

Doktori (PhD)- értekezés tézisei

A fogszekciók és gyökérmigráció vizsgálata bölcsességfogak koronektómiája során

Dr. Szabó-Pacheco Ana Esther

Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola

Doktori Iskola vezetője: Prof. Dr. Vereczkei András

Programvezető: Prof. Dr. Lempel Edina

Témavezető: Prof. Dr. Szalma József

PTE KK Fogászati és Szájsebészeti Klinika



Pécsi Tudományegyetem
1367

Pécsi Tudományegyetem

Klinikai Központ, Fogászati és Szájsebészeti Klinika

Pécs

2026.

I. Bevezetés

Impakcióról akkor beszélünk, ha egy fog előtörése fizikai akadály miatt elmarad. Leggyakrabban az alsó bölcsességfogak érintettek, előfordulásuk 16,7–73% között mozog. Fejlődésük során tengelyállásuk változik, azonban sok esetben nem érik el a vertikális pozíciót, és mezioanguláris impakcióban maradnak. Kialakulásában szerepet játszhat a fogméret és a csontív hossza közötti diszkrepancia, az elégtelen retromoláris helykínálat, valamint az állkapocs evolúciós méretcsökkenése és a modern étrend okozta kisebb rágóerő.

A klinikai gyakorlatban az impaktált bölcsességfogak helyzetének jellemzésére leggyakrabban a Winter-, valamint a Pell-Gregory-féle klasszifikációt alkalmazzuk. A Winter-osztályozás a harmadik moláris tengelyállását írja le a második molárishoz viszonyítva, míg a Pell–Gregory klasszifikáció az erupcióhoz rendelkezésre álló helyet és az impakció vertikális mélységét értékeli. Mindkét rendszer panorámaröntgenen alapuló, kétdimenziós információt ad, ezért a környező anatómiai képletek pontos viszonyának megítélésére korlátozottan alkalmas.

Az alsó bölcsességfogak a leggyakrabban eltávolított fogak közé tartoznak, a fogeltávolítások mintegy 19%-át teszik ki. Bár egy impaktált fog általában hosszú ideig panaszmentes, számos patológiás állapot kialakulásának forrása lehet. Az eltávolítás leggyakoribb indikációja a pericoronitis, amely részlegesen előtört fogak körül alakul ki. Gyakori indikáció továbbá a parodontitis vagy annak megelőzése. Az eltávolítás történhet ortodonciai okból, caries vagy gyökérszorpció miatt, cystaképződés esetén, fogpótlás-tervezés során vagy ortognát műtétek előkészítésekor is. Bár a panaszt okozó bölcsességfogak eltávolítása elfogadott, a profilaktikus eltávolítás szükségessége továbbra is vitatott.

A fogeltávolításnak, mint minden sebészi beavatkozásnak, lehetnek szövődményei. Gyakori a vérzés, a posztoperatív duzzanat, a szájzár és a fájdalom, amelyek általában átmeneti jellegűek, emellett alveolitis, ritkábban súlyos cervicofacialis fertőzés vagy keményszöveti sérülések is előfordulhatnak. A legnagyobb klinikai jelentőséggel azonban az idegsérülések bírnak. Az alsó bölcsességfog eltávolítása során leggyakrabban a nervus alveolaris inferior sérülhet, amely az esetek többségében átmeneti, azonban ritkán tartós érzészavarhoz is vezethet. A sérülések lehetnek indirekt jellegűek, például nyomás vagy húzás következtében, illetve direkt károsodások, amikor a sebészi eszköz közvetlenül érintkezik az ideggel. Emellett a nervus lingualis sérülése is előfordulhat, különösen vékony lingvális kortikális csont vagy csontfenezstráció esetén.

A nervus alveolaris inferior sérülésének kockázatát számos tényező befolyásolja, azonban a legnagyobb rizikót a fog gyökere és a canalis mandibulae közötti közvetlen anatómiai kapcsolat jelenti. Ilyen esetekben az idegsérülés valószínűsége jelentősen megnőhet, egyes közlések szerint akár 23–60%-ot is elérhet. A kiemelt kockázatú esetek felismerése elsősorban panorámaröntgen-felvétel alapján történik, amelyen az úgynevezett specifikus röntgenjeleket keressük. Ide tartozik a gyökérsötétedés, a gyökér görbülete vagy szűkülete, a canalis mandibulae felső kortikálisának megszakadása, valamint a csatorna elhajlása vagy szűkülete. Rood és Shehab vizsgálatai alapján különösen a gyökérsötétedés, a canalis elhajlása és a kortikális megszakadás utal a fog és az idegcsatorna szoros kapcsolatára. Amennyiben ezen jelek valamelyike vagy ezek kombinációja megfigyelhető, háromdimenziós képalkotás, CBCT vizsgálat ajánlott a fog és az idegcsatorna térbeli viszonyának pontos meghatározására, bár önmagában a CBCT alkalmazása nem csökkenti az idegsérülés előfordulását.

A kiemelt idegsérülési kockázattal eltávolítható bölcsességfogak ellátására több alternatív eljárás is ismert, amelyek célja az ideg sérülésének kockázatának csökkentése. Ilyen megoldások például a szakaszos fogeltávolítás, a fogszabályozó erővel végzett fogextrúzió, valamint a perikoronális osztéktómia, amelyek általában több ülésben végzett kezelést igényelnek. Az egyik legszélesebb körben alkalmazott alternatív módszer a koronektómia. Az eljárás lényege, hogy a bölcsességfog koronáját a zománc-cement határ magasságában szekcionáljuk és eltávolítjuk, miközben a gyökereket az alveolusban hagyjuk, a csontszint alá süllyesztve. A beavatkozás akkor tekinthető sikeresnek, ha a gyökerek a koronai rész eltávolítása során nem mobilizálódnak, ellenkező esetben eltávolításuk szükséges. Az egészséges pulpa eltávolítása vagy gyökérkezelés általában nem indokolt, és a műtét során vagy azt követően röntgenfelvétel készül a reziduális zománcreszek kizárására.

Számos vizsgálat igazolta, hogy a koronektómia jelentősen csökkentheti a nervus alveolaris inferior sérülésének kockázatát a teljes fogeltávolításhoz képest, ezért különösen azokban az esetekben javasolt, amikor a fog gyökere szoros kapcsolatban áll az idegcsatornával. A módszer leggyakoribb intraoperatív szövödménye a gyökérmobilizáció, amely a beavatkozás sikertelenségéhez vezethet, ugyanakkor az idegsérülés előfordulása lényegesen alacsonyabb, mint hagyományos fogeltávolítás esetén. Ritkán a nervus lingualis sérülése is előfordulhat, különösen túl mély koronai szekció esetén, ezért a környező anatómiai képletek védelme kulcsfontosságú. A koronektómia napjainkban a magas idegsérülési kockázatú alsó bölcsességfogak ellátásának egyik legfontosabb, egyre szélesebb körben alkalmazott sebészi alternatívájává vált.

II. Célkitűzések

II/1. A fűrőhüvely alkalmasságának vizsgálata

Kutatásunk célja egy olyan átfogó *in vitro* kísérlet megtervezése és kivitelezése volt, amelyben a 3D-nyomtatott fűrőhüvellyel végzett fogszekciós vágások hatékonyságát hasonlíthattuk össze a szabadkézzel végzett koronektómia fogszekciókéval. Vizsgálatunk középpontjában a fűrőhüvely alkalmazásának hatékonysága és precizitása állt, különös tekintettel arra, hogy milyen mértékben befolyásolja a fogak szekcionálási idejét, valamint, hogy milyen hatással van a bukkolingvális mélységkontroll pontosságára a fogszekciók során. Mindezek mellett terveztük annak elemzését is, hogy a fűrőhüvely használata milyen előnyökkel vagy esetleges hátrányokkal jár az eltérő tapasztalati háttérrel rendelkező dentoalveoláris és maxillofaciális sebészek számára. Ezzel célunk az volt, hogy objektíven megvizsgáljuk, mennyire könnyíti meg a fűrőhüvely a beavatkozás kivitelezését, és milyen mértékben csökkentheti a műtéti hibák vagy teoretikus szövődmények előfordulását különböző szintű sebészi tapasztalat esetén.

II/2. A koronektómiát követő foggyökér-migráció időbeli alakulása

Kutatásunk második részében egy retrospektív klinikai vizsgálat során elemeztük a koronektómiát követő foggyökér-migráció időbeli lefutását és annak röntgen-anatómiai jellemzőit. Célunk volt, hogy feltárjuk a foggyökér-migráció mértékét meghatározó klinikai és anatómiai tényezőket, különös tekintettel a betegek életkorára, az impakció jellegére, valamint a panorámaröntgenen azonosítható specifikus rizikójelekre. További célkitűzésként szerepelt annak vizsgálata, hogy a beavatkozást végző operatőr képzettsége milyen összefüggést mutat a klinikai kimenetekkel, beleértve a visszahagyott gyökerek későbbi eltávolításának szükségességét és az esetleges szövődmények előfordulását. Mindezek alapján kutatásunk törekvése volt olyan statisztikailag értékelhető összefüggések feltárása, melyek hozzájárulhatnak a koronektómiát követő gyökérmigráció prediktív modelljeinek megalapozásához, valamint a módszer hosszú távú kimenetelének objektív értékeléséhez.

III. Beteg és módszer

III/1. A fűrőhüvely alkalmasságának vizsgálata

Vizsgálataink során, egy korábban a PTE KK Fogászati és Szájsebészeti Klinikán bölcsességfog eltávolításra jelentkező páciens CBCT felvétele alapján tervezett és 3D-nyomtatott állkapocsmodellt alkalmaztunk. A betegadatok, illetve a klinikai és képalkotó vizsgálatok eredményeinek használata etikai engedéllyel történt (RKEB: 7920/PTE/2019).

III/1.a. 3D modell tervezése

A vizsgálat során alkalmazott CBCT-felvételek GXDP-800 3D készülékkel készültek (KAVO-Gendex, Charlotte, NC, USA) [90 kVp; 3,2–10 mA; 6,1–8,5 s; FOV: 61×78 mm vagy 78×150 mm; fókuszpont: 0,5 mm; szkennelési idő: 10–20 s; szeletvastagság: 0,5 mm; voxelméret: 0,2 mm]. A DICOM formátumú adatokat a 3D Slicer szoftverbe (5.0.3 verzió) importáltuk, ahol szegmentálást követően 3D térfogati rekonstrukció készült, majd az adatokat STereoLithography (.stl) formátumba exportáltuk.

Az így kapott .stl fájlokat a Meshmixer (Autodesk, San Rafael, CA, USA) szoftverben dolgoztuk tovább, ahol minimális simítási algoritmust alkalmaztunk a zaj csökkentése érdekében, az anatómiai struktúrák megőrzése mellett. A modellt ezt követően a Blender (3.2 verzió) programba importáltuk, ahol objektum módban a medián szagittális sík mentén kettévágtuk, és a jobb oldalt használtuk a további feldolgozáshoz. A fogak formáját és okkluzális felszíneit szobrász módban minimálisan korrigáltuk az anatómiai hűség érdekében.

A bölcsességfog körül a bukkális csontot 2 mm-rel a zománc-cement határ alá redukáltuk, ezzel imitálva a csonteltávolítás utáni intraoperatív állapotot és a koronai szekció fázisára jellemző sebési szituációt. A 3D-nyomtatási költségek csökkentése érdekében a második és harmadik moláris régiót különálló, cserélhető csontszegmenseként alakítottuk ki. Ehhez a fogakat és a környező csontot kivágtuk, majd egy sínrendszerrel illeszkedő, T-alakú rögzítési struktúrát hoztunk létre, amely a modell alapjához kapcsolódik.

A jobb oldali modell tükrözésével létrehoztuk a teljes kísérleti állkapocsmodellt, amely mindkét oldalon tartalmaz impaktált bölcsességfogat külön cserélhető szegmensekben. A modell alapját a 3D szkenneléssel (Artec Space Spider, Artec3D, Luxemburg) készített felvételek alapján terveztük, egy DRSK állkapocsmodell (DRSK Restorative jaw, DRSK, Svédország) felhasználásával, hogy kompatibilis legyen a klinikán alkalmazott standard fantomfejekkel

(G40 Jaw simulator standard arcmasszkkal, KaVo, Biberach, Németország). A modell kialakítása egy korábbi, bölcsességfog-eltávolítás gyakorlására fejlesztett állkapocsmodellről szóló publikáción alapult.

III/1.b. 3D modell gyártása

Az állkapocsmodell anyagául olyan anyagot szerettünk volna választani, amely jól reprezentálja a valós fogszekciós körülményeket. A modellt műgyantából (White Resin, V4, Formlabs, Boston, MA, USA) készítettük, ami kemény (Shore D keménység = 82) és fűrható, így jó visszacsatolást ad az operátor számára. Emellett kedvező képalkotási tulajdonságokkal rendelkezik, így alkalmas CBCT-vel történő szkennelésre.

A modellek sztereolitográfias (SLA) asztali nyomtatóval (Form 2, Formlabs, Boston, MA, USA) készültek 0,1 mm-es rétegvastagsággal. A nyomtatási tájolás beállítását és a támasztékok generálását a PreForm szoftverrel (Formlabs, Boston, MA, USA) végeztük.

Az állkapocsmodellt piros szilikon borítással (Rebound 25, Smooth-On, Texas, USA) láttuk el, hogy imitáljuk a lágyszöveteket. A cserélhető szegmensen kombináltuk egy réteg lenyomat-szilikon anyaggal, ezáltal a modellműtét során szükségessé téve a valódi mukoperioszteális lebenyképzést és lebenyeltartást.

Ezen kívül nyelvet is formáztunk szilikon lenyomatanyagból (ZA 22 Thixo Body, Zhermack, Badia Polesine, Olaszország), melynek célja a lingvális felszín *in vivo*-hoz hasonlóan nehéz vizualizálásának reprodukálása volt.

III/1.c. A fűrőhüvely

Korábban, egy a PTE KK Fogászati és Szájsebészeti Klinikán lezajlott kutatás során került kifejlesztésre, egy 3D-nyomtatással készült, individuálisan alakítható fűrőhüvely, mely mélységi stoppként funkcionál a koronektómiás szekció elvégzése során.

A kifejlesztett fűrőhüvelyt használtuk modellműtétünk során, melynek 3D CAD (háromdimenziós számítógéppel segített tervezés) modellje az AutoDesk Inventor (AutoDesk, San Francisco, CA, USA) szoftverrel került tervezésre, a mért paraméterek alapján. A fűrőhüvelyt Stratasys PolyJet J750 (Stratasys Ltd., Eden Prairie, Minnesota, USA) 3D-nyomtatóval készítettük. Anyaga egy UV fényre kötő fotopolimer keverék (Stratasys MED670 VeroDent), 16 μm rétegvastagsággal („Z” felbontás). Az anyag orvosi és fogászati felhasználásra jóváhagyott és széles körben alkalmazott.

III/1.d. A modellműtét

A szimulált műtétet úgy terveztük, hogy a valós klinikai helyzeteket reprodukálja. A fantomfejet egy fogászati szék (Primus 1058 Life, KaVo, Bieberach, Németország) fejtámlájába rögzítettük kétoldalú ragasztószalaggal (3M Heavy Duty Molding Tape, 3M Hungária Kft, Budapest, Magyarország).

A sebészeti fiziodiszenzert (MASTERSurg, KaVo, Bieberach, Németország) egy sebészeti, 45°-os szögtört gyorsító kézidarabbal (1:3 sebességnövelő arány; TiMax Z-SG45L, NSK-Nakanishi, Eshborn, Németország) párosítottuk. A szekcióhoz az öblítést 50 ml/perc értékre, míg a fűrési sebességet 120 000 fordulat/perc értékre standardizáltuk. A koronai szekciókat vídia fissura fúróval (HM21L, Hager & Meisinger GmbH, Neuss, Németország) végeztük el. A fúró kiválasztása egy másik, korábban klinikánkon történt vizsgálat eredményein alapult. A fúróhüvelyt felhelyeztük az említett fúró tengelyére, melynek rögzülését a súrlódási erő biztosította.

A résztvevők a beavatkozás előtt megtekinthették a modell alapjául szolgáló eredeti CBCT felvételt. Az elemzéshez az InvivoViewer szoftvert (2.0.0.-ás verzió, KaVo, Bieberach, Németország) használták egy asztali számítógépen (32 hüvelykes, 2560×1440 felbontású Quad HD (QHD) monitor, Q32P2, AOC, Tajpej, Tajvan). Tájékoztattuk őket a fúróhüvely hosszáról, valamint a fog tervezett szekcióban mért legnagyobb bukkolingvális átmérőjéről (melyről a CBCT alapján bizonyosságot is nyerhettek), így arról, hogy annak alkalmazásakor 1,0 mm foganyag marad lingválisan érintetlenül, ha a fúrót olyan mélyre vezetik, ameddig a hüvely engedi.

A szekció elvégzése az egyik oldalon fúróhüvely használatával a másik oldalon fúróhüvely használata nélkül történt. A kezdő oldalt, illetve, hogy az operatőr melyik oldalt, melyik módon szekcionálja érmefeldobással döntöttük el. A műteti időket mindkét oldalon stopperrel mértük, rögzítettük.

III/1.e. Vizsgálati csoportok

A kísérletben részlegünk 36 kollégája vett részt, köztük dentoalveoláris, illetve maxillofaciális sebész rezidensek, valamint szakorvosok. A kollégák tapasztalatai alapján a vizsgálat első lépéseként csoportokat hoztunk létre. Az osztályba sorolás a korábbiakban elvégzett bölcsességfog eltávolítások, illetve koronektómiák száma alapján történt.

A kevésbé tapasztalt kollégák főként rezidensek voltak, akik 30 és 100 közötti számú impaktált harmadik moláris eltávolítást, valamint 3 és 10 közötti számú koronektómiát végeztek eddigi

pályafutásuk során. A tapasztalt kollégák főként szakorvosok vagy szakvizsga előtt álló rezidensek voltak, akik az elmúlt 5 évben legalább 500 impaktált bölcsességfog eltávolítást és átlagban 50 koronektómiát hajtottak végre.

III/1.f. Adatgyűjtés és kiértékelés

A beavatkozások után a cserélhető szegmenseket egyedi azonosítószámmal láttuk el, majd ezeket CBCT-készülékkel visszaszkeneltük.

A CBCT felvételekből származó DICOM fájlokat a 3D Slicer szoftverbe importáltuk, ahol 1,78–489 küszöbérték mellett végeztük el a szegmentációt. Az irreleváns struktúrákat eltávolítottuk, majd a modelleket .stl fájlformátumban exportáltuk a Blender szoftverbe. A Blender szoftverben a szekción átesett szegmenseket az érintetlen szegmensekkel hasonlítottuk össze. Egy gömböt hoztunk létre, amely pontosan illeszkedett a fog anyaghiányos területére, majd a Boolean funkcióval meghatároztuk a vágás méreteit, a gömbből csak a vágás területére korlátozódó terület maradt meg. Így 3D objektumként megkaptuk a vágás pontos kiterjedését, mely elemzésére a Blender szoftverben lehetőségünk volt. A bukkolingvális vágási mélységet három standard helyen mértük: a meziális csücsöknek megfelelően vertikális metszetben, a laterális fissura mentén, vertikális metszetben, a disztális csücsöknek megfelelő vertikális metszetben. Ezekkel az értékekkel a szekciót jellemezhetjük, meziális, középső és disztális vágási hossz alapján. Egy, a kutatásban résztvevő kollégával párhuzamosan végeztük el az összes vágási mélység mérését, és ezen értékek átlagát használtuk fel az elemzéshez. Ezenkívül kiszámítottuk a két vizsgálatot végző orvos saját és egymás közti (úgynevezett intra- és interobserver) megbízhatóságát.

III/1.g. Optimális vágási mélység meghatározása

Egy referencia (nulla) pontot hoztunk létre a harmadik moláris fog lingvális felszínétől számított 1,0 mm távolságban, amelyet a fenti három bukkolingvális metszeti síkban helyeztünk el. Ha a vágások legalább 2,0 mm-rel mélyebbek voltak a referencia pontnál, akkor azokat „túl mély” vágásnak minősítettük, a lingvális struktúrák védelmében. Ha a vágások legalább 3,0 mm-rel rövidebbek voltak a referencia pontnál, akkor „túl felszínes” vágásnak minősítettük őket. Ebben az esetben legalább 4,0 mm foganyag maradt érintetlenül lingválisan, ami megközelítőleg a fog bukkolingvális méretének 40%-át tette ki.

III/1.h. Statisztikai analízis

A statisztikai elemzésekhez az SPSS 26.0 verzióját (IBM Corp., Armonk, NY, USA) és a MedCalc (Ostend, Belgium) statisztikai szoftvert használtuk.

A megítélők közötti megbízhatóságot és egyetértést Cohen-féle kappá teszttel vizsgáltuk (amennyiben a kapott érték 0,40, a megbízhatóság gyenge, 0,40 és 0,59 között megfelelő, 0,60 és 0,75 között jó, 0,75 felett kiváló).

A szükséges mintanagyságot egy korábbi kísérleti fűrési sorozat adatainak felhasználásával számítottuk ki, amely 10 szabadkézzel (SZK) és 10 fűrőhüvellyel (FH) alkalmazásával végzett koronektómiát tartalmazott Padam módszere szerint. Az átlagos vágásmélységet 7,6 mm-nek (SZK csoport) és 8,8 mm-nek (FH csoport) számítottuk, míg a szórásokat 2,0 mm-nek (SZK csoport) és 1,0 mm-nek (FH csoport). A műveletek során 0,05-ös szignifikanciaszintet és 80%-os statisztikai erőt alkalmazva a szükséges mintanagyságot csoportonként 36 főre becsültük.

A „túl rövid” és „túl mély” vágások alkalmazott technikákkal (FH vs. SZK) vagy a vizsgált csoportokkal (tapasztalt vs. tapasztalatlan) való összefüggéseit Fisher-féle egzakt próba vagy khi-négyzet próba segítségével elemeztük, és esélyhányadosokat számítottunk. Az előzetesen tervezett és a ténylegesen megvalósított vágási mélységek közötti eltérést független mintás t-próbával hasonlítottuk össze. A két oldal fűrési idejének összehasonlításához, valamint a különböző csoportok (vagy mindkettő) közötti különbségek vizsgálatához Mann–Whitney U-próbát alkalmaztunk. A $p \leq 0,05$ értéket statisztikailag szignifikánsnak tekintettük.

III/2. A koronektómiát követő foggyökér-migráció időbeli alakulása

III/2.a. Vizsgálati terv és adatforrás

Vizsgálatunk retrospektív jellegű klinikai adatfeldolgozáson alapult, amelynek keretében a 2018 augusztusa és 2025 decembere között a Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ Fogászati és Szájsebészeti Klinika Dentoalveoláris részlegén elvégzett koronektómiák utánkövetési adatait elemeztük.

III/2.b. Vizsgálati populáció és etikai megfelelés

A vizsgálat célpopulációját azon betegek képezték, akik az alsó harmadik molárisok eltávolítására érkeztek, azonban a preoperatív vizsgálat során a nervus alveolaris inferior sérülésének fokozott kockázata igazolódott, így koronektómia történt. A betegadatok és képalkotó vizsgálatok felhasználása a Regionális Kutatásetikai Bizottság engedélyével zajlott

(7613-PTE 2019; PTE-KK/53474/2019), a vizsgálat minden fázisa megfelelt a Helsinkai Nyilatkozat irányelveinek.

III/2.c. Beválasztási és kizárási kritériumok, utánkövetés

Az összes elvégzett koronektómiából szelektáltunk. Beválasztási kritériumok közé tartoztak azon esetek, amelyekben az intraoperatív vagy posztoperatív panorámaröntgen-felvételeken túl rendelkezésre álltak az 1, 3, 6, illetve 12 hónapos kontrollvizsgálatok során készült felvételek is. A legtöbb esetben 24 hónapos kontrollfelvétellel is rendelkezünk. Ezzel célunk volt egy longitudinálisan követhető beteganyag kialakítása, amely lehetővé tette a foggyökér-migráció időbeli lefutásának részletes vizsgálatát. Kizárási kritériumként szerepelt minden olyan eset, ahol a panorámaröntgen-felvételek jelentős pozicionálási hibát, torzítást vagy zavaró artefaktumot tartalmaztak, amelyek a kvantitatív értékelést befolyásolhatták.

III/2.d. A foggyökér-migráció mérési módszertana és referenciaértékek

A foggyökér-migráció mértékét digitális panorámaröntgen-felvételeken határoztuk meg VistaSoft (3.0.32-as verzió) (Stanford University, Stanford, CA, USA) szoftver kalibrált távolságmérési funkció alkalmazásával. A panorámaröntgen-felvételek GX DP-800 készülékkel készültek 90 kV, 12,5 mA és 16 s paraméter beállítások mellett (DAP: 75 mGy·cm²) (Gendex Dental Systems, Hatfield, PA, USA). A méréseket a kontrollidőpontokban a megbízhatóság biztosítása érdekében minden esetben (1., 3., 6., 12. és 24. hónap) két egymástól független vizsgáló végezte tizedmilliméteres pontossággal, majd az egyes időpontokhoz tartozó értékek átlagát használtuk fel az elemzéshez. Referenciapontként az esetek többségében a disztális gyökércsúcs és a canalis mandibulae alsó kortikálisának vetülete közötti távolság szolgált, mivel ezen anatómiai struktúrák megbízhatóan azonosíthatók a panorámaröntgen-felvételeken, és ezen a területen a bukkális és lingvális gyökerek egymásra vetüléséből adódó mérési bizonytalanság minimális. Egy-egy ezen mérési pontokkal nem jól monitorozható esetben a két vizsgáló közös megegyezés alapján azonos referenciapontokat használt (pl.: angulus mandibulae). Ezzel célunk volt a szubjektív mérési torzítás minimalizálása és az adatfeldolgozás reprodukálhatóságának növelése.

III/2.e. Gyűjtött klinikai és radiológiai paraméterek

Az adatgyűjtés során rögzítettük a betegek demográfiai adatait, továbbá dokumentáltuk a panorámaröntgen-felvételeken észlelhető specifikus rizikójeleket, a bölcsességfogak impakciós mélységét Pell-Gregory klasszifikáció szerint, valamint az angulációs helyzetet Winter

beosztás alapján. Emellett feljegyeztük a beavatkozást végző operatőr képzettségi szintjét (rezidens/szakorvos), valamint a klinikai kimeneteleket, beleértve a visszahagyott gyökerek későbbi eltávolításának szükségességét és az esetleges posztoperatív szövődmények megjelenését.

III/2.f. Statisztikai analízis

A statisztikai feldolgozást IBM SPSS Statistics (28.0-ás verzió) (IBM Corp., Armonk, NY, USA) szoftver segítségével végeztük, míg az adatok rendszerezéséhez és az ábrák előkészítéséhez Microsoft Excel (365-ös verzió) (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) programot alkalmaztunk. Az adatelemzés során első lépésként leíró statisztikai módszerekkel jellemeztük a vizsgálati populáció demográfiai és klinikai paramétereit, valamint a gyökérmigráció időbeli alakulását.

A foggyökér-migráció mérésének megbízhatóságát a két egymástól független vizsgáló eredményei alapján intraclass korrelációs koefficienssel (ICC; kétutas random modell, abszolút egyezés) értékeltük. A mérési módszer esetleges szisztematikus eltérésének és az egyezési intervallumok meghatározására Bland–Altman-analízist alkalmaztunk, amely során meghatároztuk az átlagos eltérést (bias), valamint a mérési különbségek $\pm 1,96$ szórásának megfelelő, 95%-os lefedettségű egyezési tartományt. Ezzel célunk volt annak igazolása, hogy az alkalmazott panorámaröntgen-alapú mérési protokoll alkalmas a gyökérmigráció reprodukálható, kvantitatív értékelésére.

A folytonos változók eloszlását nemparaméteres módszerekkel értékeltük. Az életkor és a foggyökér-migráció mértéke közötti összefüggést Spearman-féle rangkorrelációval vizsgáltuk. Az életkor gyökérmigrációra gyakorolt hatásának részletesebb vizsgálata érdekében a betegeket előre definiált életkori kategóriákba soroltuk: 18–24 év, 25–34 év, 35–44 év, valamint ≥ 45 év. Az egyes életkori alcsoportok között a foggyökér-migráció mértékét külön értékeltük, ezen csoportok között a gyökérmigráció mértékét Kruskal–Wallis-próbával hasonlítottuk össze.

A fogak anatómiai jellemzőinek migrációra gyakorolt hatását a Pell–Gregory klasszifikáció horizontális (I–III.) és vertikális (A–C) komponensei, valamint a Winter-féle angulációs kategóriák szerint értékeltük. Az egyes csoportok közötti különbségeket Kruskal–Wallis-próbával elemeztük. A Pell–Gregory alcsoportok együttes vizsgálata során a teljes kategóriarendszerre kiterjedő összehasonlítást Kruskal–Wallis-próba alkalmazásával végeztük el annak feltárására, hogy a komplex anatómiai viszonyok milyen mértékben befolyásolják a gyökér elvándorlását. A horizontális (I–III.) és vertikális (A–C) komponenseket külön-külön,

valamint kombinált formában is elemeztük, lehetővé téve az impakció mélységének és anteroposterior helyzetének együttes értékelését a migráció mértékének függvényében.

A kategorikus változók, mint a beavatkozást végző orvos képzettsége (rezidens vs. szakorvos), a pulpitis előfordulása, valamint a második ülésben végzett gyökéreltávolítás szükségessége közötti összefüggéseket Fisher-féle egzakt próbával elemeztük.

A gyökérmigráció hiányát mutató eseteket külön alcsoportként is értékeltük annak megállapítására, hogy ezen esetek elkülöníthetők-e életkor, impakciós jellemzők vagy egyéb klinikai paraméterek alapján.

Minden statisztikai próbánál a szignifikanciaszintet $p \leq 0,05$ értékben határoztuk meg.

IV. Eredmények

IV/1. A fűrőhüvely alkalmasságának vizsgálata

Vizsgálataink során szabadkézi vágás esetén 7/36 esetben detektáltunk túl mély vágást és 18/36 esetben mértünk túl felületes szekciót. Fűrőhüvely használata mellett túl mély vágást nem tudtunk detektálni, míg túl felületes vágást 8/36 esetben találtunk. Ezen eredmények alapján a fűrőhüvely használata nélkül a túl mély fogszekció előfordulásának esélyhányadosa **18,56** volt (95%-os konfidencia intervallum mellett: 1,02-338,5; $p = 0,048$), amíg a túl felületes vágásé **3,5** (95%-os konfidencia intervallum mellett: 1,26-9,72; $p = 0,016$). A virtuálisan tervezett (azaz az optimális) és a ténylegesen megvalósult vágásmélységek közötti eltérés szignifikánsan nagyobb volt a szabadkézi csoportban ($1,91 \pm 1,62$ mm), mint a fűrőhüvelyes csoportban ($1,21 \pm 0,72$ mm) ($p < 0,001$; t-érték: -4,764; független mintás t-próba).

A 36 vizsgálatban résztvevő kolléga közül tapasztalati besorolás alapján 20 került a kevésbé tapasztalt, 16 pedig a tapasztalt csoportba. Elmondható, hogy a túl mély szabadkezes vágások előfordulása hasonló volt a tapasztalt (3/16 eset) és kevésbé tapasztalt (4/20 eset) csoportokban ($p = 0,983$; Fisher-féle egzakt próba). A szabadkézi túl felszínes vágások előfordulása szintén közel azonos volt a két csoportban (7/16 a tapasztalt és 11/20 a kevésbé tapasztalt csoportban $p = 0,697$; Khi-négyzet próba). A fűrőhüvelyes vágások esetén a túl felszínes vágások előfordulása sem mutatott szignifikáns különbséget a tapasztalt (3/16 eset) és kevésbé tapasztalt (5/20 eset) csoportok vonatkozásában ($p = 0,655$ Fisher-féle egzakt próba).

Elmondható, hogy a vágás helyét tekintve (meziális, középső, disztális) a legrövidebb vágási értékek disztálisan voltak megfigyelhetők (esélyhányadosa: **6,76**; 95% konfidencia intervallum: 1,57–29,07; $p = 0,01$).

A fűrőhüvely használat ($82,27 \pm 80,69$ s) szignifikánsan csökkentette ($p = 0,021$; Mann-Whitney U próba) a műtési időintervallumot a szabadkézzel ($119,93 \pm 106,50$ s) végzett koronektómiához képest. A tapasztalat alapján létrehozott csoportokat tekintve a tapasztalt csoportban nem mutatott szignifikáns különbséget műtési idő tekintetében a fűrőhüvely használat, azonban a kevésbé tapasztalt operátorok szignifikánsan rövidebb idő alatt végezték el a koronektómiát fűrőhüvely használat mellett (SZK: $158,95 \pm 125,61$ s; FH: $106,92 \pm 100,79$ s) ($p = 0,038$; Mann-Whitney U próba). Ezenkívül a tapasztalt kollégák szignifikánsan gyorsabbak voltak szabadkézzel ($65,31 \pm 26,54$ s), mint a kevésbé tapasztalt kollégák ($158,95 \pm 125,61$ s) ($p < 0,001$; Mann-Whitney U próba). Továbbá a tapasztalt kollégák ($79,08 \pm 16,98$) gyorsabbak voltak a fűrőhüvely használat mellett is a kevésbé tapasztalt csoporthoz képest ($106,92 \pm 100,79$ s) ($p = 0,004$; Mann-Whitney U próba).

A Cohen-féle kappa teszt eredményei szerint kutatásunk során a megítélői megbízhatóság (0,97 és 0,95) és a megítélők közti egyetértés (0,91) is kiválóan bizonyult.

IV/2. A koronektómiát követő foggyökér-migráció időbeli alakulása

A vizsgálati időszakban összesen 57 betegnél 73 koronektómiás eset felelt meg a beválasztási kritériumoknak, melyek közül 16 betegnél kétoldali beavatkozás történt. A betegpopuláció 47 nőből (82,46%) és 10 férfiből (17,54%) állt, az átlagéletkor $29,58 \pm 10,66$ év volt. A beavatkozások közül 44-et rezidens, míg 29-et szakorvos végzett.

A fogak impakciós jellemzői alapján Pell-Gregory szerint az I., II. és III. osztályba 19, 51 és 3 fog volt sorolható, míg a vertikális komponens szerint 17 eset A, 46 eset B és 10 eset C kategóriába tartozott. A Winter-féle osztályozás alapján 42 fog mezioanguláris, 17 vertikális, 9 horizontális és 5 disztoanguláris helyzetű volt.

Radiológiai indikációként leggyakrabban gyökérsötétedést észleltünk (54/73 eset), ezt követte a canalis mandibulae kortikálisának megszakadása (41/73 eset), a canalis kanyarulata (21/73 eset), illetve szűkülete (12/73 eset). Az indikációk jelentős részében több rizikójel együttes fennállása volt megfigyelhető, leggyakrabban a gyökérsötétedés és a kortikális megszakadás kombinációja.

A 73 elemzett eset közül 7 esetben (9,59%) nem volt mérhető gyökérmigráció, míg 66 esetben (90,41%) volt kimutatható. Az átlagos migráció mértéke az 1 hónapos kontrollnál 1,5 mm, a 3 hónapos időpontban 2,4 mm, a 6 hónapos kontroll során 2,8 mm, a 12 hónapos utánkövetésnél 3,2 mm, míg a 24 hónapos kontroll során 3,5 mm volt. A migráció dinamikája alapján a legkifejezettebb elmozdulás a beavatkozást követő első 6 hónapban jelentkezett, ezt követően a növekedés üteme mérséklődött, ugyanakkor a vizsgálati időszak végéig további lassú emelkedés volt megfigyelhető.

Az életkor és a foggyökér-migráció mértéke között szignifikáns, negatív irányú összefüggést igazoltunk (Spearman $\rho = -0,29$; $p = 0,013$), ami arra utal, hogy fiatalabb életkorban nagyobb mértékű migráció figyelhető meg.

Az életkori alcsoportok (≤ 25 év, 26–35 év, 36–45 év, > 45 év) szerinti elemzés szintén szignifikáns különbséget mutatott a gyökérmigráció mértékében (Kruskal-Wallis: $H = 8,19$; $df = 3$; $p = 0,042$), megerősítve az életkor meghatározó szerepét.

A Pell-Gregory klasszifikáció horizontális komponense (I-III.) szerint szignifikáns különbséget találtunk a migráció mértékében ($H(2) = 6,87$; $p = 0,032$), míg a vertikális komponens (A-C) önmagában nem mutatott statisztikailag igazolható eltérést ($H(2) = 5,62$; $p = 0,060$), bár tendencia volt észlelhető a mélyebb impakciójú esetek irányába. A Pell-Gregory alcsoportok együttes (IA-IIIIC) vizsgálata nem eredményezett szignifikáns különbséget ($H(7) = 11,76$; $p = 0,109$). A Winter-féle angulációs kategóriák és a gyökérmigráció mértéke között szintén nem igazolódott statisztikailag szignifikáns kapcsolat ($H = 1,87$; $p = 0,599$).

A koronektómiát követően 13 esetben (17,81%) vált szükségessé a visszahagyott gyökerek eltávolítása. Ennek leggyakoribb oka a gyökér migrációja volt (9 eset, 69,23%), míg két esetben pulpitis, további két esetben késői periapikális folyamat indokolta a második beavatkozást. Idegsérülés kizárólag a második ülésben végzett gyökéreltávolításokhoz kapcsolódott (3 eset), míg a primer koronektómia során idegsérülés nem fordult elő. A beavatkozást végző orvos képzettsége nem mutatott szignifikáns összefüggést sem a pulpitis előfordulásával ($p = 0,510$), sem a második beavatkozás szükségességével ($p = 0,340$).

A gyökérmigráció mérésének megbízhatósága a két vizsgáló között kiválóan bizonyult (ICC (2,1) = 0,974). A Bland-Altman analízis elhanyagolható átlagos eltérést (bias = 0,04 mm) és szűk egyezési tartományt igazolt (95% LoA: -0,76–0,85 mm), ami alátámasztja az alkalmazott mérési módszer jó reprodukálhatóságát.

V. Megbeszélés

V/1. A fűrőhüvely alkalmasságának vizsgálata

A fogszekció pontossága kulcsfontosságú a sikeres koronektómiához. Vizsgálatunk igazolta, hogy a fűrőhüvely alkalmazása javítja a szekció pontosságát és csökkenti a műtéti időtartamot. Ennek különös jelentősége van a nervus lingualis sérülésének megelőzésében, mivel a bölcsességfog régiójában a lingvális csontfal gyakran rendkívül vékony vagy akár fenesztrált is lehet, így az ideg közvetlen közelségben helyezkedhet el.

A szakirodalom gyakran a szubtotális koronai szekciót javasolja, amelyet kézi eszközzel végzett koronaletörés követ, bár egyes szerzők a teljes koronai átvágást részesítik előnyben a gyökérmobilizáció csökkentése érdekében. Teljes szekció esetén azonban a lingvális szövetek védelme elengedhetetlen, miközben a lingvális lebonyalítás alkalmazása több vizsgálat szerint növelheti az idegsérülés kockázatát. Eredményeink azt mutatták, hogy fűrőhüvely nélkül jelentősen nagyobb a túl mély vágás esélye, míg szabadkézi szekció esetén gyakrabban marad vissza túl sok foganyag, ami nagyobb erőt igényel a korona letöréséhez és növeli a gyökérmobilizáció valószínűségét.

A lingvális csontfal vastagsága a moláris régióban gyakran mindössze körülbelül 1 mm, ami tovább növeli a lingvális ideg sérülésének kockázatát. A koronektómia szabadkézi kivitelezése ezért jelentős tapasztalatot igényel; korábbi vizsgálatok szerint a tapasztaltabb sebészek rövidebb műtéti idővel és kevesebb szövődménnyel dolgoznak. Saját eredményeink alapján a fűrőhüvely különösen a kevésbé tapasztalt operatőrök számára jelent segítséget, mivel használatával a szekcionálási idő jelentősen csökkent.

A módszer további előnye a költséghatékonyság, mivel a hüvelyek 3D-nyomtatással alacsony anyagköltséggel előállíthatók, és méretre szabhatók. Ugyanakkor bizonyos klinikai helyzetekben, például korlátozott szájnyitás vagy mély, kedvezőtlen impakció esetén, alkalmazásuk nehézkes lehet. Vizsgálatunk korlátja, hogy *in vitro* körülmények között, 3D-nyomtatott állkapocsmoddellen történt, amely nem képes teljes mértékben reprodukálni a klinikai környezetet. Ennek ellenére a modell jól reprezentálta a koronektómia technikai nehézségeit.

V/2. A koronektómiát követő foggyökér-migráció időbeli alakulása

Vizsgálatunk célja a koronektómiát követő foggyökér-migráció időbeli lefutásának és befolyásoló tényezőinek elemzése volt, valamint azon klinikai paraméterek azonosítása, amelyek a hosszú távú kimenetelt meghatározhatják. Eredményeink alapján a gyökérmigráció gyakori jelenségnek bizonyult, és jól meghatározható időbeli mintázatot mutatott: a legnagyobb elmozdulás a műtétet követő első hat hónapban következett be, majd az ütem fokozatosan lassult. Bár a migráció mértéke később mérséklődött, a folyamat teljes megszűnése a két éves utánkövetés során sem volt igazolható, ami a hosszabb távú radiológiai kontroll szükségességét indokolja.

Jelentős megfigyelés volt az életkor és a gyökérmigráció közötti szignifikáns, negatív irányú kapcsolat: a fiatalabb betegekben nagyobb mértékű elmozdulást tapasztaltunk. Ez összhangban áll a csontbiológiai ismeretekkel, mivel fiatalabb korban intenzívebb a csontanyagcsere és a szöveti remodelláció. Ennek megfelelően az életkor klinikailag is fontos tényező lehet az utánkövetési stratégia és az esetleges második beavatkozás szükségességének megítélésakor.

Az impakciós jellemzők közül a Pell–Gregory klasszifikáció horizontális komponense mutatott összefüggést a migráció mértékével, míg a vertikális komponens és a Winter-féle anguláció nem bizonyult meghatározónak. Ez arra utal, hogy a ramus és a második moláris közötti helykínálat nagyobb szerepet játszhat a gyökér elmozdulásában, mint a vertikális impakció mélysége vagy a fog tengelyállása. A szakirodalomban ezzel kapcsolatban eltérő eredmények szerepelnek, ami arra utal, hogy a gyökérmigráció több anatómiai és biológiai tényező összetett kölcsönhatásának eredménye.

A klinikai kimenetek értékelése során a visszahagyott gyökerek eltávolítására az esetek közel egyötödében került sor, leggyakrabban a migráció következtében. Fontos megfigyelés, hogy idegsérülés kizárólag a második ülésben végzett gyökéreltávolítás során fordult elő, míg a primer koronektómia során nem. Ez megerősíti, hogy a koronektómia magas idegsérülési kockázat esetén biztonságos alternatívát jelent, ugyanakkor a második beavatkozás valószínűségét is figyelembe kell venni.

Metodikai szempontból a panorámaröntgenen alapuló mérési protokoll kiváló reprodukálhatóságot mutatott, ami jelzi, hogy megfelelő standardizálás mellett alkalmas a gyökérmigráció longitudinális követésére a klinikai gyakorlatban is. A vizsgálat korlátai közé tartozik retrospektív jellege, a kétdimenziós képalkotás alkalmazása, valamint a vizsgált populáció viszonylag fiatal átlagéletkora.

Összességében megállapítható, hogy a koronektómiát követő gyökérmigráció multifaktoriális folyamat, amelyet elsősorban az életkor és az anatómiai viszonyok befolyásolnak. Eredményeink megerősítik, hogy a koronektómia megfelelő indikáció esetén hatékony és biztonságos eljárás, ugyanakkor a hosszú távú radiológiai utánkövetés elengedhetetlen a késői szövődmények felismeréséhez.

VI. Az értekezés új eredményeinek összefoglalása

A fűrőhüvely alkalmasságát vizsgáló tanulmányunk alapján a következő megállapításokat tehetjük:

- A páciensspecifikus, 3D-nyomtatott fűrőhüvely alkalmazása szignifikánsan csökkenti mind a túl mély, mind a túl felszínes koronai szekciók előfordulását, ezáltal javítja a fogszekció pontosságát a szabadkézi technikához képest.
- A fűrőhüvely használata szignifikánsan rövidíti a műtéti időt, különösen a kevésbé tapasztalt operatórok esetében.
- A fűrőhüvelyen kialakuló kopás alapján, az eszköz egyszer használatosnak tekintendő a vágásmélység precíz kontrolljának fenntartása érdekében.

A koronektómiát követő foggyökér-migráció időbeli mintázatát és befolyásoló tényezőit vizsgáló tanulmányunk alapján a következő megállapítások tehetők:

- A gyökérmigráció a koronektómiát követően az esetek több mint 90%-ában kimutatható; legnagyobb mértékben az első 6 posztoperatív hónap során, majd lassuló ütem mellett még két év után is folytatódik.
- Az életkor és a gyökérmigráció mértéke között szignifikáns, negatív irányú összefüggés van; a fiatalabb betegekben kifejezettebb az elmozdulás.
- Az impakciós jellemzők közül a Pell-Gregory klasszifikáció horizontális komponense szignifikáns kapcsolatot mutat a migráció mértékével, míg a vertikális komponens és a Winter-féle anguláció önmagukban nem meghatározóak.
- Koronektómiát követően a reoperáció valószínűsége 20% alatti.

VII. Publikációs lista

A disszertáció alapjául szolgáló közlemények:

1. **The effect of individual drilling sleeves on the precision of coronectomy tooth sections. An invitro 3D-printed jaw model experiment**

Pacheco, A; Soós, B; Lempel, E; Simon, I; Maróti, P; Möhlhenrich, S; Szalma, J
CLINICAL ORAL INVESTIGATIONS 27: 11pp. 6769-6780., 12 p. (2023)
PMID: 37783802, DOI: 10.1007/s00784-023-05289-4
Scimago: D1; IF: 3,1

2. **A koronektómiát követő foggyökér-migráció időbeli alakulása - retrospektív vizsgálat**

Pacheco, A; Gyulai, S; Soós, B; Szakács, M; Szalma, J
ORVOSI HETILAP (2026)
[Elfogadott, de még nem megjelent közlemény]
Scimago: Q4; IF: 0,9

Összesített IF: 4

Egyéb közlemények:

1. **Pre-eruptive intracoronar resorption in orthodontic patients: A retrospective analysis of 3,143 patients**

Gurdán, Zs; Balázs, D; Pásti, D; Fathi, M; Maróti, P; Kardos, K; Pacheco, A; Szalma, J
HELIYON 9: 8 Paper: e 18699, 10 p. (2023)
PMID: 37560674, DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e18699
Scimago: Q1; IF: 3,4

2. **A pre-eruptív intrakoronális reszorpció előfordulása és jelentősége bölcsességfogak esetén.**

Janovics, K; Soós, B; Gurdán, Zs; Pacheco, A; Lempel, E; Bán, Á; Szalma, J
Fogorvosi Szemle 116(3):120–126 (2023)
DOI: 10.33891/FSZ.116.3.120-126

3. **Pre-eruptive intracoronar resorption in “high-risk” impacted third molars: A report of four cases.**

Szalma, J; Janovics, K; Pacheco, A; Kaszás, B; Lempel, E
Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery 50(10):798–805 (2022).
PMID: 36224052, DOI: 10.1016/j.jcms.2022.09.004
Scimago: Q1; IF: 3,1

Kumulatív IF: 10,5