

A CBCT képalkotó megbízhatóságának vizsgálatai

Doktori tézisek

dr. Szabó Bence Tamás

Semmelweis Egyetem
Klinikai orvostudományok Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Dobó Nagy Csaba, Ph.D., egyetemi tanár

Hivatalos bírálók: Dr. Altdorfer Károly, Ph.D., egyetemi docens
Dr. Baráth Zoltán, Ph.D., egyetemi docens

Szigorlati bizottság elnöke: Dr. Somogyi Anikó, DSc., egyetemi tanár

Szigorlati bizottság tagjai: Dr. Fehér Erzsébet, DSc., egyetemi tanár
Dr. Angyal János, Ph.D., egyetemi adjunktus

Budapest
2019

1. Bevezetés

A dentomaxillofaciális régiót érintő beavatkozások sikerességének alapját képezi a vizsgált terület anatómiai viszonyainak pontos és részletes ismerete. A kiegészítő diagnosztikai vizsgálatok közül a röntgensugárzást alkalmazó képalkotó eljárásokat széles körben használják. A több mint száz éves múlttal rendelkező kétdimenziós radiológiai módszerek mellett egyre növekvő tendenciát mutat a háromdimenziós képalkotási módszerek alkalmazása, amely a vizsgálatot kérő orvos számára lehetővé teszi az adott anatómiai struktúra térbeli megjelenítését a tér adott síkjában.

Az első orvosi számítógépes tomográf készülék (computed tomography, CT) 1972-ben történő bemutatása óta alkalmazzák a háromdimenziós felvételi technikát a maxillofaciális régióban. Elsőként Mozzo és mtsai. ajánlották közleményükben a kúp alakú sugárnyalábot alkalmazó CT (cone-beam CT, CBCT) berendezést a fogászati képalkotásban alkalmazható modalitásként és azóta is számos publikáció foglalkozik a CBCT alkalmazási lehetőségeivel, mint például az endodontiai, implantológia, orthodontiai beavatkozások során és egyéb területeken, mint például fül-orr-gégészeti és koponyaalapi vizsgálatok során.

A CBCT felvétel készítése a páciens számára alacsonyabb sugárterheléssel jár és nagyfelbontású képanyag elkészítését teszi lehetővé a konvencionális CT berendezésekkel szemben. A CBCT készülék nem legyező alakú, hanem divergáló, kúp alakú sugárnyalábot használ és átlapolásoktól mentes képeket rögzít. A tárolt képanyagból a készülék szoftvere rekonstruált képsorozatot állít elő, amely az adott képnéző szoftver segítségével különböző síkokban értékelhető. Ugyanakkor

ezen előnyök mellett - mint minden új módszer bevezetésekor - igazolnunk kell a CBCT modalitás megbízhatóságát akár *in vitro* akár *in vivo*. Erre lehetőséget biztosíthat egyes anatómiai struktúrák összehasonlító radiológiai vizsgálata vagy akár a képminőséget meghatározó térbeli felbontás kvantitatív mérése is olyan modalitásokkal, amelyek széles körben elfogadottá váltak egyfajta referenciaként. Az irodalomban jelenleg korlátozott számban érhetőek el olyan közlemények, amelyek a CBCT felvételi technika alkalmazásával a fogak gyökércsatorna rendszerének teljes hosszában történő képi megjelenítésének megbízhatóságát vizsgálják mikro-komputertomográfiás (micro-computed tomography, mikro-CT) berendezés segítségével, illetve olyan publikációk, amelyek a CBCT és CT felvételi technikák összehasonlító vizsgálatával foglalkoznak a fej-nyaki régióban.

2. Célkitűzések

2.1. Gyökércsatorna rendszerek képi megjelenítése

- 2.1.1.** Van-e összefüggés CBCT röntgenberendezések voxel mérete és a gyökércsatorna teljes hosszának végig követhetősége között?
- 2.1.2.** A CBCT felvételeken a résztérfogat-hatás (partial volume effect, PVE) befolyásolhatja-e a gyökércsatorna apicalis harmadának megjelenítését?
- 2.1.3.** Különbféle CBCT berendezéssel készült gyökércsatorna rendszerek leképezése esetében alkalmazható-e a mikro-CT, mint validáló modalitás?

2.2. Paranasalis sinusok volumetria mérése

- 2.2.1.** CBCT-vel készült háromdimenziós képhalmaz megbízható információt nyújt-e a paranasalis sinusok volumetria mérése során, annak függvényében, hogy a képhalmaz CBCT vagy több detektorsoros CT (multi-detector CT, MDCT) berendezéssel készült?
- 2.2.2.** Van-e különbség az InVivo 5.1.2. szoftver félautomata vagy kézi móddal lefuttatott volumetria kiértékelése során a paranasalis sinusok térfogatértékei között annak függvényében, hogy a képhalmaz CBCT vagy MDCT berendezéssel készült?
- 2.2.3.** Tapasztalható-e különbség az InVivo 5.1.2. szoftver félautomata móddal és a kézi móddal

kiértékelt háromdimenziós felvételek
térfogatadatai között?

2.3. CBCT és mikro-CT térbeli felbontásának összehasonlító vizsgálata

2.3.1. Megbízható-e a CBCT modalitás
szubmilliméteres anatómiai struktúrák
leképezése esetében?

2.3.2. A mikro-CT, mint modalitás alkalmazható-e a
CBCT berendezéssel készült szubmilliméteres
anatómiai struktúrák leképezésének
validálására?

3. Módszerek

3.1. Gyökércsatorna rendszerek képi megjelenítése

Vizsgálatunk során három nőstény majom (*Macaca fascicularis*) koponyáról készítettünk CBCT felvételt négy különböző berendezés segítségével: Planmeca ProMax 3D smart (Planmeca Oy, Helsinki, Finnország), Classic i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, Egyesült Államok), NewTom VG (Quantitative Radiology s.r.l., Verona, Olaszország) és Kodak 9000 3D (Carestream Health, Rochester, NY, Egyesült Államok). Az expozíció során az adott készülékkel elérhető lehető legkisebb voxelméretet állítottuk be: 100 μm izotrópikus voxel méretet a Planmeca ProMax 3D (84 kV, 10 mA), 250 μm izotrópikus voxel méretet az i-CAT Classic (120 kV, 36 mA), $100 \times 100 \times 150 \mu\text{m}$ nem izotrópikus voxel méretet NewTom VG (110 kV, 0,50 mA) és 76 μm izotrópikus voxel méretet a Kodak (70 kV, 10 mA) berendezés esetében. Az egyes készülékeknél elérhető szoftveres képjavító funkciókat (pl. fém műtermék eltávolító, adaptív zajszűrő) inaktiváltuk.

A CBCT felvételeken a gyökércsatorna rendszerek kiértékelését három független megfigyelő végezte a tér három síkjában coronapicalis irányban az adott CBCT készülékhez tartozó gyári képnéző szoftver segítségével. A kiértékelést végzők közül ketten több mint tíz éves tapasztalattal rendelkeztek az endodontia és a fogászati radiológia területén. A három majom koponya bal felső második és harmadik molaris fogak mesiobuccalis és distobuccalis, valamint a bal alsó második és harmadik molaris fogak mesialis gyökércsatornáit (összesen 12 molaris, 24 gyökércsatorna és egy járulékos csatorna) értékeltük. A legapicalisabb szintet, ahol a gyökércsatorna

lumene látható volt a CBCT képszekvencián, referenciaszintként (reference level, RL) használtuk és a kiértékelő az apex és RL közötti távolságot rögzítette az adott képnéző szoftver lineáris mérőeszközével. A gyökércsatornák vizsgálata során a megfigyelő utólag javíthatott (posztprocesszálás) a rekonstruált képanyag minőségén, lehetősége volt például állítani a fényerőt, kontrasztot és a jobb megjelenítés érdekében mozgathatta a leképezett térfogatot. Az interobszerver megbízhatóság ellenőrzéséhez meghatároztuk az osztályon belüli korrelációs koefficiens (intra-class correlation coefficient, ICC).

A CBCT felvételek elkészítése után a második és harmadik molarisokat tartalmazó csontpreparátumokat szkenneltük SkyScan 1172 mikro-CT (SkyScan, Kontich, Belgium) készülék segítségével 17 μm izotrópikus voxel mérettel, illetve 70 kV csőfeszültség, 141 μA csőáram, 4s expozíciós idő és 0,5 mm alumínium szűrő beállítása mellett. A mikro-CT által készített nyers projekciós adataimat NRecon v.1.6 szoftver (SkyScan, Kontich, Belgium) segítségével rekonstruáltuk (ring artifact correction = 10, beam hardening correction = 20 %). A gyökércsatorna lumenét a RL-en, a keresztmetszeti képen elemeztük: a lumen területét, a nagy és kis átmérőket, az átlagos vastagságot és az átmérők arányát a rekonstruált képszekvenciákon CTAn v.1.1 szoftver (SkyScan, Kontich, Belgium) használatával.

3.2. Paranasalis sinusok volumetriai mérése

A retrospektív vizsgálat során 240 páciens radiológiai felvételeit válogattuk be, amelyből 121 több detektorsoros CT (multi-detector CT, MDCT) és 119 CBCT készülék segítségével készült. Az átlagéletkor 36,2 év volt

(korcsoport: 18-70 év, standard deviáció (SD): 16,1 év). A kizárási kritériumok az alábbiak voltak: bizonyított csontbetegség (különösen osteoporosis); releváns gyógyszerfogyasztás; a páciens kórelőzményében szereplő bármilyen, a sinus maxillarisokat vagy a sinus sphenoidalist érintő csontvázszerkezeti asszimmetriák vagy traumák, veleszületett rendellenességek, korábbi sebészeti beavatkozás vagy patológiai eltérés, amely a sinus maxillaris vagy a sinus sphenoidalist érintette. Továbbá a gyenge minőségű képeket kizártuk, mint például a szórást mutató felvételeket vagy amennyiben a felvételen a csontos határok nem megfelelő pontossággal voltak követhetőek. A MDCT képek esetén 23 jobb oldali, 28 bal oldali sinus maxillaris és 11 sinus sphenoidalis, a CBCT felvételek esetén 23 jobb oldali, 20 bal oldali sinus maxillaris és 7 sinus sphenoidalis képanyagát zártuk ki. A végső vizsgálati csoportban minden páciens bármely patológiás elváltozástól mentes volt és minden paranasalis sinus üres volt, kóros állapot nélkül. A vizsgálati protokollt a Helsinki Deklarációban foglaltaknak megfelelően végeztük el. A kutatást a Semmelweis Egyetem Regionális, Intézményi Tudományos és Kutatásetikai Bizottsága engedélyezte (SE TUKEB szám: 138/2016.). Az összegyűjtött képanyagokhoz csak a megfigyelők férhettek hozzá.

A CBCT felvételek Newtom 3G (Quantitative Radiology s.r.l., Verona, Olaszország) berendezéssel készültek 22,86 cm vagy 30,48 cm méretű látómezővel (field of view, FOV) 300 μ m izotrópikus voxel mérettel, 120 kV csőfeszültséggel, 3-5 mA csőárammal. A MDCT felvételeket Philips Brilliance 16 (Philips Medical Systems, Best, Hollandia) berendezéssel rögzítették 16 \times 0,75 kollimációval, 1 mm szeletvastagsággal, 0,688 mm-es asztallap elmozdulással (pitch), ahol a rekonstruált

szelet vastagsága 1 mm volt, így nem izotrópikus voxelekből állt. A CBCT és MDCT képszekvenciákat DICOM fájlformátumba (512 X 512 matrix) exportáltuk és az Invivo 5.1.2 (Anatmage, San Jose, CA, Egyesült Államok) szoftverbe importáltuk, majd a térfogatméréseket elvégeztük a szoftver segítségével.

Minden rekonstruált képanyag egy 54 cm-es képátmérőjű, síkképernyőjű orvosi felhasználásra tervezett aktív mátrixú TFT monitoron (Nio Color 3 MP, Barco, Kortrijk, Belgium) került kiértékelésre. A kiértékelő személynek lehetősége volt az adott képanyag szoftveres javítására vagy mozgatására, mint például a nagyítás, a fényerő és a kontraszt állítására az egyes anatómiai struktúrák jobb képi megjelenítésének érdekében.

Az adott beteg keményszövetre szegmentált képanyaga egy virtuális térben jelent meg, amelyet egy korábbi tanulmány szerint félautomata algoritmussal standard pozícióba állítottunk. A sinus maxillarisok és a sinus sphenoidalis térfogatát értékeltük. A szoftver két térfogameghatározó módját alkalmaztuk: "kézi mód" (hand mode) és "félautomata" (semiautomatic) mód. A kézi mód aktiválásával inverz képet kapunk és a program rekonstruálja a sinus háromdimenziós modelljét a DICOM képsorozatból, amelyen a vizsgált térfogatot virtuális vágóeszköz segítségével választottuk ki manuálisan a levegővel telt üregek komplementer területeinek kivágásával a tér három síkjában. Ezután lefuttattuk szoftver térfogatszámító algoritmusát.

A félautomata üzemmódban úgy választottunk ki legalább három, egymástól lehető legtávolabbi pontot, hogy ezek közül a legtávolabbi két pont a sinus határán helyezkedjen el, majd lefuttattuk a volumetriai mérést. A statisztikai elemzéseket SPSS v.23 (IBM Corp., Armonk, NY, Egyesült Államok) szoftver segítségével végeztük. A

paranasalis térfogatmérések közötti különbségek megállapításához (kor, nem és oldaliság szerint) Mann-Whitney féle U-próbát alkalmaztunk. Az összefüggéseket szignifikánsnak tekintettük, ha a p értéke $p < 0,05$.

3.3. CBCT és mikro-CT térbeli felbontásának összehasonlító vizsgálata

Az MTF meghatározásához egy henger alakú, mikro-CT vizsgálatokhoz készített műanyag fantomot (MicroCT Image Quality Phantom with Slanted Edge, Mediso Ltd., Budapest, Magyarország) használtunk. A két levegővel telt kamrát tartalmazó fantomot, amelyek között a téglatest alakú ferde él zóna található, Mediso nanoScan CT mikro-CT berendezésbe helyeztük (Mediso Ltd., Budapest, Magyarország) és a tárgytartóhoz fogászati alkalmazásokhoz használt viasszal rögzítettük úgy, hogy a fantom hosszabbik tengelye merőleges volt a centrális sugár irányára. A szkennelést az alábbi beállítások mellett végeztük el: 20 μm izotrópikus voxel méret, 70 kV, 720 projekció, 300 μA és 300 ms expozíciós idő, binning: 1 X 1, nagyítás: 3.75 X, 1936 X 1936 pixel.

A CBCT MTF értékének meghatározásához a fantomot egy vízzel telt henger alakú edénybe helyeztük, mivel a beállításra kerülő FOV mérete kisebb, mint a fantom mérete. A fantomot úgy helyeztük az edénybe, hogy a ferde élet tartalmazó terület hosszabbik éle párhuzamos legyen a föld síkjával. A minta bemozdulását elkerülendő a fantomot fogászati viasszal rögzítettük az edény aljához, a vízzel telt edényt pedig a földön stabilizált fém tartószerkezethez ragasztottuk. A fantomot Planmeca ProMax 3D CBCT-vel (Planmeca Oy, Helsinki, Finnország) szkenneltük 100 μm izotrópikus voxel mérettel (90 kV, 14 mA, 12 s, 501 X 501 pixels). Ezután a

CBCT és mikro-CT képanyagot Feldkamp-Davis-Kress algoritmussal rekonstruáltuk és DICOM formátumba exportáltuk, amelyet a Mediso Image Quality Center szoftverbe (Mediso Ltd., Budapest, Magyarország) importáltunk. A ferde él módszert alkalmaztuk az egyes képalkotó készülékek MTF értékének meghatározásához. A CBCT és mikro-CT képek esetén három-három szomszédos szelet került kiválasztásra, amelyeken a fantom transzparens, téglalap alakú ferde él területe látható volt. Minden egyes szeleten két területet jelöltünk ki (region of interest, ROI) a téglalap alakú terület hosszabbik éle mentén és a szoftver meghatározta az MTF görbéket és a térbeli frekvenciát 10% MTF értéknél.

A statisztikai analízishez az SPSS szoftver (ver. 23.0.0.0.; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) használtuk. Az egyes berendezések térbeli felbontását meghatározó értékek korrelációs együtthatójának megállapításához Pearson-féle korrelációs-számítást végeztünk.

4. Eredmények

4.1. Gyökércsatorna rendszerek képi megjelenítése

A CBCT felvételek kiértékelése többnyire a sagittalis és coronalis síkokban zajlott, ugyanis az axialis síkban volt a legkevésbé meghatározható a gyökércsatorna lefutása az apicalis szakaszon. Az elvégzett interobszerver megbízhatósági vizsgálat igen erős szignifikanciát mutatott ($ICC = 0,983$; $p < 0,001$). Az esetleges eltérések abból származhatnak, hogy bár a megállapított RL-k nagysága konzisztens volt, bizonyos esetekben a megfigyelők a kiértékelt csatornát eltérő mértékben ítélték a teljes hosszban követhetőnek. A Kodak CBCT berendezéssel készült felvételek esetén minden gyökércsatorna teljes hosszában követhető volt a vizsgálók szerint, így RL-t egyik esetben sem lehetett meghatározni. A Planmeca berendezéssel készített rekonstruált képsorozatok vizsgálata során csak egy gyökércsatorna nem volt követhető teljes hosszában, ahol a RL 1,80 mm volt coronalis irányban az apextől. A NewTom felvételeken 11 gyökércsatorna esetében határoztak meg a megfigyelők RL-t, amelynek az apextől mért átlagos távolsága $2,79 + 1,34$ mm volt. Az i-CAT képanyagában 16 gyökércsatorna esetén állapítottak meg RL-t, amelynek átlagos távolsága az apextől $3,62 \pm 1,45$ mm volt. A rekonstruált axialis mikro-CT felvételeken mért gyökércsatorna lumenek keresztmetszeti paraméterei a következők voltak az NewTom és i-CAT esetében: a gyökércsatorna átlagos területe $21162 + 14737 \mu\text{m}^2$, illetve $65378 + 65792 \mu\text{m}^2$ volt, az átlagos nagyobb átmérő $187,07 \pm 82,08 \mu\text{m}$ és $335,32 \pm 210,69 \mu\text{m}$, a kisebb átmérő pedig $69,46 \pm 43,56 \mu\text{m}$ és $121,87 \pm 86,85 \mu\text{m}$ volt. A lumen keresztmetszeti alakját reprezentáló átmérők aránya

3,00 ± 0,98 és 3,11 ± 1,39 értéket mutatott. A gyökérsatorna lumen átlagos vastagsága a RL-en a NewTom felvételek esetén 55,06 ± 18,52 µm, míg az i-CAT képszekvenciák esetén 95,05 ± 44,34 µm.

4.2.Paranasalis sinusok volumetriai mérése

A CBCT felvételeken elvégzett mérések átlagértékei (jobb oldali sinus maxillaris: 14,588 ± 5,644 cm³, bal oldali sinus maxillaris: 15,533 ± 5,835 cm³; sinus sphenoidalis: 10,059 ± 4,399 cm³) konzisztensek voltak a korábban megadott irodalmi adatokkal (sinus maxillaris: 15 ± 2 cm³, sinus sphenoidalis: 12,5 ± 2,5 cm³), azonban a félautomata meghatározás során kapott volumetriai értékek eltérőek voltak az irodalmi átlagértékektől, mivel lényegesen alacsonyabb értékeket mutattak (jobb oldali sinus maxillaris: 10,718 ± 4,59 cm³; bal oldali sinus maxillaris: 10,403 ± 4,319 cm³; sinus sphenoidalis 6,779 ± 3,548 cm³). Habár a MDCT képszekvenciák kézi módszerrel kiértékelt térfogatértékei (jobb oldali sinus maxillaris: 8,074 ± 3,17 cm³; bal oldali sinus maxillaris: 8,108 ± 3,258 cm³; sinus sphenoidalis: 4,746 ± 2,615 cm³) közelebb álltak az irodalmi adatokhoz a félautomata üzemmóddal lefuttatott mérésekhez képest, a MDCT berendezéssel készült felvételekből számított térfogatértékek lényegesen alacsonyabbak voltak a CBCT berendezéssel készült felvételek alapján kapott értékekhez képest. A félautomata üzemmód során számított térfogati értékek különböztek az irodalmi átlagoktól, mivel azoknál jelentősen kisebb volumetriai átlagokat mutattak (jobb oldali sinus maxillaris: 5,709 ± 2,52 cm³; bal oldali sinus maxillaris: 5,603 ± 2,473 cm³; sinus sphenoidalis: 3,104 ± 2,179 cm³). A félautomata és kézi módszerrel kiértékelt értékeket összehasonlítottuk mind a CBCT, mind a MDCT

berendezéssel készült felvételek esetén. Az egyes eltérések igen erős szignifikanciát mutattak mindegyik esetben ($p^{***} < 0,001$). A CBCT képanyagokon kézi móddal végzett volumetria mérések eredményei minden esetben közel álltak az irodalmi adatokhoz.

4.3. CBCT és mikro-CT térbeli felbontásának összehasonlító vizsgálata

A térbeli frekvenciát 10 % MTF értéknél adtuk meg, amely tulajdonképpen a készülék adott expozíciós paramétereinek melletti legnagyobb elérhető térbeli felbontást jelöli. A térbeli frekvenciák erős pozitív korrelációt mutattak a CBCT, illetve mikro-CT szeleteken, mivel a Pearson-féle korrelációs együttható a CBCT esetében $r = 0,922$ és a mikro-CT esetében $r = 1,000$ volt. Ezután a 10% MTF szinten kiszámítottuk a térbeli frekvenciák átlagát. A mikro-CT kijelölt szeletein az átlagos térbeli felbontás $13,35 + 2,47$ vonalpár/mm ($38,71 + 8,24 \mu\text{m}$), a CBCT esetében ez $3,33 + 0,29$ vonalpár/mm ($150,95 + 11,9 \mu\text{m}$) volt.

5. Következtetések

- 5.1. Csak a nagy felbontású ($\leq 100 \mu\text{m}$ voxel méret) CBCT eszközök segíthetnek a gyökércsatorna lefutásának megbízható megjelenítésében, amelynek ismerete javíthatja az endodontiai kezelés eredményét.
- 5.2. A CBCT felvételeken a résztérfogat-hatásnak szerepe lehet a gyökércsatorna apicalis szakaszának megjelenítésében.
- 5.3. Mivel a mikro-CT felbontásának tartományába esett a gyökércsatorna legszűkebb szakasza is, így a mikro-CT nagy felbontása miatt megbízható viszonyítási módszer *ex vivo* minták esetén a klinikumban használatos CBCT készülékek összehasonlítására.
- 5.4. CBCT-vel készült háromdimenziós képhalmaz a paranasalis sinusok volumetria mérése során megbízható térfogati paramétereket nyújtottak.
- 5.5. Az InVivo 5.1.2. szoftver félautomata és kézi móddal lefuttatott volumetria vizsgálat során a paranasalis sinusok térfogatértékei CBCT felvételek esetén közelebb álltak az irodalomban meghatározott átlagokhoz, mint a MDCT berendezés képanyagain mért értékek esetében.
- 5.6. Az InVivo 5.1.2. szoftver félautomata móddal kapott térfogatértékek szignifikánsan alacsonyabb értékeket mutattak, mint a kézi móddal kiértékelt háromdimenziós felvételek során, függetlenül attól, hogy az adott felvétel MDCT vagy CBCT berendezéssel készült-e.
- 5.7. A CBCT és mikro-CT térbeli felbontásának összehasonlító vizsgálata során kapott eredményeink alapján a vizsgált nagy felbontású

CBCT berendezés, amelyen a beállítható voxel méret 100 μm , segítheti a szubmilliméteres anatómiai struktúrák hű leképezését és lehetőséget nyújthat a megbízható mikromorfológiai vizsgálatok elvégzéséhez.

- 5.8.** A méréseink alapján megállapítottuk, hogy a mikro-CT modalitás alkalmazásával a szubmilliméteres anatómiai struktúra kontúrjának megjelenítése akár négyszer megbízhatóbb, mint a vizsgált nagy felbontású CBCT készülék esetén.

6. Saját publikációk jegyzéke

6.1. A disszertáció alapjául szolgáló közlemények:

Szabo BT, Pataky L, Mikusi R, Fejerdy P, Dobo-Nagy C. (2012) Comparative evaluation of cone-beam CT equipment with micro-CT in the visualization of root canal system. *Ann Ist Super Sanita*, 48: 49-52.

Szabo BT, Aksoy S, Repassy G, Csomo K, Dobo-Nagy C, Orhan K. (2017) Comparison of hand and semiautomatic tracing methods for creating maxillofacial artificial organs using sequences of computed tomography (CT) and cone beam computed tomography (CBCT) images. *Int J Artif Organs*, 40: 307-312.

6.2. A disszertációtól független közlemények

Agocs G, Szabo BT, Kohler G, Osvath S. (2012) Comparing the folding and misfolding energy landscapes of phosphoglycerate kinase. *Biophys J*, 102: 2828–2834.

Horváthy DB, Vác G, Szabó T, Szigyártó IC, Toró I, Vámos B, Hornyák I, Renner K, Klára T, Szabó BT, Dobo-Nagy C, Doros A, Lacza Z. (2016) Serum albumin coating of demineralized bone matrix results in stronger new bone formation. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 104: 126-132.

Horvathy DB, Vacz G, Toro I, Szabo T, May Z, Duarte M, Hornyak I, Szabo BT, Dobo-Nagy C, Doros A, Lacza Z. (2016) Remineralization of demineralized bone matrix in critical size cranial defects in rats: A 6-month follow-up

study. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 104: 1336-1342.6

Mensch K, Simonffy L, Dombi C, Szabó BT, Varga J, Juhász A, Dobo-Nagy C. (2017) Endodontic and microsurgical treatments of maxillary lateral incisor dens invaginatus in combination with cone-beam-computed tomography fusion imaging. *Oral Radiol*, 33: 147-152.

Kivovics M, Szabó BT, Németh O, Tari N, Dóri F, Nagy P, Dobó-Nagy C, Szabó G. (2017) Microarchitectural study of the augmented bone following ridge preservation with a porcine xenograft and a collagen membrane: preliminary report of a prospective clinical, histological, and micro-computed tomography analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 46: 250-260.

Kivovics M, Szabó BT, Németh O, Czinkóczy B, Dóri F, Nagy P, Dobó-Nagy C, Csöngé L, Lacza Z, Mijiritsky E, Szabó G. (2018) Microarchitecture of the Augmented Bone Following Sinus Elevation with an Albumin Impregnated Demineralized Freeze-Dried Bone Allograft (BoneAlbumin) versus Anorganic Bovine Bone Mineral: A Randomized Prospective Clinical, Histomorphometric, and Micro-Computed Tomography Study. *Materials*, 11: 202.

Farkasdi S, Pammer D, Rácz R, Hriczó-Koperdák G, Szabó BT, Dobó-Nagy C, Kerémi B, Blazsek J, Cuisinier F, Wu G, Varga G. (2018) Development of a quantitative preclinical screening model for implant osseointegration in rat tail vertebra. *Clin Oral Investig*, In press.

Simonffy L, Gyulai-Gaál Sz, Dobó Nagy Cs, Szabó BT. (2018) Fibrosus dysplasia differenciál-diagnózisa. Fogorv Sz, 111: 74-78.

Horváthy DB, Schandl K, Schwarz CM, Renner K, Hornyák I, Szabó BT, Niculescu-Morzsa E, Nehrer S, Dobó-Nagy C, Doros A, Lacza Z. (2019) Serum albumin-coated bone allograft (BoneAlbumin) results in faster bone formation and mechanically stronger bone in aging rats. J Tissue Eng Regen Med, 13: 416-422.