

**ÚJ CSONTPÓTLÓ ANYAG KIFEJLESZTÉSE ÉS
HATÉKONYSÁGÁNAK ELLENŐRZÉSE ÁLLATKÍSÉRLETEKKEL**

Szerzők:

Erdélyi Zsuzsanna
Medgyessy Ferenc Gimnázium, Művészeti
Szakgimnázium és Technikum
(Magyarország)

Kun Vanda
Medgyessy Ferenc Gimnázium, Művészeti
Szakgimnázium és Technikum
(Magyarország)

Első szerző e-mail címe:
erdelyi.zsuzsanna1320@gmail.com

Lektorok:

Borbélyné dr. Bacsó Viktória
Medgyessy Ferenc Gimnázium,
Művészeti Szakgimnázium és
Technikum (Magyarország)

Dr. Manó Sándor
Debreceni Egyetem Ortopédiai
Tanszék Biomechanikai
Laboratórium (Magyarország)

Gábor Éva
Medgyessy Ferenc Gimnázium,
Művészeti Szakgimnázium és
Technikum (Magyarország)

és további két anonim lektor...

Absztrakt

Az orvosi gyakorlat számos betegség esetén igényli a szervezet szöveteinek, szerveinek pótlását. Kutatási tevékenységünk a csontpótló anyag körüli csontbenövés mértékének megállapítására kínál innovatív digitális technológiai megoldást azzal, hogy a benövés mértékét CT felvételek alapján meghatározott felszívódási mérőszám alapján határozzuk meg. Az általunk javasolt módszer alkalmazásával számos esetben kiválthatóak lehetnek a költséges szövettani vizsgálatok.

Kulcsszavak: csontpótlás, CT, innováció

Diszciplinák: orvostudomány, biológia, fizika

Abstract*DEVELOPMENT OF A NEW BONE REPLACEMENT MATERIAL AND VERIFICATION OF ITS EFFECTIVENESS WITH ANIMAL EXPERIMENTS*

Medical practice requires the replacement of the body's tissues and organs in many diseases. Our research activity offers an innovative digital technology solution for determining the rate of bone growth around bone replacement material by determining the rate of growth based on an absorption metric determined from CT scans. Using the method, we suggest can be costly in many cases.

Keywords: bone replacement, CT, innovation

Disciplines: medicine, biology, physics

Erdélyi Zsuzsanna és Kun Vanda (2022): Új csontpótló anyag kifejlesztése és hatékonyságának ellenőrzése állatkísérletekkel. *Mesterséges intelligencia – interdiszciplináris folyóirat*, IV. évf. 2022/1. szám. 23-35. doi: 10.35406/MI.2022.1.23

Bevezetés

Az orvosi gyakorlat számos betegség esetén igényli a szervezet szöveteinek, szerveinek pótlását. A transzplantációs lehetőségek a potenciális donorok alacsony száma miatt nem tudják kielégíteni a jelentkező valós igényeket. Jelenleg a csontszövet és a szaruhártya betegségei, kóros állapotai igénylik a legnagyobb mennyiségben a szövetpótlást (v.ö.: Dimitriou, Jones, McGonagle és Giannoudis, 2011) (v.ö.: Eleiwa, Raheem, Patel, Berrocal, Grajewski és Shousha, 2020).

Kutatási tevékenységünkhöz kapcsolódó pályázati projekt a csontszövet és a szaruhártya szöveti pótlására alkalmas, új alapanyag összetételű és új szerkezetű mesterséges anyagok előállítására, valamint az előállításra alkalmas technológiák kidolgozására irányul. A csontszövet kutatás célja nem csupán a hiányzó részek mesterséges anyagokkal történő kiegészítése, hanem

olyan eredeti magyar fejlesztésű bioaktív csontpótló anyag kifejlesztése, amely képes a hiányzó csontállomány visszánövesztésére, megfelelő teherbírású, széles körben használható, miközben saját maga lebomlik.

A projekt eredményeként a csontpótlások esetén alkalmazható szemcsés állagú implantátum prototípus és a készítéséhez felhasználható anyagok kerülnek kifejlesztésre.

A keretprojekthez kapcsolódóan a jelen dokumentumban részletezett kutatási tevékenységünk a csontpótló anyag körüli csontnövés mértékének megállapítására kínál innovatív digitális technológiai megoldást azzal, hogy a benövés mértékét CT felvételek alapján meghatározott felszívódási mérőszám alapján határozzuk meg. Az általunk javasolt módszer alkalmazásával számos esetben kiválthatóak lehetnek a költséges szövettani vizsgálatok.

Célkitűzés

Az innovációs verseny keretében megvalósított kutatási tevékenységünk célkitűzései a következők:

- Irodalomkutatás a különféle csontpótló anyagok állatkísérletek során történő szövettani értékelésével kapcsolatban.
- A CT felvételek alapján történő 3D rekonstrukció különböző alkalmazási lehetőségeinek feltárása a projekt kapcsán.
- A csontpótló anyagszemcsék közé való csontbenövés mértékének meghatározására vonatkozó, általunk javasolt új digitális eljárás kidolgozása CT 3D rekonstrukció használatával.

Elméleti háttér

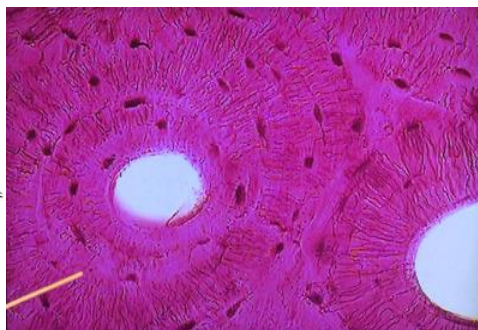
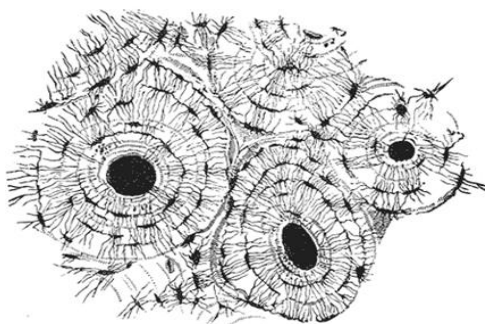
Csontszövet

A csontokat kívülről csonthártya borítja, ebben található a csontszövetet tápláló erek és idegek. A csontok külső részét tömör csontállomány alkotja. Itt figyelhető meg a jellegzetes csontszöveti szerkezet. A csontszövet 20%-ban vizet és 80%-ban

szárazanyagot tartalmaz. A csont nagyobb hányadát (65%) szervesen állomány adja, és csak kisebb részét (35%) szerves állomány. A csontsejtek szilvamag alakúak, sok apró nyúlvánnyal hálózatot alakítanak ki egymással. A csontszövet egységei az úgynevezett oszteonok, melyek koncentrikus körökben elhelyezkedő csontsejtekből, valamint a köztük lévő sejtközötti állományból állnak (1. ábra). A csont folyamatosan átalakul, megújul. A szervesen és szerves anyagokat, valamint csontsejteket úgynevezett csontépítő sejtek képezik. A régebbi részek leépítését pedig csontfaló sejtek végzik. A csont egyben szilárd, teherbíró és rugalmas is. A sejtközötti állományt szerves és szerves anyagok építik fel.

A szervesen állományban kalcium- és magnéziumsók találhatóak. A szerves állományt összetett szénhidrátok és fehérjékrostok (kollagénrostok) adják. A csont rugalmasságát tehát a szerves anyagok, merevségét a szerves anyagok biztosítják (v.ö: Florencio-Silva, Sasso, Sasso-Cerri, Simões és Cerri, 2015).

1. ábra. A csontszövet felépítése rajzon és mikroszkópos felvételen szemlélítve. (Forrás: Wikivand)



Csontpótló anyag

Egy új eljárás kidolgozásakor szükséges tisztában lenni a jelenleg használatos anyagokkal, technikákkal, ezért a szakirodalmi áttekintés elmaradhatatlan. A csontpótló anyagok leírására több definíció is létezik, de talán a legegyszerűbb meghatározás a következő:

Minden olyan anyagot, amely trauma vagy atrófia következtében elvesztett természetes csontszövet átmeneti helyettesítésére, pótlására szolgál, csontpótló anyagoknak nevezünk.

Napjainkban a csontpótló anyagok alkalmazásakor már nem csak csonthiány pótlása az elsődleges cél, hanem a szövet regenerálásának elősegítése. Főként az ortopédiai, traumatológiai, plasztikai sebészetben, valamint a fogászatban és szájszészetben alkalmazzák őket (v.ö.: Deev, Drobyshev és Bozo, 2015). A jelenlegi csontpótló anyagok közös jellemzője, hogy beültetésük osteoclast (csontfaló sejt) aktivitást indukál (elősegíti), amit pedig osteoblast (csontépítő sejt) tevékenység fog követni. A csontképződés egy szervetlen anyagból álló váz mentén zajlik, amit osteoconductionnak hívunk.

Az optimális csontpótló tulajdonságai

Orvosi-biológiai szempontból:

- nincs allergizáló hatása, szövetbarát;
- egyszerre teljesen, hogy...
 - osteoconductive (mechanikai támaszként, vezető vázként szolgál)

- osteoinductive (a mechanikai támaszon kívül bioaktív anyagok serkentik a csontképzést)
- bioinert (nem vált ki szöveti reakciót, oldódása közben nem keletkeznek toxikus melléktermékek)
- teljesen átépül;
- jó a teherviselése;
- pH-semleges.

Gazdasági szempontból:

- könnyen, egyszerűen, olcsón és nagy mennyiségben hozzá lehet jutni.

A projekt során kifejlesztett új csontpótló anyag előnyei

A kutatásunkban a világ egyik legmodernebb technikai eredményeit, az aerogéleket használjuk bioaktív mátrixként, amely a csontbenövésnek kedvező környezetet teremt a 2 mm átmérőjű és 2 mm magas henger alakú szemcsék közötti rések révén (2. ábra).

Az aerogél nagyon alacsony sűrűségű, szilárd anyag, amely gélből származik, a folyékony komponenst gáz-nemű anyaggal cserélve ki. Az eddig ismert legalacsonyabb sűrűségű, szilárd anyagnak tartják, amely számos különleges fizikai tulajdonsággal bír (v.ö.: Nita, Ghilan, Rusu, Neamtu és Chiriac, 2020). Az anyag több alkotóelemből áll, amelyek osteoinductive, osteoconductive és osteogen hatással is bírnak. Mindezek mellett olyan tulajdonságaik is szerephez juthatnak, melyeket eddig még nem sikerült teljesen kiaknázni. A szemcsékben a pórusméretek néhány tíz nanométertől néhány mikronig terjednek.

2. ábra. A kifejlesztett új csontpótló anyag (balra) és a Cerasorb M (jobbra). (Forrás: Debreceni Egyetem Ortopédiai Tanszék Biomechanikai Laboratórium)



További előnye lehet még az a tulajdonsága, hogy gyógyszerekkel, antibiotikumokkal átítható, amelyek kioldódásának szabályozása olajos, vagy egyéb hordozók alkalmazásával jelenleg kidolgozás alatt áll.

Új magyar technológiánk egyedülállóságát a következő jellemzőkben látjuk:

- a drága import anyagok kiváltási lehetősége;
- az anyagban lévő pórusok méretének, ezzel együtt az átjárhatóságnak széles tartományban történő beállíthatósága;
- megsemmisülő pórusképző rácsoszat segítségével akár hajlított vonalvezetésű szabályos csatornahálózat kialakításának lehetősége;
- fluoreszcens anyaggal való jelölhetőség;

- gyógyszer hatóanyag szállításának és kontrollált leadásának lehetősége.

Az anyagok kifejlesztése, előállításuk az ott kidolgozott, védett technológiával a Debreceni Egyetem Szeretlen és Analitikai Kémiai Tanszékén történt (v.ö.: Lázár, Manó, Jónás, Kiss, Fábrián és Csernátony, 2010) Az eddigi kísérletek alapján a legalkalmasabb anyagnak a *mezo+makropórusos HA+TCP+szilika aerogél kompozitok* bizonyultak. A szintézis során báziskatalizálta szol-gél technikával hidroxipapatitot és β -trikalcium-foszfátot, valamint porogén anyagokat tartalmazó szilika alkogéleket, majd azokból szuperkritikus körülmények között aerogél kompozitokat állítottak elő, amelyek kémiai összetétele az 1. táblázatban olvasható.

1. táblázat. Az aerogél kompozitok tipikus összetétele. (Forrás: Szerzők)

Összetevő	Tömeg (%)
Szilícium-dioxid (SiO_2)	55,0
Kalcium-foszfát ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)	22,5
Hidroxi-apatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$)	22,5

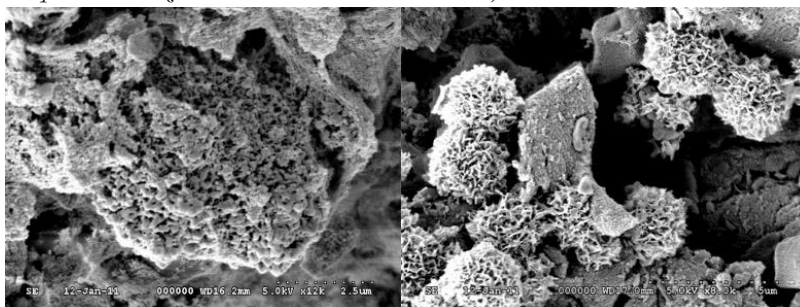
Kidolgoztak egy olyan eljárást, amely segítségével néhány milliméter átmérőjű monolitikus hengereket tudnak létrehozni. A belőlük 1000 °C-os hőkezeléssel keletkezett, átlagosan 1,80 mm átmérőjű hengeres monolitok tulajdonságait nyomószilárdság méréssel, folyadék impregnációs eljárással, valamint pásztázó elektronmikroszkópia (Scanning Electron Microscope, SEM) technikával vizsgálták (3. ábra). Megállapították, hogy az anyag nyomószilárdsága 16 MPa-nál nagyobb, és bizonyították, hogy a folyadékokra történő átjárhatóság, valamint a mezo- és makropórusos szerkezet a hőkezelés után is megmarad.

A fentiek szerint előállított aerogél kompozitok tehát megfelelő mechanikai szilárdsággal, porozitással és kémiai összetétellel rendelkeznek ahhoz, hogy gyorsan meginduljon a felületükön a biokompatibilitás első kritériumának tekintett hidroxi-apatit réteg képződése. A hidroxi-apatit réteg keletkezését szimulált testfolyadékkal (Simulated Body Fluid, SBF), azaz a vérplazma kémiai összetételével döntő részben megegyező ionösszetételű, pufferelt oldattal vizsgálták.

Mivel csak olyan anyagok felületén történik SBF-ben foszfát kiválás, amelyek az élő szervezetben uralkodó körülmények között is alkalmasak a felületi hidroxi-apatit réteg létrehozására, az anyag alkalmasnak bizonyult az állatkísérleteknél történő felhasználásra.

Mivel csak olyan anyagok felületén történik SBF-ben foszfát kiválás, amelyek az élő szervezetben uralkodó körülmények között is alkalmasak a felületi hidroxi-apatit réteg létrehozására, az anyag alkalmasnak bizonyult az állatkísérleteknél történő felhasználásra.

3. ábra. Csontpótló SEM (Scanning Electron Microscopy) képe. Jobb oldalon: a minta Simulated Body Fluid-ban (8000x-es nagyítás), bal oldalon: natúr minta (12000x-es nagyítás). SBF kezelés hatására jól látható, lemezes telepekből álló hidroxi-apatit réteg képződött a felületen. (Forrás: Debreceni Egyetem Ortopédiai Tanszék Biomechanikai Laboratórium)



Az állatkísérletek során alkalmazott kereskedelmi forgalomban jelenleg kapható kontroll csontpótló anyag

A Cerasorb M (Curasan, New York, USA) tiszta β -trikalcium-foszfátból készült csontpótló anyag. A biomimetikus csontgraft, egyedi összekapcsolódó porozitással teszi lehetővé az anyag teljes felszívódást, miközben új csontszövetet hoz létre. Az összekapcsolódó mikro-, mezo- és makropórusok támogatják a vér és a folyadékok kapilláris hatását, az oszteogén sejtek mély behatolását és a szintetikus mátrix csontosodását.

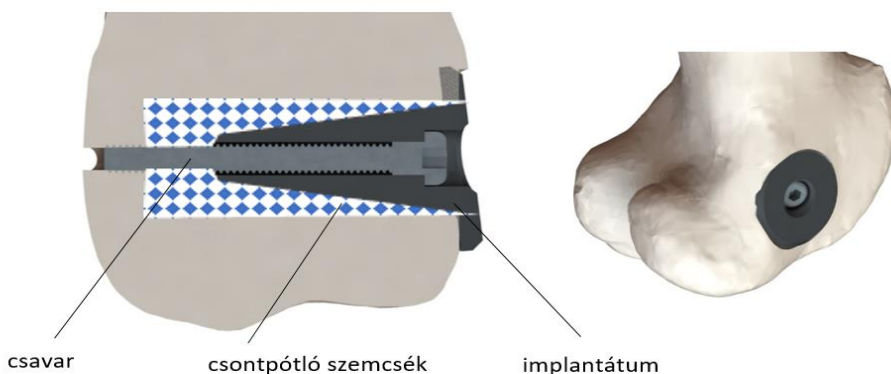
A durva felület tökéletes támaszt biztosít az oszteoblasztok növekedéséhez, az angiogenezishez és az érrendszerhez. Alacsony térfogatsűrűség mellett a támasztékot minimális felszívódó anyaggal tartják fenn. Mind a külső, mind a belső pórusfelületekből felszívódik, lehetővé téve a reszorpciót ugyanolyan új csontképződési sebesség mellett.

A szabálytalan alakú szemcsék megkönnyítik a reteszelést, fokozzák a mechanikai stabilitást, és nagymértékben kizárják a mikro mozgásokat (4. ábra). nagy elsődleges részecskeméret és az optimális szintelés megakadályozza a mikrorészecskékbe történő idő előtti szétesést, amely makrofág-aktivitást válthat ki (Peters, Bahrini és Plach, 2020).

CT képalkotás

A Komputertomográfia (Computed Tomography, CT) a hagyományos röntgenfelvételek továbbfejlesztett változata, amely vizsgálat során a hagyományos szummációs képek helyett metszeti felvételesorozatok készülnek a betegről egy forgó röntgencső és detektor segítségével. Ezek a képsorozatok alkalmasak arra, hogy a különböző anatómiai struktúrákat térben rekonstruáljuk.

4. ábra. Metszeti és 3D modell vázlat a műtét során beültetett implantátumokról. (Forrás: Szerzők)



Anyagok és módszerek

Ahhoz, hogy az újonnan kifejlesztett csontpótló anyag hatékonyságát ellenőrizzük, illetve, hogy egy meglévő csontpótló anyaggal össze tudjuk hasonlítani, állatkísérleteket végeztünk. A kutatásban szereplő állatkísérletek során a kifejlesztett csontpótló anyagot 2 mm átmérőjű és 2 mm magas szemcsék formájában juh femur condylusba fúrt 12 mm átmérőjű üregbe juttatjuk, és egy kúp alakú kompressziós implantátummal, az implantátumot egy átmenő corticalis csavarral rögzítjük.

Két csoportot alakítottunk ki.

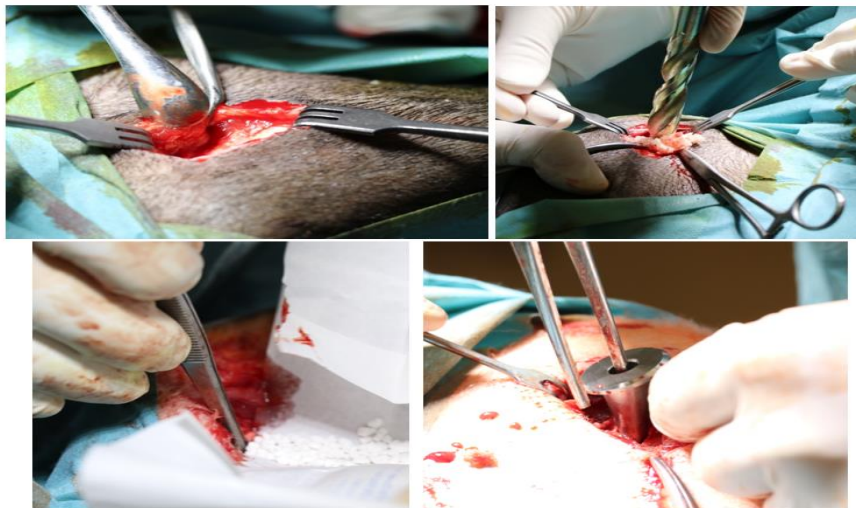
- Az *első csoport* esetén az egyik oldalon a kipróbálásra szánt csontpótló anyag implantátummal, a kontroll oldalon

pedig egy már forgalomban lévő humán csontpótló anyag implantátummal kerül behelyezése.

- A *második csoport* esetén az egyik oldalon a kipróbálásra szánt csontpótló anyag az implantátummal, míg a kontroll oldalon csak az implantátum kerül behelyezésre, csontpótló anyag nem.

A 12 mm átmérőjű furat feltöltése a csontpótló anyagszemcsékkel (1. csoport mindkét oldal és 2. csoport egyik oldal), majd a speciális implantátum behelyezése (1., és 2. csoport mindkét oldal) az elkészített furatba vezetve, amely a femur condylus belsejében a kontrolláltan felsértett csontállományhoz préseli a csontpótló anyagot (5. ábra).

5. ábra. Műtéti pillanatképek (2020 október) A: feltárás, B: a furat kialakítása, C: a csontpótló szemcsék furatba juttatása, D: az implantátum elhelyezése. (Forrás: Debreceni Egyetem Ortopédiai Tanszék Biomechanikai Laboratórium)



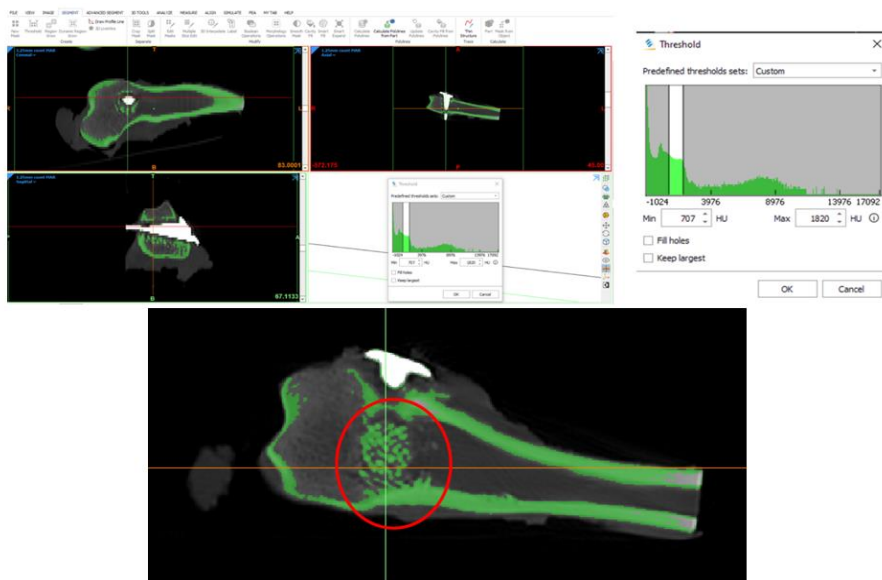
CT feldolgozás

Az állatoknak az implantátumokkal együtt eltávolított femur condylusait a beültetést követően 2 és 4 hónap után vizsgáltuk. Ennek érdekében nagyfelbontású (0,625 mm szelettávolságú) CT felvételek készültek a Debreceni Egyetem Radiológiai Klinika Lightspeed CT típusú berendezésével (GE Healthcare, Chicago, USA). A fém implantátumok által okozott artefaktumok csökkentésére MAR (Metal Artefact Reduction) algoritmust alkalmaztak. Ötletünk azon alapult, hogy a CT felvételeken 3D rekonstrukcióval azt vizsgáljuk meg, hogy a szervezetbe juttatott csont-

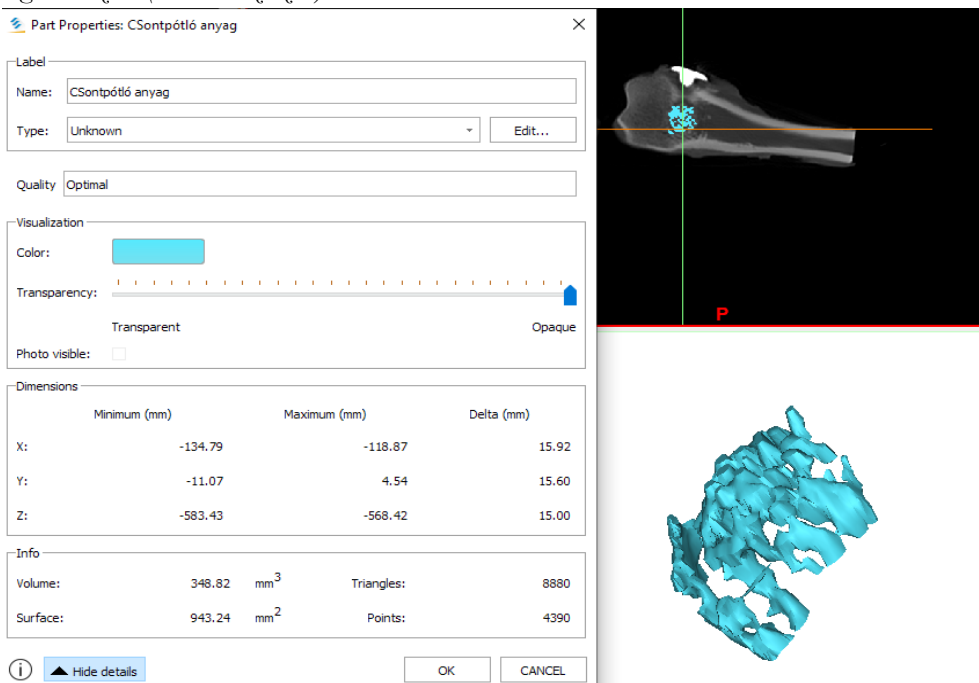
pótló anyagból mennyi térfogatú anyag van még jelen ahhoz képest, amennyi bekerült. Ezzel meghatározható a felszívódás mértéke, aránya. A feldolgozás első lépéseként a speciálisan CT 3D rekonstrukcióra fejlesztett Mimics Innovation Suite (Materialise, Leuven, Belgium) szoftverbe a CT felvételeket beolvasva kijelöltük a csontpótló anyagnak megfelelő sűrűség tartományt, majd azok helyének azonosítása következett (6. ábra).

A csontpótló szemcsék 3D modelljét a csontszövet eltávolításával kaptuk meg, amelynek a térfogatát a szoftver pontosan meghatározta (7. ábra).

6. ábra. A Mimics Innovation Suite szoftverben a CT felvételek beolvasása után, a csontpótló anyagnak megfelelő sűrűség tartomány kijelölése és helyének azonosítása. (Forrás: Szerzők)



7. ábra. A csontpótló szemcsék 3D modellje a csontszövet eltávolítása után, illetve a térfogat meghatározása (Forrás: Szerzők)



A felszívódott anyag mennyiségét az ismert eredetileg bejuttatott térfogat és a 3D rekonstrukció során mért térfogat különbségeként kapjuk.

$$V_f = V_0 - V_m$$

Százalékos aránnyal kifejezve:

$$V_{f\%} = \frac{V_0 - V_m}{V_0} \cdot 100\%$$

Ahol

- V_f : felszívódott térfogat
- $V_{f\%}$: felszívódott térfogat százalékos aránya

- V_0 : kiindulási térfogat (a beültetett anyagmennyiség)
- V_m : a 3D rekonstrukció után mért térfogat (megmaradt anyagmennyiség)

A felszívódott térfogat aránya egy olyan kvantitatív mennyiség, amely hipotézisünk szerint utal a beépülés mértékére.

Ennek igazolására azonban szükséges a beépülés mértékét egy másik független módszerrel, a hasonló esetekben rutinszerűen alkalmazott szövettani vizsgálattal meghatározni.

Validálás szövettani vizsgálattal

Az új módszer, illetve a hipotézisünk ellenőrzése érdekében szövettani vizsgálatot hajtunk végre. Amennyiben van összefüggés a CT felvétel alapján kapott érték (a felszívódás mértéke) és a szövettani érték (a csontbenövés mértéke) között, a szövettani vizsgálatot ki lehetne váltani CT 3D rekonstrukcióval. Vizsgálataink az újabb gyakorlatban alkalmazható csontpótló anyag kifejlesztésén túl más jelentőséggel is bírhatnak. A csontban maradó és a felszívódott csontpótló anyag mennyiségi összefüggésének definiálása után már az alkalmazás során nem lesz szükség időigényes, bonyolult és költséges hagyományos vizsgálatokra, elég lesz a CT felvételek elkészítése. Ez rengeteg idő és pénz megtakarítását eredményezi. Valamint nem utolsó sorban az élő emberben is végig lehet követni a csontpótló anyag felszívódásának folyamatát.

A folyamat jelenlegi állapota

A projekt jelenlegi szakaszában az állatkísérletek 2. és 4. hónapot követő mintavételei megtörténtek. Ezeknek a mintáknak rendelkezésre állnak a CT felvételei, amelyeknek a fentiek szerinti 3D rekonstrukcióját a 6. és 7. ábrákon látható módon hajtottunk végre. A tényleges csontbenövés értékelésére és a két csontpótló anyag összehasonlítására elvégzendő szövettani vizsgálatok még folyamatban vannak, eredmény 2021 szeptemberére várható. A projekt során arra számítottunk, hogy az újonnan kifejlesztett csontpótló

szemcsék közötti rések olyan támasztékot és üregrendszert biztosítanak, amelybe a csont belenő, majd a növekedéssel egy időben a csontpótló szemcsék felszívódnak és végül a teljes üreg csonttal lesz benőve. Kutatásunk során sikerült egy olyan módszert kidolgozni, amely azon a hipotézisen alapul, hogy a csontbenövés mértéke a CT felvételek 3D rekonstrukciója alapján készült felszívódási arányszámmal jellemezhető. A szövettani feldolgozás jelenleg folyamatban van. Ennek eredménye alapján lehet majd validálni az új módszert, azaz meghatározni, hogy a felszívódás és a csontbenövés között jelen kísérletben állapítható-e meg egyértelmű kapcsolat. Ha igen, akkor a CT 3D rekonstrukción alapuló módszer lényegesen egyszerűsítheti a csontbenövés mértékének megítélését, ezzel jelentős pénzt és időt takarítva meg.

Összefoglalás

Az orvosi gyakorlat számos betegség esetén igényli a szervezet szöveteinek, szerveinek pótlását. A transzplantációs lehetőségek a potenciális donorok alacsony száma miatt nem tudják kielégíteni a jelentkező valós igényeket. Jelenleg a csontszövet és a szaruhártya betegségei, kóros állapotai igénylik a legnagyobb mennyiségben a szövetpótlást.

Pályázati projektünk a csontszövet és a szaruhártya szöveti pótlására alkalmas, új alapanyag összetételű és új szerkezetű mesterséges anyagok hatékonyságának ellenőr-

zésére alkalmas technológia kidolgozására irányul.

A vizsgálat során a csontpótlások esetén alkalmazható szemcsés állagú implantátum prototípus és a készítéséhez felhasználható anyagok kerültek ellenőrzésre. Kutatási tevékenységünk a csontpótló anyag körüli csontbenövés mértékének megállapítására kínál innovatív digitális technológiai megoldást azzal, hogy a benövés mértékét CT felvételek lekövetésével 3D rekonstrukcióval meghatározott felszívódási mérőszám alapján határozzuk meg. Az általunk javasolt módszerrel számos esetben kiválthatóak lehetnek a költséges szövettani vizsgálatok.

Eredményeink: A jelen lévő csontpótló anyag térfogatának meghatározása alapján kiszámítható a felszívódott anyag aránya is, ami a CT felvételek szerint összefüggésben van a csontbenövés mértékével. Az általunk elemzett CT felvételek bizonyítják, hogy egy olyan új digitális technológiai eljárást biztosíthatunk az orvosok és fizikusok számára, ami kiválthatja a költséges és hosszadalmas szövettani elemzéseket. Az analóg folyamat leegyszerűsödik CT felvételek készítésére és azok 3D rekonstrukciójára. Ezzel pénzt és időt spórolhatunk, sőt a szövettani feldolgozásnál jóval egyszerűbb, könnyen megtanulható, különösebb szakértelmet nem igénylő, ugyanakkor pontos módszer állhat rendelkezésre a csontbenövés mértékének megítélésére. Módszerünkkel a gyógyítási folyamat lerövidül, hamarabb javulhat a betegek életminősége, és a folyamathoz köthető

társadalombiztosítási kiadásokból is lefaraghatunk.

Köszönetnyilvánítás

Minden információ, ami a cikkben szerepel, korábban előadásra került a 30. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató Versenyen, valamint a Tudományos Diákkörök XXI. Kárpát-medencei Konferenciáján (TUDOK 2021), Élet- és Környezettudományi szekcióban. A cikk létrejöttét a Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centrum Ortopédiai Klinika Biomechanikai Laboratóriumának dolgozói segítették. A Szerzők ezúton köszönik mind az említett rendezvények szervezőinek, mind a laboratórium munkatársainak segítő hozzáállásukat!

Irodalom

- Dimitriou, R., Jones, E., McGonagle, D. & Giannoudis, P.V.(2011): Bone regeneration: current concepts and future directions. *BMC Medicine* 9, 66. DOI 10.1186/1741-7015-9-66
- Eleiwa, T., Raheem, M., Patel, N. A., Berrocal, A., Grajewski, A. & Shousha, M.A. (2020): Case Series of Brittle Cornea Syndrome. *Hindawi* ID 4381273. DOI 10.1155/2020/4381273
- Florencio-Silva, R., Rodrigues da Silva Sasso, G., Sasso-Cerri, E., Simões, M.J. & Cerri, P. S. (2015): Biology of Bone Tissue: Structure, Function, and Factors That Influence Bone Cells.

- Hindawi* ID 421746. DOI
10.1155/2015/421746
- Deev R. V., Drobyshv A. Y., Bozo I. Y. (2015): Ordinary and Activated Bone Grafts: Applied Classification and the Main Features. *Hindawi* ID 365050. DOI 10.1155/2015/365050
- Nita, L. E., Ghilan, A., Rusu, A.G., Neamtu, I. & Chiriac, A.P. (2020): New Trends in Bio-Based Aerogels. *MDPI* 12, 449. DOI 10.3390/pharmaceutics12050449
- Lázár, I., Manó, S., Jónás, Z., Kiss, L., Fábián, I. & Csernátóy. Z. (2010): Mesoporous silica-calcium phosphate composites for experimental bone substitution. *Biomechanica Hungarica* 2010;3(1):151-8. DOI 10.17489/biohun/2010/1/18
- Peters F., Bahrini K., Placht A. M (2020): Loading and controlled release of antibiotics from biomaterials for bone regeneration. *Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis* 9, 1 (2020). Web: https://www.implantcast.de/fileadmin/user_upload/Cerasorb_and_antibiotic_release.pdf