

FOGORVOSI SZEMLE

Stomatologia Hungarica

101. évf. 1. sz.
2008. február



DEOEC Fogorvostudományi Kar, Debrecen

Mikroszivárgás-vizsgálatok az endodonciában

Módszertani összefoglaló

DR. JUHÁSZ ALEXANDER

A gyökértömések minőségét in vivo körülmények között csak radiológiai kiértékelés teszi lehetővé. A Toronto-tanulmány bizonyítékot szolgáltatott arra nézve, hogy a gyökértömések hosszú távú sikertelenségének legfőbb okai a gyökértömések zárási hibái. A gyökértömések mentén kialakuló zárási hibák jelenlétét, a képződött mikrorés nagyságát és kiterjedését in vitro mikroszivárgást vizsgáló módszerekkel lehet tanulmányozni. Jelen módszertani összefoglaló megírásának célja az volt, hogy bemutassa a különböző módszereket, és ismertetést adjon azok előnyeiről és hátrányairól is. Mivel a vizsgáló eljárások módszertana jelentősen különbözik egymástól, ezért az általuk kapott eredmények is fenntartással hasonlíthatók össze. Annak érdekében, hogy a gyökértömések mentén kialakuló mikroszivárgási eredményeket adekvát módon lehessen értékelni, a módszerek lehetőség szerinti maximális standardizálására lenne szükség.

Kulcsszavak: endodonciai sikeresség, határfelületek, mikroszivárgás, standardizáció

Bevezetés

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.) [53]. A rés nagyságának meghatározásánál az alkalmazott vizsgálómódszer érzékenysége döntő jelentőségű. 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 részletgazdagon láthatók [6]. 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 jelentőségűek a képződött rések a gyökértömött fogak esetében a guttapercha csúcsok között, mivel az itt kialakult térben baktériumok, azok bomlástermékei, toxinok, különböző molekulák, ionok akadály nélkül vándorolhatnak [34].

Az 1930-as években szerzett tapasztalatok alapján született az a megállapítás, hogy a gyökértömés hibáiért a rosszul tömött gyökércsatorna mentén a fo-

rámen apikálén túljutó baktériumok tehetők felelőssé [48]. Ez a nem bizonyított feltételezés számos kutatót arra ösztönzött, hogy vizsgálat tárgyává tegye az „apikális szivárgás” kérdését. A holt tér teória – ami abban az időben a leggyakrabban idézett teória volt – azt feltételezte [47], hogy a gyökércsatorna apikális részén a folyadékpanasz következtében toxikus melléktermékek képződnek, amelyek a periapikális szövetekben gyulladást váltanak ki. Ezt a teóriát Torneck 1966-os közleménye megcáfolta [57]. Ez a tanulmány ismerteti azokat a kísérleti eredményeket, amelyek során tesztkapillárisokat helyeztek el ép szövetben. Abban az esetben, ha a tesztkapillárisokba nem fertőzött szövetnedvet juttatott, az eltelt időtől függetlenül nem jött létre gyulladás a környező szövetekben. Egy másik teória, a perkolációs teória szerint [12], 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 ellentmond a Torneck-féle teóriának.

A Washington-tanulmány [26], 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 si-

Endodonciai jelentőséggel bíró mikroorganizmusok összehasonlító méretei

<i>Proteus vulgaris</i>	0,4–2,4 µm
<i>Porphyromonas</i>	0,5–2,4 µm
<i>Peptostreptococcus</i>	0,5–1,2 µm
<i>Propionibacterium</i>	0,5–4 µm
<i>Eubacterium</i>	0,6–20 µm
<i>Campylobacter</i>	0,4–2,5 µm
<i>Streptococcus</i>	0,5–1,2 µm
<i>Veilonella</i>	0,3–0,5µm
<i>Prevotella</i>	változó
<i>Fusobacterium</i>	változó

Holt [23]

kerességének megítélése során a tanulmányok döntő többségében *ellentmondásosak* voltak a kritériumok. Napjainkban a fogorvostudományok terén is csak a bizonyítékokon alapuló eredmények fogadhatók el. Ilyen eredményeket szolgáltatott a Torontó-tanulmány [16], amely hasonló megállapításra jutott a gyökértömések sikeressége tekintetében, mint a Washington-tanulmány [14, 56]. A hosszú távú vizsgálat során szerzett eredmények bebizonyították, hogy apikális periodontitisz fennállása esetén, gyökértömés elkészítését követően a sikerességi arány jóval kisebb (74%), mint a fertőzött, de periapikális elváltozással nem rendelkező fogak gyökértömése után (92%). A rosszul kondenzált gyökértömések eltávolításával, a gyökércsatorna újbóli fertőtlenítésével és újratömésével a sikeresség javítható.

Az endodonciai szakirodalomban az elmúlt években közlemény jelent meg. A téma jelentőségét az is mutatja, hogy 1998-ban a *Journal of Endodontics*-ban megjelent közlemények mintegy 15%-a apikális mikroszivárgási vizsgálatokról számolt be. A kifejezett nemzetközi érdeklődéssel ellentétben a hazai szakirodalom ritkán foglalkozik ezzel a témával. Az ez idáig megjelent közlemények is döntően a koronai mikroszivárgás jelentőségét tanulmányozó vizsgálati eredményekről számoltak be [10, 32, 37, 52].

Jelen összefoglaló közlemény megírásának célja az volt, hogy megismertesse az olvasót az endodonciában régebben és napjainkban használatos mikroszivárgási vizsgálati módszerekkel. Emellett a leírtak segítséget nyújthatnak a kérdéskör jobb megértéséhez, valamint gyakorlati útmutatóként szolgálhatnak azon kutatók számára, akik ebben a témában terveznek kísérleteket végezni és publikálni.

Mikroszivárgási vizsgáló módszerek

Levegőnyomásos módszer

Az első *in vitro* alkalmazott módszer segítségével Har-

per 1912-ben [22] Black II. osztályú amalgamtömések széli záródását vizsgálta. Ezt követően majd csak az 1950-es években jelent meg újabb közlemény, amely kihúzott fogak akrilát töméseinek kérdésével foglalkozott [15]. Ezekben a kísérletekben sűrített levegőt használtak a szélizálás tesztelésére. Mindkét kísérlet lényege az volt, hogy a gyökércsatornán és a pulpakamrán keresztül sűrített levegőt áramoltattak a tömés felé. A légnyomás csökkenését egy statikus rendszerben mérték. Mikroszkóposan vizsgálták a víz alatt lévő fogban a tömés széle mellől kiáramló légbuborékokat. Annak ellenére, hogy a módszer kiértékelése igen szubjektív volt, nagy előnyeként szolgált, hogy nem destrualta a fogat.

Baktérium penetrációs vizsgálatok

A pulpális és periapikális megbetegedések legfőbb oka a mikroorganizmusok, valamint bomlástermékeik által kiváltott kóros történések. Ezért a baktériumpenetrációs vizsgálatok a valóságot leghívebben tükröző, leginkább releváns mikroszivárgást vizsgáló módszereknek tekinthetők. A vizsgálatok történhetnek aerob, fakultatív anaerob és anaerob baktériumok felhasználásával [7]. *Fabricius és mtsai* [13] kimutatták, hogy a fertőzött gyökércsatornában az anaerobok/aerobok aránya 90 nap elteltével 3,9:1, amely arány 1060 nap esetén 11,3:1-re növekszik. *Iwu és mtsai* [27] kísérletében a periapikális szövetekben a fakultatív anaerobok arányát 55%-nak, míg az anaerobok arányát 45%-nak találták. A baktériumpenetrációs vizsgálatok kivitelezése legtöbb esetben úgy történik, hogy a gyökértömött, majd sterilizált fog koronális részéhez hermetikusan egy tartályt csatlakoztatnak. A fog apikális részéhez hasonló körülmények között speciális táptalajt tartalmazó tartályt rögzítenek. A koronális tartályba juttatott baktérium csak a tömött gyökércsatorna mentén juthat el az apikális tartályba. Amennyiben az apikális tartályban elhelyezett folyadék tartalma zavarossá válik, létrejött a bakteriális kontamináció. Néhány tanulmány esetében színes indikátort juttattak az alsó tartályba,

melynek színváltozása a baktériumok megjelenésére utal. A bakteriális kontamináció kvantitatív vizsgálata többféle módszerrel lehetséges. Ezek között szerepel a fluorimetriás módszer, amely esetében egy kórokozó, úgymint a *Pseudomonas Fluorescens* penetrációs mélységét, illetve penetrációs mennyiségét vizsgálják [40]. Számos speciális vizsgálat alkalmazásával nemcsak a nagyméretű sejtformák (endotoxinok, lipopoliszaharidok), hanem kis molekulák is analizálhatók. Ezek közül isotachoforézissal [51] elvégezhető a butírsav (bakteriális végtermék) nanomol koncentrációjú detektálása.

A 0,5–1,0 μm , vagy ennél nagyobb átmérőjű részben a baktériumok szabadon penetrálhatnak. Mégsem tekinthetjük úgy, hogy az ennél kisebb méretű rész megakadályozná a kóros történéseket, mivel a baktériumok toxinjai, savi bomlástermékei szabadon áramolhatnak a kisebb átmérőjű résekben. A baktérium penetrációs vizsgálatoknál számos faktor, köztük az ionváltozások, a pH- és hőmérsékletváltozások, alkalmassá teszik az életképes mikrobákat arra, hogy alakjukat, számukat megváltoztatva, aktívan mozogjanak, duplikálódjanak és növekedjenek, amely történések nem feltétlenül azonosak az *in vitro* történésekkel, ezért bizonytalanra tehetik a kísérleti eredmények kiértékelését. A monokultúrával végzett vizsgálatok [3] nem lehetnek relevánsak a klinikai gyakorlatban, mivel az endodonciai kórformák kialakulásáért többnyire kevert flóra jelenléte tehető felelőssé. Wu és mtsai [64] *Prevotella*, *Porphyromonas*, *Fusobacterium*, *Peptostreptococcus*, *Eubacterium* és *Streptococcus milleri* keverékét alkalmazták vizsgálatukban, hogy ezen kórokozók szinergizmusát értékeljék. A tanulmányukban alkalmazott igen érzékeny anaerob specieszek életben tartását szolgáló beavatkozások technikai feltételeinek nehézsége, bonyolultsága megakadályozta értékelhető eredmények nyeresét [4].

Az endodonciai kezelések magas klinikai sikerességi aránya és a kísérletes baktérium penetrációs vizsgálatok eredményei között jelentős ellentmondás van. Ennek oka az lehet, hogy vagy a kísérletes körülmények eredményei nem valósak, vagy a baktérium penetrációnak nincs akkora jelentősége a klinikai sikeresség kérdésében [59]. A gyökérkezelt fogak hosszú távú sikeressége 74–92% között mozog [16]. Ez azt tételeznél fel, hogy nem, vagy alig következhet be bakteriális penetráció a gyökértömés mentén. Ezzel szemben az *in vitro* baktériumpenetrációs vizsgálatok szinte valamennyiében a vizsgálat 19–21 napjára legalább a kísérleti minták 50%-ában bekövetkezett a kontamináció [4, 18, 59]. Ez a tény is mutatja, hogy az eddigi erőfeszítések ellenére egyelőre nem sikerült hitelesen modellálni az *in vivo* körülményeket.

Radioizotópos vizsgálatok

Napjainkban egyre növekvő számú fogászati kutatás alkalmazza a radioizotópot kísérletes vizsgálatokra. A felhasznált izotópok között szerepeltek: 45Ca, 131I,

35S, 22Na, 32P, 86Rb, 14C [19]. Arról a tényről, hogy a kisebb izotóp molekulák mérete (40 nm) lényegesen kisebb, a kis festékrészecskék méreténél, azt a következtetést kellene levonnunk, hogy a radioizotópos vizsgálatok a festékpenetrációs vizsgálatoknál lényegesen érzékenyebb detektáló módszerek. Egy kísérlet során [60] a gyökértömések mentén penetráló izotópok jelenlétének kimutatására autoradiográfias módszert alkalmaztak. Standardizált expozíciós idő és előhívás után tanulmányozták a radiográfias felvételeket, így következtetve a mikroszivárgás mértékére. A felvételek kiértékelésének szubjektív volta szükségessé tette kvantitatív kiértékelő módszer alkalmazását. A kvantitatív kiértékelés folyadék szcintillációs spektrométer (Beckman, LS 6000 TA) [60] segítségével történt, amely az egységnyi idő alatti beütésszámot detektálja. Az autoradiográfias rendszert alkalmazó kísérleti eredmények kiértékelése során figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a kapott eredményeket több tényező is befolyásolhatja, de a legkritikusabb az, hogy az érzékelő irányja gyakran nem merőleges a vizsgálni kívánt felszín, határfelület irányára, így vetületek jöhetnek létre.

Tényezők, melyek befolyásolhatják a kísérleti eredmények kiértékelését:

- Az izotóp fajtája és koncentrációja:* a nagy energiájú izotópok nagyobb szórást mutatnak a filmen, amely a valós szivárgásnál nagyobb értéket eredményezhet, így alacsonyabb energiájú izotópok alkalmazása javasolt.
- A sugárforrás és a film távolsága:* a távolság növelésével nő a leképezett terület nagysága, de csökken a felbontása.
- Az expozíció ideje:* minél hosszabb az expozíció ideje, annál nagyobb esély van arra, hogy a béta-részecskék véletlenszerű emissziója miatt megnő az ábrázolt találati terület.
- Kimosás:* a metszetek lemosása során a vízben oldódó izotópok olyan helyekre is szóródhatnak, ahol előzőleg nem volt beáramlás.
- Olyan izotópok alkalmazása, köztük a 45Ca, melyeknek kémiai affinitásuk van a fog anyagához, vagy a tömőanyaghoz, szintén nem valós eredményeket produkálhatnak.

További vizsgálati lehetőségként szolgálhat a reverz adszorpciós technika, amelynek során radioaktív izotópokat helyeznek a tömés előtt az üregbe, majd a fogakat betömik. A tömés elkészítését követően a fogat egy olyan oldatba helyezik, amely lehetővé teszi, hogy az idő előrehaladásával mérni lehessen a növekvő radioaktivitás mértékét. Ezen technika alkalmazása esetén ez idáig nem sikerült még tisztázni, hogy ez az izotópszivárgás a tömőanyag és a foganyag közti résen, vagy magán a foganyagon illetőleg tömőanyagon keresztül történik-e? Matloff és mtsai [38] vizsgálatuk során arra a következtetésre jutottak, hogy a nagyobb részecskeméret ellenére egy egyszerű metilén-kék festék jobb penetrációs eredményeket mutatott, mint a tesztelt izotópok. Mindezek alapján úgy tűnik, hogy

a radioizotóp vizsgálatok nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket, mivel nem teszik lehetővé a mikro-szivárgás detektálásának kvantitatív kiértékelését.

Neutron-aktivációs analízis

Elsőként *Going és mtsai* [19], majd *Douglass és mtsai* [11] alkalmazták ezt a technikát, amelynek során kémiai markert (manganézt) juttattak a fogba. Ezután a fogat betömtek, majd kihúzták. A fogat nukleáris reaktor belsejébe helyezték, ahol neutronnal energizált izotóppal (^{56}Mn) bombázták és mérték a fog által kibocsátott sugárzást. Mivel ezzel a módszerrel nem lehetett pontosan kimutatni azt, hogy a sugárzás a tömőanyagban, vagy esetleg a fog anyagán keresztül jutva következett-e be, a módszer hamar feledésbe merült.

Elektrokémiai vizsgáló módszerek

A módszert endodonciai vizsgálatok esetében először *Jacobsen és von Fraunhofer* [28] alkalmazta. Alapja az a fizikai törvény, hogy ha elektrolit-oldatba merítenek két különböző elektropotenciállal rendelkező fémet, köztük mérhető elektromos áram alakul ki. A kísérlet során a gyökértömött fogak gyökerét az apikális 3 mm kivételével két réteg körömlakkal vonták be. Egy kádat 1%-os KCl vagy 0,01 mol/L NaCl elektrolit oldattal töltöttek fel, amelybe a gyökértömött fogat úgy állították be, hogy annak apikális 6-8 mm-e érjen az oldatba. A rendszerben két elektród szerepel. Az egyik elektród vagy anód (legtöbbször korrodáló acél) a gyökértömött fog gyökértömésének koronális részében van rögzítve, míg a másik elektród, a számoló elektród vagy katód (rozsdamentes acél) az elektrolit oldatba merül. A két elektródot összekötő áramkörhöz egy mérőeszközt csatlakoztatnak, ami az aktuálisan átfolyó elektromos áram bizonyos tulajdonságát – régebben az áramerősséget μA -ben, napjainkban az impedanciát $\text{k}\Omega$ -ban – méri. A mérőeszköz akkor mér, ha az elektrolit oldat a gyökértömés menti réseken átdiffundálva képes eljutni a gyökértömésbe ágyazott mérőelektródáig. Az elektrolit mintegy egy hét alatt tud a négy-öt mm-nyi vastag gyökértömő anyagon átjutni [21]. Az elektrokémiai vizsgálatoknak vannak előnyei és hátrányai. Előnyként fogadható el, hogy alkalmasak longitudinális vizsgálatokra. Hátrányként szerepel egyfelől az a körülmény, hogy az eredményeknek egy alsó limitje van. Ahhoz ugyanis, hogy a szivárgást regisztrálni lehessen, az elektrolitnak a gyökértömés teljes hosszán át kell penetrálnia, így a parciális szivárgást nem lehet detektálni. Másik hátránya az, hogy nem veszi figyelembe bizonyos tömőanyagok (főleg a glass-ionomer cementek) dielektrikus tulajdonságait, amelyek a kötési folyamat során változhatnak [39].

Kémiai nyomkövetők

A nem radioaktív kémiai nyomkövetők alkalmazása a fényképezési technikából származik. Alkalmazásuk esetében legalább két vagy több anyag reakciója kö-

vetkezik be. A legáltalánosabban alkalmazott módszer használata során két szintelen összetevő találkozási esetén létrejövő reakció során látható anyag csapódik ki. A módszer érzékenysége attól függ, hogyan képesek az összetevők külön-külön penetrálni. A módszert elsőként vizsgáló *Kornfield* [36], kémiai nyomkövetőt alkalmazott a mikroszivárgás-vizsgálatra. A ma is gyakran alkalmazott módszer esetében [25] a fogat először 50%-os ezüst-nitrát oldatba mártják mintegy 1 órányi időtartalomra, majd 3-6 órára fényképezőelőhívó oldatba, hidrokinnonba helyezik. Az ezüst-nitrát szemcsemérete extrém kicsi (0,059 nm), összehasonlítva az átlagos baktériummérettel (0,5-1 μm). Az organikus előhívó oldat mérete viszont jóval nagyobb, így kérdéses, hogy mennyire tudja követni az ezüst-nitrát szemcséket a mikroréseken és a dentintubulusokban. Előnyként mondható el, hogy a kicsapódott oldat fekete színű, ami markáns kontrasztot ad a foganyaggal illetve a gyökértömő anyaggal szemben. Az ezüst-nitrátot pufferolni kell, hogy pH-ja ne nagyon különbözzön a neutrálisról, és ne okozzon önmagában is valamilyen nem kívánt reakciót a dentinnel. Általánosságban elmondható, hogy ez a módszer használhatóságát tekintve csak másodlagos a festékpenetrációhoz képest.

Festékpenetráció

A festékpenetrációs vizsgálatok a mikroszivárgás-vizsgálatok között a leggyakrabban alkalmazott, de a legellentmondásosabb módszerei [3, 20, 42]. Gyakori alkalmazásának oka a módszer viszonylagos egyszerűsége. Az előkészítés során a gyökértömött fog koronai kétharmadát két réteg körömlakkal vagy viasszal fedik. A szabadon hagyott apikális részt festékoldatba mártják. A meghatározott behatási idő elteltével a megfestett gyökeret eltávolítják a festékoldatból, majd egy kiválasztott módszer segítségével kiértékelik a festékszivárgás kiterjedését. A festék kiválasztásánál, alkalmazásánál megítélésénél ismerni kell az adott festék fizikai, kémiai sajátosságait annak érdekében, hogy előre ismertté lehessen tenni a foganyag, a gyökértömő anyag és a festék közötti lehetséges interakciókat. Példaként említhető, hogy az alacsony pH-jú festékek kioldják a kalciumot a foganyagból, módosítva ezáltal az eredményeket [63]. A festékek pH-jának neutralizálására (pufferolásra) használt anyag precipitátumot képezhet a gyökértömés mentén, ami elzárhatja a réseket. Maga a festék is képes kémiai reakcióba lépni a dentinnel vagy a gyökértömő anyagokkal. A festékbe mártott fogak esetében a penetráció nemcsak a széli záródásnál képződött résekben, hanem a fog csúcsi részénél elhelyezkedő foramenen (forameneken) és a dentintubulusokon keresztül is létrejöhethet, ami növeli a festékpenetráció mértékét [62].

A mikroréseken és a dentinben a festék penetráció mértékét befolyásolja a festék pH-ja, szemcsemérete, koncentrációja, a diffúziós képessége, a kapillaris hatás, a dentin vastagsága, felszínmérete és természete.

tesen a rés kiterjedése is. A diffúzió az anyag folyadékban történő vándorlásának, áramlásának a mértéke, míg a kapilláris hatás a folyadékoknak kis átmérőjű résekben végbemenő áramlását jelenti. A festék a levegővel töltött résekben a kapilláris hatás révén, a vízzel töltött résekben a diffúzió révén szivárog. A kapilláris hatás fordított arányú a rés átmérőjével. Minél kisebb az átmérő, annál mélyebb a szivárgás.

A festékpenetrációt befolyásoló tényezők

Fogmorfológia

Azokat a gyökereket, amelyekben két vagy több csatorna van, longitudinálisan nem lehet szeparáltan metszeni.

ték színe erősen halványodik. Így például a vörös színű eozinfesték halvány rózsaszínűvé válik. Ez kevesebb kontraszttal bír a dentinnel szemben, ami negatív irányba befolyásolhatja a mérési pontosságot.

A gyökértömés és a festés között eltelt idő

Túl rövid idő esetében nem történhet meg a gyökértömő anyag (sealer) kötése, stabilizálódása. Ezzel szemben, ha túl sok a gyökértömés és a festés között eltelt idő, degradációs folyamatok mehetnek végbe a gyökértömésben. A kísérletek általában a gyökértömő anyag gyárilag javasolt megkötési ideje után közvetlenül kezdődnek.

II. táblázat

A leggyakrabban használt festékek és kémiai nyomkövetők, valamint azok pufferolt oldatainak pH-ja

Festék	5% eozin	2% metilénkék	50% ezüst-nitrát	tinta (India ink)
pH	6,67	3,45	3,04	7,37
pufferolt pH	7,21	6,96	6,95	–

Goldman [20]

A festék pH-ja

A nagyos lúgos, vagy nagyon savas festékek morfológiai változást okozhatnak a foganyagban, illetve a gyökértömés szerkezetét is módosíthatják. Ezért gyakran pufferolják a festékeket. A leggyakrabban alkalmazott festékeket és pH-jukat a II. táblázat mutatja be.

A festék szemcsemérete

A tinta (India ink) szemcsemérete és azok eloszlása jól mutatja, hogy egy átlagos festék szemcsemérete igen széles skálán mozog: a közepes szemcseméret 9,62 µm.

A festékszemszéknek elenyésző hányada, 1,77%-a 0,5–1,32 µm átmérőjű és 40%-a festékszemszéknek 440–600 µm átmérőjű. Ezek a nagyméretű szemcsék valószínűleg a kis szemcsék agglomerátumai lehetnek [62]. A kis szemcseméret növeli, a nagy csökkenti a penetrációs mélységet.

A metszésnél használt hűtővíz

A minták feldolgozásánál használt hűtővíz kimoshatja, de szét is kenheti a festéket. Ennek megelőzése két módon lehetséges. Egyik módszer szerint a fogat nem longitudinálisan metszik, hanem két hosszanti bevágás mentén kettérepesztik, így a hűtés szükségtelenné válik. A másik lehetőség szerint vízben oldódó festék helyett alkoholban oldódó festéket választanak, amelyet nem old ki a hűtővíz. Ilyen festék többek között a 3%-os Szudán-vörös [62].

A festék színe

Fontos szempont, hogy a festék színe markánsan eltérjen mind a dentin, mind a gyökértömő anyagok színtől. A festődés koronális határának közelében a fes-

A festés ideje

Abban az esetben ha túl rövid a festés ideje, nem történhet meg a maximális penetráció. Ezzel szemben, a festés idejének túlzott növelése nem befolyásolja lényegesen a festékpenetráció mértékét. Általában 24 órás festés elégséges [20].

Festés során a fog pozicionálása

Goldman és mtsai [20] több szempontot is figyelembe véve vizsgálták meg azt, hogy milyen szerepe van a fog helyzetének a festődés során bekövetkező festékpenetráció mértékére. Kísérletük során mechanikailag megmunkált, de még nem gyökértömött gyökereket alkalmaztak. Akár apikálisan lezárt, de koronálisan nyitva hagyott (2,0–3,4 mm), akár koronálisan lezárt, de apikálisan nyitott fogakat helyeztek festékbe (1,7–4,2 mm), csak részleges festékpenetráció következett be a csatornában. Ha mind koronálisan, mind pedig apikálisan nyitott fogakat helyeztek függőleges irányban a festékbe, akkor totális festékpenetráció ment végbe. Ha viszont mindkét végén nyitott fogakat horizontálisan (fektetve) helyeztek a festékbe, csak részleges festékszivárgás következett be [33], mivel a gyökércsatorna középső harmadában 2,9–4,1 mm festetlen rész maradt. Ebben az esetben a gyökércsatornában bennrekedt levegő (entrapped air) megakadályozta a teljes penetrációt.

A gyökércsatornában rekedt levegő

A gyökércsatornában rekedt levegő mértékének csökkentése, esetleges megszüntetése két módon lehetséges, pozitív vagy negatív nyomásnak a gyökércsatornába juttatása által. Az első módszerre példaként szerepelhet az az eljárás, amelynek során a fogat és

a festéket magába foglaló tartályt centrifugába helyezik 3000 r.p.m. fordulatszámon, 5 percig. Ezzel az eljárással a bennrekedt levegő összenyomásával növelni lehet ugyan a festődés hosszát, de a levegő „zárványokat” teljes mértékben csak vákuummal lehet eltávolítani. Ennek érdekében a tartályba helyezett fogakból a levegőt egyesek kisebb, mások nagyobb, 26–698,5 Hgmm-es negatív nyomással 5 perc alatt kiszivattyúzzák [41, 49]). Ezt követi a fogak festése. Vákuum alkalmazásával Goldman és mtsai [20] szerint totális festékpentráció érhető el nemcsak az üres csatornák, hanem az arteficiálisan hibássá tett gyökértömések mentén is. Ezzel szemben centrifugálással mintegy 90%-os, míg „passzív” festéssel kb. 20%-os festési mélység érhető el [41]. Az értékelést tovább bonyolítja az a körülmény, hogy míg a nagyobb belső átmérővel (>1mm) rendelkező kapillárisokból teljes mértékben el lehet távolítani a reziduális levegőt vákuum alkalmazásával, addig a nagyon kicsi, a kísérletes körülmények között gyakran előforduló 2 µm-es rések esetén, ez erősen kérdéses.

Folyadékfiltrációs módszer

A folyadékfiltrációs vagy folyadéktranszport (fluid filtration or fluid transport) módszert Pashley [43] dolgozta ki, és Wu és mtsai [64] tették alkalmassá az endodontiai mikroszivárgás kérdésének vizsgálatára. A kísérlet

gasabb nyomást vezetnek a rendszerbe. A gyökértömés egyenetlenségein átjutó folyadék elmozdítja a légbuborékot, a mennyiségének megfelelően. 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 baktériumpentráció [58].

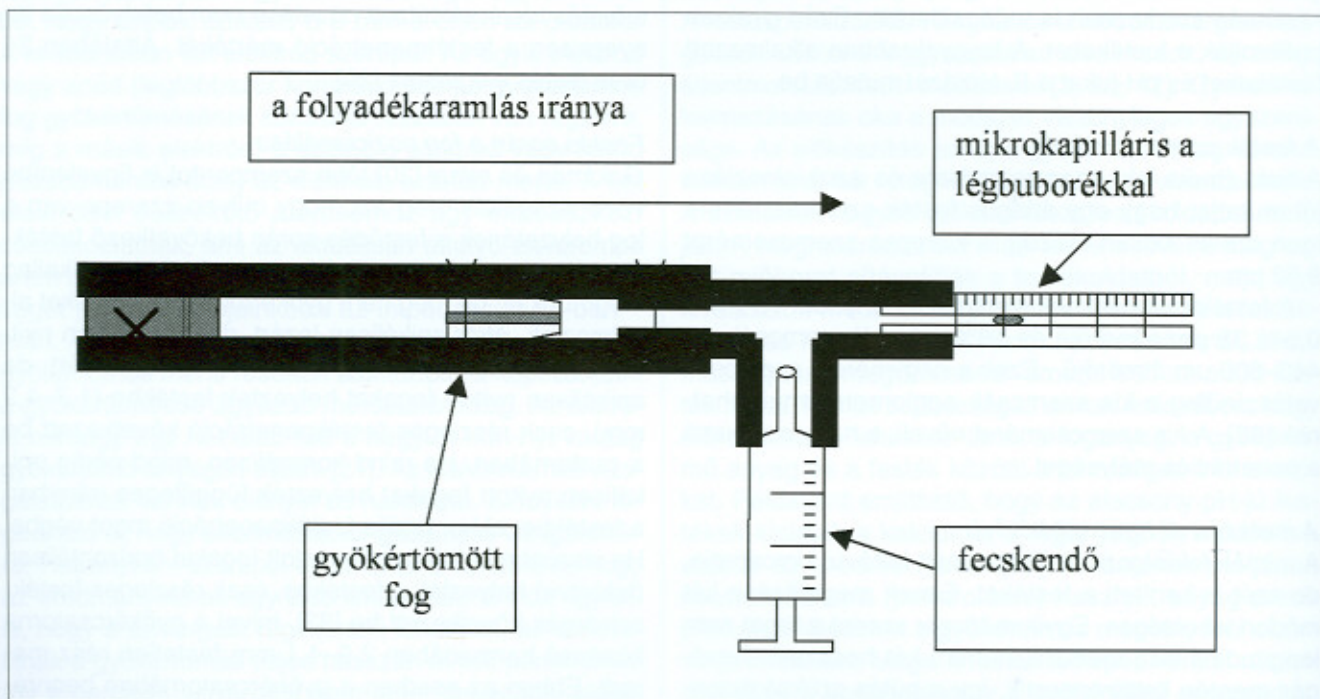
A rendszernek számos előnye van:

- 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.

Több kísérletben [30, 35, 64] ezzel a módszerrel vizsgálták az 1-2 éves gyökértömések zárási tulajdonságának változását.

Valamennyi vizsgálati módszer közül talán ez tekinthető a legrelevánsabbnak, mivel a leghűbben képes utánozni a gyökércsatornai történéseket. Ez a módszer nem igényel festéket és semmilyen más manipulatív anyagot, amelyek jelentősen megmásíthatják a kísérleti körülményeket.

Néhány probléma azonban ennek a rendszernek az alkalmazása során is felmerült.



1. ábra. A folyadékfiltrációs rendszer sémája

során a gyökértömött fogat hermetikusan rögzítik egy műanyag csőben, amelyhez egy mikropipettát csatlakoztatnak. A rendszer folyadékkal van feltöltve. A kapilláris O pontjához egy légbuborék van inokulálva egy fecskendő segítségével. A fog koronai része felől ma-

gyes kutatók ugyanis különböző nyomási értékeket használtak a vizsgálataik során. A rendszer bemenő részén a nyomásértékek 0,15–1,5 atmoszféra között mozogtak, így ezek a nagy különbségek kétséggé tették az eredmények összehasonlíthatóságát.

A mérési idő is eltért az egyes szerzők vizsgálatai esetében (3 perc–1 nap). Általában vagy relatíve magas nyomást alkalmaztak rövidebb ideig tart, vagy alacsony nyomást hosszú időn át, elnyújtva ezzel a kísérlet időtartamát [44, 45, 46]. Annak ellenére, hogy ezen módszer standardizálásának érdekében még további finomítások szükségesek, minden körülményt figyelembe véve a folyadékfiltrációs módszer az egyik legígéretesebb mikroszivárgás-vizsgáló módszer valamennyi közül, mivel a gyökértömés átjárhatóságáról ad információt.

Kapilláris áramlás-porometria

A membrán- és filtertechnológiában már széles körben alkalmazzák, de az endodonciai vizsgáló módszerek közül újnak számít a kapilláris áramlás porometria. Alkalmazásával lehetséges a gyökértömések mentén jelenlévő pórusok méretének és eloszlásának meghatározása. Reprodukálható és hiteles adatokkal szolgál a gyökértömés mentén jelenlévő pórusok, az egymásba átnyúló rések természetéről [9].

Festékvisszanyerési módszer

A mikroszivárgás révén az apikális térbe penetráló festék térfogatának meghatározására jól használható kvantitatív módszer a fesékvisszanyerési módszer (dye recovery method) [66]). Alkalmazása során a gyökértömött és valamilyen festékkel megfestett fogat 3 napra 65%-os salétromsavba helyezik. A fog anyagának feloldódása után az oldatot 1400 r.p.m. fordulatszámon 5 percig centrifugálják, amely révén a guttapercha anyaga elkülönül a könnyebb festéktől. A felülúszó abszorbanciáját spektrofotométerrel vizsgálják az eredeti festék hígítási sorozatához viszonyítva.

A festékpenetrációs vizsgálatok feldolgozása

Longitudinális metszés

A fog gyökerét hosszában kettévágják vagy elcsiszolják. Ha a festékpenetráció mélysége nem ebben a síkban a leghosszabb – az esetek döntő többségében ez a valós helyzet –, akkor a festékpenetráció hosszának korrekt mérése nem lehetséges. Annak érdekében, hogy a metszési procedúra során használt hűtővíz ne mossa ki vagy ne terjessze szét a festéket, a gyökér hosszanti szétrepesztése is használatos módszer. A festékpenetráció hosszanti kiterjedésének vizsgálata a legegyszerűbb, legtöbbet alkalmazott, de a legkevésbé pontos módja a mikroszivárgás kiértékelésének.

Transzverzális metszéssorozat

A módszer során a fogat valamilyen kemény anyagba ágyazzák – a legtöbb esetben ez valamilyen gyanta –, majd apikális irányból kiindulva keményszövet mikrotómmal bizonyos vastagságú metszetsorozatot készítenek a gyökér hosszstengelyére merőlegesen, a festő-

dés koronális határáig. Ez a módszer már pontosabb mérést eredményezhet, hiszen általa nem csak a hosszanti sík egy szeletének penetrációját lehet vizsgálni. A kiértékelés pontosságát ezen módszer esetén is több körülmény befolyásolhatja, így például az, hogy a keményszövet mikrotóm korongja miközben elvágja a beágyazott fogat, jelentős részt el is csiszol belőle. Ezért az egyes metszetek között bizonyos vastagságú részek kiesnek a vizsgálatból. Amennyiben a festődés határa éppen a kicsiszolt részbe esik, lecsökken a mérés pontossága. Az elcsiszolás során képződő kenetréteg [54, 55] is módosíthatja az eredményeket, lefedve vagy elkenve a festést. További figyelembe veendő tényező az is, hogy a csiszolás során alkalmazott hűtővíz kimoshatja a vízben oldódó festéket.

Clear-technika

A fog átlátszóvá tételével láthatóvá tehető az apikális festődés kiterjedése [2]. A gyökértömött és apikálisan megfestett fogakat 36 órára 5%-os salétromsavba helyezik dekalifikáció céljából. A dehidráálás érdekében 70, 95, majd 100%-os alkoholba helyezik a fogat egy-egy napra. Metil-szalicilát hatására a dekalifikált és dehidrált fog sárgásan áttetszővé válik. Ezt követően történik a kiértékelés.

A festékpenetrációs vizsgálatok kiértékelése

Egydimenziós mérések: a gyökér hosszanti metszésével vagy transzverzális metszetsorozattal a festékpenetráció hosszát lehet mérni, ami a mikroszivárgás jelenségnek csak egyik dimenzióját (hossz) mutatja.

Kétdimenziós mérések: transzverzális metszeteknél megoldható, hogy a festékpenetráció területét lehessen mérni akár az egyes metszeteken, akár azokat összeítve [23, 61]. *Juhász és mtsai* [29] speciális kiértékelési módszert alkalmaztak, melynek során átlátszóvá tett gyökerek apikális harmadában vizsgálták a festékpenetráció teljes területét úgy, hogy a négy irányból (m, d, v, o,) digitálisan rögzített és mért festékpenetrációs felszíneket összegezték a vizsgált fog esetében. Ezzel a módszerrel kétdimenziós kiértékelések (terület) is lehetségessé válnak. A mikroszivárgást legpontosabban mérő, legjobban karaktizáló mérések azonban háromdimenziósak, térfogatmérésre lehetőséget adó módszerek

Háromdimenziós mérések: a tudomány jelen állása szerint háromdimenziós (3D-s) méréseket úgy lehet végezni, hogy a vizsgálatok során kapott kétdimenziós adatokat pozicionálnak a harmadik dimenzióban valamilyen referenciapontok vagy referenciarendszerek segítségével. Napjainkban rendelkezésre állnak olyan 3D-s szoftverek, amelyek automatikusan elvégzik a rekonstrukciót és a mérést is, pontosabb információt szol-

gáltatva a festékpentráció térfogatáról [61]. *Berutti* [5] 1mm-es metszetvastagság alapján rekonstruálta 3 D-ban a tesztelt objektumot, míg *Youngston* [62] 220 µm-es, *Gale* [17] pedig 150 µm-es metszetsorozatot alkalmazott. Hazai szerzők [23] megvizsgálták, hogy 200-300 µm-es metszetek esetében az elcsiszolás során elveszett foganyag mennyisége milyen módon befolyásolja a 3 D-s mérési eredményeket. Vizsgálataik során a reális értéktől 8–21%-kal alacsonyabb mérési eredményeket kaptak. A mikro-komputertomográf (µCT) egy olyan rendkívül érzékeny vizsgáló módszer, amely a fogat nem roncsolja, és a mikroszivárgás háromdimenziós rekonstrukcióját és kiértékelését is lehetővé teszi. A modern műszerekkel már 10µm-nyi „metszési” rétegvastagság érhető el. Óriási előnye, hogy felületi és belső fogstruktúrát, gyökértömést, festékpentrációt egyszerre lehet megjeleníteni, és pontosan mérni [31].

Összefoglalás

A mikroszivárgás jelenségének vizsgálatára és kiértékelésére számos módszer létezik. Ennek oka az lehet, hogy eddig még nem sikerült olyan in vitro vizsgálmódszert találni, ami az élő szervezetben bekövetkező folyamatokat hűen tudja utánozni. Több kutatócsoport tett kísérletet arra, hogy összehasonlítsa a különböző vizsgálmódszerek hatékonyságát. A kapott eredmények többsége azt bizonyítja, hogy a vizsgálmódszerek nem összehasonlíthatók [1, 3, 45, 60]. A gyökértömés mentén létrejövő mikroszivárgást, az ott végbemenő történéseket két vizsgálmódszer utánozhatja a leghűbben. Az egyik a baktériumpentrációs vizsgálat, hiszen bizonyított, hogy a pulpális és periapikális elváltozások hátterében bakteriális fertőzés áll fenn. A másik a folyadékfiltrációs módszer, amely a gyökér teljes hosszában kimutatja a létrejövő zárási hibát, ráadásul hosszú távú követéses vizsgálatra is alkalmas, mivel nem roncsolja a fog szerkezetét [65]. A gyökértömésben végbemenő degradációs folyamatokat ugyanis csak hosszú távon lehet megítélni.

Wu és Wesselink 1993-as összefoglaló közleményében a mikroszivárgást vizsgáló módszerek megfelelő standardizációját hiányolta [63]. *Schuurs* [50] statisztikai tanulmányában bizonyítja, hogy endodontiai vizsgálatoknál annak érdekében, hogy statisztikailag releváns eredmények születhessenek, egy kísérleti csoportban minimum 63 fognak kellene szerepelnie. Ugyancsak elgondolkodtató az a tény, hogy a vizsgálati objektumok, vagyis az emberi fogak milyen jelentős morfológiai különbözőséggel bírnak. Ezt a körülményt figyelembe véve jogosan merül fel az a kérdés, hogy lehetséges-e ilyen nagy számban akár csak megközelítőleg hasonló morfológiájú fogakat gyűjteni? A vizsgálmódszerek kiértékelésénél a szemléletmód is változik. A sokat idézett 1993-as *Wu és Wesselink*-közleményben [63] már megfogalmazódik, hogy kvalitatív eredmények

helyett, kvantitatív eredményeket lenne célszerű produkálni. Ez azt jelenti, hogy a mikroszivárgás kiértékelése ne egy dimenzióban történjék (longitudinális metszési sík), hanem két, vagy még inkább három dimenzióban, mivel a festékpentráció csak lineáris értékelése nem lehet valós mutatója az endodonciai kezelés sikerességének vagy sikertelenségének. Ez a kijelentés beleillik a modern endodonciai szemlélet megállapításainak sorába, mely szerint gyökérkezelés sikerességét sok tényező befolyásolja. Ezek közül a legfontosabb a baktériumok jelenléte a gyökércsatornában. A gyökércsatorna teljes lezárásának az elégtelensége csak egy potenciális lehetőség a bakteriális kontaminációra, túlélésre vagy rekolonizációra. A szájrég, a fog, a periapikális szövetek, szövetfolyadékok és a gyökércsatorna-tartalom között többféle kölcsönhatás lehetséges, amelyek következményeit nem lehet előre megjósolni. Az endodonciai sikeresség végső soron az endodonciai kezelést követő koronai [8] és apikális mikroszivárgás jelenségére adott szervezeti válaszképzés ellensúlyozó képességétől függ.

Irodalom

1. AL-GHAMI A, WENBERG A: Testing of sealing ability of endodontic filling materials. *Endod Dent Traumatol* 1994; 10: 249–255.
2. 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.
3. BARTHEL CR, MOSHONOV J, SHUPING G, ORSTAVIK D: Bacterial leakage versus dye leakage in obturated root canals. *Int Endod J* 1999; 32: 370–375.
4. BEHREND GD, CUTLER CW, GUTMANN JL: An in vitro study of smear layer removal and microbial leakage along root-canal fillings. *Int Endod J* 1996; 29: 99–107.
5. BERUTTI E: Computerized analysis of the instrumentation of the root canal system. *J Endod* 1993; 19: 236–238.
6. CARLSEN O: *Dental Morphology*. Copenhagen, Denmark: Munksgaard 3rd ed. 1987; 35–46.
7. CHAILERTVANITKUL P, SAUNDERS WP, SAUNDERS EM, MACKENZIE D, WEETMAN DA: An in vitro study of the coronal leakage of two root canal sealers using an obligate anaerobe microbial marker. *Int Endod J* 1996; 29: 249–255.
8. CHAILERTVANITKUL P, SAUNDERS WP, SAUNDERS EM, MACKENZIE D: Polymicrobial coronal leakage of super EBA root-end fillings following two methods of root-end preparation. *Int Endod J* 1998; 31: 348–352.
9. DE BRUYNE MAA, DE BRUYNE RJE, DE MOOR RJG: Longitudinal study on microleakage of three root-end filling materials by the fluid transport method and by capillary flow porometry. *Int Endod J* 2005; 38: 129–136.
10. DOBÓ NAGY CS, BARTA K, BERNÁTH M, SZABÓ J: A gyökércsatorna tágitó műszerek összehasonlító értékelése kihúzott emberi fogakon. III. rész. A hangfrekvenciás és az ultrahang műszerek vizsgálata. *Fogorv Szle* 1996; 89: 75–85.
11. DOUGLAS WH, CHEN CJ, CRAIG RG: Improved neutron activation analysis of microleakage around a hydrophobic composite restorative. *J Dent Res* 1980; 59: 1507–1510.
12. DOW PR, INGLE JI: Isotope determination of root canal failure. *Oral Surg* 1955; 8: 1100–1104.
13. FABRICIUS L, DAHLEN G, OHMAN AE, MÖLLER AJR: Predominant indigenous oral bacterial isolated from infected root canals after varied times of closure. *Scand J Dent Res* 1982; 90: 134–144.
14. FARZANEH M, ABITBOL S, FRIEDMAN S: Treatment outcome in end-

- odontics: The Toronto study. Phases I and II: Orthograde retreatment. *J Endod* 2004; 30: 627–633.
15. FIASCONORO J. AND SHERMAN HA: Sealing properties of acrylics. *NY State Dent J* 1952; 18: 189–198.
16. FRIEDMAN S, ARIBTOL S, LAWRENCE HP: Treatment outcome in endodontics: The Toronto study. Phase I: Initial treatment. *J Endod* 2003; 29: 787–793.
17. GALE MS, DARVELL GB, CHEUNG GSP: Three-dimensional reconstruction of microleakage pattern using a sequential grinding technique. *J Dent* 1994; 22: 370–375.
18. GILBERT SD, WITHERSPOON DE, BERRY CW: Coronal leakage following three obturation techniques. *Int Endod J* 2001; 34: 293–299.
19. GOING RE, MYERS HM, PRUSSIN S: Quantitative method for studying microleakage in vivo and in vitro. *J Dent Res* 1968; 47: 1128–1132.
20. GOLDMAN M, SIMMONDS S, RUSH R: The usefulness of dye-penetration studies reexamined. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1989; 67: 327–332.
21. GORDON D, MATTISON M, VON FRAUNHOFER A: Electrochemical microleakage study of endodontic sealer / cements. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983; 55: 402–407.
22. HARPER WE: The character of the adaptation of amalgam to the walls of cavities attained by present methods of instrumentation and the use of best known alloys as indicated by the air pressure test. *Dent Rev* 1912; 26: 1179–1198.
23. 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.
24. HOLT JC, KRIEG NR, SNEATH PHA, STALEY JT, WILLIAMS ST: *Bergei's Manual of Determinative Bacteriology*. 9th edn. Baltimore, MD, USA, 1993; 133–134.
25. HOVLAND EJ, DUMSHA TC: Leakage evaluation in vitro of the root canal sealer cement Sealapex. *Int Endod J* 1985; 18: 179–182.
26. INGLE JI, GLICK D: The Washington study. In: *Endodontics* (1st edn) (Ingle JI, ed.). Philadelphia, PA: Lea and Febiger, 1965; 54–77.
27. IWU C, MACFARLANE TW, MACKENZIE D, STENHOUSE D: The microbiology of periapical granulomas. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990; 69: 502–505.
28. JACOBSON SM, FRAUNHOFER JA: The investigation of microleakage in root canal therapy. An electrochemical technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1976; 42: 817–823.
29. JUHÁSZ A, SZABÓ Z, MÁRTON I, FEJÉRDY P, DOBÓ NAGY Cs: A gyökércsatorna morfológia hatása a mikroszivárgás mértékére. *Fogorv Szle* 2002; 95: 27–31.
30. JUHÁSZ A, VERDES E, TÓKÉS 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.
31. JUNG M, LOMMEL D, KLIMEK J: The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J* 2005; 38: 617–626.
32. KAÁN B, EICHNER K: Indirekt módszerrel készült, 17–28 éve viselt aranyinlay-k széli záródásának vizsgálata különböző módszerekkel. *Fogorv Szle* 1996; 89: 339–345.
33. KATZ A, ROSENWASSER R, TAMSE A: Root positioning and leakage to dye in extracted teeth using reduced pressure. *Int Endod J* 1998; 31: 63–66.
34. KIDD EAM: Microleakage: a review. *J Dent* 1993; 4: 199–205.
35. KONTAKIOTIS EG, GEORGIOPOULOU MK, MORFIS AS: Dye penetration in dry and water-filled gaps along root fillings. *Int Endod J* 2001; 34: 133–136.
36. KORNFELD B: Study of clinical behavior of resins in operative dentistry. *J Dent Res* 1953; 32: (abstr. 208) 714–715.
37. KÓHALMI T, GORZÓ I, MARI A, NAGY K: Különböző tömőanyagok széli záródásának in vitro összehasonlítása I. Az alkalmazott tömőanyag hatása a széli zárásra. *Fogorv Szle* 1999; 92: 87–95.
38. MATLOFF IR, JENSEN JR, SINGER L, TABIBI A: A comparison of methods used in root canal sealability studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982; 53: 203.
39. MATTISON GD, FRAUNHOFER JA: Electrochemical microleakage study of endodontic sealer/cements. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983; 55: 402–407.
40. MICHAILESCO PM, VALCARCEL J, GRIEVE AR, LEVALLOIS B, LERNER D: Bacterial leakage in endodontics: an improved method for quantification. *J Endod* 1996; 22: 535–539.
41. OLIVER CM, ABBOTT PV: Entrapped air and its effects on dye penetration of voids. *Endod Dent Traumatol* 1991; 7: 135–138.
42. OLIVER CM, ABBOTT PV: Correlation between clinical success and apical dye penetration. *Int Endod J* 2001; 34: 637–644.
43. PASHLEY DH: Dentin permeability: theory and practice. In: Spanberg LSW ed. *Experimental Endodontics*. 1st edn. Florida, FL, USA: CRC Press. 1983; 19–49.
44. POMMEL L, CHAMPS J: Effects of pressure and measurement time on the fluid filtration method in endodontics. *J Endod* 2001; 27: 256–258.
45. POMMEL L, JACQUOT B, CHAMPS J: Lack of correlation among three methods for evaluation of apical leakage. *J Endod* 2001; 27: 347–350.
46. POMMEL L, CHAMPS J: In vitro apical leakage of System B compared with other filling techniques. *J Endod* 2001; 27: 449–451.
47. RICKERT UG, DIXON CM: *The controlling of root surgery*. FDI 8me Congres Dentaire Internationale Paris 1931. C. Re. Gen. Sec. IIIa: 15–22.
48. ROBINSON HBG, BOLING LR: The anachoretic effect in pulpitis. 1. Bacteriologic studies. *J.A.D.A.* 1941; 28: 268–281.
49. RODA R S, GUTMAN JC: Reliability of reduced air pressure methods used to assess the apical seal. *Int Endod J* 1995; 28: 154–162.
50. SCHUURS AHB, WU M-K, WESSELINK PR & DUIVENVOOREN HJ: Endodontic leakage studies reconsidered. Part 2. Statistical aspects. *Int Endod J* 1993; 26: 44–52.
51. SHAH NS, HERN JD, HASMIE R: A long term review of the Shah Permanent tube. *J Laryngol Otol* 1995; 4: 277–280.
52. SZÉKELY M, BOCSKAY I: Kompozittömések széli záródásának pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálata. *Fogorv Szle* 1999; 92: 186–190.
53. TAYLOR MJ, LYNCH E: Microleakage. *J Dent* 1992; 20: 3–10.
54. TAYLOR JK, JEANSONNE BG, LEMMON RR: Coronal leakage: Effect of smear layer, obturation technique, and sealer. *J Endod* 1997; 23: 508–512.
55. TIMPAWAT S, VONGSAVAN N, MESSER HH: Effect of removal of the smear layer on apical microleakage. *J Endod* 2001; 27: 351–353.
56. TORABINEJAD M, KUTSENKO D, MACHNICK T, ISMAIL A, NEWTON CW: Levels of evidence for the outcome of nonsurgical endodontic treatment. *J Endod* 2005; 31: 637–646.
57. TORNECK CD: Reaction of rat connective tissue to polyethylene tube implants. Part I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1966; 21: 379–387.
58. TÓKÉS L, JUHÁSZ A, DOBÓ NAGY Cs: Kalcium-hidroxid és cink-oxid-eugenol tartalmú gyökértömő paszták összehasonlító szélizárás vizsgálata. *Fogorv Szle* 1997; 90: 301–306.
59. TROPE M, CHOW E, NISSAN R: In vitro endotoxin penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol* 1995; 11: 90–94.
60. XYMÉNEZ-FYRIE LA ÉS MTSAL: Accuracy of endodontic microleakage results. Autoradiographic vs. volumetric measurements. *J Endod* 1996; 22: 294–297.
61. YOUNGSTON CC: A technique for three-dimensional microleakage assessment using tooth sections. *J Dent* 1992; 20: 231–234.
62. YOUNGSTON CC, GLYN JONES JC, MANOUGE M, SAINTH IS: In vitro dentinal penetration by tracers used in microleakage studies. *Int Endod J* 1998; 31: 90–99.
63. WU M-K & WESSELINK PR: Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J* 1993; 26: 37–43.
64. 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.
65. WU M-K, DE GEE AJ & WESSELINK PR: Fluid transport and dye penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 1994; 27: 233–238.
66. ZAKARIASEN KL, DOUGLAS WH, STADEM P: Comparison of volumetric and linear measurements of root canal leakage. *J Dent Res* 1981; 60: 627–632.

DR. JUHÁSZ A:

Microleakage detection in endodontics – a methodological review

Recently the quality of the root canal filling can only be assessed on the basis of radiological evaluation. The Toronto study proved that the most common cause of the long-term failure of the root canal fillings is the incomplete obturation of the entire root canal system. Present methodological review makes an attempt to summarise the most important microleakage detection methods mentioning their shortcomings too. These methods are very different in their point of views, that is why their results are hardly comparable. There is a need to standardize the microleakage detection methods in order to evaluate more correctly the phenomenon existing between the root canal wall and the root canal filling materials.

Keywords: endodontic success, contact surfaces, microleakage, standardization