

30 ÉVES A DEBRECENI EGYETEM BIOMECHANIKAI LABORATÓRIUMA

Manó Sándor*, Csernátony Zoltán†

Debreceni Egyetem Általános Orvostudományi Kar, Ortopédiai és Traumatológiai Tanszék,
Biomechanikai Laboratórium

DOI: 10.17489/biohun/2023/2/597

Absztrakt

A Debreceni Egyetem Biomechanikai Laboratóriumát dr. Csernátony Zoltán, az akkori DOTE Ortopédiai Klinika adjunktusa alapította 1993-ban. A laboratóriumnak kezdetben az akkori Műszaki Főiskola adott helyet egészen 2011-ig, amikor az Ortopédiai Klinika alagsorába költözött. A Laboratórium történetének erről az első nagy fejezetéről a Biomechanica Hungarica IV/1 számában beszámoltunk, jelen közleményünkben az azóta eltelt időszakról szeretnénk röviden számot vetni.

Az összegzés aktualitását egyrészt Csernátony professzor úr tragikus távozása, másrészt a Labor fennállásának 30 éves évfordulója adja.

Kulcsszavak: Biomechanika, laboratórium, Debreceni Egyetem

30 YEARS OF THE BIOMECHANICS LABORATORY OF UNIVERSITY OF DEBRECEN**Abstract**

The Biomechanics Laboratory of the University of Debrecen was founded in 1993 by Dr. Zoltán Csernátony, Assistant Professor at the Department of Orthopaedic Surgery of the University of Debrecen. The laboratory was initially located in the then Technical College until 2011, when it moved to the basement of the Orthopaedic Clinic. This first major chapter of the Laboratory's history was reported in Biomechanica Hungarica IV/1, and in the current publication we would like to briefly review the period since then.

The tragic passing of Professor Csernátony and the 30th anniversary of the Laboratory's existence are two of the reasons why this is so timely.

Keywords: Biomechanics, laboratory, University of Debrecen

***Levelező szerző elérhetősége:** Debreceni Egyetem Általános Orvostudományi Kar, Ortopédiai és Traumatológiai Tanszék, Biomechanikai Laboratórium, H-4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98. **E-mail:** manos@med.unideb.hu **Tel.:** +36 52 411-600/5177

Citáció: Manó S, Csernátony Z. *Biomech Hung. 30 éves a Debreceni Egyetem Biomechanikai Laboratóriuma. 2023; 16(2):18-31.*

Beérkezés ideje: 2023.12.10. **Elfogadás ideje:** 2023.12.12.

BEVEZETÉS

A Debreceni Egyetem 2023-ban éppen harminc éves Biomechanikai Laboratóriuma a kezdeti, Műszaki Karon töltött időszakát¹ és a 2011-es költözést követően is folytatta fő tevékenységeit, amelyek az alapkutató, az orvostechonikai eszköz- és implantátumfejlesztés, a 3D technikák orvosi alkalmazása és a biomechanikai-mechanikai anyag- és szerkezetvizsgálatok. A fókusz azonban egyre inkább a 3D technikák alkalmazása felé tolódott.

Komoly fordulatot hoztak a labor életében a 2016-ban, illetve 2017-ben indult nagyobb GINOP pályázati projektjeink, amelyek révén nemcsak számos új fejlesztésbe tudtunk belefogni, hanem a személyzet létszámát is sikerült gyarapítani. Ez igazán jelentős változás volt, mert egészen eddig az időszakig Csernátony

professzor úr klinikaigazgatói teendői mellett vezette a labort, teljes munkaidőben csak Manó Sándor, illetve alkalmanként egy laborasszisztens dolgozott a laborban, valamint Tamási Gábor, az Ortopédiai Klinika karbantartója segítette a forgácsolási, modellezési, szerelési feladatok megoldásába. A változásnak köszönhetően a labor személyzetéhez csatlakozott teljes munkaidőben Csámer Loránd, Horváth Hajnalka, Kovács Ágnes Éva és Lei Zhang, akik valamennyien PhD tanulmányaikat is megkezdték az ÁOK Klinikai Orvostudományok Doktori Iskolában (1. ábra). Ebben az időszakban egy újabb nagy változás volt, hogy az egyetemi belső átszervezések miatt az Ortopédiai Klinika alagsorát el kellett hagynia a labornak, azonban ez egy jóval korszerűbb környezetbe való költözést jelentett – de sajnos, ismét csak ideiglenesen. Már a beköltözés pillanatában tudtuk ugyanis, hogy a Radiológiai Klinika épületében csak néhány



1. ábra. A Biomechanikai Laboratórium munkatársai 2018-ban a Radiológiai Klinika épületében. Balról jobbra: Csámer Loránd tudományos segédmunkatárs, Dr. Manó Sándor tudományos munkatárs, Prof. Dr. Csernátony Zoltán laboratóriumvezető, Horváth Hajnalka PhD hallgató, Kovács Ágnes Éva PhD hallgató, Lei Zhang PhD hallgató, rezidens

évig, a Gyermeksürgősségi Központ kialakításának megkezdéséig maradhatunk.

A Radiológiai Klinika épületében eltöltött idő alatt a Laboratórium eszközállománya jelentősen bővült. 2018-ban került hozzánk a legnagyobb értékű berendezésünk, egy EOS M290 fém alapanyaggal dolgozó 3D nyomtató, amelyet humán implantátumok előgyártmányainak gyártására is alkalmas Ti6Al4V anyaggal használunk azóta is. A Pécsi Tudományegyetem nagyszabású orvosi 3D technikák köré csoportosuló GINOP pályázataihoz meghívott konzorciumi tagként csatlakozva tettünk szert a színes modellek előállítására alkalmas *Projet 660*, és a *Stratasys F270* professzionális FDM 3D nyomtatóinkra. Ugyanezen projektek keretében szereztünk be egy *DIERS 4D Motionlab* járás- és izomerővizsgáló rendszert is, valamint teljessé vált a Laboratórium 3D szkennerek állománya az *Artec* kézi szkennerek és a *Clonescan* teljes test szkennerek beszerzésével. A jelenlegi eszközállomány a fémmegmunkálásokhoz szükséges megmunkálógépekkel, egy *Ultimaker S5*

és két *Prusa 3D* nyomtatóval kiegészülve állt össze (1. táblázat). 2000 óta 26 nyertes pályázat és mintegy 1,25 MrdFt pályázati támogatás köthető a Laboratóriumhoz.

A következőkben a 2016 utáni kutatási projektjeink közül – a teljesség igénye nélkül – a legfontosabbakat a már említett tevékenységi csoportokra osztva foglaljuk össze.

ALAPKUTATÁS

Különböző alakú rácsos szerkezetbe való csontbenövés vizsgálata

A Laboratórium eddigi legnagyobb projektje a Varinex Zrt-vel közös GINOP pályázat keretein belül valósult meg. Ennek köszönhetően került beszerzésre egy EOS M290 fém alapanyaggal dolgozó, 250 x 250 x 325 mm-es munkaterű, 400 W-os lézerrel felszerelt *Direct Metal Laser Sintering, DMLS*) 3D nyomtató.

Az egyik alprojekt vizsgálatai arra fókuszáltak, hogy a 3D nyomtatással, Ti6Al4V ötvözetből előállított különböző alapeometriájú

1. táblázat. A Biomechanikai Laboratórium eszközállománya

Eszköz	Becsült érték
Instron 8874 anyagvizsgáló berendezés	60 MFt
DIERS 4D Motionlab mozgásanalízis rendszer izomerőmérővel	65 MFt
EOS M290 fém 3D nyomtató	280 MFt
Connex 260 3D nyomtató	45 MFt
Projet 660 3D nyomtató	30 MFt
Stratasys F270 3D nyomtató	11 MFt
Ultimaker S5 3D nyomtató	5 MFt
Original Prusa i3 és Prusa SL1 3D nyomtatók	1 MFt
Artec kézi 3D szkennerek (EVA és Spacespider)	12 MFt
Clonescan teljes test 3D szkennerek	5 MFt
Fastscan 3D szkennerek	2 MFt
HoloLens2	2 MFt
Megmunkálógépek (eszterga, maró, fűrészgép)	3 MFt
Mérőeszközök (Shore A és D keménységmérő, kézi mérőeszközök)	4 MFt
Összesen	526 MFt

rácsos szerkezettel rendelkező implantátumok hogyan viselkednek csontos környezetben. Hat különböző rácsszerkezetet vizsgáltunk (giroid, kocka, henger, tetraéder, kettős piramis, Voronoi) állatkísérlet keretében, juhokon. Mechanikai, szövettani és képfeldolgozási elemzéseket végeztünk az újszerű, vízszugaras módszerrel vágott mintákon. Az Informatikai Karral együttműködésben fejlesztett képfeldolgozó algoritmusunk eredményeit statisztikailag értékelve, valamint a klasszikus szövettani feldolgozás eredményeivel is alátámasztva arra jutottunk, hogy a digitálisan szegmentált területek alapján a csontbenövés mértéke pontosan számszerűsíthető (2. ábra).²⁻³

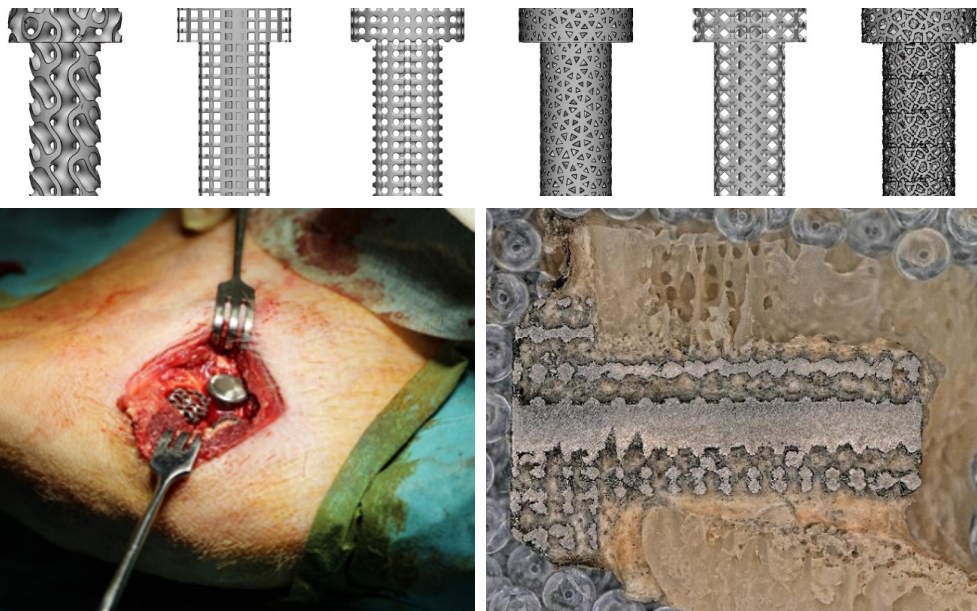
Biotribológiai vizsgálatok

Egy saját fejlesztésű relatív kenőképességek meghatározására szolgáló készülék segítségével a műtési területen jelen lévő szövetek átlagos kenőképességének értékeit és az ipari kenőanyagokat összehasonlítottuk a desztillált vízzel, mint referenciaanyaggal kapott ered-

ményekkel. Még ugyanezen projekt keretében azt is megvizsgáltuk, hogy a gerincimplantátumok mechanikai vizsgálatára alkalmazott ASTM szabvány⁴ által megadott száraz környezethez képest a valós körülmények között jelen lévő súrlódáscsökkentő anyagok mennyiben befolyásolják a mérési eredményeket.⁵

Innovatív csontpótló anyag, illetve a kapcsolódó állatkísérleti modell fejlesztése

Egy GINOP-2.2.1 projekt keretében a Debreceni Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékével együttműködésében kidolgoztunk egy új, aerogél alapú szemcsés csontpótló anyagot, amely hatóanyag továbbításra is alkalmas. Ezen kívül kidolgoztunk egy innovatív kísérleti módszert szemcsés csontpótló anyagok kompressziós állatkísérletes vizsgálataihoz. Ennek lényege az volt, hogy készítettünk egy zsákfuratot, amibe beleöntöttük a megfelelő mennyiségű csontpótló anyagot, majd egy speciális, három alaki variációban elkészített, alján karimában végződő, hosz-



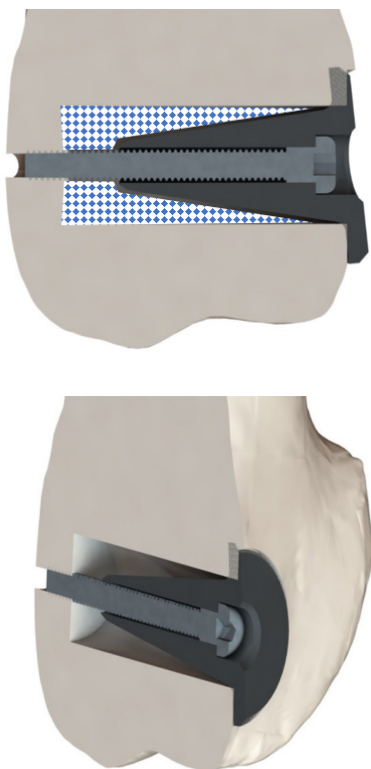
2. ábra. Különböző rácsalakok csontbenövésének állatkísérletes vizsgálata

szanti furattal rendelkező, lekerekített csúcsú kúpos implantátummal zömítettük. Ezzel a csípő endorpotetikában használatos *Sloof*-technikát igyekeztünk modellezni. A furat fala minden irányban jó minőségű *spongiosa* volt, és a túlsó corticalist, illetve annak belső felszínén egy vékony *spongiosa* réteget ugyancsak meghagytunk. Ezáltal egy ún. contained üreg jött létre, hasonlóan a *Sloof*-technika végzettségének kritériumát jelentő defektus nélküli külső femur corticalishoz. A kúpot annak befejezett helyzetében egy, a központi furaton a túlsó corticalison átvezetett KFI önmetsző csavar tartotta helyben (3. ábra). Módszerünk minden egyéb csontpótló impaktációs technikához alkalmas, és mások általi átvétele a különböző kutatóhelyek eredményeinek összehasonlíthatóságát garantálná.⁶

Birkózók mozgásvizsgálata

A Nemzetközi Birkózószövetség (*United World Wrestling*) felkérésére a BME-vel együttműködésben a birkózószőnyegek biztonságosabbá tétele miatt indult el egy közös projekt, amelynek kulcsfontosságú részét képezte a különféle birkózó mozdulatok mozgáselemzése, amelynek az eddigi dokumentálására nem találtunk irodalmat.

A kísérletek során kutatócsoportunk profi birkózók és különböző szőnyegtipusok bevonásával egy olyan vizsgálsorozatot végzett, amelynek célja, hogy elemezze azt, hogy a különféle tipikus birkózó mozdulatok során milyen hatások érik a birkózókat. A kísérlet első fázisába három birkózó került bevonásra,



3. ábra. A szemcsés csontpótló anyag tesztelésére szolgáló állatkísérleti modell vázlatja és pillanatkép a beültetésről

akik közül egy a dobásokat végezte a másik két birkózón. A méréseket két különböző típusú szőnyegen, egy *BTS SMART* mozgásvizsgáló rendszer segítségével hajtottuk végre. A vizsgálat során kapott adatokat mozgásanalízisnek vetettük alá és az eredményekből pontos képet kaptunk az egyes testtájaknak a különböző mozdulatok végrehajtása során jellemző kinematikai paramétereiről (4. ábra).

CT 3D rekonstrukciós vizsgálatok

Az orvosi 3D technikák mindennapi alkalmazása során sokszor ütköztünk olyan technikai jellegű problémákba, amelyeket próbáltunk kísérletes megközelítéssel mélyebben feltárni. Egyik ilyen a fém artefaktumok kiküszöbölése kapcsán kidolgozott módszerünk volt⁷, egy másik esetben pedig azt próbáltuk feltárni, hogy a CT felvételek alapján történt 3D rekonstrukció pontossága hogyan függ a rendszerben figyelembe vett egyes kitüntetett paraméterektől. Ez utóbbi projekt kapcsán született TDK dolgozattal Fegyverneki Bence országos első helyezést ért el.⁸

A különböző anyagú fém implantátumok által előidézett galvánáram csontosodásra kifejtett hatásának vizsgálata

Kutatásunk alapkérdése, hogy amennyiben egy adott csontdefektus, törés ellenkező oldalain eltérő anyagból készült fém implantátumokat helyezünk el, akkor a létrejövő galvánáram a gyógyulást befolyásolja-e, ha igen, akkor arra kedvező vagy hátrányos hatással van-e. A vizsgálatban elektrolit oldatnak a szervezet extracelluláris folyadékterét tekintjük, anódként és katódként az eltérő anyagminőségű fém implantátumok szerepelnek. A nyulak bevonásával elvégzett beültetett műszeres állatkísérleteink során igazoltuk az ilyen esetekben fellépő galvánelektromos jelenséget. A mért potenciálkülönbség mértéke különböző volt más-más fém párok esetében, ugyanakkor úgy tűnik, hogy a csontosodásra kifejtett hatást is ki tudjuk majd mutatni. A kísérletek során vett adatok, eredmények értékelése, feldolgozása még folyamatban van, de az eddigi részeredmények mindenképpen biztatóak.



4. ábra. Birkózók 3D mozgásvizsgálata

ORVOSTECHNIKAI ESZKÖZFEJLESZTÉS

Az Ortinno Hip&Knee rehabilitációs berendezés kifejlesztése

A K&T Hardmetal Kft-vel együttműködve egy olyan, számítógépes vezérlésű berendezés kifejlesztését valósítottuk meg, amely elsősorban a térdizületi extenziós deficit leküzdésére alkalmas. A berendezéssel megvalósuló kezelés során a beteg ülő, vagy fekvő helyzetben a bokáját egy speciális saroktartóban alátámasztjuk, és az így felfüggesztett végtagot ciklikusan megemeljük/ejtjük. Az ejtés végpontját elérve a térdizület hátsó passzív rögzítő struktúráiban, illetve a fokozott izomtónusú térdhajlító izmokban egy nyújtó hatás lép fel. Ennek repetitív alkalmazása tapasztalataink alapján elősegíti a térdizület kívánatos teljes nyújtásának elérését (5. ábra).

A készülék megalkotásánál eredendően az alapvető cél a térdprotézis műtétet követő flexiós kontraktúra megelőzése, kezelése volt, azonban bebizonyosodott, hogy a cerebral pareticus betegeknek is kiváló eredménnyel alkalmazható. A 28 beteg bevonásával elvégzett klinikai vizsgálat eredményei alapján általánosságban elmondhatjuk, hogy az Ortinno Hip&Knee egy jól használható rehabilitációs berendezés, amely mindössze kéthetes kezelési idő alatt is már kedvező eredményeket hozott a kezelt betegek alsóvégtagi mozgástartományát illetően. Ezt mind a fizikális vizsgálatok, mind a *Diers 4D Motionlab* rendszerrel vett járásadatok is alátámasztják. Ami azonban még ennél is fontosabb, hogy szinte kivétel nélkül minden kommunikációképes beteg és ápolóik, szülei kedvező hatásokról számolnak be a berendezés kapcsán.⁹



5. ábra. Az Ortinno Hip&Knee használat közben és Csernátony professzor úr a készülék korai prototípusaival

3D TECHNIKÁK ORVOSI ALKALMAZÁSA

Egyedi implantátumok készítése

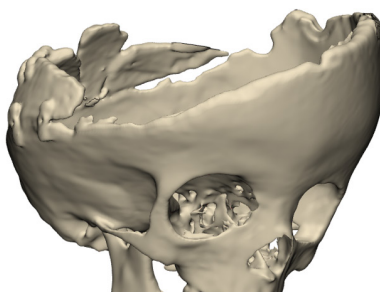
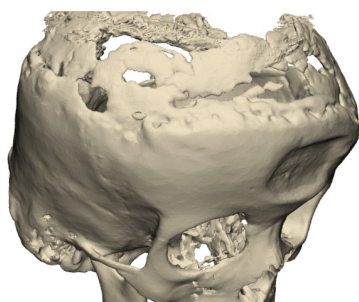
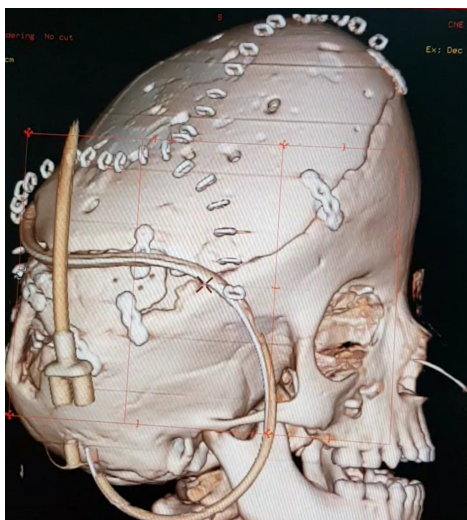
Laboratóriumunk 2005 óta készít egyedi *cranioplastica* csontcement implantátumokhoz szilikon öntőformákat.¹⁰ Talán a több mint száz eset során szerzett tapasztalatnak köszönhetően az a megtiszteltetés ért bennünket, hogy minket kértek fel a híressé vált bangladesi sziámi ikrek szétválasztását követő koponyarekonstrukciókhoz alkalmazott implantátumok megtervezésére, illetve az azokhoz szükséges eszközök legyártására (6. ábra).

Egyik fontos középtávú célunk, hogy egyedi implantátumgyártási tevékenységünket a titán

alanyaggal dolgozó *EOS M290* 3D nyomtatóra alapozva egy új szintre emeljük. Az orvostechikai eszközökre vonatkozó EU-s szabályozás szigorodása nem könnyíti meg ezt a folyamatot¹¹, de kialakulóban van a megoldás. A folyamat egyik első lépéseként 2022-ben bevezettük az ISO 13485 minőségirányítási rendszert implantátum előgyártmányok előállítására vonatkozóan (7. ábra).

Anatómiai modellsorozatok

Az egyes mozgásszervi elváltozások szemléltetése hagyományos módszerekkel nehézkes, sok esetben az elváltozás térbeli elhelyezkedésének, elrendezésének megértése kihívást

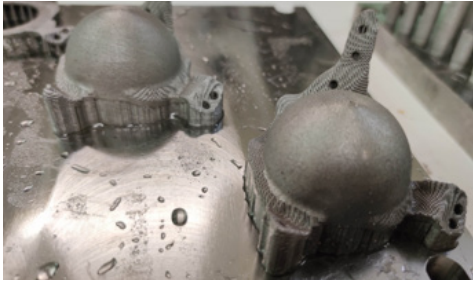


6. ábra. A sziámi iker projekthez készült 3D modellek, valamint az egyik műtétet követően készült CT 3D rekonstrukció

jelenthet, amihez jelentős segítséget adhat egy kézbe fogható, minden irányból megvizsgálható modell. Ennek a gondolatnak a jegyében készítettünk három elváltozás-klasszifikációhoz falra szerelhető tartóval rendelkező modellsorozatot (8. ábra).¹²⁻¹³

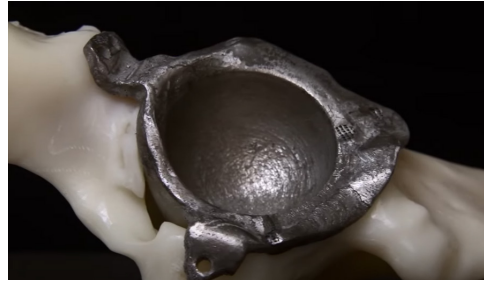
Egyedi célzóeszközök, sablonok készítése

2018 óta foglalkozunk olyan egyedi célzók és sablonok készítésével, amelyek segítségével az egyedi anatómiai viszonyokhoz igazodva biztosítható, hogy az intraoperatív fúrás vagy vágás pontosan a CT felvételek alapján, számítógépen előre megtervezett irányban és helyen történjen (9. ábra).¹⁴



Virtuális és kevert valóság

2021-ben óriási megtiszteltetés ért bennünket, amikor a világhírű Karikó Katalin, a 2021-es Debrecen Díj a Molekuláris Orvostudományért elismerés díjazottja az elismeréssel járó pénzösszeg felét Laboratóriumunknak ajánlotta fel. Az összegből egy *HoloLens2* „mixed reality” szemüveget vásároltunk, amely segítségével a legkorszerűbb módon jeleníthetők meg a virtuális térben lévő modellek, objektumok úgy, hogy azok a valós térhez adaptálódnak. Ezzel az eszközzel és az időközben beszerzett *Quest 2* VR szemüveggel egy olyan új terület nyílt meg a 3D alkalmazások területén, amely a jövőben akár az egyik fő



7. ábra. Ti6Al4V anyagból készült implantátum előgyártmány a nyomtatóplatformon és műanyag csontmodellre illesztve



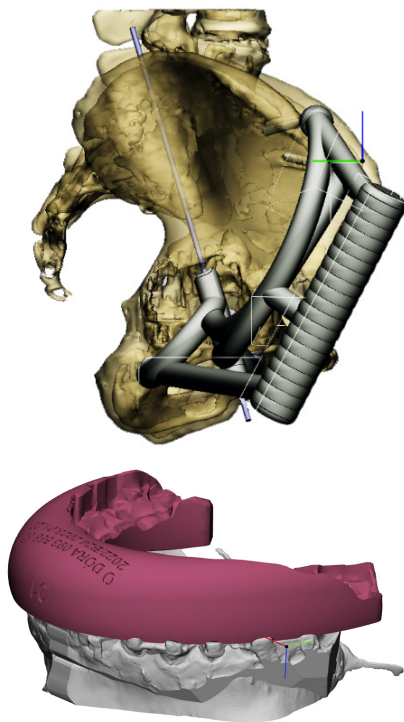
8. ábra. Láb és csípővápa rendellenességeket ábrázoló modellsorozatok

fókuszterületté válhat. Az ehhez elengedhetetlen szakemberek, a szoftverfejlesztők már rendelkezésre állnak, és ötletből sincs hiány, de a megvalósításához szükséges források felkutatása még jelenleg is zajlik.

ANYAG- ÉS SZERKEZETVIZSGÁLATOK

Fémhab fejlesztés

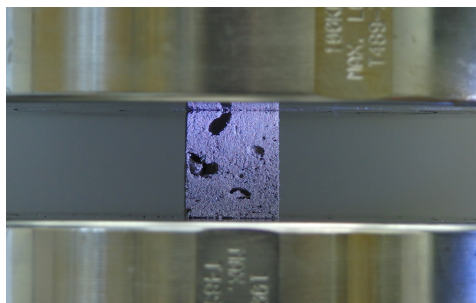
A Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszékével együttműködve fém alapanyagú habszerkezetek mechanikai tulajdonságait elemeztük. A projekt során különböző porozitású nyílt- és zártcellás nikkell, alumínium és titán habokat mértünk az anyagvizsgáló berendezéseinkkel. A mérésekkel többek között a platófeszültségek és a végelelemes szimulációkhoz szükséges Young moduluszok értékei kerültek kiszámításra (10. ábra).¹⁵⁻¹⁷



9. ábra. Medencére illeszkedő célzó és szájszészeti sín

3D nyomtatással készült anyagok mechanikai vizsgálata

Már a 2005-ben kezdődő időszaktól kezdve a 3D nyomtatás az egyik központi tevékenységévé vált a Laboratóriumnak. Az orvosi alkalmazások mellett azonban az alapanyagok mechanikai jellemzőinek feltárására is fordítottunk figyelmet. Egy nagyszabású vizsgálatsorozat keretében 11 különböző 3D nyomtatáshoz használt anyagot vettünk górcső alá. Hajlító-, húzó- és nyomóvizsgálatokat, valamint keménységmérést végeztünk minden anyaggal úgy, hogy három különböző orientációval nyomtattuk a próbatesteket. A statikus vizsgálatok mellett fárasztóvizsgálatot is végeztünk, ráadásul a különféle sterilizálások hatását is megnéztük az ezen vizsgálatokkal mérhető paraméterekre. Az eredményeket egy szabadon bővíthető, nemzetközi adatbázisban szeretnénk közzé tenni, ahová más szervezetek is feltölthetik saját vizsgálati eredményeiket.

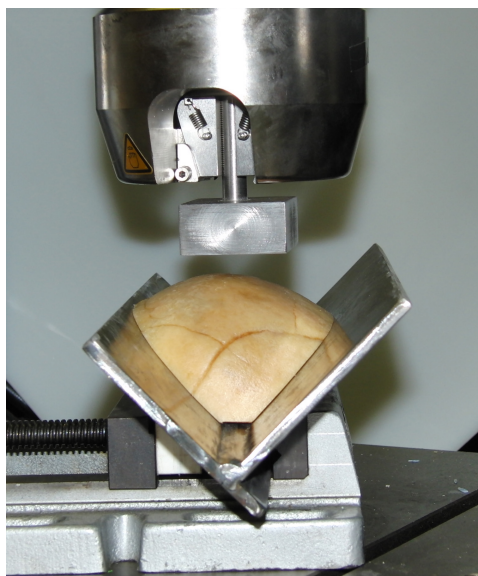


10. ábra. Fémhab nyomóvizsgálata és Polyjet technológiával készült nyomópróbatestek

Klasszikus biomechanikai vizsgálatok

Az alapanyag-specifikus vizsgálatokon kívül Laboratóriumunkban számos olyan mérés-sorozatot végeztünk az utóbbi évtizedekben, amelyek leginkább csontsebészeti implantátumokhoz voltak köthetők. Egyik ilyen kísérletünkben a csontcement koponyapótlások teherbírását értékeltük az ép koponyához képest (11. ábra), és arra jutottunk, hogy elegendő teherbírást biztosít, azonban túlterhelés esetén nem az egész koponya szakad be, hanem csak az implantátum.¹⁸ Végeztünk elég nagy számban az ASTM szerinti szabványos implantátumvizsgálatokat is, többek között gerincimplantátumok, csavarok, szegek csavarró- és hajlítóvizsgálatai tartoznak ide.

Egyedi implantátumok teherbírását is mértük többek között egy, a Premet Kft-vel közös projekt során. Itt különböző maxillofaciális titán konstrukciók értékelését végeztük nyomóvizsgálattal, amit végeeselemes számításokkal kombináltunk (12. ábra).



11. ábra. Koponyatető nyomóvizsgálata

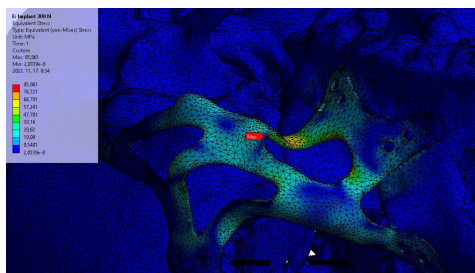
Egyéb aktivitások és a labor jövője

A fenti tudományos tevékenységek mellett a Laboratórium munkatársai oktatási tevékenységet is végeznek. Többek között a Biomechanika és *Biomechanics* kurzusokat tartják az Egészségtudományi Karon, valamint közreműködnek a Fogorvostudományi Karon a Digitális fogászat/*Digital dentistry* oktatásában.

Az elmúlt években, évtizedekben kialakított, jelenleg is aktív tudományos együttműködés tartunk fenn az alábbi szervezetekkel:

Partnereink a Debreceni Egyetemen

- Anatómiai Intézet
- Patológiai Intézet
- Igazságügyi Orvostani Intézet
- Gépészmérnöki Tanszék
- Mechatronikai Tanszék
- Radiológiai Klinika/Tanszék
- Arc-, Állcsont-, és Szájsebészeti Klinika/Tanszék



12. ábra. Egyedi implantátum végeeselemes modellezése és mechanikai vizsgálata

- Idegsebészeti Klinika/Tanszék
- Szilárdtest Fizika Tanszék
- Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék
- Komputergrafika és Képfeldolgozás Tanszék
- Biofizikai Intézet
- Kutatáshasznosítási és Technológiatranszfer Központ
- Sportdiagnosztikai, Életmód és Terápiás Központ (SET)
- Pécsi Tudományegyetem 3D Nyomtatási és Vizualizációs Központ
- Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet
- Magyar Honvédség Egészségügyi Központ (Honvédkórház)
- Magyar Biomechanikai Társaság
- Austrian Tribology Society
- AC²T research GmbH (Ausztria)
- Red Cross Hospital, Wuzhou (Kína)
- People's Hospital of Guigang City (Kína)

Egyetemen kívüli partnereink

- Varinex Zrt.
- Sanatmetal Kft.
- EMKI-cert Orvostechnikai Eszközminősítő Kft.
- Premedpharma Kft.
- Premet Kft.
- Metrimed Kft.
- Medimetal Kft.
- Duocor Zrt.
- K&T Hardmetal Kft.
- Isotoptech Zrt.
- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Biomechanikai Kooperációs Központ

Rendszeres résztvevői vagyunk a Kutatók Éjszakája rendezvénysorozatnak és az Egyetem tér programnak a Campus fesztiválon, ahol leginkább az orvosi és mérnöki terület sajátos találkozását mutatjuk be az érdeklődőknek. 2022-ben egy Mecenatúra pályázat keretében készítettünk egy ötrészes kisfilm-sorozatot, amelyben a 3D technikák orvosi alkalmazása áll a fókuszban a Laboratórium tevékenységei kapcsán. A videók a Youtube-on a *BM#3D* csatornán tekinthetők meg.¹⁹

A Laboratórium 2022 végén visszaköltözött az Ortopédiai Klinika alagsorába, a már szoká-



13. ábra. A Biomechanikai Laboratóriumnak 2024-től otthont adó Innovációs Központ (forrás: Építészfórum)

sosnak mondható ideiglenes jelleggel. Ezúttal azonban jelen állás szerint már csak egyetlen, utolsó költözés vár a Laborra, amikor is 2024 folyamán beköltözhet a Debreceni Egyetem Innovációs Központjának földszintjére, ahol világszínvonalú környezetben folytathatja munkáját (13. ábra). Ezzel a költözéssel még egy nagy változás is bekövetkezik, miszerint a még Csernátó professzor úr által elindított folyamat eredményeként 2024-ben már az Innovációs Ökoszisztéma Központ részeként

fogja folytatni tevékenységét a Laboratórium. Jelenleg még zajlik ennek az átszerveződésnek a kialakítása, de a tervek szerint a 2024-es év elején meg lesz a végleges felállás.

Igen izgalmas időszak előtt állunk tehát, amely sok változást tartogat, de feltett szándékunk a jövőben a körülményektől függetlenül is tovább vinni és gyarapítani a Biomechanikai Laboratórium elmúlt 30 évben kialakított szellemi örökségét.

A szerzők részvétele: M.S.: kézirat elkészítése, CS.Z.: koncepció, laboralapítás, laborvezetés, projektvezetés

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetet mondanak elsősorban a Laboratórium minden jelenlegi és korábbi dolgozójának, valamint minden PhD, TDK, diplomamunkás hallgatónak, partnereinknek, közreműködőinknek, akik elősegítették az elmúlt 30 év sikereit.

Összeférhetlenség: Nincs.

IRODALOM

1. Manó S. A Debreceni Egyetem Biomechanikai Laboratóriuma. *Biomech Hung.* 2011;4(1): 7-14.
2. Csernátó Z, Kovács ÁÉ, Csámer L, Zhang L, Manó S. Állatkísérleti modell kidolgozása rácsos mikroszerkezetű titán implantátumok értékelésére. *Biomech Hung.* 2020;13(1):17-28.
3. Kovács ÁÉ, Csernátó Z, Csámer L, Méhes G, Szabó D, Véres M, et al. Comparative analysis of bone ingrowth in 3D-printed titanium lattice structures with different patterns. *Materials.* 2023;16:1-16.
4. ASTM F1798 - 97(2008) Standard Guide for Evaluating the Static and Fatigue Properties of Interconnection Mechanisms and Subassemblies Used in Spinal Arthrodesis Implants. West Conshohocken, PA.2008.
5. Csernátó Z, Manó S, Tiba Z, Husi G, Jónás Z, Váradi T, Csámer L, Kovács ÁÉ. Critical analysis of in vitro stability testing of spinal implants and proposal for standardization. *Expert Rev Med Devices.* 2022 Mar;19(3):281-6.
6. Csernátó Z, Deák Á, Csámer L, Kovács ÁÉ, Soósné HH, Csukás D, Radovits T, Manó S. Javaslát a juh teherviselő csonton végzett csontpótló anyag vizsgálatának standardizált módszerére. *Biomech Hung.* 2021;14(2):66-73.
7. Árvai P, Forgács A, Manó S. Fém implantátumok okozta CT műtermékek csökkentése. *Biomech Hung.* 2020;13(1):39-47.
8. Manó S, Fegyverneki B, Csámer L, Csernátó Z. CT alapján rekonstruált 3D anatómiai modellek pontosságvizsgálata. *Biomech Hung.* 2023;16(2):43-58.
9. Csernátó Z, Manó S, Pálínkás J, Csámer L, Zhang L, Tasi K, Soósné HH. Az Ortinno Hip&Knee rehabilitációs berendezés hatékonyságának értékelése járásvizsgáló rendszerrel cerebrál paretikus betegek esetén. *Biomech Hung.* 2021;15(2):60-70.
10. Csámer L, Csernátó Z, Novák L, Kóvári VZ, Kovács ÁÉ, Soósné HH, Manó S. Custom-made 3D printing-based cranioplasty using a silicone mould and PMMA. *Sci Rep.* 2023 Jul 25;13(1):11985.
11. European Parliament the Council. Regulation (EU) 2017/745 on medical devices. 5 April 2017.
12. Kovács ÁÉ, Csernátó Z, Szabó D, Csámer L,

- Somoskeőy S, Manó S. Csípőízületi vápadefektus-klasszifikáció megjelenítése 3D nyomtatással készült modellek segítségével. *Biomech Hung.* 2022;15(2):43-8.
13. Kovács ÁÉ, Manó S, Csámer L, Somoskeőy S, Csernátó Z. Scoliosis klasszifikáció szemléltetése 3D nyomtatással előállított modellgyűjteménnyel. *Biomech Hung.* 2020;13(1):7-15.
14. Csernátó Z, Manó S, Szabó D, Soósné HH, Kovács ÁÉ, Csámer L. Acetabular revision with McMinn cup: development and application of a patient-specific targeting device. *Bioengineering (Basel).* 2023 Sep 18;10(9):1095.
15. Balogh G, Mankovits T, Manó S, Tóth L. Titán habok gyártási technológiájának áttekintése. In: Bodzás S, editor. *Műszaki tudomány az Északkelet Magyarországi Régióban 2015 konferencia előadásai.* Debrecen: 2015. p. 64-70.
16. Mankovits T, Varga T, Manó S, Kocsis I. Compressive response determination of closed-cell aluminium foam and linear-elastic finite element simulation of CT-based directly reconstructed geometrical models. *Strojniski Vestn.-J. Mech. Eng.* 2018;64(2):105-13.
17. Mankovits T, Budai I, Balogh G, Gábora A, Kozma I, Varga T, Manó S, Kocsis I. Structural analysis and its statistical evaluation of a closed-cell metal foam. *Int. Rev. Appl. Sci. Eng.* 2014;5 (2):135-43.
18. Manó S, Kovács K, Kovács ÁÉ, Csámer L, Csernátó Z. 3D nyomtatás és csontcement alapú cranioplastica mérése mechanikai szempontból. *Biomech Hung.* 2020;13(1):29-39.
19. Manó S, Törös I, Makovinyi T, Szakajda T, Csernátó Z, Csámer L et al. *BM#3D csatorna* [Internet] Debrecen: Debreceni Egyetem; 2022. Available from: www.youtube.com/@bm3d88