

ABSTRACT

Den instrumentelle og medikamentelle behandling af rodkanalen

Ved rodbehandling er den biomekaniske udrensning central i forebyggelsen eller behandlingen af den apikale parodontitis. Den udgør den kombinerede instrumentelle og medikamentelle behandling af rodkanalen. I nærværende artikel gennemgås principperne for den biomekaniske udrensning samt omtale af rodmål og instrumentdesign. En korrekt håndtering af rodkanalinstrumenter er samtidig vigtig i forebyggelse af instrumentfraktur. Laboratoriestudier understøtter, at nyere rodkanalinstrumenter har optimerede tekniske egenskaber i forhold til frakturrisiko. Hvorvidt de samme instrumenter reelt fører til forbedrede kliniske resultater, er derimod ikke systematisk undersøgt. Der gennemgås fire væsentlige faser indenfor den specifikke mekaniske udrensning, der kan opfattes som værende alment gældende uden fokus på et bestemt instrumentsystem. Som en konklusion vil det være den samlede effekt af alle delsekvenser i behandlingen, som fører til det optimale kliniske resultat, mere end om filen udfører roterende eller reciprokerende bevægelser i rodkanalen.

Den biomekaniske udrensning – rationale, effekt og kliniske principper

Lars Bjørndal, lektor, dr.odont., ph.d., Sektionen for Cariologi, Endodonti, Pædagogik og Klinisk Genetik, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

Gitte Bruun, afdelingstandlæge, Sektionen for Cariologi, Endodonti, Pædagogik og Klinisk Genetik, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

Sune Demant, tandlæge, ph.d.-studerende, Sektionen for Cariologi, Endodonti, Pædagogik og Klinisk Genetik, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

Carsten Langemark, afdelingstandlæge, Sektionen for Cariologi, Endodonti, Pædagogik og Klinisk Genetik, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

I nærværende artikel er der fokus på den biomekaniske udrensning. I løbet af de sidste 20-25 år er der sket en teknologisk udvikling, der har gjort det nemmere teknisk at udføre en rodbehandling. I praksis har det betydet, at forskellige leverandører relativt hyppigt har budt ind med forslag til forenkling af den mekaniske udrensning. Flere roterende nikkel-titan (ni-ti)-filsystemer, som eksempelvis Reciproc (VDW, München, Tyskland), Wave One og ProTaper Next (begge fra Dentsply Maillefer (Ballaignes, Schweiz)) og BT-Race og iRace (begge fra FKG Dentaire SA (La Chaux-de-Fonds, Schweiz)) samt TF Adaptive (SybronEndo, West Collins Orange, CA, USA) er alle lanceret indenfor bare de sidste 2-3 år. Med den hyppige introduktion af nye instrumentsystemer kan det være vanskeligt at vurdere, om man tilsvarende bør ændre sin rodbehandlingsrutine. Der er derfor behov for en generel opdatering af principperne for den biomekaniske udrensning. Hvorfor er ni-ti-instrumenter hensigtsmæssige at anvende, når rodkanalen krummer? Hvilke praktiske regler for anvendelsen af hhv. manuel og maskinel teknik kan benyttes for at forebygge og minimere risikoen for instrumentfraktur.

Effekten af den mekaniske udrensning kan ikke direkte vurderes, som det er muligt ved fx inspektion af præparationsgrænsen i forbindelse med kronebehandling. Undersøgelser har derfor anvendt røntgen-mikro-computeretomografiske (CT) teknikker for at undersøge rodkanalens tredimensionale (3-d) morfologi, både før og efter

EMNEORD

Endodontics;
root canal
preparation;
pulpectomy;
root canal
medicaments

Principtegning af overinstrumentering

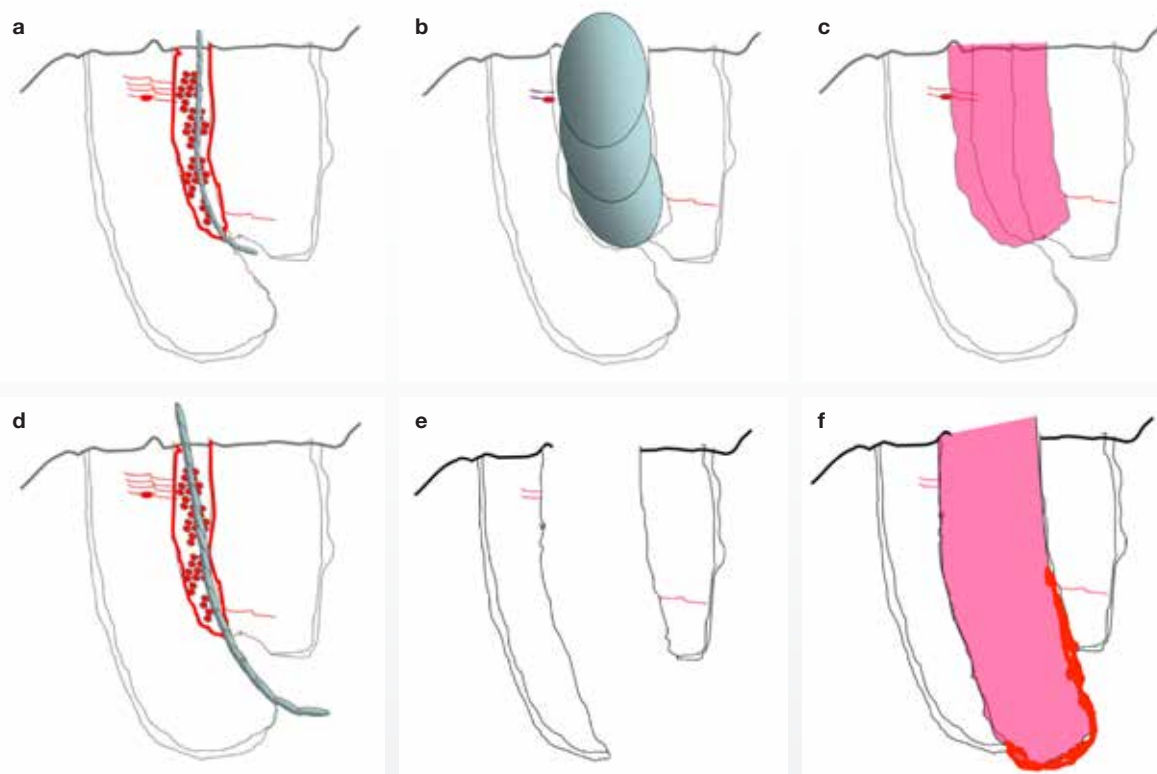


Fig. 1. a. En principskitse af den apikale del af en rod med en fil svarende til det apikale foramen. Ofte vil en godkendt måling fra en apexlokator ligge lidt forbi den apikale konstriktion. Principangivelse af bakterier i kanalen, på kanalvæggen og i dentintubuli (markeret med rødt a-f). **b.** Samme region efter en færdig biomekanisk udrensning indenfor den apikale konstriktion. Aktuelt er der fortsat en mindre mængde af bakterier selv efter en medikamentel seance. **c.** Samme situation med rodfyldning, hvor funktion af rodfyldningen også bliver at indstøbe restfloraen i rodkanalen. **d.** Rodmål vurderes her fejlagtigt til vertex. **e.** Der sker en overinstrumentering af den apikale konstriktion. **f.** Rodfyldningen apikalt er ikke optimal, og de residuale bakterier har udviklet en biofilm på den lange rodfyldning.

Fig. 1. a. A simplified diagram of the apical portion of a root with a file corresponding to the apical foramen. The typical measurement from an apex locator will protrude slightly past the apical constriction. Principle indication of bacteria in the root canal, the wall and within the dentinal tubules (marked in red a-f). **b.** The same region after a completed biomechanical instrumentation within the apical constriction. Currently, this example shows that bacteria remain even after medication of the root. **c.** Same situation with root filling in place, where the function of the root filling includes the entombing of the remaining bacteria. **d.** The working length in this example has been determined by reference to the vertex. **e.** The apical constriction is over-instrumented. **f.** The apical seal of the root filling is sup-optimal and the residual bacteria have developed a biofilm on the extended root filling.

mekanisk udrensning. Endvidere er der foretaget mikrobiologiske undersøgelser af den bakterielle status før og efter instrumentering. Begge disse emner berøres i artiklen med henblik på mulige kliniske konsekvenser. Afslutningsvis gennemgås principperne for en mekanisk udrensning, som ikke nødvendigvis er bundet op på et specielt sæt af instrumenter.

Biomekanisk udrensning – i relation til diagnose og behandling

Endodontisk behandling med særlig fokus på rodbehandling kan kort defineres som en procedure, der enten skal forebygge eller behandle den apikale parodontitis (1). I Skandinavien har

der tidligere været fokus på, hvor lang en rodfyldning optimalt skal være i forhold til, om tanden har en vital pulpadiagnose som eksempelvis *pulpitis irreversibilis*, eller om der er tale om en nekrotisk bakterieinficeret rodkanal med diagnoserne *necrosis pulpa* og *parodontitis apicalis*.

Rodmål og diagnosen

Traditionelt har rodmålet ved en pulpektomi været fastsat 1 mm kortere end ved en kanalbehandling ud fra en opfattelse af, at ved kanalbehandling er formålet at eliminere infektion i hele rodkanalens længde, hvorimod man ved en pulpektomi kan have gavn af 1 mm vitalt væv apikalt med henblik på en hårdtvævs-

Crown Down-konceptet

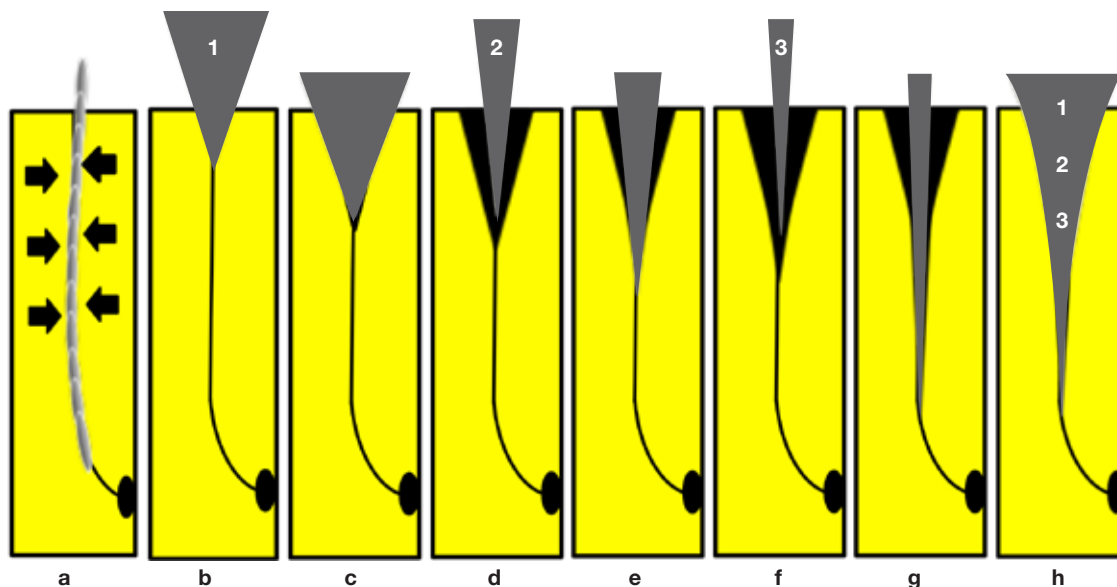


Fig. 2. a. Høj modstand (pile) i kanalen kan opstå, hvis en håndfil føres ned til apex i en kanal. **b-g.** Crown Down-konceptet vises med tre kegleformede file i tre størrelser, hvor nr. 1 har den største procentvise stigning (største taper), og som åbner kanalen, så den efterfølgende fil (nr. 2) kan komme nemmere ned. Samme princip med nr. 2 og nr. 3. **h.** I de nyere filsystemer er stigende kegleprofiler lagt ind i samme fil.

Fig. 2. a. A high resistance (arrows) can occur in the root canal when a hand file is forced to the apex. **b-g.** The 'crown down' concept is shown with 3 files with progressing taper. No. 1 has the largest taper and opens the narrow canal so that the subsequent file (No 2) can be more easily placed into the canal. Same principle is shown with no. 2 and no. 3. **h.** Newer file systems combine progressing tapers within the same instrument.

Stigende grader af taper

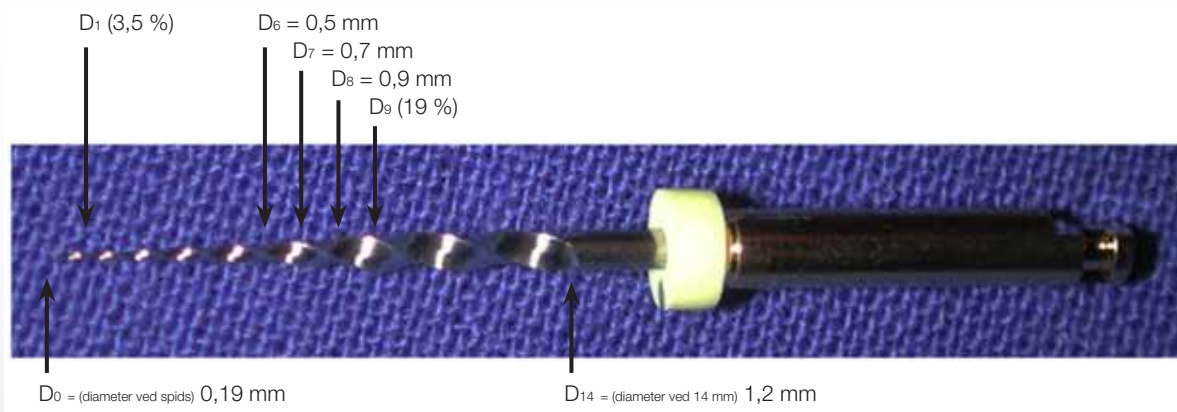


Fig. 3. SX filen i ProTaper systemet (navngivet efter konceptet) er gengivet som eksempel på en fil med en progredierende forøgelse af diameteren (taper). D_x angiver diameter ved x mm fra spids af instrumentet. Ved D_1 er taperen eksempelvis 3,5 %, og ved D_9 er den steget til 19 %.

Fig. 3. SX file from the ProTaper system (named after the progressively tapered concept). D_x denotes the diameter at x mm from the tip of the instrument. At D_1 the taper is 3.5% and at D_9 it is increased to 19%.



KLINISK RELEVANS

I artiklen argumenteres for de kliniske fordele ved at implementere dels apexlokator, dels nikkel-titan (ni-ti)-instrumenter. Ni-ti-instrumenter kan med fordel anvendes, når kanalerne er krumme. Store kanaler (fx palatinal rod i overkæbemolaren eller distale rod i underkæbemolaren) med bred ekstention enten mesio-distalt eller facio-lingvalt kan være vanskelige at instrumentere, så hele rodkanalens væg medinddrages i udrens-

ningen. Ved at opfatte disse kanaler som bestående af "2 kanaler" vil man kunne opnå en forbedret instrumentering. Der omtales fire faser i instrumenteringen, som samtidig forebygger instrumentfraktur, og som kan udnyttes uden særlig fokus på et enkelt instrumentsystem. Det er den samlede effekt af den mekaniske udrensning og den medikamentelle behandling, der er afgørende for resultatet.

aflukning af det apikale foramen. Flere forhold gør, at denne lidt mekanistiske konvention nok ikke er afgørende i forhold til det endelige behandlingsresultat. Når røntgenbilleder gennem tiderne har været anvendt til fastsættelse af det foreløbige rodmål, har forudsætningen været, at det apikale foramen oftest er beliggende 0,5-1 mm fra den røntgenologiske apex (vertex). Morfologiske undersøgelser viser imidlertid, at beliggenheden af det apikale foramen har en stor variation især på præmolare og molare. Placeres det endelige rodmål indenfor 2 mm fra vertex og med anvendelse af optimale røntgenforhold, vil man i lidt over halvdelen af præmolar-tilfældene se en overestimering af rodkanallængden, og ved molare sker overestimeringen i 20 % af tilfældene (2). Eftersom der i dag rodbehandles langt flere molare end tidligere (3,4), opfordres til en mere præcis teknik til fastsættelse af rodmål såsom anvendelsen af elektronisk rodmåling, der mere direkte lokaliserer den anatomiske placering af apex. Endelig skal det bemærkes, at der ikke forefindes kliniske undersøgelser, der understøtter, at man bør anvende forskellige rodmål relateret til diagnosen. I stedet fremhæves, at man skal så tæt på den apikale konstriktion som muligt (5). Når kliniske behandlinger opgøres i forhold til rodmål/rodfyldningslængder, er den optimale længde ofte angivet som 0-2 mm fra vertex (6).

I Fig. 1a ses en skematisk gengivelse af en fil svarende til den anatomiske placering af det apikale foramen samt efter optimal udrensning indenfor den apikale konstriktion (Fig. 1b) og efterfølgende rodfyldning (Fig. 1c, Fig. 1d-f (se senere)). Særligt på flerrodede tænder kan foramen være beliggende på siden af roden. Et røntgenbillede med en fil i rodkanalen vil i de fleste rodkanaler vise den detaljerede kanalmorfologi, som fx en apikal afbøjning i mesio-distal retning, samt hvorvidt det endelige rodmål kan bekræftes. Den palatinal rodkomponent i overkæbemolaren er en af undtagelserne. Roden kan krumme i et facio-lingvalt aspekt, som man ikke kan se på et røntgenbillede. Brugen af apexlokator anbefales til vurdering af rodmållængden, i kombination med et radiologisk estimat (7).

Biomekanisk udrensning

Når udtrykket biomekanisk udrensning benyttes, henviser det til den kombinerede anvendelse af kanalinstrumentering og medikamentel skyllevæske (8). I forbindelse med selve udrensningen vil denne procedure være den samme uagtet tandens diagnose. En forskel imellem pulpektomi og kanalbehandling kan ses efter afslutning af den mekaniske udrensning, hvor man anvender en yderligere medikamentel behandling af rodkanalen(-erne) ved en kanalbehandling (se senere).

Rodkanalinstrumentets diameter og konicitet

Især to parametre benyttes til at beskrive et rodkanalinstrument; hhv. diameteren af spidsen på instrumentet samt den procentvise stigning pr. mm langs den skærende del af instrumentet, også kaldet konicitet eller taper. Størrelsen af konventionelle håndfile i både stål og ni-ti er påtegnet en farvekode på instrumentets håndtag, og farveserien gentages efter stør-

relse 40. De klassiske ISO standard-håndinstrumenter har en procentvis stigning af instrumentdiameteren på 2 % (2 % taper eller .02 taper). Tandlæger har særligt i forrige århundrede anvendt disse næsten parallelle instrumenter som deres væsentligste rodkanalinstrument og med mindre fokus på taper. I de maskinelle systemer i dag er taper en vigtig del af instrumentdesignet. Ved anvendelsen af rodkanalinstrumenter med en taper på 2 % alene, kan der opstå en høj modstand mellem fil og rodkanal langs med hele instrumentet (Fig. 2a). Benyttes en kegleudvidelse i rodkanalen fra kanalindgangen og ned ("Crown Down"), mindskes modstanden, således at et efterfølgende instrument med en lidt mindre taper kan instrumentere kanalen med mindre modstand til følge. Jo større taper instrumentet har, jo mere vil instrumentet kunne åbne kanalindgangen (Fig. 2e-g). Den procentvise stigning af taperen var i de første maskinelle systemer konstant som eksempelvis ved K3 (SybronEndo, West Collins Orange, CA, USA), Profile og GT begge Dentsply Maillefer (Ballaligues, Schweiz), hvilket betød, at en fil havde en fast stigning på eksempelvis 8, 6 eller 4 %, og man anvendte så forskellige file med forskellig taper, afhængigt af hvor i udrensningsfasen man var. Senere blev dette simplificeret ved at indlægge en progredierende stigning i ét instrument (Fig. 2h), hvorved antallet af file kunne reduceres. Instrumentsystemet ProTaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaligues, Schweiz) er et eksempel på et system, hvor instrumenterne har en progredierende kegleform. Fig. 3 viser diameteren forskellige steder på en SX-fil (Dentsply Maillefer, Ballaligues, Schweiz). Aktuelle fil er særlig velegnet til at indlede udrensning i korte rødder. Bemærk den høje procentvise stigning fra 3,5 % ved D₁ (1 mm fra spids) til 19 % ved D₉ (9 mm fra spids).



Faktaboks 1

Den balancerede kraft – balanced force

En simpel beskrivelse af teknikken, som oprindeligt er meget nøje udledt matematisk (10), er:

- at sammenligne filen med en skrue, der skal nedføres i et bræt. Udføres udelukkende en skruebevægelse, opstår der et skruegevind, som samtidig øger modstanden i instrumentet og dermed omdrejningsmomentet (torque) og risikoen for instrumentfraktur, men ved at køre skruen baglæns i samme position i brættet ødelægges gevindskæringen, og modstanden mindskes.
- at man indledningsvis drejer håndinstrumentet en halv rotationsomgang ned i kanalen (180°), hvorefter man returdrejer knap en halv omgang mod uret (120°), imens man holder filen fikseret, således at "instrumentgevindet" ødelægges. Man kan teste det ved at returdreje instrumentet uden at fastholde filen, så vil filen bevæge sig ud af kanalen igen.
- at det er bevægelsen ned mod det endelige rodmål, der er den aktive del af rensningen, drej 180 grader ned i kanalen, hold filen fikseret og returdrej 120°, fortsæt med 180°s rotation ned i kanalen og fikser returdrej 120° osv. ned til endeligt rodmål.

Faktaboks 2

Arbejdsregler for anvendelse af maskinel mekanisk udrensning

- Oplukningskaviteten skal være fuldstændig færdig og kanalindgangene frilagt.
- En stålfil størrelse 20 skal kunne arbejde løst i kanalen, før roterende ni-ti-instrumenter anvendes.
- Maskinelle ni-ti-instrumenter aktiveres, inden de føres ind i kanalen, og deaktiveres, efter de er ude af kanalen igen.
- Maskinelle ni-ti-instrumenter skal være i konstant ind-ud-bevægelse i rodkanalen. Må ikke holdes stille.
- Led ikke efter kanaler med roterende ni-ti-instrumenter, selvom spidsen er tynd.
- Anvendes separat motor, kontrolleres, at man er i det rigtige program, specielt når man arbejder helt apikalt.
- Sørg for at holde rodmålet, når der udføres ind- og udgående bevægelser.
- Brug ikke maskinel udrensning forbi en skarp rodafbøjning eller ved et s-formet kanalforbøb.

Stål- og ni-ti-instrumenter

I følgende afsnit angives fordelene ved implementering af ni-ti-instrumenter. Stålinstrumenternes manglende fleksibilitet, særligt i de store filstørrelser, vil nemmere end ni-ti-instrumenter kunne føre til procedurefejl som hyldedannelse og timeglasformede udrensingsprofiler, der samlet vanskeliggør optimal rodfyldning apikalt. Dette er blevet undersøgt *in vitro*, hvor forskellige instrumentsystemer er afprøvet i plastblokke med simulerede rodkanaler (9).

"Balanced Force"-teknikken

Stålinstrumenternes storhedstid kulminerede formodentlig med udviklingen af udrensningsteknikken "Balanceret Kraft" eller "Balanced Force" (10), der udnytter stålinstrumentet optimalt, når kanalen krummer. En forståelse af teknikken er fortsat aktuel, eftersom vi i dag stadig anvender tynde stålinstrumenter til fx at bane vejen for ni-ti-instrumenterne (Fase 1 se senere). I Faktaboks 1 er teknikken beskrevet i detaljer.

Forskelle mellem ni-ti og stål

Nogle få år efter introduktionen af "Balanced Force" blev de første ni-ti-instrumenter lanceret (11). Ni-ti-legeringen er meget fleksibel. Når man anvender instrumenter med højere fleksibilitet under instrumenteringen, er der mindre modstand langs med væggene i rodkanalen, og derfor vil der opstå færre tekniske procedurefejl. Dette kan forklares ved at se på de metallografiske forhold. Ni-ti-legeringens høje fleksibilitet betyder, at instrumentet skal undergå en deformation på 7 %, før der sker en plastisk deformation, hvorimod et stålinstrument blot skal deformeres 3 %, før der ses en plastisk deformation (12). Denne forskel er relateret til den atomiske natur af ni-ti-legeringen. Særligt er der en overgang i den atomare gitterstruktur, som er styret af temperatur og tryk, der tillader en fleksibilitet, som ligger mellem den såkaldte austenit- og martensit-struktur. Når legeringen belastes, opstår der en fleksibilitetsfase mellem de to atomare strukturovergange, som er i stand til at absorbere den pågældende belastning, uden at legeringen bliver permanent deformert (12).

Optimalt skal ni-ti-legeringsoverfladen være fri for ujævnheder, da fraktur kan opstå i disse urenheder; derfor ønskes en høj overfladekvalitet. I dag er denne proces overordentlig avanceret, og ved en elektrokemisk elektronpolering af overfladen kan disse ujævnheder reduceres. I de nyeste ni-ti-legeringer foregår der en termo-mekanisk-efterbehandling, hvilket medfører yderligere holdbarhed i forhold til frakturrisiko (13).

En anden parameter, der ofte søges forbedret, er instrumentets skæringsprofil (14), der kan være drejet eller fræset og kan påvirke, hvorledes debris transporteres ud af kanalen. Hvorvidt variationer af denne parameter reelt forbedrer det kliniske behandlingsresultat, er straks mere vanskeligt at forudsige.

Mekanismer bag filfraktur og konsekvenser for udrensnings-teknik

To mekanismer styrer særligt, hvorvidt et rodkanalinstrument overbelastes og kan knække:

1. Vridningsbelastningsbrud grundet manglende kontrol af drejningsmoment (torque).
2. Metaltræthed – (cyclic fatigue).

Ad 1

Når spidsen af et instrument indføres i en kanal, der er smalere end taperen af instrumentet, opstår der en situation, der medfører øget modstand og en risiko for et vridningsbelastningsbrud (Fig. 2a). Et sådant brud forsøges forebygget ved at anvende et særligt endodonti-vinkelstykke og/eller en separat motor med torquekontrol. Hvis den præindstillede torquegrænse overskrides, dvs. hvis et instrument belastes af en kraft, der er så stor, at rotationen af instrumentet bremses, vil motoren stoppe og foretage en lille tilbagebevægelse (reversfunktion) for at mindske risikoen for, at instrumentet sætter sig fast og frakturerer i kanalen.

Ad 2

Med indførelsen af maskinel ni-ti-instrumentering (15) har et yndet testscenarium været at undersøge konsekvensen af instrumentbelastningen ved rotation i en krum kanal. Instrumentet vil bøje en gang pr. rotation, og ved simpel tælling af antal af rotationer, der skal til, før der opstår fraktur af instrumentet, kan man få et udtryk for den såkaldte metaltræthedsgrænse (16). Et standard ni-ti-instrument vil kunne bøje/rottere i kanalen 1.000 gange, hvorimod et stålinstrument kun kan modstå 20 rotationer (12). Generelt har de fleksible ni-ti-instrumenter været karakteriseret ved ikke at være særlig stærke overfor torquebelastning, men derimod mere modstandsdygtige overfor metaltræthed. Senere beskrives, hvorledes delfaserner i den mekaniske udrensning i virkeligheden er tiltag, der er designet til at mindske risikoen for overbelastning. Det er vigtigt, at man som aktiv "bruger" er særligt opmærksom på disse delfaserns betydning.

Metaltræthedsfaktoren må betegnes som en teknisk specifikation, som kun fabrikanten kan søge at forbedre. Bliver den imidlertid helt ignoreret af tandlægen, vil man kunne opleve et instrumentbrud helt uden forvarsel, til trods for korrekt anvendt metodik. De moderne ni-ti-instrumenter har i dag alle en høj metaltræthedsgrænse. I praksis vil et metaltræthedsbrud opstå efter mellem 10 og 15 minutters rotation i en kanal, der krummer 45° (16).

Et hyppigt spørgsmål blandt kolleger er, hvornår skal man skifte instrumenterne? Ud fra metaltræthedstabeller alene er svaret styret af krumningsgrad og antal rotationer over tid. Når man ofte i praksis anfører 10-12 kanaler (tre molarer) som det antal kanaler, der kan anvendes uden risiko for instrumentfraktur, så er man tidsmæssigt godt under testtiderne for et reelt brud af det pågældende instrument. I takt med at legeringerne

er blevet forbedret, er problemet med metaltræthed og filfrakturer blevet tilsvarende mindre. Dette gælder selvfølgelig ikke mindst de nyere instrumentsystemer, der lanceres som engangsinstrumenter. I testsituationer registreres der ikke frakturer for disse instrumenter (17). Selvom de nyeste ni-ti-legeringer også er forbedret hvad angår fleksibilitet samt holdbarhed overfor torquebelastning (13), så vil rodkanaler med særlig vanskelig rod morfologi fortsat kontraindicere brugen af ma-

Store kanaler og rensningsareal

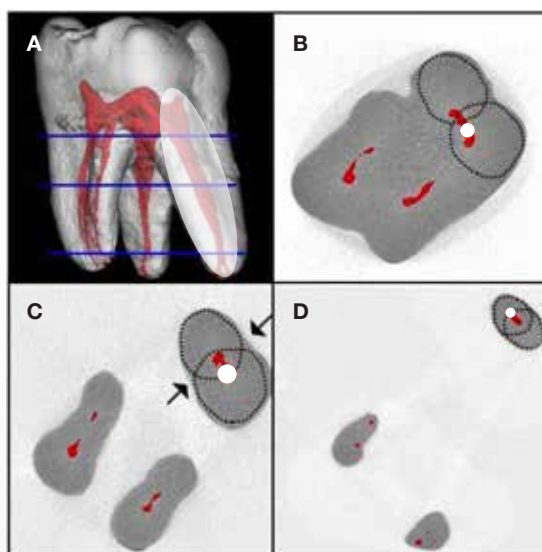


Fig. 4. En overflademodel af en scannet overkæbemolar (A) viser tre tværsnitprofiler cervikalt (B) midtrods (C) samt apikalt (D). I princippet består den palatinal kanal (skravert ellipse A) af to rodsøjler, der er mere eller mindre separate (prikkede cirkler B-D). I store kanaler er kontaktarealet for en mekanisk udrensning ofte under 50 %, hvilket kan skyldes, at man primært renser roden som værende én cirkulær kanal. Den kliniske løsning er, at man renser den palatinal kanal som værende i princippet to kanaler. Aktuelt er den distale del af den palatinal kanal udrenset (principielt angivet med hvide cirkler B-C), men endnu ikke den mesiale del af kanalen (B). (Gengivet modificeret fra ref. 14).

Fig. 4. A surface model of an upper jaw molar (A) shows 3 cross-sectional profiles in cervical (B) middle (C) and apical region (D). In principle, the palatal root consists (shaded ellipse A) of 2 root cones more or less separated (black dotted circles B-D). In large root canals, the contact area of a mechanical instrumentation is often below 50%, which may be due to the fact that the instrumentation is carried out as if the root was completely circular. The clinical solution is to always instrument the canal as if it was 2 partly separated roots. Currently, the distal portion of the palatal root is instrumented (in principle indicated by white circles B-C), but not yet the mesial portion of the canal (B). (Courtesy and modified from ref. 14).

skinelt roterende rodkanalinstrumenter (fx en s-formet kanal eller en meget skarpt afbøjet kanal (90°)). I Faktaboks 2 er der angivet nogle gyldne regler for anvendelsen af maskinel teknik med 360°s rotation. Det er fortsat gode almene regler, selvom rotationskonceptet er ændret i nyere teknikker, således at i stedet for at rotere 360° anvendes enten en fast reciprokerende bevægelse, som det ses hos Reciproc (VDW, München, Tyskland) og Wave One (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) eller en variabel reciprokerende bevægelse, som det observeres i TF Adaptive (SybronEndo, West Collins Orange, CA, USA), hvor omfang af rotation og/eller reciprokering er styret af belastningsgraden.

Mekanisk effekt af instrumentering

En målsætning for en instrumentering ved en kanalbehandling er at få påvirket et så stort areal af rodkanalens overflade som muligt mekanisk med henblik på fjernelse og/eller forstyrrelse af den endodontiske biofilm. Med baggrund i 3-d-røntgen mikro-CT scanningsteknikker *in vitro* på ekstraherede tænder (18,19) kan man før og efter en mekanisk udrensning vurdere den morfologiske rensningseffekt ved forskellige instrument-systemer (20-23). I en dansk ph.d.-afhandling (24) blev det bekræftet, at berøringsarealet er ganske lille og styret af den aktuelle rodmorfologi. Følgende tre variabler blev anvendt og beskriver situationen før og efter instrumentering: i) uberørt areal efter udrensning; ii) volumenforøgelsen af kanalen samt iii) den specifikke afstandsforhold i et givet punkt efter udrensning. En samlet analyse af effekten på molarer viste et ikke-instrumenteret areal på omkring 58 % i såkaldte store og brede kanaler, dels svarende til de palatinale kanaler (Fig. 4) i overkæbemolarerne og dels de distale kanaler i underkæbemolarerne. Derimod havde man i de resterende kanaler i gennemsnit et ikke-instrumenteret areal på omkring en tredjedel af kanalvæggens areal (25). I forlængelse af tidligere studier (20-21) kan det konkluderes, at den mekaniske udrensning alene *ikke* er tilstrækkelig til at påvirke hele rodkanalens samlede areal og kan derfor *ikke* fjerne den totale biofilm i et rodkanalsystem. Det er derfor nødvendigt altid at se den mekaniske udrensning i samspil med en medikamentel strategi. Endelig synes store kanaler at være mere vanskelige at udrense end små og selv komplekse rodkanalsystemer.

Klinisk implikation

Den palatinale rodkomponent i overkæbemolarerne og den distale rodkomponent i underkæbemolarerne er morfologisk kendetegnet ved at bestå af flere rodsøjler. Den store solitære kliniske rodkanal dels i over- og underkæbemolarerne, men for så vidt også hjørnetanden i over- og underkæben, formes således altid ud fra en større eller mindre separationsgrad af 2-3 rodsøjler, hvorfor tværnsnittet sjældent er cirkulært. En klinisk praktisk løsning på at øge kontaktarealet er at se disse kanaler som bestående af mindst to kanaler. Til trods for at der kun er én klinisk kanal, kan man under udrensningen

sørge for at få instrumentet i god kontakt med kanalvæggen, både faciale og lingviale i den distale rodkomponent i underkæbemolarerne, samt hjørnetænderne i både over- og underkæben og tilsvarende skabe god kontakt mesiale og distale i den palatinale rodkomponent i overkæbemolarerne. Anvendes denne simple tankegang, øges det mekaniske kontaktareal i rodkanalen (26).

Effekt af biomekanisk udrensning vurderet ud fra mikrobiologisk prøvetagning

Testes rodkanalen mikrobiologisk efter mekanisk udrensning, har undersøgelser vist, at der sker en reel bakteriereduktion (27, 28). Sammenlignes en større apikal udvidelse af roden med en tilsvarende mindre, har det *in vitro* imidlertid vist sig vanskeligt at se signifikante forskelle i bakteriereduktionen (29-31). Endelig vil det altid være mere hensigtsmæssigt at vurdere effekt af mekanisk udrensning på baggrund af en samlet behandlingsprotokol – som ikke mindst indbefatter et bidrag fra den efterfølgende medikamentelle sekvens ved en kanalbehandling. I et dansk studie blev effekten af dels en keglepræparation, dels en stor apikal bokspræparation sammenlignet, efterfulgt af en medikamentel seance (32). Kvalitativt var der en tendens til, at den udvidede bokspræparation havde mindre vækst inden medikamentel behandling, men dette var ikke signifikant. Bakterierprøvetagning af rodkanalen efter medikamentel behandling med 5 % jodopløsning viste en yderligere reduktion (uanset anvendelsen af rodkanalpræparation); dette peger på, at en efterfølgende medikamentel behandling muligvis kan reducere bakteriemængden yderligere. Man kan så af tekniske grunde finde det hensigtsmæssigt at udvide den apikale boks for at optimere fyldningsteknikken med en masterpoint og efterfølgende kondensering af lateralpoints.

Fire væsentlige faser i en samlet biomekanisk udrensning efter oplukning

Fase 1 (Kanalen verificeres)

Med håndinstrumenter undersøges, om der reelt er en kanal, og om den er tilgængelig for eksempelvis K-filstørrelse 15 og 20 i den øverste koronale del. Kan disse file ikke introduceres umiddelbart, må man starte med mindre filstørrelser, svarende til størrelse 8 eller 10, og derefter udvide op til størrelse 15 og 20. Bemærk, at disse indledende håndfile også kan anvendes maskinelt i et såkaldt M4 safety endovinkelstykke (SybronEndo, West Collins Orange, CA, USA), eller som udelukkende maskinelle ni-ti-instrumenter (Path-files størrelse 10, 15 og 20) (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz). Hvis en fil ikke kan komme til apex, vil det sjældent skyldes total blokering, men som vist i Fig. 2a en øget modstand fra kanalvæggen. Principielt er Fase 1 afsluttet, når kanalsystemet er udvidet, så et efterfølgende roterende filsystem kan arbejde passivt svarende til spidsen af instrumentet i den øverste 1/3-2/3 af kanalen. Denne fase kræver således ikke en endelig bestemmelse af rodmålet.

Det er klart, at hvis kanalen er meget stor i udgangspunktet, er denne fase hurtigt overstået.

Fase 2 (Koronal udvidelse)

Med roterende ni-ti-instrumenter bearbejdes den øverste 1/3-2/3 af kanalen. De fleste systemer har egentlige oplukningsinstrumenter til denne indledende fase, men tendensen i nyere systemer er, at man gerne vil reducere antallet af file; bemærk enkelte systemer forudsætter, at den øverste koronale tredjedel bør være rettet op, inden systemets roterende file anvendes (TF adaptive, SybronEndo, West Collins Orange, CA, USA). Som eksempler på oplukningsbor i nærværende fase kan nævnes SX og S1 fra ProTaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) eller Reciproc R25 (VDW, München, Tyskland). Ved en meget krum kanal vil den koronale udvidelse medføre, at kanallængden reduceres, hvorfor rodmålsbestemmelse med fordel kan udskydes. Anvendes såkaldte 1-fils-systemer, anbefales, at man indledningsvis også har udført en Fase 1-sekvens. Der er dog undersøgelser, der har vist,

at man umiddelbart kan komme til endeligt rodmål (33). Som et overordnet princip bør man altid arbejde med en håndfil før det roterende instrument i en størrelse, som sikrer, at den maskinelle fil kan arbejde passivt ved spidsen af instrumentet. Dette er selvfølgelig mest kritisk i den trange kanal og gøres for at undgå, at eksempelvis S1 fra ProTaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) (der kun er størrelse 0,17 mm ved spids) skal knække som følge af et vridningsbelastningsbrud. Derfor er det hensigtsmæssigt, at et håndinstrument svarende til K-fil 20 har forarbejdet kanalen, inden et roterende instrument introduceres (Fase 1).

Fase 3 (Fastsættelse af og udrensning til endeligt rodmål)

Endeligt rodmål fastsættes og kontrolleres med røntgen, og håndfil størrelse 15 og 20 instrumenteres ned til det endelige rodmål for at forebygge et vridningsbelastningsbrud af de efterfølgende roterende instrumenter. Rodkanalen bearbejdes nu tilsvarende maskinelt med ni-ti-instrumenter til endeligt rodmål. Der er forskellige procedurer, afhængigt af hvilket system der anvendes. Det er vigtigt at følge de anvisninger, der er gældende for netop det system, der anvendes.

Fase 4 (apikal bokspræparation)

Afhængigt af kanal morfologien kan man afslutte med instrumentering, som primært udvider den nederste apikale del, eksempelvis til størrelse 40 eller 50. Er rodkanalen initialt trang (mindre end K-fil 15), vil en udrensning til størrelse 25 eller 30 ofte være tilstrækkelig.

Den løbende kvalitetssikring af den mekaniske udrensning

Kvalitetssikringen under den mekaniske udrensning kan sikres ved anvendelse af arbejdsrøntgenbilleder. Efter det obligatoriske præoperative røntgenbillede (Fig. 5a) er et filbillede som kontrol af det endelige rodmål allerede omtalt (Fig. 5b). Det kan derudover være nyttigt at kontrollere den mekaniske udrensning med et såkaldt masterpoint røntgenbillede, hvor guttaperka-masterpointen placeres i den udrensede rod kanal uden sealer og lateral point (Fig. 5c) før den endelige rodfyldning kontrolleres med et afsluttende røntgenbillede (Fig. 5d). Hvis dette billede viser, at masterpointen er for kort eller for lang, vil man relativt let kunne foretage den nødvendige justering. Anvendes varm guttaperka, kan det tilsvarende være relevant at kontrollere placeringen af den mest apikale del af rodfyldningen, inden resten af kanalen efterfyldes.

Det ligger uden for nærværende artikel at omtale Cone Beam CT-teknikken (CBCT) i detaljer herunder i forhold til en egentlig instrumentering, men til præoperativ diagnostik af sygdom samt kanal konfiguration kan denne teknologi være et supplement ved vanskelige patienttilfælde (34). Det skal dog kort tilføjes, at man i et nyligt publiceret arbejde fandt, at elektronisk rodmåling er den mest pålidelige metode i sammenligningen med en CBCT-scanning som udgangspunkt for en rodmålsvurdering (35).

Kvalitetssikring af mekanisk udrensning

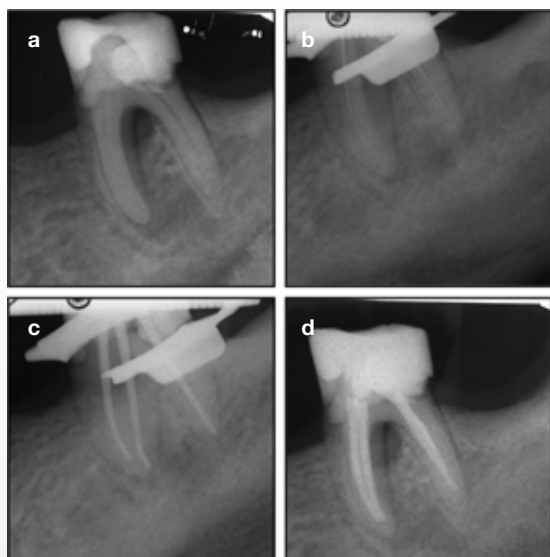


Fig. 5. a. Præoperativt røntgenbillede af -7 inden rodbehandling. **b.** Foreløbigt rodmålsbillede af -7 baseret på en elektronisk rodmåling. **c.** Et røntgenbillede af masterpoints i tre kanaler uden sealer og inden endelig rodfyldning. **d.** Røntgenbillede af -7 efter rodfyldning.

Fig. 5. a. Pre-operative radiograph of -7 in root canal treatment. **b.** Working length radiograph of -7 based on an apex locator assessment. **c.** Radiograph of master points in the roots without sealer and before final root filling. **d.** Radiograph of -7 after root filling.

Undgå overinstrumentering

At man kun instrumenterer indenfor den apikale konstriktion, må prioriteres, fordi overinstrumentering og overfyldning påvirker rodbehandlingsprognose (6,7,36,37). Bemærk, at laver man en overinstrumentering ved en krum kanal, vil man have tendens til at afslutte den apikale udrensning med en bred afsluttende base, hvilket kan gøre det vanskeligt at udføre en tæt rodfyldning (Fig. 1d-e). Man kan i dag få integrerede apexlokatorer knyttet til vinkelstykket (38), så man direkte under den apikale instrumentering kan blive gjort opmærksom på, om man er ved den apikale konstriktion eller ej. Man kan anvende dette som en ekstra kontrolforanstaltning på et rodmål, man i forvejen har fastsat.

Protokol for en standard patientbehandling

Nedenfor er angivet et protokoleksempel på en standardbehandling, hvor filstørrelse 15 og 20 nemt går til endeligt rodmål; behandlingsforskelle mht. til diagnose er tillige anført.

Procedure for standardbehandling:

- Klinisk og radiologisk forundersøgelse m.m.
- Diagnose og behandling.
- Bedøvelse (kan oftest undlades ved kanalbehandling).
- Oplukning og lokalisering af kanalindgange.
- Kofferdamanlæg (afvaskning med desinfektionsvæske (klorhexidinsprit eller brintoverilte og afsluttende jodsprit).
- Mekanisk udrensning
 - o Fase 1: Verificering af øverste 1/3-2/3 af kanal med håndfile størrelse 15 og 20.
 - o Fase 2: Oplukning af øverste 1/3-2/3 af kanal. Fx Protaper Universal SX eller S1 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) eller Reciproc R25 (VDW, München, Tyskland).
 - o Fase 3: Fastsættelse af rodmål (apexlokator) og verificering med røntgenbillede. Udvidelse af kanal til størrelse 20 (Glidepath). Præparation af kanal. Fx Protaper Universal S1-S2 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) eller Reciproc R25 (VDW, München, Tyskland).
 - o Fase 4: Apikal udrensning afsluttes. Fx Protaper Universal F1-F5 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) eller Reciproc R25-R50 (VDW, München, Tyskland) (størrelsen på afsluttende fil afhænger af rodmorfologi).
- Skyllevæske 0,5-2,5 % natriumhypoklorit under og efter udrensning.
- Aktiv skylning kan udføres med enten ultralyd eller pumpebevægelse med masterpoint.
- EDTA (15-17 %) ilægges ved kanalbehandling, når den mekaniske udrensning er færdig (1-2 min). Man kan samtidig evt. kontrollere masterpoint(s)-placering med røntgenbillede. EDTA skylles ud med natriumhypoklorit, og kanalerne tørlægges.
- Ved pulpektomi kan rodfyldning udføres i samme behandlingsseance (eksempler på rodfyldningskoncepter falder uden for nærværende artikel).

Faktaboks 3

Supplerende tiltag omkring den mekaniske udrensning ved kompliceret behandling (fil 15 går ikke til endeligt rodmål)

- Ved oplukningskavititet og lokalisering af kanalindgange anvendes forstørrelsesudstyr (lupbrille eller mikroskop).
- Mekanisk udrensning
 - o Fase 1 (udvidede): Oblitereret kanal (mikroskop x 1.6).
 - Forrens med stålfiler (ISO standard af diameter apikalt størrelse 06-15 (så langt man kan komme ned – måske er det nødvendigt at supplere med ultralyd).
 - Evt. roterende "pathfiles" i nikkeltitan (vinkelstykke 1:128) eller håndfiler monteret i vinkelstykke, fx M4 (SybronEndo, West Collins Orange, CA, USA).
 - Gå videre til håndfiler størrelse 10-20.
 - o Fase 2 (udvidede): ProTaper Universal (eksempel): SX -S1-S2 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz), bearbejder 1/2-2/3 af kanalen.
 - Ved den trange kanal kan det være nødvendigt at hoppe frem og tilbage mellem fase 1 og 2, således at efter fase 2 vil man ofte kunne komme længere ned med håndfilerne.
 - o Fase 3: Bestem rodmål og udrens ned til dette. Ved trange kanaler er det vigtigt, at fase 1-filerne kommer ned inden de øvrige roterende instrumenter.
 - o Fase 4: Apikal udrensning kan afsluttes i relativt små størrelser.

- Ved kanalbehandling i 2 besøg anvendes calciumhydroxid i mindst en uge.
- Afvask oplukningskavititetens væg for calciumhydroxid inden provisorisk fyldning.
- Undlad vatpeltet, da tykkelsen af den provisoriske fyldning kan blive reduceret med risiko for kontaminering.

Supplerende mulighed ved kanalbehandling:

- Ved kanalbehandling (mulig strategi ved én planlagt behandlingsseance).
 - o Jod 5 % indlægges i 15 min. Jod skylles ud med 0,5-2,5 % natriumhypoklorit (erstatte calciumhydroxidindlægget).
 - o Kanal tørlægges, og rodfyldning foretages (eksempler på rodfyldningskoncepter falder uden for nærværende artikel).

- Efter rodfyldning aftørres oplukningskaviteten i absolut alkohol og fyldes med provisorisk materiale (fx glasionomer eller IRM).
- Post-operativt røntgenbillede.
- Ved provisorisk fyldning planlægges ny tid for permanent koronal restaurering.
- Der indkaldes til kontrol af rodbehandling efter et år.

I Faktaboks 3 er anvist supplerende tiltag ved en mere kompliceret behandling i forhold til eksempelvis et oblittereret rodkanalsystem, hvor filstørrelse 15 ikke umiddelbart kommer til endeligt rodmål.

Evidensniveau omkring bokspræparation eller keglepræparation?

I Skandinavien har der længe været en opfattelse af, at apikal

bokspræparation har afgørende betydning for behandlingsprognosen. Over for denne tradition har man haft den mere kegleformede rodkanalpræparation med knap så udtalt apikal udvidelse. I et nyligt systematisk arbejde fra Sverige (39) finder man imidlertid, at der i dag ikke er tilstrækkelig evidens for at sige, at én type rodbehandlingsprotokol er bedre end andre. Tilsvarende omtales i en leder fra International Endodontic Journal det store antal af undersøgelser, der tester nye instrumenters tekniske parametre, og man efterlyser studier, der vurderer den kliniske betydning af disse parametre (40). Nærværende gennemgang af den biomekaniske udrensning læner sig op ad principperne i den Europæiske Endodontiske Guideline (41). Her antydes det også, at det sandsynligvis er effekten af den samlede endodontiske behandlingsrutine, der i sidste ende er afgørende for behandlingsprognosen, og ikke delelementer som fx type af maskinel fil.

ABSTRACT (ENGLISH)

Biomechanical instrumentation – rationale, efficiency and clinical concepts

Biomechanical instrumentation is an important part of preventing or treating apical periodontitis. It comprises the instrumentation and irrigation of the root canal. This article reviews the principles of biomechanical instrumentation. A discussion is presented of estimation of the working length and the design of root canal instruments. A proper handling of instruments is shown as necessary to prevent the breakage of instruments. Studies in the labo-

ratory reveal the new technical improvements of new root canal instruments, whereas less is known about clinical improvement in the use of these instruments. The description of four major phases of instrumentation is presented, which is unrelated to any specific make of instrument. In conclusion, it is the combined efficacy of the sub-sequences in a protocol which leads to the optimal outcome, more than the particular method of operating an instrument such as a rotating or reciprocating file.

Litteratur

1. Ørstavik D, Pitt Ford T, eds. Essential endodontology: prevention and treatment of apical periodontitis. 2nd ed. Oxford: Blackwell Munksgaard, 2008;1-9.
2. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. J Endod 2001;27:49-52.
3. Kirkevang LL, Hörsted-Bindslev P, Ørstavik D et al. A comparison of the quality of root canal treatment in two Danish subpopulations examined 1974-75 and 1997-98. Int Endod J 2001;34:607-12.
4. Bjørndal L, Reit C. The annual frequency of root fillings, tooth extractions and pulp-related procedures in Danish adults during 1977-2003. Int Endod J 2004;37:782-8.
5. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. Int Endod J 2011;44:583-609.
6. Sjögren U, Häggglund B, Sundqvist G et al. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. J Endod 1990;16:498-504.
7. Ørstavik D, Bjørndal L. Elektronisk apekslokalisering. Hvilke fordeler har elektronisk apekslokalisering, og er det bedre enn røntgen? Tandlægebladet 2004;108:1258-61.
8. Bergmans L, Lambrechts P. Root canal instrumentation. In: Bergenholtz G, Hörsted-Bindslev P, Reit C, eds. Textbook of Endodontology. 2nd ed. Oxford: Wiley-Blackwell 2010;169-92.
9. Bishop K, Dummer PM. A comparison of stainless steel Flexofiles and nickel-titanium NiTiFlex files during the shaping of simulated canals. Int Endod J 1997;30:25-34.
10. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG Jr. The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. J Endod 1985;11:203-11.
11. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. J Endod 1988;14:346-51.
12. Peters OA, Paqué F. Current developments in rotary root canal instrument technology and clinical use: a review. Quintessence Int 2010;41:479-88.
13. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. J Endod 2013;39:163-72.
14. Grande NM, Plotino G, Pecci R et al. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. Int Endod J 2006;39:755-63.
15. Serene TP, Adams JD, Saxena A. Nickel-titanium instruments: applications in endodontics. St Louis: Ishiyaku Euroamerica, 1995.
16. Pirani C, Cirulli PP, Chersoni S et al. Cyclic fatigue testing and metallographic analysis of nickel-titanium rotary instruments. J Endod 2011;37:1013-6.
17. Bürklein S, Hinschitzka K, Dammeschke T et al. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: reciproc and waveone ver-

- subtwo and protaper. *Int Endod J* 2012;45:449-61.
18. Bjørndal L, Carlsen O, Thuesen G et al. External and internal macro-morphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *Int Endod J* 1999;32:3-9.
 19. Markvart M, Bjørndal L, Darvann TA et al. Three-dimensional analysis of the pulp cavity on surface models of molar teeth, using X-ray micro-computed tomography. *Acta Odontol Scand* 2012;70:133-9.
 20. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 2001;34:221-30.
 21. Peters OA, Peters CI, Schönenberger K et al. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *J Endod* 2000;26:751-5.
 22. Card SJ, Sigurdsson A, Ørstavik D et al. The effectiveness of increased apical enlargement in reducing intracanal bacteria. *J Endod* 2002;28:779-83.
 23. Coldero LG, McHugh S, MacKenzie D et al. Reduction in intracanal bacteria during root canal preparation with and without apical enlargement. *Int Endod J* 2002;35:437-46.
 24. Markvart M, Biomechanical root canal preparation, morphological and microbiological challenges. PhD thesis 2011. Det samfundsvidenskabelige reprottryk.
 25. Markvart M, Darvann TA, Larsen P et al. Micro-CT analyses of apical enlargement and molar root canal complexity. *Int Endod J* 2012;45:273-81.
 26. Paqué F, Balmer M, Attin T et al. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *J Endod* 2010;36:703-7.
 27. Shuping GB, Ørstavik D, Sigurdsson A et al. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *J Endod* 2000;26:751-5.
 28. Card SJ, Sigurdsson A, Ørstavik D et al. The effectiveness of increased apical enlargement in reducing intracanal bacteria. *J Endod* 2002;28:779-83.
 29. Coldero LG, McHugh S, MacKenzie D et al. Reduction in intracanal bacteria during root canal preparation with and without apical enlargement. *Int Endod J* 2002;35:437-46.
 30. Aydin C, Tunca YM, Senses Z et al. Bacterial reduction by extensive versus conservative root canal instrumentation in vitro. *Acta Odontol Scand* 2007;65:167-70.
 31. Matos Neto M, Santos SS, Leão MV et al. Effectiveness of three instrumentation systems to remove *Enterococcus faecalis* from root canals. *Int Endod J* 2012;45:435-8.
 32. Markvart M, Dahlén G, Reit CE et al. The antimicrobial effect of apical box versus apical cone preparation using iodine potassium iodide as root canal dressing: a pilot study. *Acta Odontol Scand* 2013;71:786-91.
 33. De-Deus G, Arruda TE, Souza EM et al. The ability of the Reciproc R25 instrument to reach the full root canal working length without a glide path. *Int Endod J* 2013;46:993-8.
 34. Patel S, Horner K. The use of cone beam computed tomography in endodontics. *Int Endod J* 2009;42:755-6.
 35. Lucena C, López JM, Martín JA et al. Accuracy of working length measurement: electronic apex locator versus cone-beam computed tomography. *Int Endod J* 2014;47:246-56.
 36. Bergenholtz G, Lekholm U, Milthorpe R et al. Influence of apical overinstrumentation and overfilling on re-treated root canals. *J Endod* 1979;5:310-4.
 37. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J* 1998;31:394-409.
 38. Swarupa CH, Sajjan GS, Sashi Kanth Y. An in vitro stereomicroscopic comparative evaluation of a combination of apex locator and endodontic motor with an integrated endodontic motor. *J Conserv Dent* 2013;16:458-61.
 39. STATENS BEREDNING FÖR MEDICINSK UTVÄRDERING. Methods of diagnosis and treatment in endodontics – a systematic review. (Set 2014 marts). Tilgængelig fra: URL: http://www.sbu.se/upload/Publikationer/Content/1/Methods%20of%20Diagnosis%20and%20Treatment%20in%20Endodontics_full.pdf
 40. Hülsmann M. Research that matters – canal preparation, retreatment and working length studies. *Int Endod J* 2013;46:293-5.
 41. EUROPEAN SOCIETY OF ENDODONTOLOGY. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J* 2006;39:921-30.