

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Dr. Juhász Alexander

A gyökércsatorna morfológia hatása a gyökércsatorna megmunkálásra és a gyökértömés minőségére

**DEBRECENI EGYETEM
FOGORVOSTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
Debrecen, 2023**

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

A gyökércsatorna morfológia hatása a gyökércsatorna megmunkálásra és a gyökértömés minőségére

Dr. Juhász Alexander

**Témavezetők: Dr. Dobó Nagy Csaba és Dr. Hegedűs
Csaba**



**DEBRECENI EGYETEM
FOGORVOSTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
Debrecen, 2023**

Tartalomjegyzék

Rövidítések jegyzéke	1.o.
1. Bevezetés	2.o.
2. Irodalmi áttekintés	7.o.
2.1 Fogmorfológia	7.o.
2.1.1 A gyökércsatorna lefutás Schneider-szerinti megközelítése	10.o.
2.1.2 A Schneider szög mellé rendelt kör rádiusza	11.o.
2.2 Gyökércsatorna megmunkálás	13.o.
2.2.1 Az egyenes és a görbe lefutású gyökércsatornák megmunkálás utáni jellegzetességei	15.o.
2.3 A gyökércsatorna megmunkálás hatása a gyökértömés mentén létrejövő mikroszivárgásra	16.o.
2.4 A gyökértömő anyagok hatása a mikroszivárgásra	18.o.
2.5 A mikroszivárgás jelentősége az endodonciában	19.o.
2.5.1 Mikroszivárgás-történelmi áttekintés	20.o.
2.6 Folyadékfiltrációs módszer	22.o.
2.7 A mikro-CT endodonciai alkalmazása	23.o.
2.8 Műanyag blokkok	26.o.
2.9 Célkitűzés	28.o.
3. Anyagok és módszerek	29.o.
3.1 Apikális transzportáció	29.o.
3.1.1. Gyökércsatorna megmunkálás	29.o.
3.1.2 A gyökértömés menete	30.o.
3.1.3 A gyökércsatorna preparálás utáni apikális transzportáció radiológiai vizsgálata	31.o.
3.2 Folyadékfiltráció	33.o.
3.2.1 Folyadékfiltrációs mérések	33.o.
3.3 Mikro-CT vizsgálatok	34.o.
3.3.1 Mintaválasztás és előkészítés	34.o.
3.3.2 Az emberi fogak gyökércsatorna megmunkálása	35.o.
3.3.3 A műanyag blokkok preparálása	35.o.
3.3.4 A minták mikro-CT szkennelése	36.o.
3.3.5 Adatfeldolgozás	37.o.
3.3.5.1 Térfogati (3D) analízis	37.o.
3.3.5.2 Keresztmetszeti (2D) analízis	39.o.
4. Eredmények	41.o.
4.1 Gyökércsatorna megmunkálás (apikális transzportáció)	41.o.
4.2 Folyadékfiltrációs eredmények	42.o.
4.3 Mikro-CT vizsgálati eredmények	44.o.
4.3.1 Háromdimenziós kiértékelés eredményei emberi fogak esetén	44.o.
4.3.2 Háromdimenziós kiértékelés eredményei műanyag blokkok esetén	46.o.
4.3.3 Kétdimenziós kiértékelés eredményei	48.o.
5. Megbeszélés, új eredmények	50.o.
5.1 Apikális transzportáció megbeszélés	52.o.
5.2 Folyadékfiltráció megbeszélés	56.o.
5.3 Mikro-CT megbeszélés	56.o.
5.3.1 A gyökércsatorna megmunkálás háromdimenziós vizsgálata	56.o.
5.3.1.1 Emberi fogak	56.o.
5.3.1.2 Műanyag blokkok	59.o.

5.3.2 Kétdimenziós vizsgálatok megbeszélés műanyag blokkok esetén	61.o.
5.3.3 Új eredmények	63.o.
6. Összefoglalás, summary	64.o.
7. Irodalomjegyzék	68.o.
Hitelesített publikációs lista	79.o.
8. Tárgyszavak	81.o.
9. Köszönetnyilvánítás	82.o.
10. Függelék	83.o.

Rövidítések jegyzéke

2D - kétdimenzió

3D - háromdimenzió

AT - apikális transzportáció

$\Delta A/\Delta V$ - deltaA/delta V

MAF – Master Apical File

mikro-CT - mikro-komputer tomográf

NiTi – Nikkel-Titán

PTU – Pro Taper Universal

SEM – Scanning Electrone Microscope

SMI - Structural Model Index

ZOE - cinkoxid-eugenol

1. Bevezetés

A gyökérkezelés fő célja hogy megelőzze, vagy feltartóztassa/gyógyítsa a bekövetkező pulpális/periradikuláris kóros elváltozásokat, valamint megőrizze a sérülést szenvedett természetes foga(ka)t. [46].

Ennek legfontosabb módja az, hogy a kiterjedésében és lefutásában is igen bonyolult gyökércsatornában és a környező dentintubulusokban lévő baktérium kolonizációk számát a lehető legkisebbre lecsökkentve és a gyökércsatorna teljes falánál jól záró gyökértömést készítve megakadályozni lehessen a későbbi baktérium/bomlástermékek penetrációját a gyökércsatornában és azon túlra. Ez egyben gyógyíthatja a periapikális gyulladást és az annak következményeként kialakult kedvezőtlen fog eredetű szisztémás megbetegedéseket [10].

Magyarországon gyökérkezelést, gyökértömést végezhet fogorvostan-hallgató, fogorvos rezidens, általános fogorvos és most már szakvizsgával rendelkező endodonciai szakorvos is. Természetesen a sikeresség e miatt a beavatkozási kompetencia szint miatt igen változó, de egy specialista által végzett gyökértömés nemzetközi adatokat tekintve is kb. 90%-os sikerességűnek prognosztizálható [46,128,129].

A gyökércsatorna nem egy olyan forma, mely a gyökércsatorna bemenettől folyamatosan szűkülve a gyökércsúcsig egy egyszerű idomot alkotna. A gyökércsatorna egy komplex, lefutásában elágazásokkal és összeolvadásokkal rendelkező egyedi rendszer, mely az anatómiai gyökércsúcs végéig érve számtalan variációval bírhat. Éppen ezért a bonyolultságnak okán a gyökércsatornák lefutásának leírására sok klasszifikáció létezik [2, 142,143].

A kezelőorvos szempontjából nagyon fontos tényező az, hogy a fő gyökércsatorna, amelyet műszereivel képes a megmunkálás során elérni, annak milyen az anatómiai lefutása. Egy relatíve egyenes lefutású gyökércsatornát technikailag könnyebb mechanikusan megmunkálni az 'ideálshoz' megközelítő formához, mint a görbe lefutásút [44]. Sokat segíthet a gyökércsatorna lefutásának meghatározásában az egyik legtöbbet használt mérőszám a Schneider-féle szög megmérése és megadása [115].

Abban az esetben, amikor kísérletes szempontok miatt, de akár a mindennapi rutinban is, ha gyökércsatorna lefutás alapján kategorizálnak fogakat, ennek a szögnek a megmérése segítségével könnyű így különböző csoportba beosztani az egyenes és a görbe lefutású gyökerekkel rendelkező fogakat.

Másik módja a számos gyökércsatorna görbület leírásának és kategorizálásának egy

negyedfokú polinom approximációs komputer grafikai klasszifikáció alapján történt [77].

Ebben az esetben a gyökércsatornák lefutási alakzatait a matematikai ekzsaktság és emellett a jobb megérthetőség érdekében a betúk (I,J,C,S) formájához azonosították a szerzők.

Az egyenes gyökércsatornában sem képzelhető el igazán az, hogy a megmunkáló műszer minden működő része egyszerre érintkezik a gyökércsatorna összes felszínével és ezáltal szimmetrikusan preparál a gyökércsatornában [21].

Ezzel szemben, a görbe gyökércsatornában biztosan vannak olyan területek, amelyek nem találkozhatnak a megmunkáló műszerrel normális működési szituációban [44].

A feltágításból adódóan egyre nagyobb átmérőjű és ezáltal, egyre kevésbé flexibilis műszerek egyre intenzívebb kiegyenesedési hajlamot mutatnak a görbe gyökércsatornában [115]. Ott, ahol érintkezik a megmunkáló műszer a gyökércsatorna falával, dentint távolít el. Ahol nincs érintkezés, a gyökércsatorna fala megmunkálatlan marad, illetve a fertőzött dentin törmelék (debris) ide rakódhat le és itt kompaktálódhat. Aszimmetrikus preparálás jöhet létre a gyökércsatorna egyik (külső görbületi ív), illetve másik (belső görbületi ív) falán. Az Amerikai Endodonciai Társaság által kiadott Endodonciai Kifejezések Szójegyzéke szerint a gyökércsatorna transzportáció a gyökércsatorna fal külső görbületi ívéből történő egyenlőtlen dentineltávolítás, mely a megmunkáló műszerek kiegyenesedési hajlamából adódik. Ha ez az aszimmetrikus preparálás a gyökércsatorna apikális részén következik be, apikális transzportációnak (AT) hívja a szakirodalom [5]. Az apikális transzportáció a műszerek tulajdonságából és pozíciójából kifolyólag legtöbbször a gyökér külső görbületi ívén jelentkező megmunkálási hiba [5].

Egyöntetű konszenzus alakult ki arról az endodonciai szakirodalomban, hogy csak a jól megmunkált gyökércsatornában lehet jó gyökértömést készíteni [10,115].

Ezért az endodonciai sikeresség egyik alapköve a jól megmunkált gyökércsatorna kell, hogy legyen. A jól (ideálisan) megmunkált gyökércsatorna makroszkópos méreten mért kritériumait sok szerző megfogalmazta már [37,44,116].

Mikroszkópos, azaz mikron méret alapján jelenleg még nincs ilyen kritérium leírás a gyökércsatorna megmunkálás ideális formájáról és mértékéről.

Mind a mindennapi alkalmazott rutinban, de még inkább a kísérletes körülmények alkalmazhatóságában is szükség van arra, hogy az eddigieknél adekvátabb, érzékenyebb vizsgáló módszerekkel lehessen meghatározni a gyökértömések sikerességét. A sikeres gyökértömés alap kritériumait más szerzők mellett Torebinejad is megfogalmazta: klinikailag a gyökértömött fog panasz és tünetmentes, valamint radiológiailag gyógyult, illetve ki sem alakul a gyökértömés után periapikális elváltozás [129].

A gyökértömések legfőbb komponense a szilárd, de megfelelő manipulációval ideiglenesen puhává tehető, majd a csatornában visszaszilárduló, anyagösszetételében állandó guttapercha. Mivel ez az anyag nem képes kitöltheti teljesen a gyökércsatornát, ezért szükséges alkalmazni egy másik fázist is, amely képes lehet baktérium penetráció mentes megfelelő zárást biztosítani a guttapercha poénok között (technika függően), valamint a guttapercha csúcs(ok) és a gyökércsatorna fala közt is. Ezt az eleinte folyékony fázisú, majd megkeményedő gyökértömő anyagot hívjuk sealernek. A sealereknek anyagtani tulajdonságaiknak köszönhetően fontos befolyása lehet a gyökértömő anyag és gyökértömő rendszer mikrobiológiai zárásának tekintetében, ami rosszabb esetben mikroszivárgást eredményezhet a gyökértömés és a gyökércsatorna határfala mentén [53,54,100].

Két különböző anyagú és szerkezetű felület találkozási felszínét határfelületnek nevezzük. A határfelületek illeszkedése a közöttük lévő rés miatt nem tökéletes. Ebben a résben speciális fizikai-kémiai folyamatok zajlanak (diffúzió, penetráció, kapilláris hatás stb.) [18,126].

Kiemelkedő jelentőségűnek tekinthetők a képződött rések a gyökértömött fogak esetében a gyökércsatorna fala és a gyökértömő anyag, valamint a guttapercha csúcs(ok) között, mivel az itt kialakult térben baktériumok, azok bomlástermékei, toxinok, különböző molekulák, ionok néha akadály nélkül vándorolhatnak [64]. Számos tanulmány hangsúlyozza, hogy a tömőanyagok nem fix, inert anyagok átjárhatatlan határfelületekkel, hanem dinamikus mikrohasadékokkal rendelkeznek, melyeket akár a mindennapos artikulációs terhelés indukál és változtathat meg. Bár ezekben a mikrorésekben a szivárgás klinikailag detektálhatatlan, de a sikeres endodontiai terápiára ható fontos faktor, mert biológiai hatásai révén akár a gyökértömés sikertelenségét is okozhatja [8,9,99].

A folyadékfiltrációs vagy folyadéktranszport (fluid filtration, fluid transport) módszert Pashley (1983) dolgozta ki [89] és Wu M-K és mtsai. (1993) tették alkalmassá az endodontiai mikroszivárgás kísérletes vizsgálatára [148]. A Hagen-Poiseuille egyenletből adódóan következtetni lehet a gyökértömés „passzázsának” legkisebb átmérőjére, ezáltal ez a módszer megmutatja, hogy a gyökértömés teljes hossza mentén milyen mértékű lehet a folyadékfiltrációból adódóan a baktérium penetráció mértéke [73,131].

A nagy felbontású CT (mikro-CT vagy μ CT) felvételek térbeli rekonstrukciói lehetnek akár a csont, vagy a fogak szerkezetének is. A cone-beam CT, rövidítve CBCT-hez hasonlóan egy voxel alapú adatállományra történő röntgensugár általi leképezésének, melyben minden egyes képponthoz egy számérték rendelhető. Ez a szám pontosan arányos

a vizsgált anyag megfelelő szerkezetének sugárgyengítési tényezőjével, így az anyag adott pontban megadott sűrűségével [153].

A kapott szürkeárnyaltos adatállományból szegmentálással kijelölhető a vizsgálandó objektum. A szegmentálás során manuálisan (pl. fuzzy szegmentálás) [97], vagy speciális software segítségével automatikusan sávokra bontható a teljes vizsgált anyag skála, a szürke szín véges számú árnyalatával ábrázolva és tartományokba sorolva a különböző struktúrájú röntgen elnyelő anyagokat, mint pl. zománc, dentin, gyökércsatorna stb. [104].

A mikro-CT készülékek szoftverei alkalmasak a röntgensugarak által létrehozott kétdimenziós (2D) sorozatképek háromdimenziós (3D) alakítására, mérésre és prezentációra, mint például SMI (Struktur Model Index), A (felszín), V (térfogat) úgy, hogy az anyag külső és belső képleteit nem kell roncsolni [153].

Az emberi fogak esetén nehéz standardizálni és megismételni a gyökércsatorna morfológiát, mert minden fog más és más belső struktúráját tekintve. Amennyiben nem csak tanulási, gyakorlási, hanem kísérleti felhasználásra alkalmazzák ezeket, tudni kell, hogy minden emberi fog egyedi és megismételhetetlen morfológiai szerkezettel rendelkezik, ami nem segít abban, hogy kísérletes körülmények között azonos beosztású, homogenitású csoportokban szerepeljenek. Ezért alkalmaznak endodonciai in vitro kísérletekben műanyag endodonciai blokkokat is. Ezek a műanyag blokkok standartizált gyökércsatorna lefutást biztosítanak mind a görbület, mind a keresztmetszet tekintetében [45].

Az extrahált emberi fog és az endodonciai műanyag blokkok anyagtani tulajdonságai természetesen különbözőek, de mégis összehasonlítás alapját kell képezniük. A dentin mikrokeménysége $350-400 \text{ N/mm}^2$, míg a műanyag endodonciai blokkoknál ez az érték $200-220 \text{ N/mm}^2$, nagyjából a fele. A forgó mozgás kapcsán generálódó hő puhíthatja a műanyag szerkezetét, ez is befolyásolhatja a mérési eredményeket. Az is befolyásoló tényező lehet, hogy a megmunkálás által keletkezett, a műanyag blokk falából levágott piciny forgácsok (resin chips) nem identikus méretűek a természetes fogak gyökércsatorna falából levágott dentin forgácsokkal (dentin chips) [25,45].

Amennyiben műanyag blokkokat használnak a kutatók, speciális, standardizált körülmények között tudják vizsgálni a gyökércsatorna megmunkáló eszközök viselkedését, akár jól meghatározott gyökér görbületi szögek esetén is. A megmunkáló eszközök alapvető működése követhető így, bár a működési tulajdonságaik csak megszorításokkal extrapolálhatóak a valódi emberi fogakra. Ezért, kellő körültekintéssel kell követni minden olyan elemzést, amely szoros összehasonlítást említ a műanyag blokkok és az emberi fogak megmunkálásának összehasonlítása során [25,37].

A gyökércsúcs körüli szövetek irritációjáért, ezáltal a gyökértömések ilyen ok folytán létrejött hibájáért a baktériumok illetve azok bomlástermékei mellett a gyökércsúcson túlnyomott endodonciai anyagok is felelősek lehetnek [10]. A technikailag jól kivitelezett gyökértömés célja az, hogy a gyökércsatorna hermetikus zárásával megelőzze a fertőző baktériumok újabb bejutását a gyökércsatornába, illetve a gyökércsatornában rekedt baktériumoknak ne engedjen tápanyag támogatást a szöveti folyadékok bejutásának megakadályozásával. Csak a hosszú távon át jól működő, az egész gyökércsatornát teljes mértékben kitöltő gyökértömés tekinthető megfelelőnek [10].

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Fogmorfológia

A „morphos” görög eredetű szóból származik a morfológia szó. Orvosi, tudományos definíciója az idegen szavak szótára szerint ”a testi formák tana, beleértve a belső szerveket is”.

Az emberi fogak morfológiája rendkívül változatos. A koronán élek, csücskök és barázdák fordulnak elő, míg a gyökerek száma és lefutása is igen változatos.

A különböző típusú fogak gyökereiben lévő gyökércsatorna, gyökércsatornák számtalan anatómiai formával rendelkeznek, melyeknek osztályozására sok beosztás készült már. A gyökércsatorna egy komplex, lefutásában elágazásokkal és összeolvadásokkal rendelkező rendszer, mely a gyökércsúcs végéig érve számtalan variációval bírhat, még az egyén különböző fogaiban is [7,41].

A variációk száma sok, ezért szükség van a gyökércsatorna morfológiai osztályozására is. Ennek az osztályozásnak sokkal többnek kell lennie, mint a gyökércsatorna konfigurációk beosztása. Ennek az osztályozásnak kategorizálnia kellene a gyökércsatornák közti kommunikáció útjait is. A gyökércsatorna konfigurációk ideális klasszifikációjának meg kell mutatnia a fogakat a gyökereik száma alapján, a gyökerekben lévő gyökércsatornák száma alapján és minden gyökércsatornában a valós lefutást az orificiumtól az anatómiai apexig. Ennek bonyolultsága mellett mégis egyszerűnek, pontosnak, megbízhatónak és könnyen megérthetőnek kell lennie. Olyannak, ami a tudományos munkában, a mindennapos fogorvosi gyakorlatban és az oktatás során is könnyen alkalmazható. A sok kritérium mellett ugyan akkor általánosnak kell lennie, mely minden fog minden gyökerére és minden gyökércsatornájára egyaránt vonatkozhatna [2,6,7,142].

Az emberi fogak belső anatómiájának megismerése a 19-edik század végén, a 20. század elején került a tudomány fókuszába. 1901-ben Preiswerk [101] megolvasztott fémot juttatott a gyökércsatornába, így tanulmányozva a fogbél szerkezetét. 1913-ban Prinz [102] fedezte fel a diafanizációs módszert. A tudományos eljárás a következő módon történt. Kálium – hidroxidos keményszövet kioldás volt a lúgos kémhatás érdekében. Majd alizarin vörös festékkel való alkalmazás történt a szövetfestés miatt. Glicerinben tárolás biztosította az eredmények későbbi értékelését. Ezt a módszert alkalmazta Okumura is, aki a gyökércsatorna osztályozás úttörőjének tekinthető [84].

Az utóbbi évtizedekben számtalan gyökércsatorna klasszifikáció és annak módosítása is napvilágot látott a szakirodalomban. Mégis, ha a modern megfogalmazásokat szeretnénk követni ennek érdekében, látnunk kell, hogy az alapokból kell kiindulni. Az endodonciában a legelső osztályozás, amely komoly anatómiai ismeretek alapján született meg, Weine nevéhez fűződött, aki szeleteléses módszerrel és röntgen vizsgálattal az egy gyökércsatornán belüli morfológiai előfordulásokat négy osztályba osztotta [143].

I. típus (1-1): Egy csatorna fut az orificiumtól az apexig

II. típus (2-1): Kezdetben két csatorna fut, majd egy foramenben végződnek

III. típus (2-2): Két csatorna önállóan futva az apexig

IV. típus (1-2): Kezdetben egy csatorna kétfelé ágzik az apex felé

Ezt az osztályozást később tovább dolgozta Vertucci 1984-ben megjelent cikkében [142], amelyben kb. 200 felső első kisörlőt 'clearing' technika alkalmazásával és a gyökerek megfestésével vizsgálta, mint ahogy Robertson [108,109] is.

A fogak szerkezetének átlátszóvá tétele „clearing technika” Robertson szerint:

1. dekalifikáció 5%-os salétromsavval 72 óra

2. dehidráció felszálló sorú isopropil alkohollal 70%-os 3 óra, 80%-os 3 óra, 90 %-os 2 óra és 100%-os 1óra

3. átlátszóvá tétel és tárolás metil szalicilátban min. 2 óra

Vertucci a korábbi négy helyett nyolc kategóriába sorolta a gyökércsatorna rendszereket [142].

I. típus (1-1): Egy csatorna fut az orificiumtól az apexig

II. típus (2-1): Kezdetben két csatorna fut, majd egy foramenben végződnek

III. típus (1-2-1): Egy csatorna kettéágazódik, majd egyesülve egy csatornában végződik az apexnél

IV. típus (2-2): Két csatorna szeparált lefutása az orificiumtól az apexig

V. típus (1-2): Egy csatorna indul, ami majd két forámenben végződik

VI. típus (2-1-2): Két csatorna indulása után egyesül, majd újra különválik az apexnél

VII. típus (1-2-1-2): Egy csatorna indul ami kettéválik, majd újabb egyesülése után újra kettéválik az apexnél

VIII. típus (3-3): Három csatorna fut végig önállóan az apexig

Ez a legtöbbet alkalmazott osztályozás volt a korábbi endodonciai közleményekben. A legnagyobb jelentősége abban van, hogy a gyökércsatornán belüli komplexitások mellett azt is kategorizálta, ha a gyökércsatornának nem csak egy kijárata lehet a parodoncium felé.

A később felfedezett, az endodonciában is gyorsan bevezetett nem destruktív, háromdimenziós vizsgáló és képalkotó rendszerek, mint például a cone-beam CT, mikro-CT, de akár az operációs mikroszkópok alkalmazása is azzal a következménnyel járt, hogy a jobban megismert gyökércsatorna morfológia újabb és újabb osztályozásokat eredményezett, melyek még jobban próbálták leírni a gyökércsatorna morfológia komplexitását, mint az előbb említettek [7]. Így számos gyökércsatorna forma került felfedezésre, melyet az előbbi osztályozásokba nem lehetett besorolni.

Kartal és mtsai. [59] a Vertucci 2. osztályt további két alcsoportra osztotta alsó metszőfogakat tanulmányozva.

II.a: két külön csatorna egyesül az apexnél

II.b: két külön csatorna az apex előtt egyesül majd egy foramennel végződik [7,59]

Gulabivala és mtsai. a burmai populáció alsó őrlő fogait tanulmányozva még további hét gyökércsatorna morfológiai konfigurációt vezetett be a Vertucci osztályozáshoz képest [36].

Sert S és Bayirli 2800 maradó fogat vizsgált a török populációban szintén 'clearing' technikát alkalmazva [118].

Ők a Vertucci klasszifikációhoz további tizenöt új konfigurációt adtak hozzá.

Peiris és mtsai. két további gyökércsatorna konfigurációt találtak Sri-Lankai populáció alsó hatos fogaiban [91].

Al-Qudah további változtatásokat vezetett be a nomenklatúrában [3].

Versiani [140] mikro-CT-t felhasználó közleményükben 37 gyökércsatorna konfigurációt írt le, ami valószínűleg összefoglalja a leggyakoribb előfordulásokat, amiket egy gyökéren belül lehet találni, de gondolom, hogy még ez sem lehet teljes a morfológiai megjelenés változatossága szempontjából [138,139].

Az Ahmed féle beosztás (1. ábra) talán az egyik legalkalmazhatóbb, legrészletesebb morfológiai beosztás napjainkban [2].



1. ábra Ahmed féle gyökércsatorna morfológiai beosztás egy példája

(saját készítésű ábra) 144^{1-2-3}

Az illető fog fő száma (44) melletti bal indexben (1) a gyökér/ gyökerek számát jelöli (egy gyökér). A jobb indexben a gyökércsatorna/gyökércsatornák lefutását mutatja (1-2-3). Egy csatornából kettéágazás történik, majd az egyik csatorna újra kettéágazik a mutatott esetben. A több gyökerű fognak minden gyökércsatornánál (pl. MB, DB, P) meg van jelölve az egyedi gyökércsatorna lefutás a jobb felső index alapján.

2.1.1 A gyökércsatorna lefutás Schneider-szerinti megközelítése

A szakirodalmak alapján egyértelmű, de a mindennapi gyakorlatban is tapasztalható, hogy a gyökércsatorna/ gyökércsatornák morfológiai előfordulása rendkívül változatos. A kezelőorvos szempontjából nagyon fontos tényező viszont az, hogy a gyökércsatorna lefutása konkrétan milyen [6,38].

Egy relatíve egyenes lefutású gyökércsatornát technikailag könnyebb feltágítani az 'ideálshoz' megközelítő formához, mint a görbe lefutásút.

A gyökércsatornák egyenességének vagy görbeségének leírására is sok klasszifikáció létezik [39].

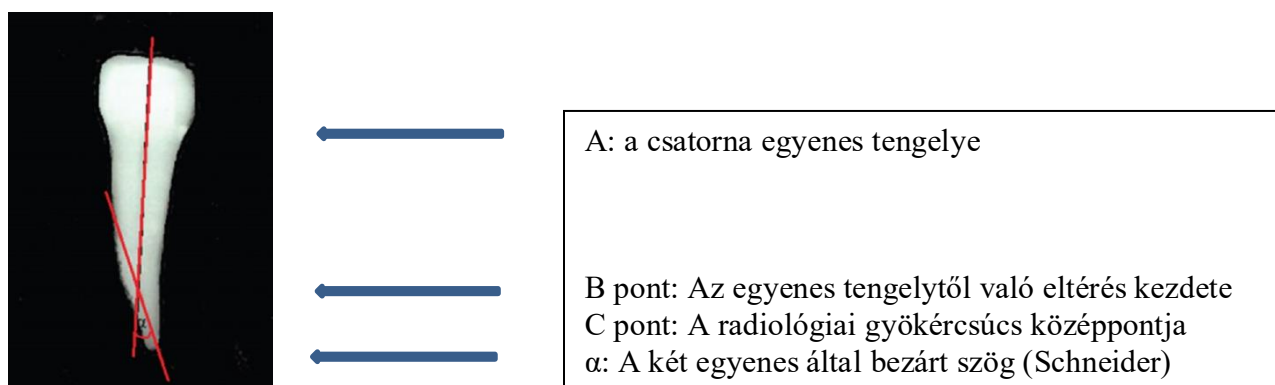
Ennek meghatározásához az egyik legtöbbet használt mérőszám a Schneider-féle szög [115] megmérése (2. ábra).

Schneider szög:

A klinikai nézetben készült röntgenfelvétel alapján a gyökerek görbületének szöge az alább leírt módon van kiszámolva. Az egyik egyenes a gyökér koronai részén, az orificium indulásából a gyökércsatorna tengelyén át húzott egyenes (A). Az egyenes csatornától eltérő első pont kezdete a (B) pont. A gyökércsúcs közepén található pont a (C) pont. A másik

Ezen szög alapján a szerző három csoportra osztotta a fogak gyökereit görbeségük szöge (α) alapján.

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| 1. csoport: 0-5° | alapvetően egyenes gyökerek |
| 2. csoport: 5-20° | átlagosan görbült gyökerek |
| 3. csoport: 20° felett | erősen görbült gyökerek |



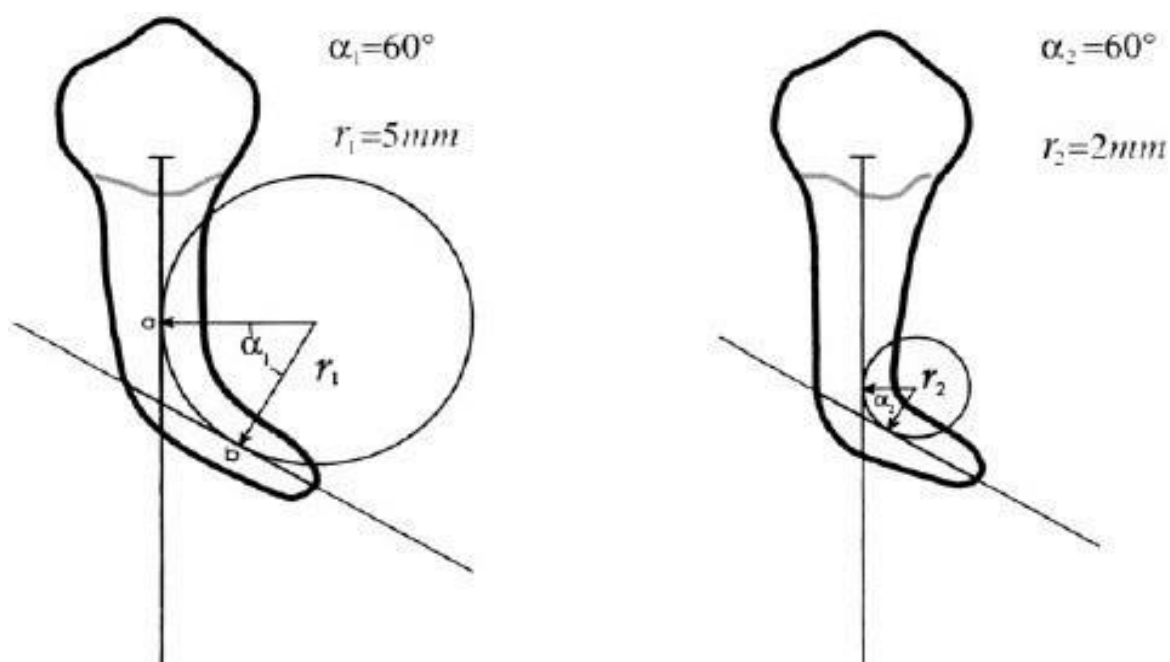
2. ábra A Schneider szög(α) (saját szerkesztés)

2.1.2 A Schneider szög mellé rendelt kör rádusza

Ennek a problémának okán kíváncsi volt meghatározni egy olyan mérőszámot, mely a gyökércsatorna görbülete hosszát is megadja. Hiszen ugyan olyan Schneider szögszám mérhető egy hosszú ívelésű görbület és egy meredek törésű, rövid görbület esetén is.

A gyökércsatorna két tengelyéhez (egyenes és szöget bezáró tengely, (lásd 3. ábra) egy olyan illesztett kört kell rendelni, amely mindkét tengellyel egyszerre érintkezik egy ponton. Ha ennél a hozzárendelt körnél a sugár (r) minél hosszabb, akkor a gyökércsatorna lágyabban görbül, illetve minél rövidebb, annál hirtelenebb a gyökércsatorna görbülése. Ha $r \leq 4\text{mm}$, akkor ez meredeken görbült gyökércsatornát jelent. Ha $r = 4\text{-}8\text{ mm}$ között van, akkor ez közepesen görbült gyökércsatornára utal. Ha r nagyobb, mint 8mm, akkor enyhe görbületű

a gyökércsatorna lefutásának íve [104..114].



3. ábra. Különböző görbületi ívű, azonos Schneider szögű gyökércsatornák

Természetes, hogy a hirtelen görbülő gyökércsatorna korrekt feltágítása nagyobb kihívást jelent a kezelő fogorvosnak, mint a folyamatosan görbülő gyökércsatorna.

A Dobó-Nagy féle gyökércsatorna osztályozás (1. táblázatban) negyedfokú polinomiális approximációs komputer grafikai klasszifikáció alapján történt [77,80].

Négy fajta gyökércsatorna lefutási formát határoztak meg, a könnyebb megértés és prezentálás érdekében betűkhöz hasonlítva azokat. Zárójelben az előfordulási arány van megadva.

I forma: egyenes lefutású gyökércsatorna (28%)

C forma: teljes hosszon görbült gyökércsatorna (33%)

J forma: apikális régióban görbült gyökércsatorna (23%)

S forma: többszörösen görbült gyökércsatorna (16%)

Anatómiai lokalizáció szerint	Scneider klasszifikáció	Dobó-Nagy klasszifikáció	Rádiusz alapú görbület	Forma alapú görbület
Apikális harmad görbült	egyenes	I forma	erősen görbült	apikális fokozatos görbület
	$a \text{ szög} < 5^\circ$	<i>egyenes</i>	$r < 4mm$	
Középső harmad görbült	mérsékelten görbült	J forma	mérsékelten görbült	sarló alak
	$a \text{ szög} 10-20^\circ$	<i>apikálisan görbült</i>	$4 mm < r < 8 mm$	
Koronális harmad görbült	erősen görbült	C forma	enyhén görbült	bajonett alak
	$a \text{ szög} > 20^\circ$	<i>teljes hosszán görbült</i>	$r > 8 mm$	
		S forma		dilacerált alak
		<i>többszörös görbület</i>		

1. táblázat A gyökérgörbület különböző szerzők általi klasszifikációja
(saját készítésű táblázat)

2.2 Gyökércsatorna megmunkálás

A gyökércsatorna megmunkálás sikeressége fontos tényező a gyökérkezelés folyamatában. Ezért ennek vizsgálata kitüntetett figyelmet kapott régebben, de manapság is sok közlemény foglalkozik ezzel az endodonciai szakirodalomban [10,11,15].

Számos módszer létezik a különböző görbületű és lefutású gyökércsatornák feltágítására annak érdekében, hogy a legjobb befogadó közeg lehessen az alkalmazott gyökértömés sikeressége érdekében [121,122].

Az egyenes formájú gyökércsatornákat könnyebb „ideális” formájúvá tágítani, mint a görbéket, a nagyobb görbületű, hirtelen törésű gyökércsatornákat pedig theoretikusan is, de a valós gyakorlatban is sokkal nehezebb erre a kívánt formára megmunkálni.

Az ideális gyökércsatorna megmunkálás kategorizálásához számos szerző alkotott makromorfológiai szabályokat.

Schilder formai és biológiai tételeket alkotott ennek érdekében, amelyek így néznek ki [116].

Formai tételek:

Folyamatosan szűkülő gyökércsatorna a trepanációs nyílástól az apexig

A gyökércsatorna átmérőjének folyamatosan szűkülnie kell az apex felé haladva

A tágitásnak követni kell az eredeti csatornaformát (ne legyen aszimmetrikus a preparálás)

Az apikális forámennek az eredeti helyzetében kell maradnia

Az apikális kijáratot a praktikusán legkisebbnek kell hagyni

Biológiai tételek:

A megmunkálást a gyökércsatornára kell korlátozni

A fertőzött szöveteket lehetőleg nem juttatni túl a foramenen

Minden szövet eltávolításra kerüljön a gyökércsatornából

Megfelelő hely biztosítása a gyökércsatornában két ülés között alkalmazott fertőtlenítő szereknek

Hülsmann és munkatársai kicsit másképp fogalmazták meg az ideális gyökércsatorna megmunkálás körülményeit, kritériumait [44] :

- Eltávolítani az élő és az elhalt szövetmaradványokat a fő csatornarendszer (ek) ből
- Megfelelő helyet biztosítani az átmosó folyadékoknak és a gyökércsatorna fertőtlenítő pasztáknak (dresszingek)
- Az apikális konstriktio helyzetének és integritásának biztosítása
- A iatrogén sérülések elkerülése
- A jó gyökértömés biztosításának a lehetősége
- A periapikális szövetek további infekciójának / irritációjának megelőzése
- Az egészséges gyökéri dentin megőrzése a funkció hosszú távú biztosításának érdekében

Egy más szerző általi (Torabinejad) megfogalmazás szerint az ideális formára megmunkált gyökércsatornára a következők jellemzőek [129]:

1. A legtágabb keresztmetszete a gyökércsatorna orificiumánál van
2. A legszűkebb keresztmetszete a gyökércsatorna fiziológiai szűkületénél van (foramen physiologicum), ami szövettanilag a dentin-cement határ a

gyökércsúcs közelében

3. Folyamatosan szűkül a gyökércsúcs felé haladva
4. A keresztmetszete a lefutás során lehetőleg végig kör formájú legyen
5. Ne legyen aszimmetrikus a preparált gyökércsatorna, megmunkálása után tartsa meg az eredeti formáját
6. Formája olyan legyen, hogy a leginkább befogadhatóvá tegye az alkalmazott gyökértömést

2.2.1 Az egyenes és a görbe lefutású gyökércsatornák megmunkálás utáni jellegzetességei

A gyökércsatorna megmunkálás során különböző formájú, típusú és anyagösszetétele tekintetében is különböző műszereket használhat a fogorvos. A hagyományosan, kézi erővel alkalmazott megmunkálást már többnyire kiváltja a gépi forgó műszerek segítségével történő gyökércsatorna feltágítás. De akár kézi, akár gépi eszközökkel is történik a gyökércsatorna megmunkálása, a megmunkáló műszer a gyökércsatornában dolgozva nem tudja átlépni a fizika szabályait és különösen a görbe gyökércsatornában nem kívánatos preparálást okozhat, iatrogén hibát, hibákat kialakítva [44]. Ezek a kezelő fogorvos által okozott preparálási hibák technikailag megnehezítik a jó gyökértömés elkészítésének a lehetőségét.

Ha a műszer nem követi a gyökércsatorna ívét és belevág a dentinfalba, akkor ezt álút/lépcső képződésnek nevezik. A zip képződés egy tipikus iatrogén preparálási probléma gyökércsatorna megmunkálás során [143]. A zip egy olyan lépcső képződés, mely a gyökércsatorna apikális részén, a gyökér külső görbületi ívéen fordul elő. Az egymás után alkalmazott egyre vastagabb és egyben egyre merevebb megmunkáló műszerek nem tudják a gyökércsatorna ívét követni, ezáltal egyre egyenesebb csatornát preparálnak fizikai tulajdonságaik okán a gyökércsatornában. Néha az álút képzés olyan mértékű, hogy a fog anyagán áthatolva perforációt okozhat a műszer az apexnél. Ez a perforáció előfordulhat akár a gyökér középső (strip perforáció), vagy akár a koronális harmadában is és megtörténhet akár a furkációs területeken [10].

A „zip és elbow” egymásnak mondhatni, hogy ikertestvérei, egyik a másik nélkül ritkán következhet be [98]. Az egyre merevebb tágitó műszerek sorozatosan növekvő számát alkalmazva, az apikális részen a gyökércsatorna külső görbületi ívéen cikcakkos túlzó tágitás (zip) következik be. E miatt az aszimmetrikus túlzott tágitás miatt, ettől koronálisabban egy

nem fiziológias szűkület jön létre (elbow) a gyökércsatornában. Ez a homokóraforma kialakulása megakadályozhatja a foramen fiziologikumig érő, jól kompaktált gyökértömés létrehozásának lehetőségét.

Mindezek okán demonsráló lehet az, hogy a gyökércsatorna morfológiájának döntő hatása van a gyökércsatorna megmunkálás eredményére és ezáltal, a benne/bennük elvégzett gyökértömés minőségére is. Amennyiben azt nézzük, hogy a hagyományos kézi feltágítás felváltójaként gépi gyökércsatorna megmunkálást alkalmaznak manapság, akkor nagy általánosságban azzal kell számolni, hogy a görbe gyökércsatornában kb.30 % a kiegyenesedés aránya gépi megmunkálás után [20,121]. Természetesen ez a kiegyenesedési ráta akár kézi, akár gépi eszközökkel történik a görbe gyökércsatornák feltágítása, erőteljesen megmunkáló műszer és megmunkálási technikafüggő paraméter [44,107].

2.3 A gyökércsatorna megmunkálás hatása a gyökértömés mentén létrejövő mikroszivárgásra

A gyökérkezelés folyamata egy olyan, számos lépést egymás után követő beavatkozás technikai véghezvitele, mely során minden egyes kezelés sikere predisponálja a következő és ezáltal végső megoldást. Csak jól elvégzett anamnézis és klinikai vizsgálat alapján lehet jó diagnózist felállítani. A jó diagnózis alapján következik az egyén fogára felállított adekvát kezelési terv meghatározása. Ebből a folyamatból következik, hogy csak a jól megmunkált gyökércsatornában lehet jó gyökértömést kivitelezni [51]. A gyökércsatorna megmunkálása során két alapvető dologra kell fókuszálnia a fogorvosnak. Egyrészt a fő gyökércsatornában meglévő mikroorganizmusok mennyiségének drasztikus eltávolítását kell elvégezni különböző fertőtlenítő, dezinficiáló szerek segítségével. Az angolszász szakirodalom ezt „cleaningnek” nevezi. De ez önmagában nem elég, mert a mellécsatornában illetve a dentintubulusokban lévő mikroorganizmusok számára kevésbé hozzáférhetőek ezek a fertőtlenítő folyadékok, még ha aktiváló módszerekkel is próbálják hatásukat javítani [82].

Sem melegítéssel, sem ultrahang vagy lézeres hatásaktiválással nem lehet elérni azt, hogy a fertőzött dentintubulusokból teljes mértékben el lehessen tüntetni a felelős baktériumokat. A gyökércsatorna megmunkálása, tágítása során a csatorna falával határos fertőzött dentinnek egy jelentős részét is eltávolítja a kezelőorvos. Ennek az elvnek az ismeretében, de a gyökértömés praktikus kivitelezhetőségének okán is a kezdetben szűk, néha görbe gyökércsatornát olyan méretűre és formájúra kell feltágítani, hogy megfelelően

befogadhatta az alkalmazott gyökértömő anyagot. Az angolszász szakirodalom ezt „shapingnek” nevezi. Megformálni a gyökércsatornát olyan formájúra, hogy optimálisan befogadó legyen az alkalmazott gyökértömés számára [44,115].

Mit jelent a jó gyökértömés? Az endodonciai tankönyvek eltérően nyilatkoznak arról, hogy mik a jó gyökértömés technikai követelményei.

Ezek például Schilder szerint:

- A gyökércsatorna legszűkebb pontjái (foramen fiziologikum) kell érjen. Sem a rövid, sem a gyökércsatornán túlérő gyökértömésnek nem jó a prognózisa.
- Töltsse ki a gyökércsatornát. Ne legyenek a gyökértömésben magában anyagihiányos területek.
- Jól komprimált legyen. Ez azt jelenti, hogy a gyökértömés résmentesen érintkezzen a gyökércsatorna falával [116].

Bergenholtz [10] másképp közelíti meg ezt a kérdést.

Mivel a gyökércsatornában jelen lévő, vagy a kemo-mechanikai megmunkálás után is megmaradó mikroorganizmusoknak helyre és tápanyagra van szükségük a túléléshez és a növekedéshez, ezért a sikeres gyökértömés érdekében blokkolni kell a gyökértömés által minden utat, ami a pulpa üreg periodonciummal való összeköttetése által elképzelhető. Ez jelenti a foramen apicalen, a laterális és járulékos csatornákon és a szájüreg felől a trepanációs nyílás restuaratív ellátásán keresztül szivárgó mikroorganizmusok transzportációjának blokkolását, megelőzését.

Ez a megállapítás azért fontos, mert mind a több fázisú (sealer és guttapercha) gyökértömésben, mind gyökércsatorna fala és a gyökértömés közötti határfelületekben mikroszivárgás jöhet létre, ha azokban rések, anyagihiányok vannak. Ezen rések méretétől függően jöhet létre a gyökércsatornában a mikroszivárgás vagy a nanoszivárgás jelensége [64,74].

Az elkészült gyökértömések technikai minőségét rutinszerűen röntgenfelvétellel ellenőrzi a fogorvos. Sajnos a periapikális röntgenfelvételek diagnosztikai pontossága nem megfelelő. A háromdimenziós gyökértömést csak két dimenzióban lehet látni, ráadásul a rtg felvételek számos hibája (felejt, vetül, hozzáad stb.) is hozzájárul ahhoz, hogy a biológiai sikeresség megítéléséhez nem igazán megfelelő ez a módszer [76]. Az apikális periodontitisz periapikális rtg. felvétellel történő diagnosztikai pontossága kb.70% körüli a cone-beam CT (CBCT) 84 százalékos eredményéhez képest [90].

Mind a mindennapi alkalmazott kiértékelő rutinban, de még inkább az endodonciai kísérletes körülmények között [62] szükség van arra, hogy adekvátabb, érzékenyebb vizsgáló

módszerekkel lehessen meghatározni a gyökértömések sikerességét [51].

2.4 A gyökértömő anyagok hatása a mikroszivárgásra

Széles körben elfogadott, hogy a gyökércsatorna rendszer három-dimenzióban történő gyökértömése a kulcsfaktora a sikeres endodonciai kezelésnek [47]. Schilder [116] szerint a gyökérkezelés célja a tényleges, háromdimenziós gyökértömése a fő és a járulékos gyökércsatornáknak. Mert ez megadályozza a gyökércsatornába jutását, perkolációját és mikroszivárgását a periapikális exudátumoknak. Ezzel megelőzhető a reinfekció és olyan biológiai környezet áll így fenn, ahol a gyógyulás indulhat meg.

A gyökértömések legfőbb komponense a szilárd, hidegen nyomással komprimálható, de melegítve ideiglenesen puhává tehető, majd a csatornában visszaszilárduló, anyagösszetételében állandó guttapercha. A guttapercha plasztikus, könnyen manipulálható a gyökércsatornán belül és kívül, minimálisan toxikus, radiopak, könnyen behelyezhető és szükség esetén könnyen eltávolítható a gyökércsatornából [21].

Mivel ez az anyag önmagában hermetikusan nem képes kitöltheti a teljes gyökércsatorna rendszert, ezért szükséges alkalmazni egy másik fázist is gyökértömés során, amely képes lehet baktérium penetráció mentes megfelelő zárást biztosítani a guttapercha poénok között (technika függően), valamint a guttapercha poén(ok) és a gyökércsatorna fala közötti résekben is [10]. Ezt az eleinte folyékony fázisú, majd megkeményedő gyökértömő cementet hívjuk sealernek. A mikroszivárgás azonban mégis bekövetkezhet a sealer és a gyökércsatorna fala közötti résben, valamint a sealerek anyagán belül is [10,86,137]. Összetevőit tekintve számos típusú gyökértömő paszta/sealer létezik az endodonciai gyakorlatban. A leggyakrabban alkalmazott sealerek a cink oxid-eugenol (ZOE) a kalcium-hidroxid típusú ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), a glass-ionomer (GIC) és az epoxy-gyanta típusú sealerek [10]. Manapság igen sokoldalúan használhatóak a biokerámiák az endodonciában keményszövet képzés és akár a fog vitalitásának megtartása érdekében is. Ígéretesek a kalcium –szilikát típusú sealerek, mert jó zárási tulajdonságaik mellett kiemelkedő biokompatibilitással bírnak [22].

Ezeknek a sealereknek anyagtani tulajdonságaiknak köszönhetően fontos befolyása lehet a gyökértömő anyag és rendszer mikrobiológiai zárásának tekintetében, ami rosszabb esetben mikroszivárgást eredményezhet a gyökértömés és a gyökércsatorna fala mentén [46,152].

2.5 A mikroszivárgás jelentősége az endodonciában

Két eltérő anyagú és szerkezetű felület találkozási felszínét határfelületnek nevezi a szakirodalom [64]. A határfelületek illeszkedése a közöttük jelenlévő rés miatt nem lehet tökéletes. A rés nagyságának meghatározásánál az alkalmazott vizsgálómódszer érzékenysége döntő jelentőségű lehet. A határfelületet pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) készített felvétel 500-szoros nagyítású képén még nem fedezhetők fel azok az illeszkedési hibák, amelyek az 1500-szoros nagyítású képen már részletgazdagon láthatók. A mikron méretű határfelületi elemzéshez olyan speciális vizsgáló eszközökre van szükség, amelyek képesek ilyen méretben is detektálni a kívánt részleteket (SEM, mikro-CT stb.). [11,12].

A fogászati gyakorlatban a határfelületeknél jelentkező rések jelentősége rendkívül nagy, mivel rések képződhetnek a zománc, a dentin, a cement és a helyreállítás során alkalmazott tömő, ragasztó, gyökértömő anyagok között, hasonlóan a fogpótlást felépítő egyes anyagrétegek között is. Kiemelkedő jelentőséggel bírhatnak a képződött rések a gyökértömött fogak esetében a gyökércsatorna fala és a gyökértömő anyag, valamint a guttapercha csúcsok között, mert az itt létrejött térben különböző baktériumok, azok bomlástermékei, toxinok, molekulák és ionok akadály nélkül vándorolhatnak [64,66,85].

Számos tanulmány hangsúlyozza, hogy a különböző tömőanyagok nem fix, inert anyagok átjárhatatlan határfelületekkel, hanem dinamikus mikrohasadékokkal rendelkeznek, melyeket akár a mindennapos artikulációs terhelés indukál és változtathat meg [66]. Ezekben a mikrorésekben a szivárgás in vivo detektálhatatlan, de a sikeres endodonciai terápiára ható fontos faktor, mert biológiai hatásai révén akár a gyökértömés sikertelenségét is okozhatja [12,31,53,54,135].

Muliyar [74] két szintre osztotta fel a mikroszivárgást annak megfelelően, hogy milyen mértékegység szinttel detektálható a mikroszivárgás:

a. Mikron méretű mikroszivárgás (bakteriális)

A mikron méretű rések a foganyag és a restauratív anyag között teoretikusan és a valóságban is lehetővé teszik a hasonló átlagos méretű baktériumok penetrációját ezen integritások mentén a felszínből a mélybe. Ha a kariogén baktériumok képesek a határfelületi rések mentén a mélybe penetrálni, proliferálódni, ez nem csak szekunder kariesz

kialakulását, hanem következményesen pulpa irritációt is okozhat, annak gyulladásával illetve elhalásával. A gyökértömések mentén kialakuló résekben hasonlóan határfelületek vannak, melyek között ugyan úgy létrejöhet a baktériumok penetrációja [74].

b. Szubmikron szintű mikroszivárgás (nanoszivárgás)

A foganyag/restoratív anyagok közti résekben előfordulhat szivárgás akár a nano méretű résekben is. Ebben az esetben nem baktériumok, hanem ionok és molekulák szivárgásáról beszélhetünk. A folyadékok áramlása a dentincsatornában is általában ebben a nanoméret tartományban zajlik. Ezt az áramlást számos tényező befolyásolhatja, mint pl. a dentincsatornák térfogata, a keletkezett smear layer, a dentin kalcifikációja, vagy akár a kezelésre használt topikálisan alkalmazott anyagok is [74].

2.5.1 Mikroszivárgás-történelmi áttekintés

Az 1930-as években szerzett tapasztalatok alapján született az a megállapítás, hogy a gyökértömés hibáiért a rosszul tömött gyökércsatorna mentén a forámen apikálén túljutó baktériumok tehetők felelőssé [110].

Ez az akkor még nem bizonyított feltételezés számos kutatót arra ösztönözt, hogy vizsgálat tárgyává tegye az „apikális szivárgás” kérdését. A holt tér teória abban az időben a leggyakrabban idézett teória volt. Rickert UG azt feltételezte, hogy a gyökércsatorna apikális részén a folyadékpangás következtében toxikus melléktermékek képződnek, amelyek a periapikális szövetekben gyulladást választ indukálnak [106]. Ezt a teóriát Torneck 1966-os közleménye megcáfolta [130].

Ez a tanulmány ismertette azokat a kísérleti eredményeket, amelyek során tesztkapillárisokat helyezett el ép szövetben. Abban az esetben, ha a tesztkapillárisokba nem fertőzött szövetnedveket juttattak, az eltelt időtől függetlenül nem jött létre gyulladás a környező szövetekben. Egy másik teória [26], a perkolációs teória szerint, ha a testfolyadékok bejutnak a rosszul záródó tömések mentén a fog gyökércsatorna rendszerébe, ott szétbomlanak, degradálódnak és tovább szivárognak a periradikuláris szövetekbe és immunválaszt provokálnak. Ez az elmélet teljesen ellentmondott a Torneck féle teóriának.

A Washington tanulmány [46], amelynek legfontosabb tézise a perkolációs elméleten alapult, rámutatott arra, hogy az endodonciai sikertelenségek többségének oka

(63%) az inkomplett, rosszul záró gyökértömésekre vezethető vissza. Az endodonciai kezelések sikerességének megítélése során a tanulmányok döntő többségében ellentmondásosak voltak a vizsgált kritériumok.

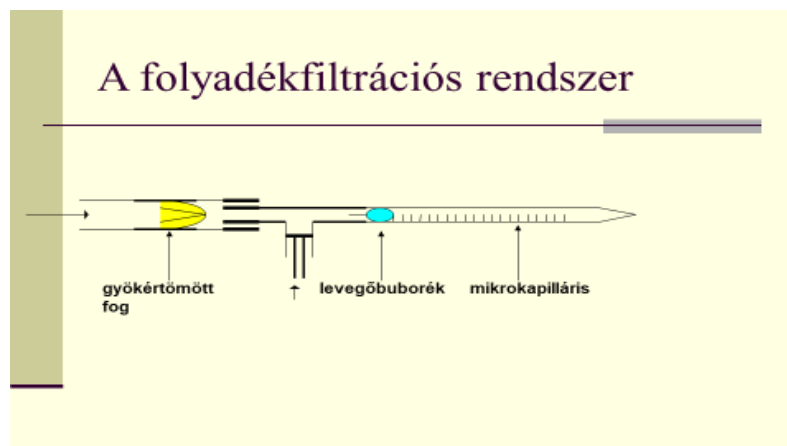
Napjainkban a fogorvostudományok terén is csak a bizonyítékokon alapuló eredmények fogadhatók el. Ilyen eredményeket szolgáltatott a Torontó tanulmány [29], amely hasonló megállapításra jutott a gyökértömések sikeressége tekintetében, mint a Washington tanulmány. A hosszú távú vizsgálat során szerzett eredmények bebizonyították, hogy apikális periodontitisz röntgenfelvétellel igazolt fennállása esetén a primer gyökértömés elkészítését követően a sikerességi arány jóval kisebb (74%), mint a periapikális elváltozással nem rendelkező fogak gyökértömése után (92%). A rosszul kompaktált gyökértömések eltávolításával, a gyökércsatorna újbóli fertőtlenítésével és újratömésével a sikeresség ezáltal javítható [29].

Az endodonciai szakirodalomban az elmúlt évtizedekben jelentős számú, a mikroszivárgás mérésével foglalkozó közlemény jelent meg. Schuurs közleménye azt mutatta be, hogy egy vizsgálathoz a mintaszámnak mennyinek kéne lennie egy csoporton belül ahhoz, hogy statisztikailag biztos lehessen az elemzés [117]. Sajnos ezt a magas (63) mintaszámot nem lehet biztosítani úgy, hogy homogén legyen a vizsgálati minták eloszlása a kísérletekben. A mikroszivárgás témájának jelentőségét az is mutatja, hogy az ezerkilencszázas évek végén a Journal of Endodontics-ban megjelent közlemények mintegy 15%-a apikális mikroszivárgási vizsgálatokról számolt be. Ezeknek a közleményeknek a döntő többsége festékpenetrációs vizsgálat volt akkoriban [35,85,.86,127]. Mostanában talán kicsit lecsökkent az ezzel a témával foglalkozó közlemények száma, de biztos, hogy ha kifejlesztésre kerül egy modern, kvantitatív méréseket biztosító olyan módszer, ami hűen utánozza az emberi szervezetben végbemenő folyamatokat és hosszú távú vizsgálati lehetőséget biztosít a minták roncsolása nélkül, akkor visszatér majd ennek a vizsgálati lehetőségnek a jelentősége.

A kifejezett nemzetközi érdeklődéssel ellentétben a hazai szakirodalom ritkán foglalkozott ezzel a témával. Az ez idáig megjelent közlemények is döntően a koronai mikroszivárgás jelentőségét tanulmányozó vizsgálati eredményekről számoltak be [50,58,67,124].

2.6 Folyadékfiltrációs módszer

A folyadékfiltrációs vagy folyadéktranszport (fluid filtration or fluid transport) módszert Pashley [89] dolgozta ki a konzerváló fogászat számára és Wu és mtsai. [148] tették alkalmassá az endodontiai mikroszivárgás kérdésének vizsgálatára. A kísérlet során a gyökértömött fogat hermetikusan rögzítették egy műanyag csőben, amelyhez egy mikropipettát csatlakoztattak. A rendszer vízzel volt feltöltve, a kapilláris 0 pontjához egy légbuborék lett inokulálva a rendszerhez rögzített fecskendő segítségével. A fog koronai része felől a légkörtől magasabb nyomást vezettek (0,2-1 atm) a rendszerbe. A teljes gyökértömés egyenetlenségein átjutó folyadék (víz) elmozdította a 0 pontban lévő légbuborékot, a mennyiségének megfelelően (4. ábra). A Hagen-Poiseuille egyenletből adódóan következtetni lehetett a gyökértömés „passzázsának” legkisebb átmérőjére, ezáltal ez a módszer megmutatta, hogy a gyökértömés teljes hossza mentén milyen mértékű lehetett a réseken átjutó folyadékmennyiségből következtetve a baktérium penetráció lehetősége [131].



4. ábra A folyadékfiltrációs rendszer (saját készítésű ábra)

Magyarázat:

- jobbra irányuló nyíl: 1 atmoszféra túlnyomás
- felfelé irányuló legkisebb nyíl: fecskendő a levegőbuborék beállításához
- a levegőbuborék a 20 mikroliteres kapilláris nulla pontjához lett beállítva

A rendszernek számos előnye van:

nem destruálja a fogat, ezért a kísérletek többször ismételhetők

az eredmények mérése könnyű

már nagyon kis térfogatváltozás ($1,3 \cdot 10^{-3}$ μl /perc) észlelésére alkalmas

longitudinális követésre is használható.

A folyadékfiltrációs módszer csak utánózni képes a baktérium penetráció folyamatát, pusztán az átlagos baktérium méret penetrációját meghatározó mikrorésekből bekövetkező folyadékpasszázs kimutatásával.

Hátrányának tekinthető az, hogy csak az egész gyökércsatorna hosszon átérő réseknél az áteresztőképességét tudja vizsgálni a módszer (a cul de sac-vakon végződő réseket nem). Hátrányként említhető még, hogy a különböző szerzők különböző túlnyomás értékeket és különböző vizsgálati periódust használtak, melyek a kapott értékek összevethetőségét kérdőjelezi meg. [50,99,100,137,150]

Több kísérletben [52,65,149] ezzel a módszerrel vizsgálták az 1-2 éves gyökértömések zárási tulajdonságának változását.

Ez a módszer nem igényel festéket és semmilyen más manipulatív anyagot, amelyek jelentősen megmászhatják a kísérleti körülményeket és eredményeket. Nem rontja a fogakat, ezért a kísérleti minták speciális körülmények között történő raktározásával (vízben vagy 100 százalékos nedvességben) a kísérletek sora újra ismételhető hosszú távon. De nem mindegy az eredmények összehasonlíthatóságának az érdekében, hogy milyen túlnyomás mértéken és mennyi ideig tart a vizsgálati periódus [99].

Az is fontos tényező lehet, hogy a gyökértömés során alkalmazott sealernek milyen tulajdonságai vannak, ha az időben bekövetkező degradálódásukat tekintjük vizsgálati tényezőnek [33,152]. Érdekes tény ennek kapcsán, hogy a guttapercha egyes sealer (pl. ZOE) hatására megduzzadhat [19]. Így a guttapercha duzzadása és a sealer degradálódása egymásnak ellentétes térfogati folyamatai, melyek érdekes eredményeket hozhatnak, ha hosszú távon vizsgáljuk a gyökértömések zárási tulajdonságát.

2.7 A mikro-CT endodonciai alkalmazása

A huszadik század technikai fejlődései lehetővé tették, hogy számos olyan eljárás kerülhetett bevezetésre, melyek sikeresen mutathatták meg az emberi fogak belső morfológiáját. Ilyen módszerek voltak például a háromdimenziós viasz modell, a digitális radiográfia, gyanta injekciós modell, a kontrasztanyagot röntgen vizsgálat és mások mellett a szkennelés elektron mikroszkópia (SEM) is [92].

Ezeknek a technikáknak kétségtelenül jelentős hatása volt nem csak a tudomány, hanem a gyakorlati praxis és az oktatás fejlődésére is. Ezek a módszerek legtöbbször a foganyag részleges vagy teljes tönkretételével jártak, illetve számos melléktermék keletkezésével, amelyek a mérési eredmények pontosságát rontották. Arról nem is beszélve, hogy

legtöbbször egy háromdimenziós struktúra kétdimenziós vizsgálatát és kiértékelését eredményezték csak [141].

Ezek a korlátok arra ösztönözték a kutatókat/fejlesztőket, hogy újabb, jobb vizsgáló módszereket keressenek ebben a témában [40,71].

Berutti keményszövet mikrotómmal felszeletelt gyökereken vizsgálta és 3 D-ben vizualizálta a gyökércsatorna megmunkálás eredményét. Itt a szeletelési vastagság még 1 milliméter volt [12].

Youngston hasonló jellegű kísérletében a metszet vastagság már 220 mikrométer volt [134], míg Gale közleményében 150 mikrométer metszet vastagságot említ [31].

Az ezerkilencszáz kilencvenes évek elején mutatta be Blašković-Šubat módszerét, amelyben a fogak gyökerét transzverzálisan sorozat szeletelve digitális fényképezőgéppel felvételt készített minden egyes metszetről [14]. Ezután a digitalizált metszeten a kontúrokat (gyökér, gyökércsatorna) digitális ceruzával manuálisan körberajzolva majd azokat megfelelően térben egymásra helyezve építette fel a fog külső és belső szerkezetét ábrázoló rekonstrukciót három dimenzióban. Bár ezzel a módszerrel a fogakat szintén felszeletelték, ezáltal a mérési eredmények nem voltak ismételhetőek, de egy részlegesen digitális technika került így bevezetésre. Hasonló módszert alkalmazott egy hazai kutatócsoport is, ahol a szeletek 250 mikrométer vastagságúak voltak [40,49].

Ezerkilencszáz kilencvenben Tachibana és Matsumoto voltak, akik először javasolták a teljesen digitális és háromdimenziós komputer tomográfia (CT) bevezetésének a lehetőségét endodonciai kísérletek esetén [125]. A magas ár, a nem megfelelő felbontás és a kezdetleges software miatt azt a következtetést vonták le, hogy a CT-nek csak limitált alkalmazási lehetősége van az endodonciában. Más nem destruktív, digitális rendszerek is felvetésre kerültek a gyökércsatornák vizsgálata során, mint pl. a mágneses rezonancia mikroszkóp, optikai koherencia tomográfia és a cone-beam CT is [27,92].

Elliott és Dover [28] építette meg az első nagy felbontású mikro-CT készüléküket. A „mikro” elnevezés arra utalt, hogy a digitális keresztmetszeti képekben a pixel méret már a mikrométeres tartományra korlátozódott. Ugyan akkor azt is jelentette, hogy a készülék is kisebb volt, mint az emberi alkalmazásra kifejlesztett, valamint azt is, hogy a vizsgálni kívánt objektum mérete is centiméteres nagyságrendű lehetett. Endodonciai kísérletekre való alkalmazása 13 évvel a felfedezése után következett be Nielsen által [83].

A mikro-CT-k további fejlesztésével növekedett az adatgyűjtés, a feldolgozás sebessége és pontossága is [27,105].

A gyökércsatorna anatómiájának kvantitatív analízisét először Bjorndal végezte el

[13].

A gyökércsatorna megmunkálás mikro-CT-vel való követését Bergmans mutatta be először [11].

Az elkövetkező években Peters és mtsai. [93,96] már olyan 3 D-s paramétereket vizsgáltak felső moláris fogaknál, mint a térfogat, felszín, és a Strukturális Model Index [42]. Ezek a paraméterek arra hivatottak, hogy a gyökércsatorna megmunkálás eddigi makroszkópos mértékű kritériumait felváltsák valami kisebb léptékű, sokkal konkrétabb értékelésre, melyet mikro-CT elemzéssel lehet elérni.

A gyökértömések vizsgálatát és kiértékelését is részletesebbé teszi, ha mikron méretű dimenzióban lehet ezeket vizsgálni [57,83].

Az utóbbi évtizedekben jelentősen megnőtt az endodonciai folyóiratokban az ezzel foglalkozó közlemények száma [93,141] (5. ábra).



5. ábra Mikro-CT közlemények száma a az utóbbi húsz évben a nemzetközi endodonciai szakfolyóiratokban [adatok 141]
(saját szerkesztés)

A mikro-CT hatalmas előnye, hogy háromdimenziós paramétereket lehet vizsgálni, mérni és akár oktatási céllal bemutatni emberi fogak esetén [60].

A gyökércsatorna morfológia mellett a gyökércsatorna megmunkálás fontos paramétereit is lehet ezáltal elemezni. A mikro-CT készülékkel együttműködő software többek között a

megmunkálás következtében a gyökércsatornában bekövetkező felszín és térfogatváltozás eredményeit tudja mérni mikrométer nagyságrendben [138,139].

A felszín/térfogat arány, (A/V) vagy más néven „specifikus felszín” (így adja meg a software könyv) a struktúra vastagságát és komplexitását jellemző hasznos paraméter. Az általunk alkalmazott „Skyscan CT-Analyser software-ben” megtalálható automatikus mérőszám [153].

Még egyetlen egy közölt mikro-CT vizsgálatban nem találkoztunk eddig azzal, hogy ezt a software kibocsájtó cég által megadott mérőszámot ($\Delta A/V$) bárki is felhasználta volna endodonciai kísérletében. Nekünk ez a mérőszám nagyon reális mérőszámnak tűnt, ezért megvizsgáltuk alkalmazhatóságát emberi és műanyag fogak esetén is a gyökércsatorna megmunkálás eredményének értékeléséhez [55].

Az SMI (Structural Model Index) értékeket is kiszámolja a Skyscan software, mely érték a gyökércsatorna keresztmetszetében a megmunkálás által bekövetkező lemez-henger változás jellemzőit mutatja be három dimenzióban [42,93,94].

A Structural Model Index (SMI) egy morfológiai paraméter, mely független a fizikai dimenziótól. Egy olyan térfogat arányszám, amely háromdimenziós struktúrákban méri az objektum hasonlóságát a gömb ($SMI=4$) illetve a henger ($SMI=3$) és a lemezfelülethez ($SMI=0$), a test konvex görbületeit vizsgálva [42,153].

A konkavításokat mínusz előjellel adja meg. A konvexitások és konkavítások átlagát számolja. Mértékegysége nincs (SkyScan).

Ezek a kategorizált számok a teljes gyökércsatorna hossza vonatkoznak, háromdimenziós mikro-CT mérések értékeléseiben.

Ezen háromdimenziós értékek mellett nagyon fontos, a gyökércsatorna megmunkálás minőségére vonatkozó kétdimenziós adatokat is tud mérni a software, úgymint a körösödés, alak faktor és az excentrikus preparálás [153], amely felsorolt értékekről a későbbiekben fogok leírást adni.

2.8 Műanyag blokkok

Az emberi fogak esetén nem lehet standardizálni és megismételni a gyökércsatorna morfológiát, mert minden fog más és más a belső struktúráját tekintve. Ha nem csak tanulási, gyakorlási, hanem kísérleti felhasználásra alkalmazzuk ezeket, tudnunk kell, hogy minden emberi fog egyedi és megismételhetetlen morfológiai szerkezettel bír, ami nem segít abban, hogy kísérletes körülmények között azonos beosztású, besorolású csoportokban

szerepeljenek. E miatt lehet és szoktak alkalmazni endodonciai kísérletekben műanyag endodonciai blokkokat is. Ezek a műanyag blokkok standartizált gyökércsatorna lefutást biztosítanak mind a görbület, hossz, mind a keresztmetszet tekintetében, bár keménységük nem vethető össze a dentin keménységével. [32,45]. Míg a dentin átlagos Knopp keménysége 55-61 kg/mm², addig a műanyag blokkok Knopp keménysége 20-40 kg/mm² között változik [63].

Amennyiben műanyag blokkokat használnak a kutatók, speciális, standartizált körülmények között tudják vizsgálni a gyökércsatorna megmunkáló eszközök viselkedését, akár meghatározott gyökércsatorna görbületi szögek esetén is. A megmunkáló eszközök alapvető működése követhető így, bár a működési tulajdonságok nem extrapolálhatóak a valódi fogakra, mert számos hátránya is van. [45].

Hülsmann [45]. közleményében hátrányként említi, hogy a műanyag blokkoknál például nem lehet vizsgálni a gyökércsatorna tisztítás hatását. A levágott dentin és gyantaforgács mérete különböző. A gyantaforgácsot nehezebb eltávolítani atmoszással, ezért a csatorna elzáródás előfordulása megmunkálás esetén nagyobb, mint dentin esetén. A dentin preparálásához kb. kétszer nagyobb erőhatás szükséges, mint műanyag blokk esetén. Ezért, kellő körütekintéssel kell követnünk minden olyan elemzést, amely szoros összefüggést említ a műanyag blokkok és az emberi fogak megmunkálásának összehasonlításában [17,25].

Az egyenes csatornájú műanyag blokkok Pro Taper Universal gépi preparálása során a korábbi vizsgálatoknál az derült ki, hogy még az ilyen egyszerű geometriai forma (egyenes kúp) esetén is a beavatkozást végző tapasztalt fogorvos a gyökércsatorna falában excentrikus preparálást végezhet [32]. Ezért a preparált arteficiális gyökércsatorna keresztmetszete, különösen a gyökércsatorna bemenet tájékán az eredeti szabályostól irreguláris formára változhat, ezáltal excentrikus lesz. Ennek van is mikro-morfológiai kétdimenziós mérőszáma, ez az excentrikusság [153].

2.9 Célkitűzés

1. Meg kívánjuk határozni, hogy a gyökércsatorna forma hogyan befolyásolja a preparációs hibákat Flexofile műszerrel végzett step-back megmunkálás esetén.
2. Longitudinális folyadékfiltrációs vizsgálattal kívánjuk meghatározni, hogy a gyökércsatorna forma, vagy a gyökértömő anyag tulajdonsága van-e nagyobb hatással a gyökértömés rövid illetve hosszú távú zárasi tulajdonságára.
3. Igazolni szeretnénk, hogy a folyadékfiltrációs kísérletünkben jelen lévő több változó (gyökércsatorna forma, gyökértömő anyag, szivárgási kategória, idő) együttes elemzésére alkalmas a fogászatban eddig még nem alkalmazott Rudas-féle Mixture Index of Fit (π^*) statisztikai módszer.
4. Modellezni kívánjuk, hogy a háromdimenziós képalkotóval végzett preparációs változások kiértékelésére elfogadott SMI érték hogyan módosul az alkalmazott műszer szekvenciák használata folyamán.
5. Összehasonlító vizsgálattal szeretnénk igazolni, hogy a SMI módszernél hatékonyabb módszernek bizonyulhat a mikromorfológiai analízisre használt paraméterekből képzett $\Delta A/\Delta V$ arányszám.

3. Anyagok és módszerek

3.1 Apikális transzportáció

3.1.1 Gyökércsatorna megmunkálás

Negyven egy gyökerű, egy gyökércsatornájú záródott apexű felső extrahált első maradó nagymetszőt választottunk kísérletünkhöz, próbálva a gyökércsatorna paramétereket közelítőleg hasonlóvá tenni.

A fogakat pufferolt formaldehid oldatban (pH 7,25) tartottuk a kísérlet kezdetéig. Minden fog gyökerét egy 15X15X20 mm-es szilikon hasábba ágyaztuk be. Minden egyes blokk sarkaiba két-két különböző átmérőjű acél csapágygolyót helyeztünk be, a későbbi röntgenes detektálhatóság érdekében. A makroradiográfiás felvételen ezek a különböző átmérőjű, de ismert méretű golyók segítettek egyrészt a tízszeres nagyítás meghatározásában, másrészt a natív és a későbbi gyökértömött felvételek korrekt egymásra pozicionálásában. A fogak trepanálása és a pulpa Donaldson-tűvel történt extirpálása (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Svájc) után digitális röntgenfelvételeket (RVG, Trophy, Franciaország) készítettünk a fogakról mind bukkális, mind approximális nézetből. A felvételek készítése során a műanyag hasábok közepére volt pozicionálva a röntgen tubus.

A radiológiai felvételek alapján a fogakat két csoportba osztottuk be. Az egyikbe 20 egyenes, a másik csoportba 20 görbe gyökércsatornájú fog került egy négyfokozatú polinomiális approximációs komputer grafikai klasszifikáció alapján [77]. A gyökércsatorna matematikailag meghatározott tengelyétől való eltérés helyét és mértékét vizsgálja ez a kategorizáció.

Ezek a röntgenfelvételek egyben a megmunkálatlan gyökércsatorna falait is mutatták. Ez alapján történt a gyökércsatorna tengelyének a kétdimenziós meghatározása mindkét nézetben (klinikai, approximális).

Az egyenes és a görbe gyökércsatornák megmunkálását egy tapasztalt fogorvos végezte rozsdamentes acél Flexofile reszelőkkel (Dentsply- Maillefer Ballaigues, Svájc) step-back megmunkálás szerint. A mesterreszelő (MAF) mérete minden esetben ISO 30 volt. A csatornában utoljára használt reszelő mérete ISO 45 volt. A műszerek öt csatornánként cserélve lettek a műszertörés elkerülése illetve a tágitási hatékonyság megtartása érdekében. A kemo-mechanikai megmunkálás során folyamatos gyökércsatorna átöblítés történt minden műszer használata után 2.6%-os nátrium-hipoklorit oldat segítségével. (Hystolith,

Lege Artis, Dettenhausen, Németország). A gyökércsatorna átjárhatóság biztosításának érdekében a megmunkálás után egy ISO 10-es átmérőjű Kerr tágitóval (Dentsply- Maillefer Ballaigues, Svájc) rekapituláltuk a teljes munkahosszt. A végső átmosásra 5 milliliter (ml) steril sóoldatot használtunk (Lege Artis, Dettenhausen, Németország). A gyökércsatornák kiszárítása identikus számú papír pointokkal (Dentsply-Maillefer Ballaigues, Svájc) történt [52].

3.1.2 A gyökértömés menete

Az egyenes és görbe csoportokat ezután két-két alcsoportra osztottuk (n=10), hogy teszteljük a különböző típusú sealerek gyökértömési tulajdonságait a különböző morfológiájú (egyenes ill. görbe) gyökércsatornák esetén. A fogak felénél (n=20) Sealapex kalcium-hydroxid típusú sealert (Kerr Manufacturing Co. USA), másik felénél (n=20) zink-oxid-eugenol (ZOE) tartalmú Pulp Canal Sealer (Kerr Manufacturing Co. USA) sealert használtunk gyökértömő pasztaként. Ezáltal a következő csoportokat alakítottuk ki:

1. csoport: egyenes csatorna Sealapex gyökértömés (n=10)
2. csoport: görbe csatorna Sealapex gyökértömés (n=10)
3. csoport: egyenes csatorna Pulp Canal Sealer gyökértömés (n=10)
4. csoport: görbe csatorna Pulp Canal Sealer gyökértömés (n=10)

Gyökértömésre mindegyik csoportban laterálkompakciós hideg guttapercha gyökértömési technikát alkalmaztunk. A sealer bevitelére ISO 30-as tágitót használtunk az óramutató járásával ellentétes irányban negyed fordulattal elfordítva azt. A mester guttaperchát - a MAF méretével megegyező, ISO 30-as guttapercha volt minden fog esetén – az adott sealerbe mártva helyeztük a kiszárított és sealerrel előzőleg feltöltött gyökércsatornába. A laterálkompakciót 30-as ISO méretű kézi spreaderrel (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Svájc) kezdtük. A járulékos guttaperchákat is sealerbe mártva helyeztük a csatornába, ISO 30 majd 25-ös méretű spreaderrel tömörítve azokat. A gyökércsatornák teljes feltöltése után a csatornákból kiálló guttapercha felesleget hevített excavátorral távolítottuk el. Ezután a fogakat szobahőmérsékleten, zárható Petri-csészében tároltuk, a megfelelő 100%-os páratartalmat rendszeres nedvesítéssel tartottuk fent a további felhasználásig. A tágitási és gyökértömési procedúrákat egy fogorvos végezte [52].

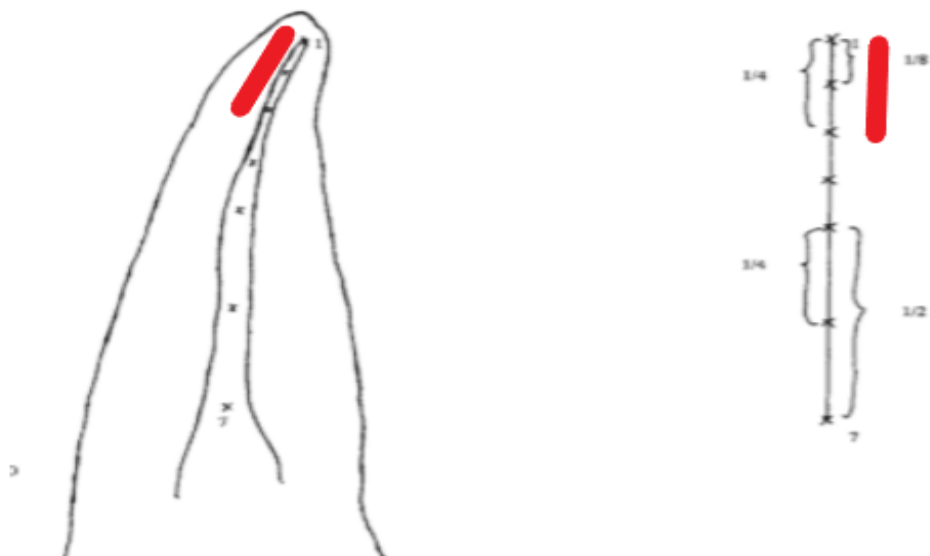
3.1.3 A gyökércsatorna preparálás utáni apikális transzportáció (AT) radiológiai vizsgálata

Kétirányú (mesio-distalis és bucco-lingualis) posztoperatív digitális röntgen felvételeket készítettünk a gyökértömött fogakról.

A preparációs hibák egyikének, az apikális transzportáció (AT) gyakoriságának és mennyiségi elemzésének meghatározása a feltágítás előtti és a gyökértömés utáni röntgenfelvételek egymásra helyezésével történt, tízszeres nagyítást alkalmazva [52]. A digitális röntgenfelvételek egymásra pozicionálását, valamint a tízszeres nagyítás méretének ellenőrzését segítették a hasáb alakú szilikon blokkok négy sarkába beágyazott különböző, de ismert méretű csapágygolyók. Az AT meghatározása a Dobó-Nagy féle módszerrel történt, a maximális preparációs aszimmetria megadásával [77].

Ennek alapja elsődlegesen a gyökércsatorna tengelyének meghatározása volt Briseno szerint [16].

A preparációs aszimmetria (AT) meghatározásánál az eredeti gyökércsatorna tengelye volt a referencia, mely hét középponti mérőpont alapján lett meghatározva (6. ábra). A mérőpontok a gyökércsatorna azonos magasságban lévő kétoldali pontjának megfeleléséből adódtak. A tízszeresére nagyított röntgenfelvételen a gyökér és a gyökércsatorna kontúryait körberajzoltuk. A gyökércsúctól koronálisan a gyökércsatorna vizuálisan legszűkebb pontját jelöltük a foramen fiziologikum helyének. A gyökércsatorna bemenet (7) és a foramen fiziologikum (1) volt a két szélső pont. A távolságukat felező pont a középpont (5). A középpont és a szélső pontok közti távolság is mindkét irányban meg lett felezve (3,6). Aztán az 1-es és 3-as pontok közti távolság is felezésre került (2), mivel ezen a vizsgálati hosszon volt igazán a kísérletünk fókusza [52].



6.ábra A gyökércsatorna tengelyének meghatározása hét mérőpont alapján
(saját készítés)

A preparáció után az eredeti csatorna és a feltágított és gyökértömött csatorna adott nézetű képének egymásra helyezésével, az eredeti csatorna tengelyéhez képest eltérő csatornafalak mértéke lett megadva (a csatorna eredeti tengelyétől lévő egyik illetve másik feltágított oldalszélesség egymásból kivonásával) abszolút értékben, 0,1 mm-es pontossággal [52]. Így a tengelytől való nagyobb (aszimmetrikus) perparálás oldala nem, csak a mértéke volt meghatározó. Mivel az általunk alkalmazott apikális transzportáció mérése 0,1 milliméter eltéréstől volt mérhető, ezért az érték felé került fogakat tettük az apikális transzportációval rendelkező csoportba [78].

Egyutas ANOVA és a Duncan-féle több tartományos tesztekkel használtunk az eredmények statisztikai analíziséhez.

3.2 Folyadékfiltráció

3.2.1 Folyadékfiltrációs mérések

A gyökértömő anyagok teljes megkeményedése (Sealapex 40 perc, Pulp Canal Sealer 360 perc) után a fogakat dekoronáltuk, hogy egységesen 10 mm-es gyökérhosszakat kapjunk. A gyökerek külső átmérőjét egy gyémánt fissura fúróval a lehető leginkább kör keresztmetszetűvé alakítottuk át, hogy a folyadékfiltrációs kísérlethez megfelelő legyen a formájuk. Az esetlegesen kialakult repedéseket a fogakon szabad szemmel ellenőriztük. A folyadékfiltrációs vagy folyadéktranszport (fluid filtration or fluid transport) módszert, ahogy korábban említettem, Pashley dolgozta ki [89] és Wu és mtsai. [148] tették alkalmassá az endodontiai mikroszivárgás kérdésének vizsgálatára.

Ennek megfelelően a kísérlet során a gyökértömött fogakat hermetikusan rögzítettük egy műanyag csőben, amelyhez a fog apikális része után egy 1 µl –es beosztású mikropipettát csatlakoztattunk. A mérőrendszert vízzel teljesen feltöltöttük és 20 °C-os vízfürdőbe merítettük. A kapillaris O pontjához egy légbuborék lett inokulálva egy közbeiktatott fecskendő segítségével. A fog koronai része felől magasabb nyomást (1 atm túlnyomás) vezetünk a rendszerbe. A gyökértömés egyenetlenségei mentén átjutó folyadék elmozdította a mikropipettában a légbuborékot, az átáramló folyadék térfogatának megfelelően [52].

A Hagen-Poiseuille egyenletből [89] (7. ábra) adódóan következtetni lehetett a gyökértömés „passzázsának” legkisebb átmérőjére, ezáltal ez a módszer igen érzékenyen megmutatta (a képletből is látszik, hogy a gyökércsatornában jelentkező rés negyedik hatványa számolható), hogy a gyökértömés teljes hossza mentén átjárható résben milyen mértékben volt igazolható experimentálisan a folyadék elmozdulás által a lehetséges/következményes baktérium penetráció.

$$V = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 \eta L}$$

V - folyadékmozgás, ΔP – nyomáskülönbség,
r – sugár, η – viszkozitás, L - hossz

7. ábra Hagen-Poiseuille egyenlet

Mely szerint:

A folyadékmozgás (V)

-egyenesen arányos az L hossz (egyforma hosszú gyökértömött fog) két vége közötti (1 atm) nyomáskülönbséggel (ΔP), ami minden mérésnél adott konstans volt.

-egyenesen arányos a cső (gyökértömött fog legkisebb átjárhatósága) sugarának negyedik hatványával (r^4) ezért rendkívül érzékeny módszer a rés mértékének meghatározására.

- fordítottan arányos a folyadék viszkozitásával (η) *víz volt minden esetben*

- fordítottan arányos a cső hosszával (L) *egyenlő hosszú gyökereket vizsgáltunk.*

A levegőbuborék elmozdulását a mikropapillárisban $\mu\text{l}/\text{nap}$ értékben adtuk meg, 24 órát tartott a tesztelés. A kísérletet közvetlenül a gyökértömés után végeztük, majd 1, 3, 9 és 12 hónap múlva újra megismételtük [52]. A gyökértömések zárását Wu (1993) szerint kategorizáltuk [149].

1. 0-0.4 $\mu\text{l}/\text{nap}$ (1 kategória) a rés átmérője kisebb, mint 2 μm **nincs szivárgás**
2. 0.4-20 $\mu\text{l}/\text{nap}$ (2 kategória) a rés átmérője 2-5 μm **neheztelt szivárgás**
3. több mint 20 $\mu\text{l}/\text{day}$ (3 kategória) a rés átmérője több, mint 20 μm **akadálytalan szivárgás**

A mikroszivárgás eredmények, amelyek a két különböző csatorna forma alapján, valamint a két gyökércsatorna tömő anyag alapján, az egy éves követést tekintve a Rudas féle π^* index tesztlettel lettek elemezve [111].

3.3 Mikro-CT vizsgálatok

3.3.1 Mintaválasztás és előkezelés

Tíz egyenes és tíz görbe gyökércsatornájú emberi felső első metsző és szemfogát választottunk a kísérletünkhöz. A Schneider-féle beosztást [115] alkalmaztuk a csoportba való szelektálás alkalmával. A $<10^\circ$ tartomány alatti fogakat az egyenes, míg a $>25^\circ$ fölé tartozó fogakat a görbe csoportba osztottuk be. Csak az egy gyökércsatornával rendelkező, záródott apexű és nem obliterálódott gyökércsatornájú fogak kerülhettek be a csoportokba. A 11° és 24° között lévő görbülettel rendelkező fogakat kizártuk a kísérletből.

A fogak trepanálása után a pulpa maradványokat Donaldson-tüvel (Dentsply-Maillefer, Svájc) távolítottuk el és semmilyen gyökércsatorna megmunkálást nem végeztünk még ebben az esetben. Ezután a fogakat 0.1% thymol oldatban tartottuk kísérletünk

kezdetéig.

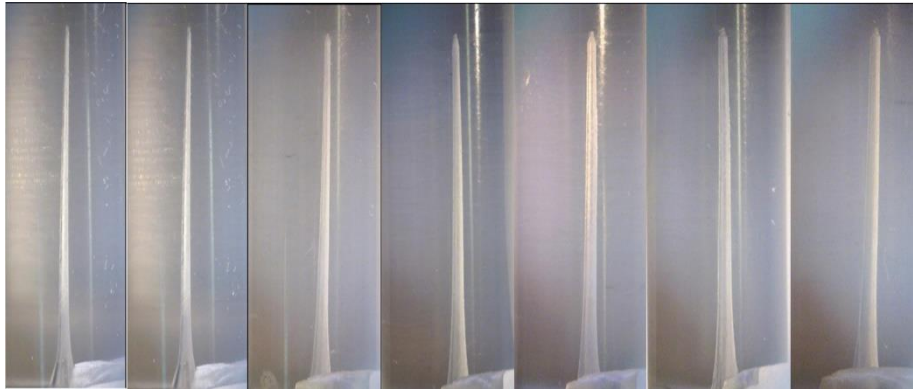
3.3.2 Az emberi fogak gyökércsatorna megmunkálása

Mind a hús fog gyökerét (egyenesek és görbék) a Pro Taper Universal (Dentsply-Maillefer, Svájc) gépi gyökércsatorna megmunkáló rendszerrel tágitottuk fel, nyomaték és forgási sebesség kontrollal rendelkező endodonciai-motor (Technika,Dentsply-Maillefer, Svájc) segítségével. A gépi gyökércsatorna megmunkálás során mind a fordulatszám, mind a nyomaték megválasztásánál követtük a gyártó utasításait. SX gépi műszerrel bemenet tágitást végeztünk az orificiumon kicsit túljutva. Egy ISO 10-es méretű Kerr-tágítóval (Dentsply-Maillefer, Svájc) óvatos „óra felhúzó” (watch widening) mozgással előre haladva jutottunk el a gyökércsúcsig, amíg a műszer megjelent a foramen anatomikumnál. Ebből a hosszából 0,5 mm-t visszaszámolva határoztuk meg a korona identikus pontja és a megmunkálás terminális pontja (foramen fiziologikum) közti munkahosszt. Az S1 és S2 file-ok mindkét hosszon (2/3-ad és teljes munkahossz) való alkalmazása előtt ISO 10 és ISO 15-ös kézi tágítókkal (Dentsply-Maillefer, Svájc) tágitottuk elő a csatornákat. A Pro Taper file-okat (S1 és S2) finom csipegető mozgással mozgattuk lefelé haladva (pecking motion), de nem tovább, mint a gyökér kétharmada. Ezután a kézi eszközök teljes hosszon való használata után az S1 és majd az S2 file-okkal a teljes munkahosszon végbemenő gyökércsatorna megmunkálást végeztünk. Mind a kézi, mind a gépi műszereket Glyde-ba mártva (Dentsply-Maillefer, Svájc) végeztük a gyökércsatornák feltágítását. Átmosó folyadékként Histolith 2.5% NaOCl oldatot alkalmaztunk (Lege Artis, Németország) 31-es méretű injekciós tűvel manuális befecskendezéssel. A mechanikus megmunkálás befejezése F1 és utoljára F2 file-okkal történt a teljes munkahosszon. A tágitást ugyan az a személy végezte. A műszertörés elkerülése érdekében egy műszersorozatot csak egy csatorna megmunkálására használtuk. A végső átmosás 5 ml steril sóoldattal történt (Lege Artis, Dettenhausen, Németország). Ezután a gyökércsatornák szárítását végeztük el megfelelő számú F2 Pro Taper papír pointtal (Dentsply-Maillefer, Svájc) [56].

3.3.3 A műanyag blokkok preparálása

Hús átlátszó műanyag blokkot alkalmaztunk, hogy a Pro Taper emberi fagon történt tágitás eredményeit összehasonlíthassuk standard morfológiai körülmények között végzett megmunkálással. Ebből a hús blokkból 10 teljesen egyenes gyökércsatorna lefutású (A-ETK-0 endotrainer, Frasaco,Tettnang, Németország) és 10 db 30 fokos görbületű (A-ETK-

30 endotrainer, Frasaco, Tettang, Németország) volt. A feltágítás menete és eszközhasználata teljesen azonos volt az emberi fogak feltágításával (8. és 9. ábra) egy tényezőtől eltekintve. Lubrikáló anyagként Glyde (Dentsply-Maillefer, Svájc) helyett glycerint választottunk a műanyag blokkok esetén, hiszen a kelát képző EDTA-nak nem volt ebben az esetben szerepe [56].



8. ábra Egyenes műanyag blokk gépi megmunkálás sorozata Pro Taper F2 műszerig
(saját készítésű kép)



9. ábra Görbe műanyag blokk gépi megmunkálás sorozata Pro Taper F2 műszerig
(saját készítésű kép)

3.3.4 A minták mikro-CT szkennelése

A minták (mind a természetes fogak, mind a műanyag blokkok) megmunkálás előtt és után egy asztali mikro-CT készülékkel lettek szkennelve (SkyScan 1172, Bruker, Kontich, Belgium) 10 W, 100kV, és $98\mu\text{A}$ beállításokkal, 0.5mm alumíniumszűrővel, melyek eredményeként az izometrikus voxel méret $9\mu\text{m}$ volt (9. ábra). Az adatgyűjtés során a minták elforgatásával a 2D-s vetületüket digitális formában rögzítettük [56].



10. ábra A SkyScan 1172 mikro-CT készülék
(saját készítésű kép)

3.3.5 Adatfeldolgozás

3.3.5.1 Térfogati (3D analízis)

A három-dimenziós adatfeldolgozáshoz az m-CT szkennerekhez gyárilag tartozó SkyScan CTAn software-t használtuk (Bruker, Kontich, Belgium). A gyökércsatorna egyes elemei, felszín (surface area SA), a térfogat (V) manuális szegmentációval lettek meghatározva és megmérve a fuzzy eljárás szerint [97]. A fuzzy manuális szegmentálást eddig még nem alkalmazták fogorvosi jellegű közleményekben. Kísérletünk során kutatócsoportunk alkalmazta először adataink elemzéséhez.

A fogcsatornák elemzése fuzzy szegmentálással a következő módon történt:

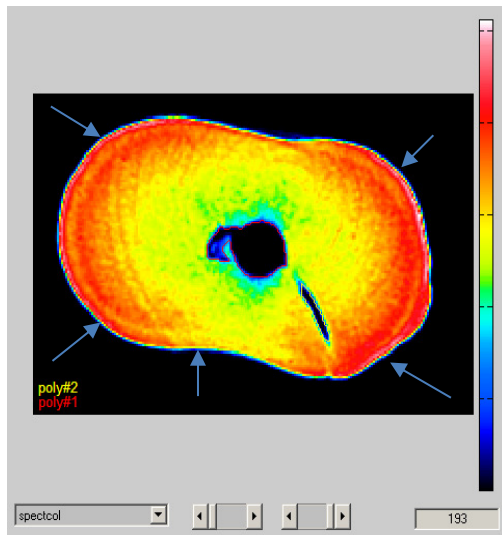
A feldolgozás lépései:

1. Átméretezés, konvertálás 3D MINC file-ba (Medical Imaging NetCDF).
2. Térbeli illesztés (preparálás előtti és utáni kép egymásra helyezése) AIR 5 programcsomaggal, 3 D merevtest illesztés (6 paraméteres) [144,145]
3. A fog különböző anyagainak és térfogatának azonosítása fuzzy-féle (AFCM) szegmentációs eljárással [97].

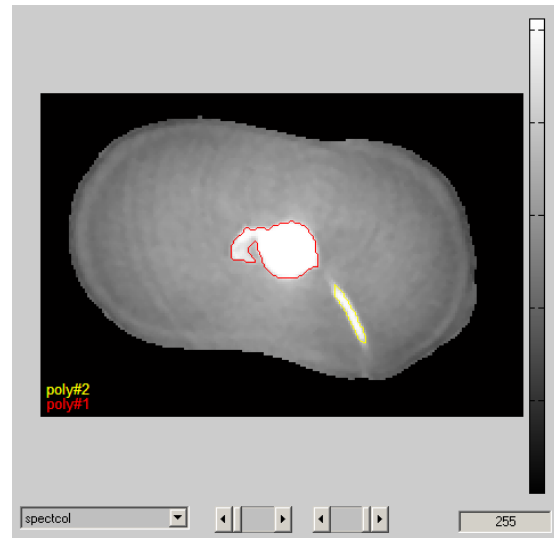
4. Fog külső kontúrjának azonosítása (11. a ábra)

4.1. Gyökércsatorna megmunkálás kontúrjának azonosítása (11. b ábra)

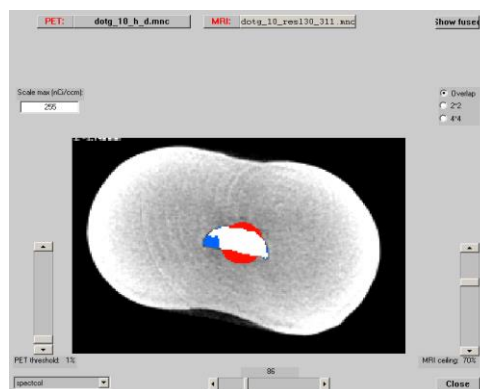
4.2. Egyéb képletek kijelölése (pl. dentin törmelék által eltömesztelt terület) (11. c ábra)



11. a A külső keresztmetszet meghatározása



11.b A gyökércsatorna körberajzolása



11. c ábra A gyökércsatorna különböző tartalmainak meghatározása a fog keresztmetszetén (saját készítés)

fehér +kék: az eredeti csatorna forma

piros: a feltágított csatorna rész

kék: a meg nem munkált csatorna rész

fehér: az eredeti gyökércsatorna azon megmunkált területe, mely a feltágított gyökércsatorna részét képezi

fehér+piros+kék: a feltágított teljes csatorna

A felszínváltozást (ΔA) és a térfogatváltozást (ΔV) úgy határoztuk meg, hogy a feltágított csatornaértékekből kivontuk a tágítatlan, natúr csatorna értékeket. A felszínváltozás és a térfogatváltozás arányát egymásra vonatkoztattuk a $\Delta A/\Delta V$ hányados megadásával.

Triangulációs adatfelhasználással adtuk meg a gyökércsatornák SMI értékét. Ez az index karakterizálja a gyökércsatorna geometriáját a gyökérnek a teljes hosszában. Ha az $SMI=0$ ez egy háromdimenziós szalagformát jelent, ha az $SMI=3$ ez háromdimenziós henger, ha akár 4, akkor ez gömb formát jelenthetne.

Az emberi fogak eredményeinek elemzéséhez, miután kicsi volt a mintaszám, nem feltételeztünk normális eloszlást, ezért a Mann-Whitney U tesztet használtuk. A műanyag blokkoknál Kruskal-Wallis és Tukey-HSD post hoc tesztek alkalmaztunk eredményeink statisztikai analíziséhez [56].

3.3.5.2 Keresztmetszeti (2D) analízis

Annak érdekében, hogy a gyökércsatornában dolgozó műszerek lehetséges excentrikus mozgását igazoljuk, tíz egyenes műanyag blokknál (A-ETK-0 endotrainer, Frasaco, Tettngang, Németország) 14 milliméterrel az apextől koronálisan határoztuk meg a vizsgálatunk síkjának magasságát. Ez nagyjából és általánosan a gyökércsatorna bemenet magassága körüli hossz szokott lenni átlagos gyökér méret esetén. Mikro-CT-vel elemeztük egy feltágítatlan műanyag blokkot. Majd ezt követve, a Pro Taper Universal protokollt alkalmazva végeztük el a műanyag blokkok feltágítását, hasonlatosan az emberi fogakéhoz. Az F2 műszer volt az, amit utoljára alkalmaztunk a megmunkálás során.

Ezután újabb mikro-CT elemzéssel vizsgáltunk és CTAn software (Bruker, Kontich, Belgium) segítségével határoztunk meg olyan tágítás utáni kétdimenziós paramétereket, melyek kiegészítették a háromdimenziós vizsgálataink jobb bizonyíthatóságát, vagy, akár, ezen paraméterek jobb megérthetőségét [56]. A következő kétdimenziós mérőszámokat alkalmaztuk a felkínált Skyscan software lehetőségek közül [153]:

Excentrikusság: Az excentrikusság egy arányszám, amely a tesztelt ellipszis közepének a viszonyát mutatja a hozzáírható kör közepéhez [153]. Minél kisebb ez a szám, annál inkább közelít a körhöz. Ha kör alakú a tesztelt objektum:

akkor az excentrikusság (0-1) egyenlő 0.

Alak faktor:

Képlete : $\pi * A / P^2$

A= az objektum felszíne

P= az objektum kerülete

Ha szabályos, irregularitásoktól mentes a tesztelt 2D objektum (kör, négyzet vagy téglalap), akkor az alak faktor = 1. Ha szabálytalan=0

Körösödés:

Képlete : $A / \pi * [d \max]^2$

ahol : A= az objektum felszíne

dmax= az objektum maximális átmérője

Ha kör alakú a tesztelt objektum: akkor a körösödés (0-1) egyenlő 1 [143..153].

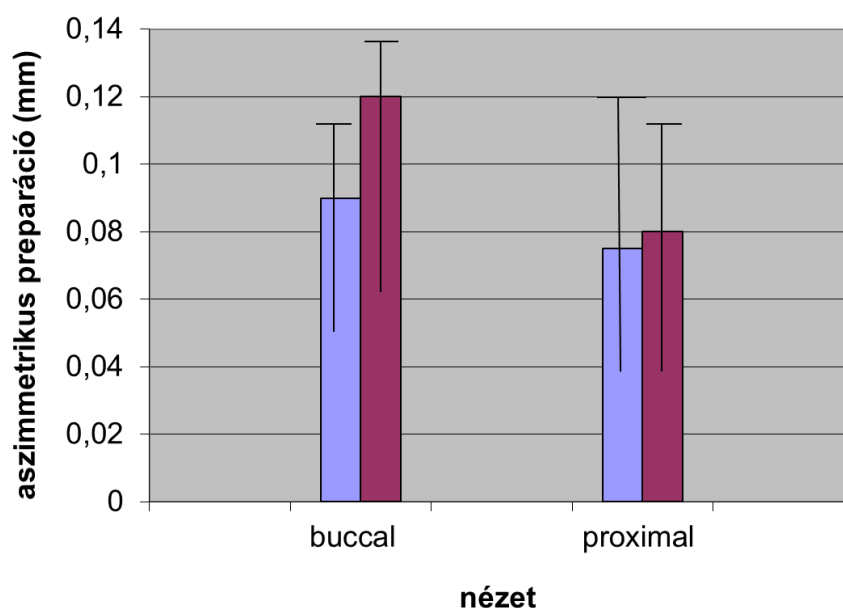
A statisztikai analízis ebben az esetben egy utas ANOVA teszttel és két mintás t-teszttel történt [56].

4. Eredmények

4.1. Gyökércsatorna megmunkálás (apikális transzportáció)

Az apikális transzportáció (AT) előfordulási aránya 80% volt az egyenes csoportban és 85% a görbében.

Az apikális részen az AT átlagértékeket mutatja a 12. ábra a bukko-lingvális (buccal) és a mezio-disztális (proximal) nézetekből. Az AT átlaga 0,095 mm (SD 0,063) volt az egyenes csoportnál bukkális nézetben. Ez az érték 0,074 mm (SD 0,077) volt proximális nézet esetén. A görbe csatornáknál 0,112mm (SD 0,063) volt az eredmény bukkális nézetben. Proximális nézetben a görbe csatornáknál 0,087 mm (SD 0,074) lett a mérés eredménye. A csoportok között nem volt statisztikailag szignifikáns különbség az AT értékek tekintetében ($p>0.05$), a minta ereje $F>0,80$ volt [52].



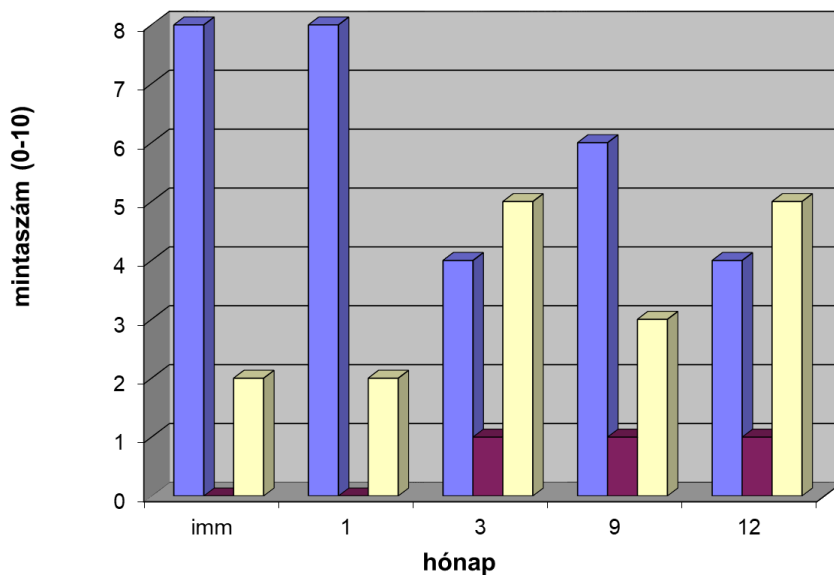
12. ábra Apikális transzportáció (AT) átlag értékek két különböző (bukkális, aproximális) nézetben

kék: egyenes csatornák

piros: görbe csatornák

4.2. Folyadékfiltrációs eredmények

Az egyenes gyökerű Sealapex csoport (n=10) eredményeit mutatja a 13. ábra



13. ábra Sealapex egyenes csoport eredményei

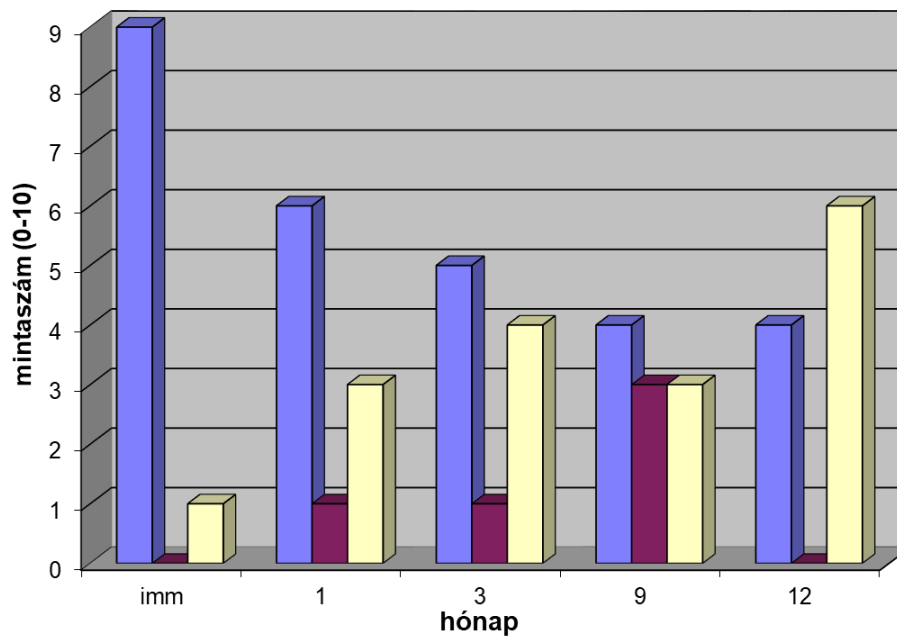
kék: nincs szivárgás

piros: nehezített szivárgás

sárga: szabad szivárgás

Az első hónap eredményei hasonlatosak voltak a kiindulási eredményekkel, mely szerint döntő mértékben nem fordult elő szivárgás a gyökértömések mentén. Három hónapnál a zárási tulajdonság jelentősen romlott és ez figyelhető meg a 12 hónapos eredményeknél is.

A görbe gyökerű Sealapex csoportban 14. ábra az 1. osztályba tartozó eredménnyel rendelkező minták száma az első hónaptól kezdődően folyamatosan csökkent. Az eredményekből tényként megállapítható volt, hogy tizenkét hónapnál az egyenes és a görbe csatornák értékei hasonlóságot mutattak a Sealapex csoportoknál.



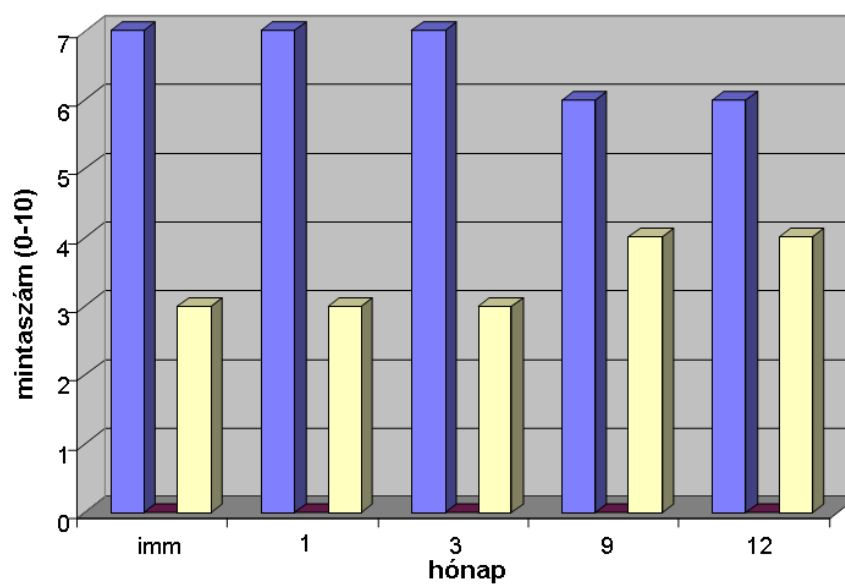
14. ábra Sealapex görbe csoport eredményei

kék: nincs szivárgás

piros: nehezített szivárgás

sárga: szabad szivárgás

A Pulp Canal Sealer egyenes csoportban (15. ábra) minimális szivárgásromlás volt kimutatható a 9 és 12 hónapnál, míg a görbe Pulp Canal Sealer csoportban (16. ábra) az egy hónapos szivárgásromlást további romlás követte a 12-ik hónapban.

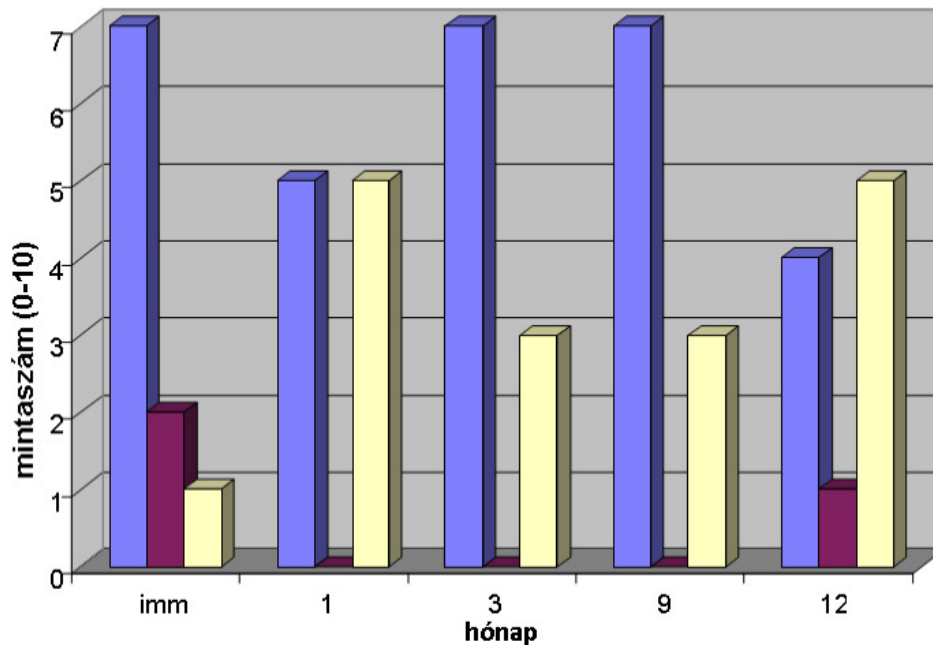


15. ábra Pulp Canal Sealer egyenes csoport eredményei

kék: nincs szivárgás

piros: nehezített szivárgás

sárga: szabad szivárgás



16. ábra Pulp Canal Sealer görbe csoport eredményei

kék: nincs szivárgás

piros: nehezített szivárgás

sárga: szabad szivárgás

A folyadékfiltrációs eredmények statisztikai vizsgálata a Rudas féle π^* indexel történt [111], melynek értéke 0,04 volt [52].

4.3 Mikro-CT vizsgálati eredmények

4.3.1 Háromdimenziós kiértékelés eredményei emberi fogak esetén

Az egyenes és görbe emberi fogak Pro Taper Universal gépi gyökércsatorna megmunkálás utáni háromdimenziós kiértékelés átlag értékei és a standard deviáció a felszín/ térfogat változásnak és az SMI változásának esetén a 2. táblázatban került megjelenítésre.

csoportok (n=10)	$\Delta A/\Delta V$	ΔSMI
egyenes	2,05 (0,88)	0,65 (1,00)
görbe	3,23 (0,30)	0,44 (0,47)
szignifikancia a csoportok között	*	ns

2. táblázat A ProTaper Universal megmunkálás után mért átlag értékek (standard deviáció) a felszín/ térfogat változásnak és az SMI változásának értékeiben egyenes és görbe gyökércsatornájú emberi fogak esetén

*Statisztikailag szignifikáns $p \leq 0,01$

ns : Statisztikailag nem szignifikáns

Az látható, hogy emberi fogak esetén a $\Delta A/\Delta V$ értékek tekintetében statisztikailag szignifikáns különbség ($p \leq 0,01$) van az egyenes és a görbe csoport között. Ezzel ellentétben a ΔSMI értékek statisztikailag nem szignifikánsak a csoportok között ($p=0,74$) [56].

4.3.2 Háromdimenziós kiértékelés eredményei műanyag blokkok esetén

Az egyenes és görbe műanyag blokkok Pro Taper Universal gépi gyökércsatorna megmunkálás utáni háromdimenziós kiértékelés átlag értékei és a standard deviáció a felszín/ térfogat változásnak és az SMI változásának esetén a 3. táblázatban látható.

csoportok (n=10)	$\Delta A/\Delta V$	ΔSMI
egyenes	6,13 (1,11)	0,86 (0,63)
görbe	7,28 (0,79)	0,74 (0,39)
szignifikancia a csoportok között	*	ns

3. táblázat Az átlag értékek (standard deviáció) megjelenítése a felszín/ térfogat változásnak és az SMI változásnak Pro Taper Universal megmunkálás után egyenes és görbe műanyag blokkok esetén

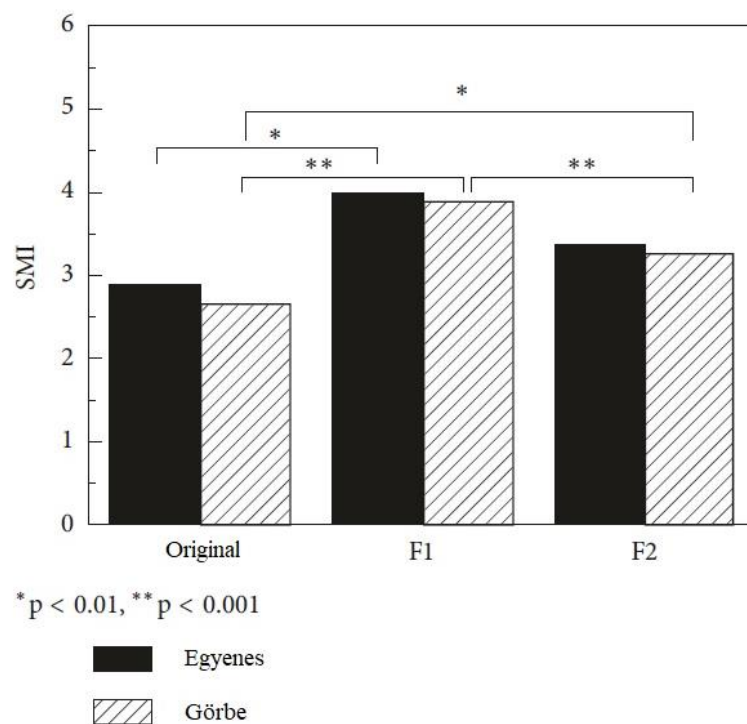
*Statisztikailag szignifikáns $p < 0,001$

ns : Statisztikailag nem szignifikáns

A $\Delta A/\Delta V$ értékek statisztikailag szignifikánsak voltak az egyenes és görbe csoportok között műanyag blokkok esetén is ($p < 0,001$).

A ΔSMI érték tekintetében nem volt statisztikailag szignifikáns különbség az egyenes és a görbe csoport között sem [56].

Az SMI értékek ingadozását láthatjuk a 17. ábrán, amely ingadozás követhető az egyenes és görbe műanyagblokkoknál az originális (megmunkálatlan) és F1 illetve F2 műszerrel megmunkált csatornák esetén.



17. ábra Az SMI értékek két irányú mozgása egyenes és görbe műanyag blokkok (egyenes és görbe) esetén a gyökércsatorna megmunkálás folyamatában.

Originális (megmunkálatlan), majd F1 Pro Taper megmunkálás és F2 Pro Taper megmunkálás után

* Statisztikailag szignifikáns különbség az illető oszlopok között $p < 0,01$

** Statisztikailag szignifikáns különbség az illető oszlopok között $p < 0,001$

Az SMI értékek műanyag blokkok esetén azt mutatják, hogy statisztikailag szignifikáns különbség van $p < 0,01$ szinten a megmunkálatlan és F1 egyenes, a megmunkálatlan és F2 görbe csoportok között. Statisztikailag jelentős szignifikáns különbség van $p < 0,001$ szinten a görbe megmunkálatlan és F1, valamint a görbe F1 és F2 csoportok között.

4.3.3 Kétdimenziós kiértékelés eredményei

Az excentrikus preparálás okozta csatorna változás szignifikánsan jelentkezik a alak faktor és az excentrikusság értékeiben is (4. táblázat).

csoport n=10	alak faktor	körösödés	excentrikusság
preparálás előtt	0,898 (0,039)	0,937 (0,047)	0,08 (0,091)
preparálás után	0,833 (0,027)	0,901 (0,04)	0,24 (0,044)
szignifikancia a csoportok között	*	ns	**

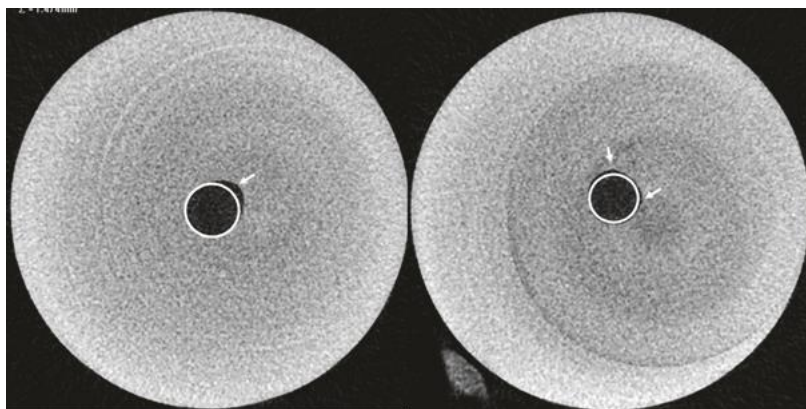
4. táblázat Egyenes lefutású műanyag blokkokban a csúcstól koronálisan 14 mm-re mért két-dimenziós adatok Pro Taper Universal megmunkálás után

*Statisztikailag szignifikáns $p < 0,05$

**Statisztikailag szignifikáns $p < 0,005$

ns : Statisztikailag nem szignifikáns

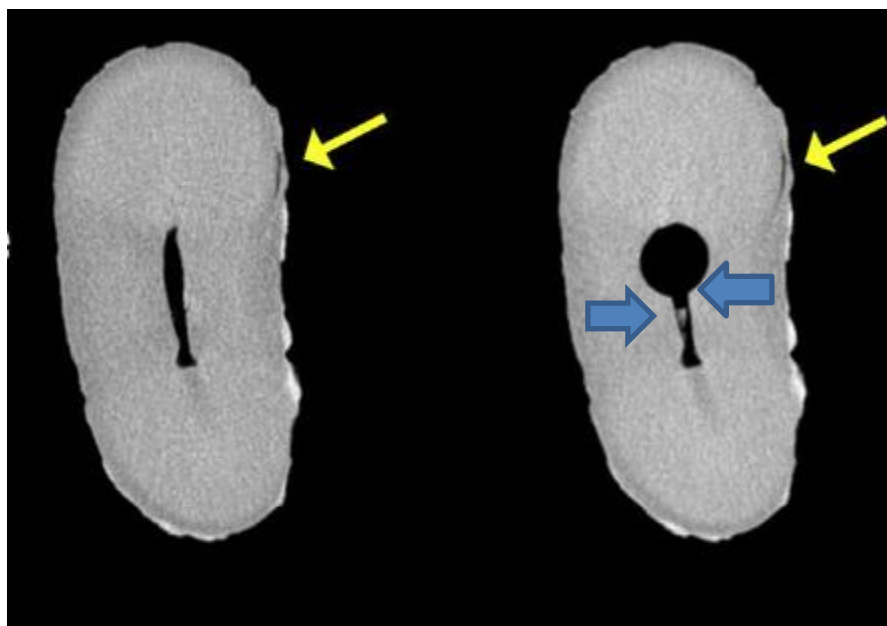
Míg az alak faktor esetén a preparálás előtti és utáni értékek között statisztikailag szignifikáns különbség van Pro Taper Universal megmunkálás után ($p < 0,05$), addig a körösödés értékében nem található szignifikáns különbség. Az excentrikusság változása (18. ábra) statisztikailag jelentős szignifikancia változást mutatott megmunkálás után az egyenes műanyag blokkokban ($p < 0,005$) [56].



18. ábra Excentrikus preparálás következménye műanyag blokkban
(saját anyag)

Az apextől koronálisan 14 mm-re kiválasztottuk a rekonstruált keresztmetszeti szeletet. A fehér kör (18. ábra) mutatja az ideálisan kialakított keresztmetszetet. Az ettől valamely irány(ok)ba történő preparálást a mintán fehér nyilakkal jelöltük.

Az excentrikus gyökércsatorna preparáláshoz hasonló helyzetet látunk abban az esetben, ha a gyökércsatorna preparálás nem terjed ki a teljes gyökércsatorna keresztmetszetre. A keresztmetszeti képen jelentős megmunkálás utáni konkáv felületek kialakulását mutatva (19 ábra).



19. ábra A Pro Taper gépi megmunkálás előtti és utáni keresztmetszeti gyökércsatorna
forma emberi fognál
(saját forrás)

- -sárga nyilak : a megmunkálás iránya (melyik oldalnál volt a műszer illeszkedése a gyökércsatorna falához)
- -kék nyilak : a megmunkálás után kialakult konkáv felületek helye

5. Megbeszélés, új eredmények

A siker általános megfogalmazásban elsősorban a támasztott elvárások függvénye és eredménye. A biológiai siker abszolút kritériumait nem lehet konkrétan megfogalmazni, mert a siker megítélésének változó szintű és erősségű definíciói vannak. Az endodonciai sikeresség kritériumai igen szigorúak, csak példának említve az implantáció sikerességével összehasonlítva. Az endodonciai siker eléréséhez arra van szükség, hogy ennek a sokoldalú és sok lépésből álló kezelés minden egyes részleteiben technikailag tökéletes munkát végezzen a beavatkozást végző fogorvos. Az endodonciai diagnózis helyes felállítása után, a megfelelő kezelési terv létrehozása is fontos tényező ebben a sorban. Ezután, a valós beavatkozásoknál az előkészítő folyamatok után, az egyik legfontosabb és ezáltal az egyik legtöbbet tanulmányozott folyamat a gyökércsatorna megmunkálásának a hatékonysága.

Az ideális gyökércsatorna megmunkálás kritériumaira, a 2.2 fejezetben kitértem. Ezek a posztulátumok, úgy néznek ki még manapság is, hogy nem változtak annak ellenére sem, hogy a kiértékelés körülményei a makroszkópos méret tartományból a mikron méret tartományába (10^{-6}) mozdultak el.

Habib összefoglaló tanulmányában a PubMed és a MEDLINE adatbázisára támaszkodva kereste a gyökércsatorna megmunkálás minőségi jellemzésének vizsgálati lehetőségeit, illetve annak jelentős endodonciai szaklapokban publikált eredményeit [37]. Az 1950-2014-ig elemzett közlemények 95%-ában a vizsgálat kihúzott emberi fogakon történt, 5% korlátozódott műanyag endodonciai blokkokra. A közlemények 70%-ában a megmunkálás (shaping) körülményeit, 30%-ban a tisztítás (cleaning) eredményeit vizsgálták az ebben az időszakban publikált kutatók.

Habib ezen közleménye szerint a gyökércsatorna megmunkálás vizsgálat számtalan paramétereit alapvetően két csoportba lehet osztani.

- a. A gyökércsatorna megmunkálása által létrejövő „debridement, vagy cleaning” azaz a gyökércsatornában lévő mikroorganizmusok, pulpa és anorganikus maradványok eltávolításának a hatékonysága. Paraméterek: szövettörmelék maradvány százalék, meg nem munkált csatorna fal, smear layer, gyökércsatorna felszín kinézet, apikálisan túljuttatott szövet maradvány.
- b. A gyökércsatorna megformázásának (shaping) a hatékonysága, amely által egy folyamatosan szűkülő forma jön létre, melynek legkisebb átmérője a gyökércsatorna fiziológiás szűkülete és legnagyobb átmérője az orificiumnál van. És ez a megmunkálás nem jár az eredeti gyökércsatorna forma elvetülésével (projekciójával), azaz a

transzportációval. Paraméterek: szélesedés, csatorna fal simaság, eredeti gyökércsatorna forma, a görbület megmunkálás általi változása, AT, gyökércsatorna felszín, gyökércsatorna eredeti tengelyének a lehető megtartása (centering ratio), munkahossz aberráció.

Az átfogó közleményük megbeszélésben azt a megállapítást közölték, hogy minden vizsgáló módszeren felül a mikro-CT elemzés a legalkalmasabb a gyökércsatorna megmunkálás kvantitatív kiértékeléséhez.

Már régebben is az endodonciai kutatások egyik legfontosabb célpontja volt az, hogy milyen hatással lehet a gyökértömések hosszú távú sikerességére a gyökércsatornában zajló mikroszivárgás. A mikroszivárgás a gyökércsatorna fala és a gyökértömés közötti résben és magában az inhomogén gyökértömésben is végbemehet [48]. Definícióját Kidd fogalmazta meg [64], mely szerint baktériumok, szájüregi folyadékok, ionok és molekulák diffúziója a fog és a restauratív anyag közötti résben. Más meghatározás szerint egy klinikailag nem detektálható passzázs a baktériumoknak, folyadékoknak, molekuláknak és ionoknak a fog és a helyreállító anyag által határolt határfelületben [61]. Sok tanulmány hangsúlyozza, hogy a tömőanyagok nem fix, inert anyagok átjárhatatlan határfelületekkel, hanem dinamikus mikrohasadékokkal (melyet akár a mindennapos artikulációs terhelés indukál) bennük baktérium, ion és molekulák jelentős mozgásával [48,147]. Bár ez a szivárgás klinikailag detektálhatatlan, de a sikeres endodonciai terápiára ható fontos faktor, mert biológiai hatásai révén akár a gyökértömés sikertelenségét is okozhatja [74].

Disszertációm alapját képező kísérleteimben azt vizsgáltam, hogy a gyökérkezelés egyes elemei, mint például a gyökércsatorna megmunkálás, valamint a gyökértömések mentén létrejövő mikroszivárgás, milyen hatással lehetnek egymásra és akár a gyökértömés in vitro mért technikai sikerességére is.

5.1 Apikális transzportáció megbeszélés

Jelen kísérletünkben, melyben emberi fogak egyenes és görbe csatornáiban vizsgáltuk az apikális transzportáció (AT) mértékét, az AT előfordulási aránya görbe csatornák esetén hasonló volt, mint a Wu (2000) kísérletének az eredménye [150].

Ezzel ellentétben, a mi vizsgálataink eredménye és az ő eredményeik között jelentős különbség volt, ha az egyenes csatornában kialakuló apikális transzportációt tekintjük. Kísérletünkben az apikális transzportáció előfordulása 80% volt egyenes gyökércsatornák esetén. Ez a meglepően magas eredmény köszönhető volt egyrészt az emberi fogak morfológiai változatosságának, másrészt az apikális transzportációt mérő methodikánk nagyobb érzékenységének is. Még az egyenes lefutásúnak vélt fogakban is előfordulhatnak enyhe görbületek, melyek befolyásolhatják a megmunkálási eredményeket [77].

Ez az egyenes csatornában létrejövő magas arányú transzportáció szerepel egyébként Dobó-Nagy 1997-es közleményében is [79].

Felmerül a kérdés, hogy el lehet-e kerülni ezeket a megmunkálás során bekövetkező, nem kívánt gyökércsatorna aberrációkat? Esetleg speciális megmunkálási technika, vagy a megmunkáló műszerek speciális anyaga, esetleg valami speciális mód, ahogy ezeket a műszereket használja a fogorvos, segíthet megelőzni az egyenes, de különösen a görbe gyökércsatornában kialakuló preparációs hibákat? Vagy szükséges-e más technikát és más gyökércsatorna megmunkáló műszert alkalmazni ha nem egyenes, hanem görbe gyökércsatornáról van szó?

Gagliardi [30] kísérletében görbe gyökércsatornák feltágításához három gyökércsatorna tágító rendszert alkalmazott. Az általunk is használt Pro Taper Universal mellett Pro Taper Next (Dentsply, Maillefer) és Pro Taper Gold (Dentsply, Maillefer) technikát alkalmazott moláris fogak mesialis gyökércsatornáink feltágításához. Mikro-CT kísérlete során arra a következtetésre jutott, hogy a később bevezetett, ezáltal modernebb Pro Taper Next és Pro Taper Gold technikák szignifikánsan kevesebb transzportációt okoznak, mint a Pro Taper Universal.

Ezzel van egyetértésben Saberi vizsgálata is [112], ha csak azt nézzük, hogy a Pro Taper Next rendszer kevésbé excentrikusan perparál a koronális harmadban, mint a Pro Taper Universal.

Az apikális harmadban is hasonló eredmény született Park és mtsai. közleményében [88].

Mikro-CT vizsgálatuk azt bizonyította, hogy az apex-től koronálisan 3 milliméterre, emberi fogaknál a Pro Taper Next szignifikánsan kevesebb transzportációt okoz, mint a Pro Taper Universal, amellyel mi a kísérletünket végeztük.

Gergi szerint [34] viszont még, ha a legújabb reciprok (Reciproc, Wave One) és adaptív mozgással rendelkező (Twisted File) gyökércsatorna feltágító rendszereket is tesztelték, az derült ki, hogy a gyökércsatornát az alkalmazott egyetlen rendszer sem képes a teljes hosszán az ideális formára feltágítani. Ebben a vizsgálatban az apikális harmadban a legkevesebb transzportációt a TF Adaptív rendszer okozta, melyet követett a Wave One. A Reciproc rendszer apikális transzportációja volt ezen kísérleti körülmények között a legjelentősebb.

Gandhi A és Gandhi T vizsgálatában [32] a kézi és gépi Pro Taper Universal technikákat hasonlította össze és azt az eredményt találta, hogy meglepő módon, a kézi Pro Taper Universal technika jelentősebb excentrikus preparálást okoz, mint a gépi Pro Taper Universal technika görbe gyökércsatornák esetén. Ez jelentheti azt, hogy az ugyan olyan paraméterű eszközök használata esetén görbe gyökércsatornában eredményesebb a fordulatszám és nyomaték kontrollal rendelkező endomotorok segítségével végzett gépi tágítás, mint az endodontus kezére bízott kézi megfelelője.

Nagaraja közleménye [75] szerint a kézi NiTi eszközök statisztikailag kevesebb transzportációt okoznak görbe emberi fogak gyökereinek koronai és középső harmadában, mint a gépi NiTi (PTU) eszközök.

Saberi kísérlete [112] azt bizonyítja, hogy a Pro Taper Next kevésbé okoz excentrikus preparálást a koronális harmadban, mint a Pro Taper Universal, Race vagy a Revo S rendszer.

Az adatok halmazában elvész a vizsgáló. Sajnos nem lehet standard körülményeket kialakítani ahhoz, hogy egymáshoz hasonló paramétereket lehessen összehasonlítani ezen experimentális vizsgálatok során. Minden egyes megmunkáló műszer fejlesztés új utat keres a gyökércsatorna feltágításának megismerése során [103]. A megmunkáló műszer vizsgálatoknak fontos célja az apikális transzportáció értékeinek egymással való összehasonlítása.

Ezért merült fel a kísérletes igény, a minták lehető legjobb standardizálásra. Mivel a gyökércsatorna forma minden egyes esetben egyedi, ezért a kísérleti csoportokban kialakított „minták” nem tekinthetők azonos eloszlásúnak.

5.2 Folyadékfiltráció megbeszélés

A gyökércsatorna forma hatásának a mikroszivárgásra való hatása analízise során vizsgálatunkban az derült ki, hogy az egyenes csatornában a szivárgás egy hónap után még nem változott a kiindulási állapothoz képest, míg görbe csatornáknál már valóban kimutatható volt.

A gyökértömő sealer anyagának hatása a mikroszivárgásra viszont azt mutatta, hogy az egy éves vizsgálat végére a Sealapex (Ca-hidroxid-típusú) csoportokban nagyobb volt a szivárgás, mint a Pulp Canal Sealer (ZOE-tartalmú) csoportokban. Ez egybevág Barkhordar 1989 [8] közleményével.

Az eredmények maguk után vonják azokat a következtetéseket, hogy az általunk alkalmazott módszerrel egy hónapnál a gyökércsatorna forma határozta meg a gyökértömések zárási tulajdonságát, míg az egy évnél mért eredményeknél inkább a gyökértömő sealer anyaga dominált.

Ha feltesszük azt a tudományos kérdést, hogy a gyökércsatorna forma, vagy inkább a gyökértömő sealer tulajdonsága tud döntő befolyással bírni in vitro folyadékfiltrációs kísérletek esetén, akkor jelentős endodonciai szaklapokban közölt eredményeket kell összehasonlítani [43,87,147,151].

Miletic közleménye azt bizonyítja, egyetértésben a mi vizsgálatunk által alátámasztottal, hogy a kalcium-hidroxid típusú sealerek jobban degradálódnak egy év vizsgálati periódus során, mint egyéb, például a gyanta típusú sealerek [72].

A szerző cikkében öt fajta gyökértömő sealert hasonlított össze folyadékfiltrációval egy év után. A fogakat addig fiziológiás sóoldatban tárolták. A tesztelt sealerek közül csak az Apexit (Ca-hidroxid típusú) volt szignifikánsan rosszabb a többinél (AH 26, AH plus, Ketac-Endo, Diaket)

Wu folyadékfiltrációs kísérletében a fogak 100% páratartalomban voltak tartva 48 órára, majd az apikális 3 mm mikroszivárgását mérték 0.3 atm/ 24 óra. Vizsgálva az apikális transzportáció hatását a gyökértömések mikroszivárgására következtetésük az volt, hogy az apikális transzportáció jelenléte negatívan befolyásolja a laterálkompakcióval végzett guttapercha gyökértömések folyadékfiltrációval mért zárási tulajdonságát görbe gyökércsatornák esetén [150].

Kísérletük során a fogakat szintén 100% nedvességben tartották, mint ahogy a mi kísérleti alkalmazásunkban is volt. De mind a vizsgálati idő, a túlnyomás mértéke és a tesztelt objektum hossza is különbözött az általunk végzett kísérlet körülményeitől. Ennek ellenére a

következtetésünk hasonló volt abban az értelemben, hogy az AT növekedés szignifikánsan növeli a gyökértömés után a mikroszivárgás esélyét [150].

Adanir [1] ZOE típusú sealert hasonlított össze gyanta típusú sealerekkel. Az ő folyadékfiltrációs vizsgálatai alapján arra a következtetésre jutott, hogy a gyanta típusú sealerek zárási tulajdonsága hosszú távon jobb volt, mint a ZOE típusú sealer (U/P Root Canal Sealer).

De-Deus munkacsoportja [23] 14 hónapos vízben tárolás után vizsgálta meg, hogy a kiindulási értékekhez képest mennyit változott egy gyanta és egy másik típusú gyanta sealer zárási tulajdonsága. Folyadékfiltrációs vizsgálatuk eredménye szerint a Resilon/Epifhany gyökértömés jobban szivárgott, mint az AH plus/guttapercha.

Kececi [61] különböző gyökértömő sealek zárását vizsgálta folyadékfiltrációs és glükóz penetrációs módszerrel. Arra a következtetésre jutott, hogy a glükóz penetrációs módszer érzékenyebb vizsgálati módszer, mint a folyadékfiltrációs módszer, de eredményeit csak három hónapos vizsgálati periódus alapján közölte.

A glükóz penetrációs módszer során igen kis molekula nagyságú (180 Da) glükózt használnak nyomkövetőként. Klinikailag releváns, mert a glükóz a baktériumok tápanyaga. A penetrációt spektrofotométerrel mérik. Előnye az érzékenysége, hátránya viszont a relatíve hosszú vizsgálati periódus [48,132].

Shemes [119] is ezt a két vizsgáló módszert összehasonlítva azt közölte, hogy a spektrofotométerrel mért glükózkoncentrációs mérések érzékenyebbek, mint a folyadékfiltrációsak, melyekben a buborék elmozdulását mérik.

Pommel [100] hasonlóan, mint a mi általunk elvégzett [56] vizsgálatunkban, ProFile technikával tágitott fel 36 fogat, majd három különböző gyökértömési módszert (Thermafil, verikálisan kompaktált gutta-percha, single cone technika) alkalmazott a letömésükre. Három vizsgálati módszerrel (folyadékfiltráció, elektrokémiai módszer, festékpentráció) vizsgálta a gyökértömésekben a zárás eredményeit. Sajnos teljesen ellentétes eredmények születtek a különböző kiértékelő eljárások esetén a különböző típusú gyökértömések széli zárásának tekintetében. Tanulásként azt írták le, hogy nem összehasonlíthatóak a produkált eredmények a különböző módszerek miatt.

Az említett közleményekből is látszik, hogy nem voltak standardizálva a kísérleti körülmények, így az eredmények összehasonlítása is kérdéses lehet.

A mi folyadékfiltrációs kísérletünkben a statisztikai vizsgálatot a Rudas-féle π^* indexszel végeztük [111], melynek értéke 0.04 volt. Ebben a folyadékfiltrációt vizsgáló struktúrában a négy diszkrét változó (1 szivárgás: rossz/közepes/jó, 2 idő: 0, 1, 9,12 hónap,

3 gyökércsatorna forma: egyenes/görbe, 4 anyag: Pulp Canal Sealer/Sealapex) függőség-függetlenségi viszonya volt a kérdés. Pusztán csak loglineáris modell alkalmazására lehetőség lett volna, de a fenti változókból alkotott négydimenziós kontingencia táblázat kitöltöttsége nem lett volna teljesen megfelelő.

A tudományos kérdés az volt, hogy az anyag (Pulp Canal Sealer/Sealapex) és a gyökércsatorna forma (egyenes/görbe) milyen hatással van a szivárgás mértékére (három csoportba sorolás) az idő múlásával (0, 1, 9, 12 hónap). A szivárgás*idő*anyag illetve a szivárgás*idő*forma kategóriák egymásra hatására. Ennek a vizsgálatára egy loglineáris modell illesztődött, melynek jóságát vizsgáltuk a π^* indexxel.

Rudas az egyik legtekintélyesebb statisztikai újságban (Journal of Royal Statistical Society) publikálta a π^* index statisztikai tesztet. Ez a fogorvostudományban először és tudomásunk szerint azóta sem alkalmazott, kevésbé ismert statisztikai módszer megerősítése a klasszikus loglineáris módszereknek és a legfontosabb jellemzője és erénye, hogy relative kis mintaszám (tíz alatti) esetén is megbízhatóan alkalmazható. A π^* egy alternatív illeszkedésvizsgálati eszköz. A khi-négyzet próba helyett használtuk, mert az függ a mintanagyságtól és torz kis minták esetén. A π^* definíciója az, hogy az az arány, egész pontosan a mintának az az aránya, ami nem írható le a modellel. Ha kicsi, és itt az (0,04), akkor a modell jó, szinte a teljes minta leírható vele. A $\pi^*=0.04$ értékből azt olvashatjuk ki, hogy közel vagyunk a vizsgált loglineáris modellhez, azaz a vizsgált megfigyelés (populáció, sokaság, jelenség) kis százaléka (4%) nem jellemezhető csak vele.

5.3 Mikro-CT megbeszélés

5.3.1 A gyökércsatorna megmunkálás háromdimenziós vizsgálata

5.3.1.1 Emberi fogak

Mivel nem voltak számunkra elfogadható és reálisan értékelhető paraméterek a gyökércsatorna megmunkálás komplexitásának valódi, és valóban mérhető - akár háromdimenziós- megítélésére eddig, ezért határoztunk meg egy reális arányszámot (delta A/V) a gyökércsatorna megmunkálás okozta változás mikron méretű mérésének érdekében. A mikro-CT kritériumok a gyökértömések kiértékelésének tekintetében nincsenek külön meghatározva. Csak a nagy endodonciai szaktekintélyekre (Ingle, Schilder, Weine)

hivatkoznak a közlemények szerzői manapság is. A mikro-CT-t használó kutatók döntenek el azt, hogy milyen legyen az általuk választott, de egyébként csak az alkalmazott kiértékelő software által felajánlott lehetségesen választható paraméter vagy paraméterek, amelyeket használnak hasonlóan a gyökércsatorna megmunkálás kiértékeléséhez. Mi nem foglalkoztunk a gyökértömések mikro-CT általi kiértékelésére, mert a folyadékfiltrációs módszert alkalmasabbnak tartottuk a hosszútávon végbemenő degradációs folyamatok mérésére. Viszont mikro-CT elemzéssel három háromdimenziós és három kétdimenziós mérést alkalmaztunk a felajánlott lehetőségek közül a gyökércsatorna megmunkálás minőségének mikron méret szintű kiértékeléséhez. Háromdimenziós volt a felszín, térfogat és az SMI változás mérése. Kétdimenziós mérés a körösödés (roundness), az alak faktor (form factor) és az excentrikus preparálás (excentricity), amelyek megbeszélésére később térek ki.

Olvasva a szakirodalmat, mások sem használtak teljesen új és más paramétereket mikro-CT közleményeikben a gyökércsatorna megmunkálás körülményeinek megítélésére, csak az alkalmazott feldolgozó software által nyújtott lehetőségeket. A felszín/térfogat arány, (A/V) vagy más néven „specifikus felszín” a struktúra vastagságát és komplexitását jellemző hasznos paraméter. Legjobb tudomásunk szerint mi voltunk az elsők, akik endodonciai kutatásában a delta A/V -t alkalmaztuk, bár benne volt a Skyscan CT-Analyser software könyvben ez a felajánlott automatikus mérőszám [153].

Ez az arányszám fontos lett számunkra. Nyilvánvaló volt, hogy a megmunkálás utáni felszínváltozás (delta A) adekvát paramétere a gyökércsatorna megmunkálás hatékonyságának. Minél több fertőzött dentin távolítódik el a gyökércsatorna falából a tágitás során, annál „tisztább” lesz a csatorna. Egyértelmű volt, hogy a gyökércsatorna térfogatának növekedése a megmunkálás által (delta V) szintén fontos paramétere a különböző, ezzel foglalkozó kísérleteknek, de a mindennapi rutinnak is, hiszen a jól feltágított és szabályos gyökércsatorna üregbe könnyebb jól tömöríthető gyökértömést készíteni. Ezek a mértékek bár háromdimenziósak, önmagukban nem jellemzik a struktúra, (jelen esetben a fog) a gyökércsatorna megmunkálás általi valóban komplex, a gyökértömés technikai kivitelezéséhez fontos változását. A felszínnövekedés a megmunkálás által azt is jelentheti, hogy megnő az a terület, ahol létrejöhet a mikroszivárgás lehetősége (a gyökércsatorna fal és a gyökértömő anyag közti felület). A gyökércsatorna fala nem sima felszín, hanem kiöblösödések és betüremkedések jellemzik egész felületén. A gyökércsatorna preparálás során a térfogat megnő, de a jól sikerült megmunkálás eredménye a simává vált csatornafal (eltűnnek a kiöblösödések és betüremkedések). Így a felszín

relatív csökken(het) a megnövekedett térfogat arányában. Ezért van értelme dA/dV paramétert vizsgálni. A megmunkálás általi térfogat növekedése meg azt jelentheti, hogy ezáltal egy olyan ideális befogadó forma alakul ki, ami megkönnyíti a jó gyökértömés technikai megoldhatóságát.

Ezek szerint a mikron mértékegységben vizsgált hatékony gyökércsatorna megmunkálásnál a felszín lehető legkisebb mértékben történő növelése és a térfogat lehetőség szerinti legnagyobb növelése a megmunkálás célja. Ez olyan megfontolásnak tűnik, ami továbbgondolásra érdemes és egy új irányvonalat mutathat a gyökércsatorna megmunkálás miron szinten vizsgált megítéléséhez.

A fent említett arányszámban a $\Delta(A/V)$ kapcsán a gyökércsatorna megmunkálás utáni legkisebb szám elérése lehet a legfontosabb paraméter. Az A/V érték egyébként gömb esetén $1,5 \text{ mm}^{-1}$. Ehhez az értékhez közelíteni, jelentheti az ideális gyökércsatorna megmunkálás kívánalmát, amelyet mi így határoztunk meg.

Felhívtuk a figyelmet jelen disszertációban arra, hogy ez az arányszám fontos, és érzékeny mutatója a gyökércsatorna feltágítás mérésének. Amely nem csak leírja a tágítás utáni paramétereket, hanem reális lehetőségét vetíti elő annak, hogy ezen értékeket a valóságuk komplexititisában elemezhesük.

Ellentétben a $\Delta A/\Delta V$ szignifikáns paramétereivel, amelyek az egyenes és görbe gyökércsatorna csoportok között nyilvánvalóak lettek, a ΔSMI értékek nem változtak szignifikánsan a gyökércsatorna megmunkálás során sem az egyenes sem a görbe csatornájú emberi fogak esetében a kísérletünkben. Ezen adatok alapján könnyen mondhatnánk azt, hogy a gyökércsatorna forma megmunkálás utáni változásának leírására az SMI változás, csak limitált jelentőségű. Majdnem minden mikro-CT-t alkalmazó 3-D-s endodonciai vizsgálatnál fontos adatként tüntetik fel az SMI változás mértékét [93,141]. Ezért azt feltételeztük, hogy ez a paraméter reálisan mutatja majd meg a gyökércsatorna megmunkálás kedvező hatását, nevezetesen az ideális keresztmetszeti forma létrehozásának lehetőségét.

Viszont, a gyökércsatorna megmunkálás során szerintünk a folyamatban benne rejlik az SMI értékek egyszerre mindkét irányba (pozitív és negatív) történő elmozdulása is. Nevezetesen, ha a gyökércsatorna megmunkálása során az ovális formájú gyökércsatorna körösödik, az az SMI érték növekedését jelenti (domborodik a keresztmetszet a gyökércsatorna teljes hosszában). Abban az esetben, ha a gyökércsatorna megmunkálás excentrikus (18. ábra), vagy csak a gyökércsatorna keresztmetszetének egy részét (19. ábra) érinti csak (homorulatok alakulnak ki a keresztmetszetben és a teljes hosszban), akkor csökken az SMI érték. Ezáltal az SMI értékek növekedése is és csökkenése is megfigyelhető

egy azon csatornán belül. Természetesen ez a két irányú változás megkérdőjelezi ennek a mérőszámnak a megbízhatóságát.

Közleményünk [56], a felhasznált paraméterek segítségével a gyökércsatorna morfológia változását kvantitatív módon próbálta karakterizálni. Annak ellenére, hogy más közlemények az SMI értékek fontosságát demonstrálták [93,94,95], a mi kísérletünk során ez az érték nem tűnt meghatározónak. A megfigyelésünk igazodik számos újabban bemutatott közleményhez, ahol a tesztelt csoportoknál az SMI változás ott sem volt szignifikáns [68,133,136]. Vagy egyenesen azt állítják, hogy az SMI index nem mér olyan szerkezeteknél adekvátan mint a csont trabekuláris szerkezete, amely morfológiai, mérési szempontból nagyon hasonlítható a fog szerkezetéhez [113]. Mindkettőben létezhetnek egyszerre konvex és konkáv részletek a mérendő szerkezeten belül.

Ritkán találni olyan közleményt, amelyben a kísérleti módszer során szignifikáns SMI növekedést tapasztaltak m-CT vizsgálat esetén a kutatók. Ezek egyike volt Stringheta kísérlete, melyben különböző típusú gépi gyökércsatorna megmunkáló eszközök használata után talált szignifikáns SMI változást [123].

5.3.1.2 Műanyag blokkok

A műanyag blokkokon végzett endodonciai kísérletek alkalmazásainak megfontolásával kapcsolatban, alapvetően két irányvonal lehetséges. Egyrészt nagyon fontos figyelembe vehető tényező, a kísérlet során alkalmazott gyökércsatorna standardizálásának a lehetősége, ami, a statisztikai kiértékelés szempontjából fontos tényező lehet. Sajnos az emberi fogak morfológiájának diverzitása miatt ez nehezen, vagy egyáltalán nem megoldható. Nem alakíthatóak ki igazán homogén csoportok emberi fogakból egy kísérleti módszer értékelésére. Másrészt, a műanyag blokkok anyaga csak fenntartásokkal hasonlítható össze az emberi fog dentinjének keménységével, vágási tulajdonságával. Ezeket figyelembe véve, mégis számos kutató, tanulmány és klinikai projekt [44,45] alkalmazta a műanyag blokkokon való kísérletezést a gyökércsatorna megmunkálás eredményeinek kiértékeléséhez.

Az általunk alkalmazott kísérletben Pro Taper Universal gépi gyökércsatorna tágító rendszert alkalmaztunk annak érdekében, hogy két fajta, különböző standardizált görbületű műanyag blokkban vizsgáljuk meg a gyökércsatorna megmunkálás eredményeinek mikro-CT módszerrel végzett analizálását két és háromdimenziós vizsgálati paramétereket

alkalmazva. A gépi csökérsatorna megmunkáló eszközök, hasonlóan a kézi eszközökhöz, a megmunkálás során a maguk formáját szeretnék ráerőltetni a humán gyökérsatorna eredeti formájára, amely tényező, úgy tűnik műanyag blokkoknál is eredendően érvényesül. Hogy mi a fontosabb tényező ennek a kapcsolatnak a komplexitásában nehezen eldönthető. A gyökérsatorna forma eleve meghatározza-e a gyökérsatorna megmunkálás eredményét, vagy a megmunkáló rendszer erőssége hat-e a gyökérsatorna forma megváltoztatására? A műanyag blokkokon végzett kísérletek lecsökkentik a változók számát. Mert ezen változók, amik az emberi gyökérsatornák egyedi és ismétелhetetlen konfigurációjának sokaságával nem tudnak számolni, egyszerűsítve csak így tudják standartizálni a gyökérsatorna morfológiájának hatását a kísérletek homogenitásának érdekében.

A Calberson [17] által végzett kísérlet azt mutatta meg, hogy görbe műanyag blokkoknál a Pro Taper Universal gépi gyökérsatorna megmunkáló eszköz F2 és F3 eszköznel is a csatorna belső görbületéből távolít el dentint túlzó mértékben, ezáltal gyökérsatorna kiegyenesést okozva. Ez azt jelentheti, hogy a műanyag blokkoknál, ugyan úgy, mint emberi fogaknál, lehet tapasztalni a gépi megmunkáló eszközök kiegyenesedési hajlamát az arteficiális, standardizált gyökérsatornában is [69].

A kísérlet, amit műanyag blokkokon végeztünk, segített abban, hogy lecsökkentsük az SMI értékek feltételezett két irányú változását. Az arteficiálisan kialakított műanyag gyökérsatornák keresztmetszete annak teljes hosszán kör formájú és sima. Ez így kizárja a megmunkálás utáni körösödés, valamint a csatorna fal simításából adódó SMI növekedés lehetőségét. Ezért, csak az SMI csökkenés lehetősége állhatna fenn az excentrikus preparálásból következhetően. De az F1 műszerrel történt csatorna megmunkálásunk után (18. ábra), különösen a görbe gyökérsatornában jelentősen megnőtt SMI értékek azt a következtetést sugallják, hogy a gyökérsatornák megmunkálása során a görbe csatornák kiegyenesedése is befolyásoló tényező lehet az SMI értékek változására. Az F2 megmunkálás után valószínűleg az excentrikus preparálás által létrejövő konkáv felületek okozzák az SMI értékek drasztikus csökkenését. Ezt szemlélteti emberi fogon végzett gépi Pro Taper megmunkálásunk előtti és utáni képe is (19. ábra). Ezek az ellentétes mért effektusok okozhatják az SMI értékek fluktuációját, melynek eredményeként elvesz a szignifikancia a kísérletek során.

Wu [146] és munkatársai nem egyenes, hanem élesen megtört (L formájú) műanyag blokkokban vizsgáltak különböző gépi gyökérsatorna megmunkáló rendszereket, melyeknek az volt az érdekessége, hogy ugyan egy gyártótól származtak, de teljesen más

koncepcióval működtek [146]. A Dentsply/Maillefer cég a kísérletünkben általunk is alkalmazott Pro Taper Universal technikáját hasonlították össze a tágitás során okozott apikális transzportációt vizsgálva a cég Pro Taper Next és a Wave One gépi gyökércsatorna tágitó rendszereivel. A Pro Taper Next műszerek speciális keresztmetszetüknek köszönhetően egy különleges “kígyózó” mozgással tágitják fel a gyökércsatorna falát, a Wave One meg csak egyetlen műszert használ speciális “reciprok” mozgás kíséretében a gyökércsatorna teljes feltágításához a többiekkel ellentétben. Arra a megállapításra jutottak kísérletük által, hogy műanyag blokkokban a Pro Taper Universal és a Pro Taper Next rendszerek kevesebb apikális transzportációt hoznak létre, mint a Wave One. Ez a kísérlet azt bizonyítja, hogy erősen görbült, vagy hirtelenül görbülő konfigurációval rendelkező gyökércsatornák esetén nem célszerű agresszív tágitó rendszert alkalmazni, ha ki akarjuk kerülni a tágitás következtében bekövetkező hibákat.

Szinte hasonló műszerekkel végzett vizsgálatokat Silva és munkacsoportja [120]. Színes sztereomikroszkópos vizsgálattal hasonlították össze görbe műanyag blokkokban a Pro Taper Universal, Pro Taper Next, Reciproc (VDW) és Wave One rendszereket abban a tekintetben, hogy külön az egyenes és külön a görbe szakaszában a gyökércsatornának melyik műszer produkál nagyobb gyökércsatorna transzportációt. A Reciproc rendszer, hasonlóan a Wave One-hoz, csak egy előre kiválasztott műszert használ a teljes gyökércsatorna tágitáshoz. Ellentétben Wu H-és mtsai. eredményével [146], ők arra a következtetésre jutottak, hogy a Pro Taper Universal mind az egyenes, mind a görbe szakaszban nagyobb transzportációt produkál, mint a többi tesztelt rendszer. Ezek szerint mégsem az előző felvetésem igaz, mely szerint a görbe gyökércsatornába kevésbé agresszív tágitó műszereket kellene alkalmazni? Mert ez a kísérlet meg azt bizonyítja, hogy a Pro Taper Universalnál újabb fejlesztésű rendszerek, melyek akár a keresztmetszet, anyag vagy mozgás tekintetében mások, kevesebb transzportációt okoznak a gyökércsatorna teljes hosszának tekintetében, de különösen a görbe gyökércsatorna szakaszon [112].

5.3.2 Kétdimenziós vizsgálatok megbeszélés műanyag blokkok esetén

Egy nagyon érdekes mikro-CT közlemény jelent meg 2019-ben. De Oliveira és kutatócsoportja [24], azt bizonyította, hogy görbe csatornájú emberi fogak esetén mindegy volt, hogy milyen a rendszer, ami feltágította a fogakat (egy megmunkáló műszer, vagy több alkalmazása), a mozgás (forgó vagy reciprok), hőkezelés (van/nincs) vagy a műszer formája:

nem okoznak jelentős dimenzióváltozást az apikális harmadban, akár két, akár háromdimenziós méréseket végeztek. Az excentrikus preparálás mértéke (transzportáció) a koronális harmadban volt a legnagyobb, és apikál felé csökkent. A „single file-ok” (olyan gyökércsatorna megmunkáló rendszerek, amik csak egy műszert alkalmaznak a teljes gyökércsatorna feltágításhoz), a koronális harmadban nagyobb transzportációt okoztak, mint a „multiple file-ok” (olyan gyökércsatorna megmunkáló rendszerek, amik több műszert alkalmaznak a teljes gyökércsatorna feltágításhoz). Ez a vizsgálati eredmény felveti a kérdést, hogy a transzportációt tényleg csak a gyökércsatorna koronális harmadában lenne-e érdemes vizsgálni?

Nathani [81] kísérlete is ezt az álláspontot bizonyítja, mely szerint CBCT elemzéssel mérve az ovális keresztmetszetű csatornáknak elvégzett tágításokat, csak a gyökércsatorna koronális harmadában lehet kimutatni a gyökércsatorna transzportáció jelentős mértékét.

Szerintünk ez azért van, mert a gyökércsatorna középső és az apikális harmadában a tágító műszer minden paramétere ellenére a gyökércsatorna morfológiája dönti el a feltágítás sikerességét, az apikális transzportáció mértékét. Ezért is tűnik alkalmasnak a mi mérési sorozatunk [56], melyben a műanyag blokkokban a gyökércsatorna végétől 14 mm-rel koronálisabban végeztük a két-dimenziós méréseinket az alak faktor, körösödés, excentrikus preparálás értékeinek vizsgálatához a megmunkálás utáni arteficiális gyökércsatornát vizsgálva a megmunkálás előttihez képest.

Amennyiben vizsgálatunkban a megmunkálás előtti és utáni értékeket hasonlítottuk össze egyenes lefutású endodonciai műanyag blokkok esetén, azt láthattuk, hogy a megmunkálás után az alak faktor szignifikánsan csökkent ($p < 0,05$), az excentrikusság szignifikánsan nőtt ($p < 0,005$), de, a körösödés értékekben nem volt statisztikailag értékelhető változás [56].

Ezek a változások teljesen érthetőek, hiszen a szabályos kör keresztmetszetű műanyag blokkokban lehetetlen még szabályosabb formát létrehozni a megmunkálás következményeként, ezáltal az alak faktor értéke csak csökkenhet. A műszerek excentrikus preparálása miatt az excentrikusság értéke csak növekedhet és a körösödés statisztikai értékei nem változnak számottevően. Hasonlóan a csont trabekuláris szerkezetéhez, az emberi fogak gyökércsatornáiban is vannak konkáv és konvex irregularitások, ha a keresztmetszetet nézzük [113]. Ezért, ha megmunkálás után a csatorna fal simábbá válik, lecsökken a konkáv területek mennyisége, ezáltal nő az SMI érték. De, előfordulhat, hogy az excentrikus, vagy a csatorna csak egy részét érintő preparálás (különösen ovális átmérőjű gyökércsatornák gépi tágítása esetén) hatására megnő a konkáv területek mértéke (19. ábra),

ami az SMI érték csökkenését vonja maga után.

Az eredője ennek a kétirányú SMI változásnak előre nem látható és nem megjósolható. Ezért van az, hogy egyes tanulmányokban ezek az SMI érték változások lehetnek ugyan statisztikailag szignifikánsak [4,70,123,133], míg a legtöbb tanulmányban a miénkhöz hasonlóan azonban nem.

5.3.3 Új eredmények

1. Az egyenes gyökércsatornák igen nagy hányadában apikális transzportáció alakult ki Flexofile műszerrel végzett step-back megmunkálás után. A görbe csatornában apikális transzportációt nagyobb mértékben találtunk, mint egyenes gyökércsatornák esetén.
2. A gyökértömések hosszú távú in vitro vizsgálatával bebizonyítottuk, hogy az alkalmazott két különböző típusú sealer esetén (Pulp Canal Sealer, Sealapex) a gyökértömések zárasi tulajdonságát eleinte (egy hónap) alapvetően a gyökércsatorna formája befolyásolta, későbbiekben (egy év) a gyökértömő sealer anyaga.
3. Igazoltuk, hogy a folyadékfiltrációs kísérletünkben alkalmazott több változó (gyökércsatorna forma, gyökértömő anyag, szivárgási kategória, idő) együttes elemzésére jól használható a fogászatban eddig még nem alkalmazott π^* statisztikai módszer.
4. Igazoltuk, hogy az SMI érték korlátozott lehetőséggel bíró paraméter a gyökércsatorna megmunkálás jellemzésére. Mert az SMI érték a megmunkálás során negatív és pozitív irányba is változik, ezeknek az ellentétes előjelű változásoknak az eredője pedig esetleges.
5. Összehasonlító vizsgálattal bizonyítottuk, hogy a $\Delta A/\Delta V$ index érzékenyebb faktora a gyökércsatorna megmunkálásának, mint a delta SMI.

6. Összefoglalás

A fog anyagain keresztül bekövetkező bakteriális penetrációt számos módon meg lehet előzni és a következményeit gyógyítani is. Értekezésemben néhány olyan tényezőt vizsgáltam, amelyek fontosak az elkészült gyökértömés sikeressége szempontjából. Vizsgáltam, hogy milyen hatással van a gyökércsatorna morfológiája a gyökércsatorna megmunkálásra, valamint hogy milyen hatással lehetnek az endodonciai sealerek a gyökértömések hosszú távú minőségére. Ezek a vizsgálatok azonban nem nyújthatnak elég információt a fogban mikrométer szinten bekövetkező folyamatokhoz. A miro-CT vizsgálatok részletgazdagon képesek bemutatni és mérni a gyökércsatorna megmunkálás eredményét mind emberi fogaknál, mind műanyag blokkok esetén is. Disszertációmban elemeztem a különböző morfológiával rendelkező gyökércsatornában a gyökércsatorna megmunkálás következtében létrejövő tágitási hiba, az apikális transzportáció előfordulását. Ellentétben a Wu és mtsai. által leközzölt eredményekkel, a mi kísérletünkben nem csak a görbe, hanem az egyenes gyökércsatornák esetén is ki tudtuk mutatni az apikális transzportáció magas prevalenciáját és mértékét. Ez utal a választott módszerünk érzékenysége. A gyökércsatorna sealerek oldékonysága negatívan befolyásolja a gyökértömések hosszú távú zárási tulajdonságát. Longitudinális, egy évig tartó folyadékfiltrációs mérésorozatunk azt bizonyította, hogy a kalcium-hidroxid típusú Sealapex sealer jobban degradálódik a gyökércsatornában, mint a cinkoxid-eugenol típusú Pulp Canal Sealer. Mikro-CT vizsgálatunkkal emberi fogaknál és műanyag blokkok esetén is néhány paraméterét vizsgáltuk a Pro Taper gépi gyökércsatorna megmunkálás után bekövetkező változásoknak a gyökércsatornában. A $\Delta A/\Delta V$ értékeknél az volt tapasztalható, hogy egyenes lefutású emberi foggyökerek megmunkálásánál nem volt statisztikailag szignifikáns a különbség a megmunkálás után, viszont a görbe lefutású gyökerek csoportján belül szignifikáns volt a különbség. Ez a statisztikailag szignifikáns különbség jelentkezett az egyenes és a görbe csoportok között is. A megmunkálás utáni gyökércsatorna morfológia változás mérésére az SMI érték nem tűnik biztos mérőszámnak.. A megmunkálás utáni keresztmetszet változás az excentrikus preparálás miatt negatívan, míg a körösödés és a gyökércsatorna fal simítása pozitív irányban változtatja ezt az értéket. Ez a kétirányú változás az SMI érték fluktuációját okozhatja és ezáltal megkérdőjelezi használatának egzaktságát. Kísérletünkben mi sem találtunk szignifikáns SMI különbséget a csoportok között akár emberi fogakat, akár standard egyenes lefutású műanyag blokkokat vizsgáltunk. Szignifikáns SMI változás csak a görbe műanyag blokkok csoportjában fordult elő. Viszont

műanyag blokkok esetén mind az egyenes, mind a görbe csoporton belül és a csoportok között is szignifikáns eltérés volt a $\Delta A/\Delta V$ érték esetében. Egyenes lefutású műanyag műanyag blokkok megmunkálása esetén az derült ki, hogy még ilyen egyszerű morfológia esetén is a tapasztalt kezelőorvos aszimmetrikus tágítást végez az arteficiális gyökércsatorna keresztmetszetében. Ezáltal excentrikus preparálás tud létrejönni. Ez a megállapítás vonatkozik a alak faktor és a körödődés értékeinek változása esetén is. A megmunkálás előtti és utáni értékek kétdimenziós vizsgálata azt mutatta, hogy a alak faktor eredményei szignifikánsan csökkentek, az excentricitás szignifikánsan növekedett és a körösödés érték nem mutatott statisztikailag szignifikáns változást.

6. Summary

Bacterial invasion through the intact tooth surfaces can be prevented or stopped by several methods. Some initial values have, however, been researched for impact on a successful root canal treatment, such as the impact of root canal morphology on the root canal enlargement modality, the impact of the root canal sealer and the morphological aspect on the long term sealing ability of root canal fillings. These two-dimensional measurements do not appear to give enough information according to the micron-level appearance of the structural incidence. The micro-CT measurements can solve this problem. The information at this micron level seems to be enough to characterise precisely the root canal enlargement modalities in the case of human teeth and even in the artificial acrylic blocks as well. In the present investigation the prevalence of AT in curved canals was similar to that reported by Wu et al, but a comparison with that work showed important differences in the prevalence of AT in straight canals. In our study 80% of straight canals had AT. This surprising result can be accounted for both by the selected morphology of human root canals and the sensitivity of the methodology. The solubility of sealers can negatively influence their long-term seal. In the present study Sealapex allowed more leakage than Pulp Canal Sealer. The present work focused on the quantitative characterisation of the difference in root canal morphology after Pro Taper Universal preparation using available parameters. The mean values of the ratio of surface area change to volume change after the ProTaper instrumentation in straight and curved natural canals predict that $\Delta A/\Delta V$ values are statistically different between the two groups. The limitation of SMI in describing root canal morphological change after instrumentation is inherent in the bidirectional change of SMI value. Specifically, the cross-sectional shape change from round to irregular after excentric instrumentation reduces the SMI value, while smoothing the canal walls increases the SMI value. These two opposite processes cause fluctuation in SMI values, resulting in the loss of statistical significance. In this work the ΔSMI values are not significantly different between the straight and curved human root groups. Unlike $\Delta A/\Delta V$, the SMI did not change significantly after canal instrumentation in straight or in curved human canals. $\Delta A/\Delta V$ values are statistically different between the two acrylic groups and the ΔSMI values are statistically not different between the groups. Cross-sectional shape change of straight resin root canals showed that even in this simplified morphology the operator usually prepares one side of the root canal wall more effectively than the others. Consequently, the cross-sectional shape of prepared root canals changed from regular to irregular, resulting in eccentricity. This finding

was also reflected in the trend of the determined form factor and roundness values. When pre- and postinstrumentation values are compared, it is seen that after the instrumentation the form factor decreased significantly, the eccentricity increased significantly and the roundness value did not show any statistical difference.

7. Irodalomjegyzék

1. Adanir N, Cobankara FK, Belli S. Sealing properties of different resin-based root canal sealers. *J Biomed Mater Res Part B. Appl Biomater.* 2006;77B:1–4.
2. Ahmed HMA, Versiani MA, De-Deus G. & Dummer MAA. new system for classifying root and root canal morphology *Int Endod J.* 2017;50:761–770.
3. Al-Qudah AA, Awawdeh LA. Root and canal morphology of mandibular first and second molar teeth in a Jordanian population. *Int Endod J.* 2009;42:775-784.
4. Almeida et al. Influence of heat treatment of nickel-titanium rotary endodontic instruments on apical preparation: A micro-computed tomographic study. *J Endod.* 2015;41:2031-2035.
5. American Association of Endodontists Glossary of Endodontic Terms. 7th ed. Chicago: AAE; 2003
6. Balani P, Niazi F, Rashid HA. Brief review of the methods used to determine the curvature of root canals. *J Res Dent.* 2015;3:57-63.
7. Bansal R, Hegde S, Astekar MS. Classification of root canal configurations: A review and a new proposal of nomenclature system for root canal configuration. *J of Clin and Diagn Res.* 2018;12:1-5.
8. Barkhordar RA, Bui T, Watanabe L. An evaluation of sealing ability of calcium hydroxide sealers. *Oral Surg Oral Med and Oral Path.* 1989;68:86–92.
9. Barthel CR, Moshonov J, Shuping G, Orstavik D. Bacterial leakage versus dye leakage in obturated root canals. *Int Endod J.* 1999;32:370–375.
10. Bergenholtz G, Horsten-Bindsler P, Reit C. Textbook of Endodontology 2. ed. Wiley-Blackwell 2010;170-219.
11. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, and Lambrechts P. A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography. *Int Endod J.* 2001;34:390–398.
12. Berutti E. Computerized analysis of the instrumentation of the root canal system. *J Endod.* 1993;19:236–238.
13. Bjørndal L, Carlsen O, Thuesen G, Darvann T, Kreiborg S. External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *Int Endod J.* 1999;32:3-9.
14. Blašković-Šubat V, Smojver B, Maričić B, Sutalo J. A computerized method for the evaluation of root canal morphology. *Int Endod J.* 1995;28:290–296.

15. Bramante CM, Berbert A, Borges RP. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endod.* 1987;13:243-245.
16. Briseno BM, Sobarzo-Navarro V, Devens S. The influence of different engine-driven, sound and ultrasound systems and the Canal Master on root canal preparation: an in vitro study. *Int Endod J.* 1993;26:190-197.
17. Calberson FLG, Deroose CAJG, Hommeez GMG & De Moor RJG. Shaping ability of ProTaper nickel-titanium files in simulated resin root canals. *Int Endod J.* 2004;37:613-623.
18. Carlsen O. *Dental Morphology.* Copenhagen, Denmark: Munksgaard 3rd ed. 1987; 35-46.
19. Chandrasekhar V, Morishetty PK, Metla SL, Raju C. Expansion of Gutta-percha in contact with various concentrations of zinc-oxide eugenol sealer: A three-dimensional volumetric study. *J of Endod.* 2011;37:697-700.
20. Christodoulou A, et al. A new methodology for the measurement of the root canal curvature and its 3D modification after instrumentation, *Acta Odont Scandinav.* 2018; DOI: 10.1080/00016357.2018.1440321.
21. Cohen's. *Pathways of the pulp.* Mosby Elsevier 10th edn. 289-363.
22. Dawood AE, Parashos P, Wong RHK, Reynolds EC, Manton DJ. Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications *J Investig Clin Dent.* 2017 May;8(2). doi: 10.1111/jicd.12195. Epub 2015 Oct 5.
23. De-Deus G, Namen F, Galan J. Reduced long-term sealing ability of adhesive root fillings after water-storage stress. *J Endod.* 2008;34:322-325.
24. De Oliveira DJF, Leoni GB, Goulart RS, de Sousa-Neto MD, Sousa YTC, Silva RG. Changes in geometry and transportation of root canals with severe curvature prepared by different heat-treated nickel-titanium instruments: A Micro-computed tomographic study. *J of Endod.* 2019;45:768-773.
25. Dos Santos AK, Duarte MAH, Rivera-Pena MR, Alcalde MP, Vivan RR. Assesment of the shaping ability of different reciprocating systems in simulated curved root canals using micro-computed tomography. *Rev Odontol Bras Central* 2017;26:16-20.
26. Dow PR, Ingle JJ: Isotope determination of root canal failure. *Oral Surg.* 1955;8:1100-1104.
27. Dowker SE, Davis GR, Elliott JC. X-ray microtomography: nondestructive three-dimensional imaging for in vitro endodontic studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1997;83:510–516.

28. Elliott JC, Dover SD. X-ray microtomography. *J Microsc.* 1982;126:211–213.
29. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics: The Toronto study. Phase I: Initial treatment. *J. Endod.* 2003;29:787-793.
30. Gagliardi J, Versiani MA, de Sousa-Neto MD, Plazas-Garzon A, Basrani, B. Evaluation of the shaping characteristics of ProTaper Gold, ProTaper NEXT, and ProTaper Universal in curved canals. *J Endod.* 2015;41:1718-1724.
31. Gale MS, Darvell GB, Cheung GSP. Three-dimensional reconstruction of microleakage pattern using a sequential grinding technique. *J Dent.* 1994;22:370–375.
32. Gandhi A, Gandhi T. Comparison of canal transportation and centering ability of hand Protaper files and rotary Protaper files by using micro computed tomography. *RSBO.* 2011;8:375-380.
33. Georgopoulou MK, Wu M-K, Nikolaou A, Wesselink PR. Effect of thickness on the sealing ability of some root canal sealers. *Oral Surg Oral Medicine Oral Path.* 1995;80:338-344.
34. Gergi R, Osta N, Bourbouze G, Zgheib C, Arbab-Chirani R & Naaman A. Effects of three nickel titanium instrument systems on root canal geometry assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2015;48:162–170.
35. Goldman M, Simmonds S, Rush R. The usefulness of dye-penetration studies reexamined. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1989;67:327–332.
36. Gulabivala K, Aung T, Alavi A, Ng YL. Root and canal morphology of Burmese mandibular molars. *Int Endod J.* 2001;34:359-370.
37. Habib AA, Taha MI, Farah EM. Methodologies used in quality assessment of root canal preparation techniques: Review of the literature. *J of Tabiah Univ. Med.Sciences,* 2015;10:123-131.
38. Hartmann MS, Barletta FB, Camargo Fontanella VR and Vanni JR. Canal transportation after root canal instrumentation: a comparative study with computed tomography, *J Endod.* 2007;33:962–965.
39. Hartmann RC, Fensterseifer M, Peters OA, Figueiredo JAP, Gomes MS, Rossu-i-Fedele G. Methods for measurement of root canal curvature: a systematic and critical review. *Int Endod J.* 2019;52:169–180.
40. Hegedűs Cs, Flóra-Nagy E, Martos R, Juhász A, Fülöp I, Pomaházi S, Nagy I, Tóth Z, Márton I, Keszthelyi G. 3 D reconstruction based on hard tissue microtome cross-section pictures in dentistry. *Comp Meth and Progr in Biomed.* 2000;63:77–84.
41. Hess W. Formation of Root-Canals in Human Teeth “Zur Anatomie der Wurzelkanäle

- des menschliches Gebisses,” Schweizerische Vierteljahrsschrift für Zahnheilkunde, 1917. Translated by Newton G. Thomas, AB, MA, DDS, and Herman Redlich, Chicago, Illinois. The Journal of the National Dental Association 1921;8:704-734.
42. Hildebrand T and Rueggegger P. Quantification of bone microarchitecture with the structure model index, Comp Methods in Biomech and Biomed Engineering. 1997;1:15–23.
 43. Hovland EJ, Dumsha TC. Leakage evaluation in vitro of the root canal sealer cement Sealapex. Int Endod J. 1985;18:179–182.
 44. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. Endodontic Topics. 2005;10:30–76.
 45. Hülsmann M. A critical appraisal of research methods and experimental models for studies on root canal preparation. Int Endod J. 2021;00:1–24.
 46. Ingle JI, Backland LK, Baumgartner JE. Textbook of Endodontics. 5th ed. Hamilton: BC Decker; 2002;299p.
 47. Ingle JI, Backland LK, Baumgartner JE. Textbook of Endodontics. 6th ed. Hamilton: BC Decker; 2008;1172p.
 48. Jafari F, Jafari S. Importance and methodologies of endodontic microleakage studies: A systematic review. J Clin Exp Dent. 2017;9:812-819.
 49. Juhász A, Hegedűs Cs, Flóra-Nagy E, Márton I. Semi-quantitative, three-dimensional leakage study of three endodontic sealers. In: Int Endod J. 1996;p.200.
 50. Juhász A, Kocsis K, Szabó Z, Verdes E, Dobó Nagy Cs. Microleakage extension in respect to root canal morphology. In: Int Endod J. 1998; p.200-201.
 51. Juhász A, Szabó Z, Márton I, Fejérdy P, Dobó Nagy Cs. A gyökércsatorna morfológia hatása a mikroszivárgás mértékére. Fogorv Szle. 2002;95:27–31.
 52. Juhász A, Verdes E, Tőkés L, Kóbor A, Dobó Nagy Cs. The influence of root canal shape on the sealing ability of two root canal sealers. Int Endod J. 2006;19:282–286.
 53. Juhász A. Mikroszivárgás-vizsgálatok az endodonciában (Módszertani összefoglaló). Fogorv Szle. 2008;101:19-28.
 54. Juhász A. Mikroszivárgás jelentősége az endodonciában a gyakorlat számára levonható következtetések. Fogorv Szle. 2008;101:43-48.
 55. Juhász, A, Varga, J, Dobó, Nagy Cs. Mikro-CT investigation of Pro Taper instrumented root In: Acta Physiologica Hungarica. 2010;110-111.
 56. Juhász A, Hegedűs Cs, Márton I, Benyó B, Orhan K, Dobó-Nagy Cs. Effectiveness of parameters in quantifying root canal morphology change after instrumentation with the

- aid of a microcomputed tomography. *BioMed Research Int.* 2019;1-6. ID9758176.
57. Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using mikro-CT. *Int Endod J.* 2005;38:617–626.
 58. Kaán B, Eichner K. Indirekt módszerrel készült, 17-28 éve viselt aranyinlay-k széli záródásának vizsgálata különböző módszerekkel. *Fogorv Szle.* 1996;89:339-345.
 59. Kartal N, Yanikog FÇ. Root canal morphology of mandibular incisors. *J Endod.* 1997;23:358-362.
 60. Kato A, Ziegler A, Utsumi M, Ohno K, Takeichi T. Three-dimensional imaging of internal tooth structures: applications in dental education. *J Oral Biosc.* 2016;58:100–111.
 61. Kececi AD, Kaya BU, Belli S. Corono-apical leakage of various root filling materials using two different penetration models—A 3-month study. *J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater.* 2010;92B:261–267.
 62. Kersten HW, Wesselink PR, Thoden van Velzen SK. The diagnostic reliability of the buccal radiograph root canal filling. *Int Endod J.* 1987;20:20-24.
 63. Khalilak Z, Fallahdoost A, Dadresanfar B, Rezvani G. Comparison of extracted teeth and simulated resin blocks on apical canal transportation. *Iran Endod J.* 2008;3:109–112.
 64. Kidd EAM. Microleakage: a review. *J Dent.* 1993;4:199-205.
 65. Kontakiotis EG1, Wu M-K, Wesselink PR. Effect of sealer thickness on long-term sealing ability: a 2-year follow-up study. *Int Endod J.* 1997;30:307-312.
 66. Kontakiotis EG2, Georgopoulou MK, Morfis AS. Dye penetration in dry and water-filled gaps along root fillings. *Int Endod J.* 2001;34:133–136.
 67. Kőhalmi T, Gorzó I, Mari A, Nagy K. Különböző tömőanyagok széli zárásának in vitro összehasonlítása I. Az alkalmazott tömőanyag hatása a széli zárásra. *Fogorv. Szle.* 1999;92:87-95.
 68. Kyaw Moe JH, Ha MU, Jin Kim YK and Kim SK. Root canal shaping effect of instruments with offset mass of rotation in the mandibular first molar: micro-computed tomographic study, *J of Endod.* 2018;44:822–827.
 69. Leal Silva EGN et al. Comparison of canal transportation in simulated curved canals prepared with ProTaper Universal and ProTaper Gold systems. *Restor Dent Endod.* 2016;41:1-5.
 70. Marceliano-Alves MF, et al. Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a mikro-CT study, *Int Endod J.* 2015; 48:1129–1136.

71. Mayo CV, Montgomery S, de Rio C. A computerized method for evaluating root canal morphology. *J Endod.* 1986;12:2-7.
72. Miletic I et al. Apical leakage of five root canal sealers after one year of storage. *J Endod.* 2002;28:431-432.
73. Moradi S, Lomee M, Gharechahi M. Comparison of fluid filtration and bacterial leakage techniques for evaluation of microleakage in endodontics. *Dental Res. J.* 2015;12:109-114.
74. Mulyar S, Shameem KA, Thankachan RP, Francis PG, Jayapalan CS, Abdul Hafiz KA. Microleakage in Endodontics: Leakage at micron level (bacterial leakage) *J of Int Oral Health.* 2014;6:99-104.
75. Nagaraja S, Sreenivasa Murthy BV. CT evaluation of canal preparation using rotary and hand NI-TI instruments: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2010;13:16-22.
76. Nageswar R. *Advanced Endodontics.* MDS Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd 2009. 1st. edn. p18-19.
77. Nagy CD, Szabo J, Szabo J. A mathematically based classification of root canal curvatures on natural human teeth. *J Endod.* 1995; 21:557–560.
78. Nagy CD, Bartha K, Bernáth M, Verdes E, Szabó J. A comparative study of seven instruments in shaping the root canal in vitro. *Int Endod J.* 1997;30:124-132.
79. Nagy CD, Bartha K, Bernáth M, Verdes E, Szabó J. The effect of root canal morphology on canal shape following instrumentation using different techniques. *Int Endod J.* 1997;30: 133-140.
80. Nagy CD, Keszthelyi G, Szabo J, et al. A computerized method for mathematical description of three-dimensional root canal axis. *J Endod.* 2000;26:639–643.
81. Nathani TI, Nathani AI, Pawar AM, Khakiani MI, Ruiz XF, and Olivieri JA. Canal transportation and centering ability in long oval canals: A Multidimensional Analysis. *J Endod.* 2019;45:1242-1247.
82. Neelakantan P, Romero M, Vera J, Daood U, Khan A, Yan A, Cheung G. Biofilms in endodontics—current status and future directions. *Int. J. Mol. Sci.* 2017;18:1748.
83. Nielsen RB, Alyassin AM, Peters DD, Carnes DL, Lancaster J. Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *J Endod.* 1995;21:561–568.
84. Okumura T. Anatomy of the root canals. *J Am Dent Assoc.* 1927;14:632-640.
85. Oliver CM1, Abott PV. Entrapped air and its effects on dye penetration of voids. *Endod Dent Traumatol.* 1991;7:135–138.

86. Oliver CM2, Abott PV. Correlation between clinical success and apical dye penetration. *Int Endod J*. 2001;34:637–644.
87. Orstavik D. Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water. *Scand J of Dent Res*. 1983;91:316-319.
88. Park HJ, Seo MS, Moon YM. Root canal volume change and transportation by Vortex Blue, ProTaper Next, and ProTaper Universal in curved root canals. *Restor Dent Endod*. 2018;43:1-10.
89. Pashley DH: Dentin permeability: theory and practice. In: Spanberg LSW ed. *Experimental Endodontics*. 1st.edn. Florida, FL. USA: CRC Press. 1983;19-49.
90. Paula-Silva FWG, Wu M-K, Leonardo MR, da Silva LAB, Wesselink PR. Accuracy of periapical radiography and cone beam computed tomography in diagnosing apical periodontitis using histopathological findings as a gold standard. *J Endod*. 2009;35:1009–1012.
91. Peiris H, Pitakotuwage T, Takahashi M, Sasaki K, Kanazawa E. Root canal morphology of mandibular permanent molars at different ages. *Int Endod J*. 2008;41:828-835.
92. Perrini N, Versiani MA. Historical overview of the studies on root canal anatomy. In: Versiani MA, Basrani B, Sousa Neto MD, editors. *The root canal anatomy in permanent dentition*. Switzerland: Springer International Publishing; 2018. p. 3–16.
93. Peters OA, Laib A, Ruegsegger P, Barbakow F. Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J Dent Res*. 2000;79:1405–1409.
94. Peters OA, Schonenberger K and Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J*. 2001;34:221–230.
95. Peters OA, Peters CI, Schonenberger K and Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *Int Endod J*. 2003;6:86–92.
96. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod*. 2001;27 :1-6.
97. Pham DL, Prince JL. Adaptive fuzzy segmentation of magnetic resonance images. *IEEE Trans Med Imaging*. 1999;18:737-752.
98. Pitt Ford TR, Rhodes JS, Pitt Ford HE. *Endodontics: Problem solving in clinical practice*. ed. by Martin Danitz 2002; p.179.
99. Pommel L, Champs J. Effects of pressure and measurement time on the fluid filtration

- method in endodontics. *J Endod.* 2001;27:256–258.
100. Pommel L, Jacquot B, Champs J. Lack of correlation among three methods for evaluation of apical leakage. *J Endod.* 2001;27:347–350.
 101. Preiswerk G. Die pulpaamputation, eine klinische, pathohistologische and bakteriologische studie. *D Cosm.* 1901;67:581-592.
 102. Prinz H. The Spalteholz method of preparing transparent animal bodies. *D Cosm Cosm.* 1913;55:374-378.
 103. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL. Cyclic fatigue testing of nickel titanium endodontic instruments. *J Endod.* 1997;23:77–85.
 104. Queiroz PM, Rovaris K, Santaella GM, Haiter-Neto F, Freitas DQ. Comparison of automatic and visual methods used for image segmentation in endodontics: a microCT study *J Appl Oral Sci.* 2017;25:674-679.
 105. Rhodes JS, Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J.* 1999;32:165–170.
 106. Rickert UG, Dixon CM. The controlling of root surgery. *FDI 8me Congres Dentaire Internationale Paris 1931. C. Re. Gen. Sec. IIIa: 15-22.*
 107. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG Jr. The ‘balanced force’ concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* 1985;11:203–211.
 108. Robertson D, Leeb J, McKee M, Brewer E. A clearing technique for the study of root. canal systems. *J Endod* 1980;6:421-424.
 109. Robertson DC and Leeb J. The evaluation of a transparent tooth model system for the evaluation of endodontically filled teeth. *J Endod.* 1982;8:317-321.
 110. Robinson HBG, Boling LR. The anachoretic effect in pulpitis. 1. Bacteriologic studies. *J.A.D.A.* 1941;28:268-281.
 111. Rudas T, Clogg CC, Lindsay BG. A new index of fit based on mixture method for the analysis of contingency tables. *J of Royal Statistic Soc.* 1994;56:623-639.
 112. Saberi N, Patel S & Mannocci F. Comparison of centring ability and transportation between four nickel titanium instrumentation techniques by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2017;50:595-603.
 113. Salmon PL, Ohlsson C, Shefelbine SJ and Doube M. Structure model index does not measure rods and plates in trabecular bone. *Frontiers in Endocrinology.* 2015;6:162.
 114. Schäfer E, Diez C, Hoppe W, Tepel J. Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod.* 2002;28:211–216.
 115. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals.

- Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1971;32:271-275.
- 116.Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. Dent Clin North Am. 1974;18:269-296.
- 117.Schuurs AHB, Wu M-K, Wesselink PR, Duivenvoorden HJ. Endodontic leakage studies reconsidered. Int. Endod. J. 1993;26:44-52.
- 118.Sert S, Bayirli GS. Evaluation of the root canal configurations of the mandibular and maxillary permanent teeth by gender in the Turkish population. J Endod. 2004;30:391-398.
- 119.Shemesh H, van den Bos M, Wu M-K & Wesselink PR. Glucose penetration and fluid transport through coronal root structure and filled root canals. Int Endod J. 2007;40:866–872.
- 120.Silva EJNL, Vieira VCG, Tameirão MDN, Belladonna FG, Neves AA, Souza EM, De-Deus G. Quantitative transportation assessment in curved canals prepared with an off-centered rectangular design system. Braz. Oral Res. 2016;30:1-7.
- 121.Sousa Neto MT et al. Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: a literature review. Braz. Oral Res. 2018;32:66.
- 122.Southard DW, Oswald RJ, Natkin E. Instrumentation of curved molar root canals with the Roane technique. J Endod. 1987;13:479-489.
- 123.Stringheta CP, Bueno CES, Kato AS, Freire LG, Iglecias EF, Santos M & Pelegri RA. Micro-computed tomographic evaluation of the shaping ability of four instrumentation systems in curved root canals. Int Endod J. 2019;52:908–916.
- 124.Székely M, Bocskay I. Kompozittömések széli záródásának pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálata. Fogorv Szle. 1999;92:186-190.
- 125.Tachibana H, Matsumoto K. Applicability of X-ray computerized tomography in endodontics. Endod Dental Traumatol. 1990;6:16–20.
- 126.Taylor MJ, Lynch E. Microleakage. J Dent. 1992;20:3-10.
- 127.Timpawat S, Vongsavan N, Messer HH. Effect of removal of the smear layer on apical microleakage. J Endod. 2001;27:351–353.
- 128.Torabinejad M. et al. Levels of evidence for the outcome of nonsurgical endodontic treatment. J Endod. 2005;31:637-646.
- 129.Torabinejad M, Walton PE. Endodontics. principle and practice. Saunders Elsevier 4th edition. 2009; p.298-377.
- 130.Torneck CD. Reaction of rat connective tissue to polyethylene tube implants. Part1. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1966;21:379-387.

- 131.Tőkés L, Juhász A, Dobó Nagy Cs. Kalcium-hidroxid és cink-oxid-eugenol tartalmú gyökértömő paszták összehasonlító szélizárás vizsgálata. Fogorv Szle. 1997;90:301–306.
- 132.Xu Q, Fan MW, Fan B, Cheang GS, Hu HL. A new quantitative method using glucose for analysis of endodontic leakage. Oral Surg, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol, Endod. 2005;99:107-111.
- 133.Yang G,Yuan G, Yun X, Zhou XG, Liu B and Wu H. Effects of two nickel-titanium instrument systems,mtwo versus protaper universal,on root canal geometry assessed by micro–computed tomograph, J Endod. 2011;37:1412–1416.
- 134.Youngston CC1. A technique for three-dimensional microleakage assessment using tooth sections. J Dent. 1992;20:231–234.
- 135.Youngston CC2, Glyn Jones JC, Manouge M, Sainth IS. In vitro dentinal penetration by tracers used in microleakage studies. Int Endod J. 1998;31:90–99.
- 136.Yuan G and Yang G. Comparative evaluation of the shaping ability of single-file system versus multi-file system in severely curved root canals. J of Den Scienc. 2018;13:37–42.
- 137.Verissimo DM, do Vale MS. Methodologies for assessment of apical and coronal leakage of endodontic filling materials: a critical review. J Oral Sci. 2006;48:93-98.
- 138.Versiani MA, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Root and root canal morphology of four-rooted maxillary second molars: a micro-computed tomography study. J Endod. 2012;38:977–982.
- 139.Versiani MA, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Microcomputed tomography analysis of the root canal morphology of single-rooted mandibular canines. Int Endod J. 2013;46:800–807.
- 140.Versiani MA, Ordinola-Zapata R, Keles A **et al.** Middle mesial canals in mandibular first molars: a mikro-CT study in different populations. Archives of Oral Biology. 2016;61:130–137.
- 141.Versiani MA, Keles A. Application of mikro-CT technology. in endodontics. in Springer Nature Schwitterland AG 1st edn. 2020. 183-211.
- 142.Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol. 1984;58:589-599.
- 143.Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and an apical foramen shape. J Endod. 1975;8:255-262.
- 144.Woods RP1, Grafton ST, Holmes CJ, Cherry SR, Mazziotta JC. Automated image

- registration: I. General methods and intrasubject, intramodality validation. *J Comput Assist Tomogr.* 1998;22:139-152.
145. Woods RP2, Grafton ST, Watson JD, Sicotte NL, Mazziotta JC. Automated image registration: II. Intersubject validation of linear and nonlinear models. *J Comput Assist Tomogr.* 1998;22:153-165.
146. Wu H, Peng C, Bai Y, Hu X, Wang L and Li C. Shaping ability of ProTaper Universal, WaveOne and ProTaper Next in simulated L-shaped and S-shaped root canals. *Bio Med Central Oral Health.* 2015;15:1-7.
147. Wu M-K, Wesselink PR. Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J.* 1993;26:37–43.
148. Wu M-K, De Gee AJ, Wesselink PR & Moorer WR. Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings. *Int Endod. J.* 1993;26: 203-208.
149. Wu M-K, Wesselink PR, Boersma J. A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod. J.* 1995;28:185-189.
150. Wu M-K, Fan B, Wesselink PR. Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part I: Effects of apical transportation on seal of root fillings. *J of Endod.* 2000;33: 210-216.
151. Wu M-K, Fan B, Wesselink PR. Diminished leakage along root canals filled with guttapercha without sealer over time: a laboratory study. *Int Endod J.* 2000; 33:121-125.
152. Wu M-K, Özok AR, Wesselink PR. Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J.* 2000;33:340-345.
153. <https://www.skyscan.be/next/CTAn03.pdf> Morphometric parameters measured by SkyscanTM CTanalyser software,” CT-Analyser software. SkyScan AB.



Nyilvántartási szám: DEENK/105/2021.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Juhász Alexander

Doktori Iskola: Fogorvostudományi Doktori Iskola

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

1. **Juhász, A.**, Hegedűs, C., Márton, I., Benyó, B., Orhan, K., Dobó Nagy, C.: Effectiveness of Parameters in Quantifying Root Canal Morphology Change after Instrumentation with the Aid of a Microcomputed Tomography.
Biomed Res. Int. 2019, 1-7, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/9758176>
IF: 2.276
2. **Juhász, A.**, Verdes, E., Tőkés, L., Kóbor, A., Dobó Nagy, C.: The influence of root canal shape on the sealing ability of two root canal sealers.
Int. Endod. J. 39 (4), 282-286, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01079.x>
IF: 1.429

További közlemények

3. Mensch, K., Simonffy, L., Dombi, C., Szabó, B. T., Varga, J., **Juhász, A.**, Dobó Nagy, C.: Endodontic and microsurgical treatments of maxillary lateral incisor dens invaginatus in combination with cone-beam-computed tomography fusion imaging.
Oral Radiol. 33 (2), 1-6, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11282-016-0257-5>
IF: 0.466
4. **Juhász, A.**: Mikroszivárgás jelentősége az endodonciában: a gyakorlat számára levonható következtetések.
Fogorv. Szle. 101, 43-48, 2008.
5. **Juhász, A.**: Mikroszivárgás-vizsgálatok az endodonciában (Módszertani összefoglaló).
Fogorv. Szle. 101, 19-28, 2008.
6. **Juhász, A.**, Szabó, Z., Márton, I., Fejérdy, P., Dobó Nagy, C.: A gyökércsatorna morfológia hatása a mikroszivárgás mértékére.
Fogorv. szle. 95 (1), 27-31, 2002.





7. Hegedűs, C., Flóra-Nagy, E., Martos, R., **Juhász, A.**, Fülöp, I., Pomaházi, S., Nagy, I. P., Tóth, Z., Márton, I., Keszthelyi, G.: 3D reconstruction based on hard tissue microtome cross-section pictures in dentistry.

Comput. Methods Programs Biomed. 63 (2), 77-84, 2000.

DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2607\(00\)00059-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2607(00)00059-6)

IF: 0.581

8. Tőkés, L., **Juhász, A.**, Dobó Nagy, C.: Kalcium-hidroxid és cink-oxid-eugenol-tartalmú gyökértömő paszták összehasonlító szélizárás vizsgálata.

Fogorv. Szle. 90, 301-306, 1997.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 4,752

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
3,705**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2021.03.22.



8. Tárgyszavak

apikális transzportáció, fogmorfológia, folyadék filtráció, gyökércsatorna megmunkálás, gyökértömés, mikro-CT, $\Delta A/\Delta V$ mikromorfológiai arányszám, műanyag blokkok, Structural Model Index

8. Keywords

acrylic blocks, apical transportation, fluid filtration, micro-CT, micromorphological parameter ($\Delta A/\Delta V$) root canal enlargement, root canal filling, Structural Model Index, tooth morphology.

9. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet nyilvánítani azoknak, akik segítettek ennek a disszertációnak a megírásában. A felsorolás sorrendje nem jelenti azt a mértéket, amiben a segítségükben részesültem. Mert minden felsorolt a maga módján segített, akár a segítő megjegyzéseivel, akár a támogató jelenlétével.

Köszönöm témavezetőmnek, Professzor Dr. Dobó Nagy Csabának azt, hogy a téma jártassága kapcsán oly sok zsákutcából kivezetett. Köszönöm Professzor Dr. Hegedűs Csabának, másik témavezetőmnek, hogy túlsegített a kísérleti folyamat látszólagos megoldhatatlanságának áthidalásában. Köszönöm a munkahelyi kollegáimnak, különösen a Fogorvostudományi Kart vezető dékánoknak (Dr. Bágyi Kinga, Dr. Hegedűs Csaba, Dr. Márton Ildikó, Dr. Keszthelyi Gusztáv†, Dr. Szentpéteri József†) a pozitív hozzáállását, segítve azt, hogy meg tudjam valósítani tudományos elképzelésemet. Köszönöm minden munkatársamnak azt a munkahelyi légkört, amiben dolgozhattam. Köszönöm és leginkább a családomnak és szeretteimnek köszönöm azt a türelmet, amivel végig követték ennek az útnak a beteljesülését.

10. Függelék

1. **Juhász, Alexander**; Hegedus, Csaba; Marton, Ildiko; Benyo, Balazs; Orhan, Kaan; Dobó-Nagy, Csaba: Effectiveness of Parameters in Quantifying Root Canal Morphology Change after Instrumentation with the Aid of a Microcomputed Tomography.
BIOMED RESEARCH INTERNATIONAL 2019 Paper: 9758176, 6 p. (2019)
2. Mensch, Karoly; Simonffy, Laszlo; Dombi, Csaba; Szabó, Bence Tamas; Varga, Jozsef; **Juhász, Alexander**; Dobo-Nagy, Csaba: Endodontic and microsurgical treatments of maxillary lateral incisor dens invaginatus in combination with cone-beam-computed tomography fusion imaging.
ORAL RADIOLOGY 33: 2 pp. 147-152., 6 p. (2017)
3. **Juhász, A**; Varga, J.; Dobó, Nagy Cs: Mikro-CT investigation of Pro Taper instrumented root.
In: ACTA PHYSIOLOGICA HUNGARICA pp. 110-111., 2 p. (2010)
4. **Juhász, Alexander** Mikroszivárgás-vizsgálatok az endodonciában (Módszertani összefoglaló).
FOGORVOSI SZEMLE 101 pp. 19-28., 10 p. (2008)
5. **Juhász, Alexander**: Mikroszivárgás jelentősége az endodonciában: a gyakorlat számára levonható következtetések.
FOGORVOSI SZEMLE 101 pp. 43-48., 6 p. (2008)
6. **Juhász, A**; Verdes, E; Tokés, L; Kóbor, A; Dobó-Nagy, C: The influence of root canal shape on the sealing ability of two root canal sealers.
INTERNATIONAL ENDODONTIC JOURNAL 39: 4 pp. 282-286., 5 p. (2006)
7. **Dr. Juhász, Alexander**; Dr. Szabó, Zoltán; Dr. Márton, Ildikó; Dr. Fejérdy, Pál; Dr. Dobó-Nagy, Csaba: A gyökércsatorna morfológia hatása a mikroszivárgás mértékére.
FOGORVOSI SZEMLE 95 pp. 27-31., 5 p. (2002)
8. Hegedűs, C; Flóra-Nagy, E; Martos, R; **Juhász, A**; Fülöp, I; Pomaházi, S; Nagy, IP; Tóth, Z; Márton, I; Keszthelyi, G: Simplified 3D reconstruction based on hard tissue microtome cross section pictures in dentistry.
COMPUTER METHODS AND PROGRAMS IN BIOMEDICINE 63 pp. 77-84., 8 p. (2000)
9. **Juhász, A.**; Kocsis, K.; Szabó, Z.; Verdes, E.; Dobó, Nagy Cs: Microleakage extension in respect to root canal morphology.
In: INTERNATIONAL ENDODONTIC JOURNAL pp. 200-201., 2 p. (1998)

10. Tőkés, Levent ; **Dr. Juhász, Alexander**; Dr. Dobó, Nagy Csaba: Kalcium-hidroxid és cink-oxid-eugenol tartalmú gyökértömő paszták összehasonlító szélizárás vizsgálata.
FOGORVOSI SZEMLE 90. pp. 301-306., 6 p. (1997)
11. **Juhász, Alexander**; Hegedűs, Csaba; Flóra-Nagy, Emese; Márton, Ildikó: Semi-quantitative, three-dimensional leakage study of three endodontic sealers
In: INTERNATIONAL ENDODONTIC JOURNAL 1996. p. 200 (1996)