrészhez sejtenként elvégzett gén-elemző berendezéseikhez, az ehhez szükséges alapanyagot a Carbon cég (USA) fejlesztette ki.

A Carbon cég úttörő munkát végzett a *DLS (digitális fény szintézis)* területén. Eltérően az elterjedten használt 3D nyomtatási technológiáktól, ahol huzalt, vagy port olvasztanak

meg, rétegről-rétegre létrehozva a terméket, a DLS egy oxigénnek telített gyantatömegben végzi ezt, amelyet kivetített fényel manipulálva a polimerizációt, létrehozza a termék átlapolva folyamatos anyagtömegét.

A *Carbon 2018* őszére kifejlesztette MPU 100 márkájú, gyógyászati célú poliuretán alapanyagát. Az anyag eredetileg feketére színezett volt, mivel a fekete pigment jól elnyeli a fényt, és így meg lehet akadályozni, hogy a fény oda is eljusson (beindítva a polimerizációt) ahová nem kell. A fekete szín azonban olyan problémákat is felvet, hogy egy fekete tárgyról *nehéz megállapítani, hogy felülete tiszta-e, ami a műtőkben nem elfogadható. Ezért létrehozták a fehér változatot is.* Az MPU 100 jól ellenáll a hőnek és az oldószereknek, felülete sima és pórusmentes, ami előnyös a más gyantákból 3D nyomtatással, fotókémiai eljárásokkal előállított termékekkel szemben. A 3D nyomtatással a termék alakját formálják meg, majd pedig hőkezeléssel fejezik be a polimerizációs folyamatot, és érik el a termék végső tulajdonságait. Ezzel a kombinált, kétlépcsős eljárással nemcsak poliuretán, de poliepoxi és szilikon gyanta termékeket is elő lehet állítani. Az ilyen módon készített termékek tulajdonságai az ABS-ből, vagy az erősítetlen poliamidból készültekével vetekedik.



1. ábra A Becton Dickinson cég sejtenkénti genomelemzést végző berendezésének 3D nyomtatással készült hemocitóméter adaptere

Az *MPU 100* poliuretánt használták a génelemző berendezés adapteréhez (1. ábra). Ez lehetővé teszi, hogy a pl. a daganatokból vett szövetmintákat (vonalkóddal ellátott) sejtenként elemezzék, nem pedig nagyobb számú sejt átlagát vizsgálják. Mivel az adapter alámetszésetek is tartalmaz és évente csupán kb. 1000 darab szükséges, a magas szerszámköltségek miatt fröccsöntéssel túl drága lett volna előállítani. A méhsejtszerű kialakítás 45 fokos elforgatása növelte a szerkezet szilárdságát, így mintegy 7%-kal lehetett csökkenteni a falvastagságot.

Az *MPU 100* alapanyagot használja továbbá a Biolase cég is öntött poliuretán termékek helyettesítésére, mivel 3D nyomtatással a termék gyártási idejét a tervezéstől számítva 70%-kal lehetett lerövidíteni.

## Fogászati alkalmazások

A 3D nyomtatás már régebben megjelent a fogászatban, pontosan illeszkedő implantátumok és a szájsebészeti beavatkozásokat segítő tájoló szerkezetek formájában. Az utóbbi időszakban több fogorvosi használatra szánt 3D nyomtatásra szolgáló anyag jelent meg a piacon.

Az amerikai 3D Systems cég 2018-ban dobta piacra kimondottan fogászati célú *NextDent 5100* nyomtatóját, hogy támogassa fogászati polimerét. A *Next Dent* családba tartozó, klinikákon és fogászati rendelőkben alkalmazott, különböző színekben kapható alapanyagok jól illeszkednek a paciensek fogainak és ínyének színéhez. Valamennyi anyag

biokompatibilis, és az FDA és a CE által engedélyezett típus. Jól felhasználhatók fogsabályozási alkalmazásokhoz.

A cég fogászati polimerjeinek egy része megszerezte a IIa osztály besorolást, amely azt jelenti, hogy először sikerült olyan anyagokat kifejleszteni, amelyekkel többféle, a szájüregben hosszú ideig működő fogászati termékeket lehet előállítani, mint rögzítősinék, fogsoralapok, koronák és hidak. A *NextDent Ortho Rigid* anyagból olyan rögzítő sínket lehet 3D nyomtatással előállítani, amelyek hosszú ideig a szájban maradnak, míg a *NextDent Base* anyagot kifejezetten a fogsoralapokhoz fejlesztették ki. A *NextDent C&B MFH* (mikro töltött hibrid) pedig a koronák és a hidak nagy szilárdságú és kopásállóságú anyaga. Valamennyi anyag megszerezte az alkalmazásokhoz szükséges minősítést.

A 3D nyomtatás alkalmazása az ilyen fogászati termékeknél felgyorsítja az elkészítést és minimalizálja az emberi hibák lehetőségét. A hagyományos, eljárásoknál a paciens fogazatáról készített lenyomatok elkészítése után átlagosan 14 napig tart, amíg a laboratóriumban elkészítik a fogászati terméket, ezután a paciens visszameny, megnézik az illeszkedést, majd ennek megfelelően módosításokra visszaküldik a laboratóriumba. Átlagosan ötször kell elmenni a fogorvoshoz a pontos illeszkedés véglegesítéséhez. A 3D nyomtatás alkalmazásával a folyamat négyszer gyorsabb lesz, és elkerülhetők az anyagveszteségek is.

A hagyományos fotopolimer gyanták fogászati alkalmazásánál a legnagyobb problémát azok citotoxicitása okozza. Ugyanis amikor a polimer reagál a paciens nyálával, megindulhat lebomlása monomerekre, amelyek irritációt, gyulladást okozhatnak a szájban. A 3D Systems biokompatibilis fotopolimerjei monomer-mentesek és várhatóan nem váltanak ki allergiás reakciókat.

A piaci felfutásra reagálva, a Carbon cég is megkezdte a fogászati alkalmazású 3D nyomtatáshoz alkalmas nyomtatók kifejlesztését. A cég korábban már több olyan alapanyag gyártóval (pl. Dentca, Whip Mix és a német Dreve) is együttműködött, amelyek 3D nyomtatáshoz alkalmas típusokat fejlesztettek ki és validálták az ilyen anyagok feldolgozhatóságát nyomtatóikon.

Az Ultimaker cég programot indított több műanyag alapanyaggyártó vállalattal. Ez a platform gyors fejlesztéseket tesz lehetővé, hogy a piac által igényelt tulajdonságok együttesét elérő anyagokat lehessen kifejleszteni. Mindehhez hajtóerőt jelent az olyan alapanyag- és adalékanyag-gyártóknál meglévő szellemi kapacitás, mint amilyen a BASF, DuPont, Clariant, vagy a SABIC, kiegészülve az egész világon nagy számban jelenlévő start-up cégek friss szemléletével.

Míg korábban a nagy alapanyaggyártók alig vettek részt a fejlesztésekben, az egyes nyomtatógyártók szűk anyagválasztékkal dolgoztak. Az anyaghasználat liberalizációja azonban újabb lökést adhat a fejlesztéseknek. Mindezt az egyre kifinomultabb szimulációs programok is támogatják, amelyek segítségével a mérnökök megjósolhatják egy adott konstrukció viselkedését.

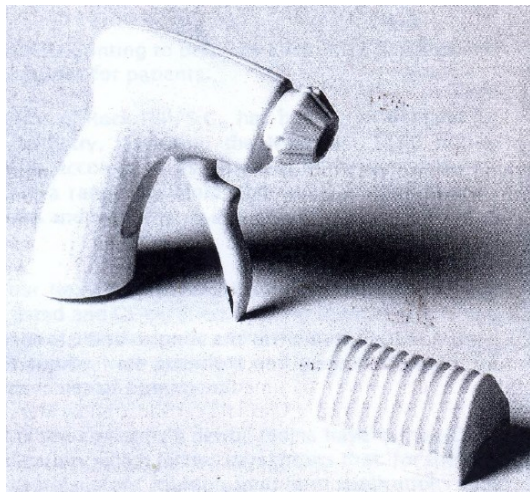
## Új alkalmazások

A Tokiói Egyetem, a Tokiói Nőgyógyászati Egyetem és a RIKEN cég kutatói és mérnökei egy olyan érzékelőt fejlesztettek ki, amely beépíthető az emberi testbe, és amely

működés közben monitorozza a szív sejtjeinek állapotát. A komplex érzékelő kialakításához egy nanohálót készítettek, egy úgynevezett elektro-spinning („elektro-fonás”) eljárással ultrafinom poliuretán szálakat készítettek, amelyeket síkbeli, pókhálószerű terméké alakítottak. Ezt a hálót egy parylén polimerrel vonták be, hogy megerősítsék. Ezután arany bevonatot vittek fel rá bizonyos helyekre, hogy érzékelő szondaként elektromos jeleket szolgáltatthassanak. Ezek a jelek interferencia-mentesek és nem igényelnek interfészt ahhoz, hogy az EKG-hez hasonló grafikus megjelenítést biztosítsanak.

*Ez az érzékelő is jó példája annak, hogy a polimerek felhasználásával teljesen új távlatok nyílnak meg a gyógyászatban. A 3D nyomtatással nem csupán apró érzékelők, protézisek és más tárgyak készíthetők (2. ábra), de a bonyolult operációkhoz a vágásokat megvezető eszközöket is, amelyek a korábbinál sokkal precízebb vágásokhoz segítik a sebészeket. Ma már évente több tízezer olyan operációt végeznek, ahol ezek a testreszabott megvezető réven nem csupán gyorsabb lesz a műtét, de kevesebb fájdalmat is okoznak a pacienseknek, gyorsabb lesz a felépülés, kevesebb kontrollvizsgálat szükséges, és javul a műtétek hosszú távú eredményessége.*

A 3D nyomtatással készülő, emberi testrészeket helyettesítő protézisek és a testbe épített eszközök mellett rohamosan bővül a *hordható eszközök* fajtája és mennyisége is. Ezeket az eszközöket integrálják a ruházatba, a szemüvegekbe és gyakran használnak felcsatolható eszközöket is. Ezek az eszközök kifinomult technológiákat (gyakran mikrotechnológiákat) használnak arra, hogy adatokat gyűjtsenek és továbbítsanak az adott személy fiziológiájáról, illetve támogatják, hogy a felhasználó több testi funkciót legyen képes elvégezni, miközben nem gátolják mozgásában, illetve munkavégzésében.

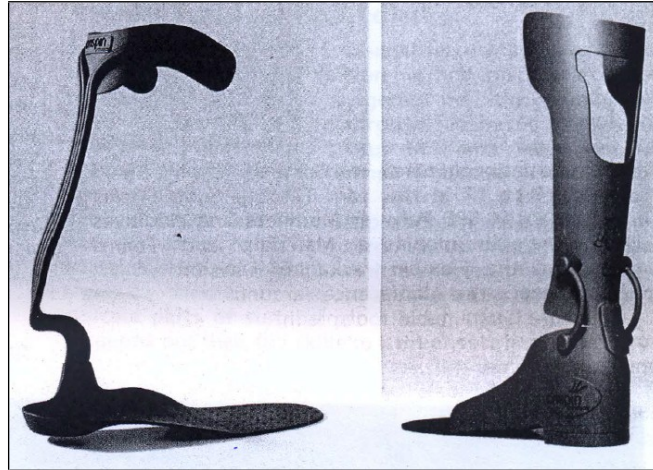


2. ábra 3D nyomtatással MPU 100 poliuretán sebészeti eszköz fogantyú és ligációs befogók tartója

Egyes hordható gyógyászati termékek *biokémiaiilag aktív kialakításúak*, amelyek például elősegítik a vérkeringést, gyógyítják a lábon kialakult sebeket és védenek a jövőbeli sérülésektől. Beilleszthetők a cipőkbe, és jó egyensúlyt biztosítanak, miközben leveszik a terhelést a sebről, és megvédik azt az elfertőződéstől. Ezekhez a hordható eszközökhöz külső újratölthető elemeket használnak, amelyekkel elkerülhetők az implantátumoknál alkalmazott, beépített áramforrások okozta problémák.

A 3D nyomtatással készülő eszközök nem csupán funkcionálisak, de esetenként esztétikai előnyöket is kínálnak. Így például az egészséget és wellnesst monitorozó hordható eszközök terén megmutatkozó piaci versenyben az esztétikus megjelenés kulcsfontosságú. Hasonló a helyzet a protéziseknél (3. ábra), ahol az esztétikus megjelenés a nagyobb társadalmi elfogadottságot támogatja. A digitális technológiák alkalmazása, amelynek része a 3D nyomtatás, emellett sokkal jobb illeszkedést is biztosít a művégtagoknál, ami jelentősen fokozza a paciens komfortérzetét és a megfelelő illesztési eljárást hetekről napokra rövidíti le.

A nagy sorozatok gyártásához és raktározásához általában több berendezés és nagy helyigény szükséges, míg a 3D nyomtatáshoz sokkal kisebb hely kell. A 3D nyomtatás ezért sokkal inkább hordozható, ezért hordható egészségügyi eszközök terén megjelent az a szolgáltatás, hogy ezek előállítását és eladását ott, vagy annak közelébe végzik, ahol ezeket az emberek megvásárolják. Ilyen példát jelentenek a cipő talpbetétek. A Hewlett Packard 2019-ben dobta piacra *Fitstation* elnevezésű rendszerét, amely a láb háromdimenziós letapogatása után egy nyomásérzékelő matrac segítségével megfigyeli a járás/futás dinamikáját, és ezek ismeretében készíti el a helyszínen 3D nyomtatással az optimális kialakítású talpbetétet. Jelenleg a Superfeet cég által már 26 boltban kaphatók az ilyen talpbetétek, amelyeket atléták és más, mozgásokat támogatni igénylő emberek megvásárolhatnak.



3. ábra Az adott testrész 3D szkenneléséből származó adatok felhasználásával, 3D nyomtatással kialakított művégtagok

Az új gyógyászati alkalmazások piaci bevezetése szigorú hatósági engedélyezési folyamathoz kötött, amit pl. az USA-ban az FDA végez. A hatóság politikája, hogy nem az adott termékekben alkalmazott anyagokat, hanem magát a terméket minősíti. Így például egy gerinc implantátum esetében, amelyet 3D nyomtatással (SLS) titán-ötvözetből készítettek, az implantátumot engedélyezik, nem pedig a titán gyógyászati alkalmazását. Hasonló a helyzet a 3D nyomtatáshoz használt polimerekkel is. Ez azzal magyarázható, hogy az adott termék az alkalmazásának megfelelő igénybevételeknek van kitéve, amelyek ugyanazt az anyagot más igénybevételeknek teszi ki (pl. a szájüregben, vagy művégtagként). Azonban egy adott célra használt termékeknel az új anyagoknak nem mindig kell végig járniuk az alapos és hosszadalmas minősítési folyamatot, ha az anyag a már meglévő, engedélyezett eszközben használt anyagokhoz képest legalább ugyanolyan teljesítményre képes.

Az új 3D nyomtatókhoz használható anyagokat kifejlesztő kutatóknak és mérnököknek alaposan meg kell ismerniük az egyes alkalmazásoknál igényelt tulajdonságokat, mint pl. a kopásállóságot, biztonsági kérdéseket, stb., hatásukat az eszközre és a hatósági minősítés szempontjainak történő megfelelést. *Így például a poliamid 12 (PA12) egy olyan régóta ismert műanyag, amelyet gyakran alkalmaznak 3D nyomtatáshoz alapanyagként gyógyászati termékeknel.* Jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik és biokompatibilis. A jövőben

várható, hogy beépített elektronikai eszközöket és/vagy érzékelőket tartalmazó termékeket is gyártani fognak belőle.

A műanyagok gyógyászati (és más) területen történő új alkalmazásait segíti elő a mikrofröccsöntés. Ezzel az eljárással nagyon apró, általában ezred mm pontosságú, komplex geometriájú darabokat lehet előállítani. Az ilyen termékek jó összhangban vannak a modern orvoslás azon törekvéseivel, hogy minél kevésbé invazív eljárásokkal kezeljék a betegeket.

Összeállította: Dr. Füzes László

Giordano G.: 3D Printing the Future of Healthcare = Plastics Engineering, 6. sz. 2019. p. 14–17.

Romeo J.: Unconstrained Manufacturing Freedom = Plastics Engineering, 2. sz. 2019. p. 36–41.