
Elektriska mätinstrument inom endodonti

KERSTIN PETERSSON

Till skillnad från karies och parodontit kan sjukdomar i tandpulpan och vid tandens rotspets inte observeras genom direkt inspektion i munhålan, eftersom pulpan är helt omgiven av dentin och vävnaden runt rotspetsen är innesluten i käkbenet. Det gör att man vid diagnostik och behandling av dessa tillstånd endast har tillgång till indirekta tecken, exempelvis mycket djup karies som ger misstanke om pulpainflammation, eller perkussionsömhet som ett tecken på apikal parodontit. Då dessa indirekta tecken och symtom ger en starkt begränsad information om tillståndet i tandpulpan och kring rotspetsen finns det ett stort behov av diagnostiska hjälpmedel som kan avslöja mer än en direkt inspektion. Röntgenundersökning är det viktigaste av dessa hjälpmedel, främst för diagnostik av apikal parodontit. Andra hjälpmedel kan, genom att ge information om pulpans vitalitet, avslöja pulpnekros. I behandlingssituationen är det nödvändigt att kunna mäta rotkanalens längd. Röntgenundersökning är även här det dominerande hjälpmedlet, men alternativa metoder som bestämning av rotkanalens längd med elektroniska hjälpmedel har utvecklats.

Följande text beskriver och värderar de elektriska mätinstrument som är avsedda att ge information om pulpans vitalitet samt om rotkanalens längd.

Elektriska mätinstrument som kan ge information om pulpans vitalitet kan delas in i:

- Instrument där pulpans sensibilitet testas. En pulpa vars nerver reagerar med smärta på en elektrisk impuls bedöms vara vital.
- Instrument som mäter blodflödet i pulpan (Laser Doppler Flowmetri). En pulpa med fungerande blodcirkulation bedöms vara vital.
- Instrument som mäter syrgasmättnad i pulpavävnaden (Pulsoximetri). En pulpa med viss syrgasmättnad i vävnaden bedöms ha en fungerande blodcirkulation och därmed vara vital.

Det vanligaste elektriska mätinstrumentet som kan ge information om rotkanalens längd är en s.k. foramenlokalisator. Det elektriska motståndet för tandsubstans och rotkanalsinnehåll skiljer sig från omgivande parodontal vävnad, men skillnaden minskar ju närmre rotspetsen man kommer vilket gör det möjligt att lokalisera foramen apikale. En foramenlokalisator är ett sofistikerat elektroniskt instrument som kan mäta skillnader i motstånd, impedans och kapacitans via ett rotkanalsinstrument som kopplas till apparaten. Kapacitansen i rotkanalen ökar signifikant och impedanskvoten minskar snabbt när foramen apikale uppnåtts.

Elektriska test av pulpans vitalitet

Inför omfattande tandbehandling och vid uppföljning efter tandtrauma, där pulpanekros och åtföljande rotkanalsinfektion kan ge svåra komplikationer, är det viktigt att kunna bedöma om pulpan är vital eller nekrotisk. Andra tillfällen då det är viktigt att känna till pulpans status är vid differentialdiagnostik mellan periapikal bendestruktion orsakad av infekterad nekrotisk pulpa och andra tillstånd, där grav parodontit och periapikal cementdysplasi kanske är de mest frekventa. Vidare kan information om pulpans vitalitet underlätta tolkningen när de anatomiska förhållandena gör röntgenbilder svårtolkade.

Sensibilitetsundersökning

Sensibilitetsundersökning som ett test för att utvärdera pulpans vitalitet bygger på antagandet att pulpan är vital om pulpans nerv svarar på ett stimulus, som en elektrisk ström eller kyla. Elektriska pulpatest fungerar genom att en elektrisk ström leds genom tanden från en elektrod placerad mot tandytan. För att förebygga överdriven stimulering och obehag för patienten är strömmen initialt lågt pulserande för att sedan öka med en bestämd hastighet. Den leds via emaljprismor och dentinkanaler till pulpavävnaden och strömkretsen sluts via en kontaktledning från patientens läpp till testapparaten, eller genom att operatören lägger en bar (obehandskad) hand mot patientens kind. I pulpan svarar nervändar från A δ -fibrer, belägna i anslutning till odontoblaster och dentinkanaler samt djupare belägna C-fibrer på stimulus. A δ -fibrer har lägre smärtröskel och svarar tidigare än C-fibrer. Smärtröskeln nås när ett tillräckligt antal nervändar är aktiverade för en summationseffekt. Elektroden bör placeras på ett sådant ställe på tanden där det finns rikligt med nervändar i anslutning till dentinet, t.ex. i närheten av pulpahornen på premolarer och molarer och incisalt på incisiver, där emaljen dessutom är tunn.

Moderna apparater för elektrisk pulpatestning är lätta att använda. De finns huvudsakligen i två utföranden, båda batteridrivna. I det ena fallet är apparaten en stav eller en penna att hålla i handen, med sonden (elektroden) som en förlängning av apparaten, där strömkretsen sluts genom att operatören lägger en obehandskad hand mot patienten. I det andra fallet är apparaten en låda att ställa i närheten med elektroderna i sladdar: en sond som placeras mot tanden och en hake som hängs i patientens läpp och sluter strömkretsen. Med denna typ av apparat kan operatören bära handskar. En svag, pulserande ström ökar med en på förhand vald hastighet. Patienten känner signalen innan smärtröskeln är nådd och upplevelsen blir inte så obehaglig för patienten.

Tolkning av testresultaten

Olika förhållanden i tanden kan påverka el-testets förmåga att framkalla ett tillförlitligt svar och ge upphov till falskt positiva eller negativa resultat. En delvis nekrotisk pulpa kan ge sken av att vara sensibel vid el-test om strömmen leds genom vätskan i nekrotiska partier och stimulerar nerver i de delar av pulpan som är vitala. Det är ett falskt vitalitetstecken och motsvarar inte en vital pulpa. Andra anledningar till falska, sensibla svar kan vara att omfattande restaureringar eller guldkronor leder strömmen till omgivande vävnader och granntänder som svarar sensibelt. Det kan också vara så att en tand inte svarar sensibelt på el-testet trots att den har en vital pulpa. Så är fallet med rotöppna tänder där nervfibrerna i pulpan inte är fullt utvecklade förrän flera år efter tandframbrottet. Tänder som skadats vid trauma och tänder under ortodontisk behandling ger också svagt eller inget svar på el-test. Sådana falska diagnostiska tecken påverkar testets tillförlitlighet.

Tillförlitligheten av diagnostiska test utvärderas enligt en särskild modell där man beräknar testets sensitivitet, specificitet och prediktiva värden. Sensitiviteten står för hur stor andel av en grupp sjuka testet förmår identifiera som sjuka, specificiteten står för hur stor andel av en grupp friska som testet identifierar som friska. I den kliniska situationen däremot måste vi tolka ett svar utan att veta om pulpan är vital eller nekrotisk. Vi vill veta hur stor sannolikhet det är att ett sensibelt svar motsvarar en vital pulpa, respektive att ett icke-sensibelt svar motsvarar en nekrotisk pulpa. Den sannolikheten benämns prediktiva värden och beräknas på ett annat sätt där också sjukdomsförekomsten (prevalensen) räknas in. Generellt sett räknas tecken på sjukdom som ett positivt svar vid diagnostiska test (sjukdomspositivt). Eftersom det har utvecklats en tradition vid pulpatest att benämna ett sensibelt svar som positivt fast det egentligen är ett friskhetstecken (sjukdomsnegativt) så kan det orsaka förvirring vid beräkning av den diagnostiska tillförlitligheten. I denna text används därför begreppen sensibelt svar respektive icke-sensibelt svar i stället för positivt och negativt svar.

Vid sensibilitetsundersökning innebär testets sensitivitet den andel av en grupp tänder med nekrotisk pulpa som inte svarar sensibelt vid test. Testets specificitet innebär den andel av en grupp tänder med vital pulpa som svarar sensibelt vid test. Det positiva prediktiva värdet beskriver sannolikheten för att ett icke-sensibelt svar skall motsvara en nekrotisk pulpa och det negativa prediktiva värdet sannolikheten för att ett sensibelt svar skall motsvara en vital pulpa. Det finns endast ett fåtal studier där elektriskt pulpatest har utvärderats på detta sätt (1, 2). Resultaten från dessa studier är mycket lika varandra. Sensitiviteten var 0,72 respektive 0,71, dvs. andelen tänder med nekrotisk pulpa som inte gav sensibelt svar vid el-test, var 72 respektive 71 procent. Specificiteten, dvs. andelen tänder med vital pulpa som svarade sensibelt vid el-test anges till 0,93 respektive 0,92. De positiva prediktiva värdena låg också nära varandra: 0,88 respektive 0,91. Tillsammans ger det ca 90 procents sannolikhet att ett icke-sensibelt svar motsvarar en nekrotisk pulpa. De negativa prediktiva värdena skilde sig dock något åt 0,84 respektive 0,74 dvs 84 respektive 74 procents sannolikhet att ett sensibelt svar motsvarar en vital pulpa. Baserat på dessa studier kan man säga att ett icke-sensibelt svar vid el-test med stor sannolikhet motsvarar en nekrotisk pulpa medan det är något mindre sannolikt att ett sensibelt svar vid el-test motsvarar en vital pulpa. För att öka tillförlitligheten vid sensibilitetsundersökning av pulpan rekommenderar man att kombinera el-test och köld-test eftersom köld-testet har ett högre negativt prediktivt värde än el-test dvs. hög sannolikhet att ett sensibelt svar motsvarar en vital pulpa (1, 2).

Laser Doppler Flowmetri

Laser Doppler Flowmetri är en elektro-optisk teknik som mäter mikrocirkulationen i en vävnad med hjälp av laserljus. Fungerande blodförsörjning är en förutsättning för pulpans vitalitet varför ett mått på cirkulationen är ett säkrare tecken på pulpans vitalitet än en smärtreaktion. Laser Doppler Flowmetri har därför anpas-

sats att kunna användas på tänder för att mäta pulpans blodcirkulation. En laserstråle riktas mot pulpan genom att en fiberoptisk sond placeras mot tandytan. Det monokromatiska ljuset från apparaten transmitteras genom emalj och dentin in till pulpan där det interagerar med blodkroppar i rörelse. Det ljus som reflekteras av cirkulerande röda blodkroppar är Doppler-skiftat och spektralt breddat. Det fångas upp av sonden och omsätts i apparaten till en elektrisk signal som blir proportionell mot blodflödet.

Inom tandvården har Laser Doppler Flowmetri främst använts på tänder som skadats i samband med trauma. Studier har visat att tänder som utsatts för trauma samt mycket unga, rotöppna tänder ofta inte svarar på sensibilitetsundersökning trots att pulpan är vital. Eftersom pulpanekros med åtföljande rotkanalsinfektion snabbt kan förvärra eventuella rotresorptioner är det mycket angeläget med tidig diagnostik av pulpanekros vid luxationsskador. Samtidigt vill man absolut undvika att felaktigt diagnostisera och behandla en tand med vital pulpa eftersom rotbehandling är invasiv och för alltid förändrar tandens status. Ett instrument som kan mäta blodcirkulationen i pulpa och därmed pulpans vitalitet är i dessa fall till stor hjälp.

När tillförlitligheten mellan olika metoder för pulpadiagnostik har jämförts har Evans m.fl. (3) visat att både sensitiviteten och specificiteten är bättre för Laser Doppler Flowmetri än för el-test och köld-test. Andra forskare har visat att laserljuset reflekteras tillbaka från parodontal vävnad på ett sätt som bedöms som omöjligt att helt eliminera. Det är därför mycket viktigt att den undersökta tanden isoleras från omgivande tänder, annars kan så mycket som 80 procent av signalen vara av icke-pulpalt ursprung. Vidare måste sonden och tanden vara mycket stabilt fixerade vid provtagningen för att inte testresultatet skall påverkas av rörelse. Apparaten är dyr och relativt utrymmeskrävande vilket bidragit till att metoden inte har kommit i rutinmässigt bruk, trots möjligheten att faktiskt påvisa blodcirkulationen och därmed diagnostisera pulpanekros i ett tidigt stadium efter traumat.

Pulsoximetri

En annan metod att mäta blodcirkulationen i pulpan är pulsoximetri. Det är en non-invasiv metod som mäter blodets syresättning och bestäms med hjälp av två våglängder av ljus, rött och infrarött, som passerar genom kroppsvävnaden till en fotodetektor. Syrgasmättnaden och pulsen fastställs genom att syresatt blod absorberar mindre mängd rött ljus än syrefattigt. Metoden är enkel och billig och har en omfattande användning inom sjukvården. Detektorn fästs på ett finger eller en örsnibb som ljuset kan passera genom. Försök har gjorts att anpassa detektorn så att den kan fästas på en tand för att få information om puls och syresättning och därmed blodcirkulationen i tanden. En första modell utvärderades av Kahan m. fl. 1996 (4) där endast 30 procent av friska överkäksincisiver och 50 procent av friska underkäksincisiver visade samma pulsfrekvens som fingret, vilket bedömdes som otillförlitligt. Gopikrishna m. fl. (2) undersökte 2007 en modell för mätning på tänder vilken uppvisade 100 procents sannolikhet att ett uteblivet svar skulle motsvara en nekrotisk pulpa och 95 procents sannolikhet att påvisad puls och syresättning skulle motsvara en vital pulpa. Metoden förutsätter att ljusstrålarna passerar genom den undersökta tanden och restaureringar är i det sammanhanget ett problem. Vid trauma mot unga tänder där sensibilitetsundersökning är osäker och behovet av att mäta pulpans blodcirkulation därför stort, är en stor del av de drabbade tänderna intakta varför det är möjligt att man kommer att dra nytta av och ytterligare utveckla pulsoximetri för just det användningsområdet.

Slutsats kring elektriska test av pulpans vitalitet

Elektriska test av pulpans vitalitet har relativt hög tillförlitlighet. Sensibilitetsundersökning med el är säkrare vid diagnostik av pulpanekros än vid diagnostik av vital pulpa. Om en tand inte ger något sensibelt svar vid el-test är det mycket sannolikt att pulpan är

nekrotisk, men det är inte lika säkert att ett sensibelt svar betyder vital pulpa. Man bör därför kombinera el-testet med köldtest för att få maximal information om pulpans tillstånd. De test som mäter pulpans blodcirkulation är fortfarande under utveckling och av dem är kanske pulsoximetri ett test som kan utvecklas att mäta blodcirkulationen och därmed pulpans vitalitet i unga tänder som drabbats av trauma.

Elektronisk bestämning av rotkanalslängd

Rotbehandling går ut på att man avlägsnar vävnadsrester och mikroorganismer ur rotkanalen och utformar kanalen på ett sådant sätt att den går att fylla igen tätt, utan spalter och defekter. Det är i det sammanhanget viktigt att kunna bedöma var rotkanalen slutar dvs. var foramen apikale är beläget. I de fall rotkanalen är infekterad är prognosen beroende av att man kan instrumentera rotkanalen i hela dess omfattning för att kunna avlägsna mikroorganismer maximalt. Att rensa genom foramen apikale ut i parodontal vävnad kan medföra prognosförsämring därför att man för ut mikroorganismer och dentinspån i omgivande vävnad som då läker sämre. Det är alltså angeläget att veta var foramen apikale är beläget och hur lång rotkanalen är för att kunna utföra en optimal rotkanalsbehandling. Röntgenundersökning med ett rotkanalsinstrument på plats är det traditionella sättet att bestämma foramen apikales läge och därmed rotkanalens längd som brukar bestämmas till 1 mm från röntgenapex. Eftersom foramen apikale är beläget inom 1 mm, ibland upp till 2 mm från tandens rotspets medför denna rutin en viss osäkerhet. Grundtanken med den elektroniska foramenlokalisatorn är att den kan registrera den apikala konstriktionen som är den pulpanära delen av foramen apikale, dvs. gränsen mellan pulpavävnad och parodontal vävnad, och därmed skapa förutsättning för en säkrare bestämning av rotkanalslängden vid rotbehandling. Apparaten baseras på

att tandsubstans tillsammans med innehållet i rotkanalen utgör ett elektriskt motstånd i förhållande till den omgivande parodontala vävnaden som har en större elektrisk ledningsförmåga. När ett rotkanalsinstrument närmar sig foramen apikale minskar det elektriska motståndet, eftersom den effektiva mängden av material (dentin, cement, rotkanalsinnehåll) minskar, för att till sist nå ett konstant värde när instrumentet nått den apikala konstriktionen (5). Moderna apparater baseras på växelström med två frekvenser som strömkälla och mätningarna bygger på beräkning av kvoten mellan två impedanser vilken närmar sig 1 vid foramen apikale. En ytterligare utveckling finns nu med flera olika frekvenser av växelström där apparaterna mäter både fas och amplitud av impedansen vid varje frekvens och jämför värdena med en databas för att bestämma foramens läge. Dessa mer komplicerade elektroniska system benämns ofta tredje och fjärde generationens foramenlokalisatorer och har utvecklats för att öka precisionen i mätningarna och så långt som möjligt minska deras känslighet för rotkanalsinnehåll som blod, vävnadsrester eller antiseptika (5).

Tillförlitligheten av elektroniska foramenlokalisatorer har studerats på olika sätt. Större delen av dessa studier är gjorda på extraherade tänder *in vitro* och resultaten av dessa kan inte direkt överföras till klinisk praxis. Man har också studerat mätningarnas tillförlitlighet i den kliniska situationen på olika sätt, dels i studier där röntgenundersökning utgjort facit, dels i studier där man inspekterat filspetsen direkt. I dessa studier har man fixerat filen efter elektronisk mätning på patient, extraherat tanden och sedan inspekterat var filspetsen var belägen i förhållande till foramen apikale. Det finns ett fåtal studier där man observerat den slutliga rotfyllningens apexavstånd efter det att man bestämt kanallängden elektroniskt.

Studier där röntgenundersökning har varit facit

Tre studier har publicerats där man dokumenterat elektroniska mätningar med hjälp av röntgen och därefter bedömt hur stor an-

del av mätningarna som var för korta, acceptabla eller för långa i förhållande till röntgenapex (> 2 mm från röntgenapex, 0-2 mm från röntgenapex, utanför röntgenapex). Dessa studier var stora och omfattade många hundra rotkanaler. Man kom fram till att 74–97 procent av de elektroniska mätningarna var acceptabla och att andelen för långa mätningar dominerade bland de oacceptabla. Man kunde inte observera någon skillnad i tillförlitlighet mellan de olika undersökta apparaterna i någon av studierna.

Studier där mätning på extraherad tand har varit facit

I några studier har man mätt foramen apikales läge på patient, cementerat rotkanalsinstrumentet på det uppmätta djupet, extraherat tanden och därefter mätt med vilken precision den elektroniska mätningen (filspetsen) visat på foramen apikale. I dessa studier har man jämfört olika apparater med varandra. Man har med något undantag kommit fram till att 67–98 procent av mätningarna låg inom $\pm 0,5$ mm från foramen apikale. Några studier visade signifikanta skillnader mellan apparaterna men resultaten var inte entydiga.

En författare, Vieyra, har i två studier med den ovan beskrivna metoden jämfört precisionen i den elektroniska bestämningen av foramen apikales läge med precisionen i röntgenologiska bestämningar (6, 7). De elektroniska bestämningarna visade i första studien exakt på foramen i 70 procent av fallen och den röntgenologiska i 22 procent av fallen. Övriga mått var för långa, särskilt vid röntgenmätningarna som kunde ge upp till 1 mm för långa mått. I den andra studien där fyra olika apparater för elektronisk bestämning av rotkanalslängden jämfördes visade de sammanlagda mätningarna exakt på foramen apikale i 65 procent av fallen jämfört med 32 procent när röntgen använts. Övriga mått var för långa enligt samma mönster som i den första studien.

Studier där rotfyllningskvaliteten har bedömts

Det riktigt intressanta måttet på tillförlitligheten hos elektroniska foramenlokalisatorer är kvaliteten på den färdiga rotfyllningen. Bli den lika bra eller till och med bättre om rotkanalslängden bestäms med elektronisk foramenlokalisator? Tre sådana studier har publicerats och i två av studierna (8, 9) var det ingen signifikant skillnad i rotfyllningarnas apexavstånd när man jämförde de grupper som enbart använt röntgen vid mätning av rotkanalslängden med de grupper som använt foramenlokalisatorer, men i foramenlokalisatorgruppen hade man tagit röntgen med centralpointet på plats innan rotfyllningen och justerat pointet om apexavståndet var mycket avvikande. I en studie där man jämfört enbart röntgen med enbart elektronisk mätning fann man en signifikant skillnad i rotfyllningarnas apexavstånd. I de fall man använt elektronisk mätning slutade rotfyllningarna i medeltal 1,25 mm innan för röntgenapex jämfört med 1,64 mm när röntgen används för att bestämma rensdjup (10). I studierna konkluderades att signifikant färre röntgenbilder exponerats under hela den endodontiska behandlingen i de grupper där elektronisk bestämning av rotkanalslängden använts jämfört med i de grupper där man använt röntgen.

Studier där frekvensen av osäkra mätningar har undersökts

En annan fråga som studerats är hur ofta den elektroniska bestämningen av rotkanalslängden ger osäkra värden, t.ex. olika värden vid upprepade mätningar av samma rotkanal, mycket tidiga signaler eller andra svårbedömda värden. I flera olika studier har man bedömt att detta sker i ca 15 procent av mätningarna. De osäkra mätresultaten kopplas främst till oblittererade rotkanaler eller revisionsbehandling.

Slutsats kring rotkanalsmätningar

Mot bakgrund av ovan rapporterade studier utförda i den kliniska situationen är elektronisk bedömning av foramen apikales läge och därmed rotkanalens längd tillförlitlig när de nyare apparaterna använts och ett par studier har visat en högre tillförlitlighet än vid röntgenmätning av rotkanalens längd. Det finns inga tecken på att rotfyllningskvaliteten skulle påverkas negativt vid enbart elektronisk mätning och antalet röntgenexponeringar, räknat under hela den endodontiska behandlingen, är mindre. Man måste dock räkna med att det i ca 15 procent av fallen uppstår osäkerhet vid mätningarna. På grund av denna osäkerhet och på grund av att en röntgenbild med ett rotkanalsinstrument på plats ger mer information än enbart ett mått på rotkanalens längd är det lämpligt att komplettera den elektroniska mätningen med en röntgenundersökning. De apparater för elektronisk bestämning av foramen apikale som utvecklats under senare år utgör dock ett viktigt hjälpmedel vid endodontisk behandling och kan minska stråldosen samtidigt som de bidrar till en hög rotfyllningskvalitet.

LITTERATUR

1. Petersson K, Söderström C, Kiani-Anaraki M, Lévy G. Evaluation of the ability of thermal and electrical tests to register pulp vitality. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15(3):127-31.
2. Gopikrishna V, Tinagupta K, Kandaswamy D. Evaluation of efficacy of a new custom-made pulse oximeter dental probe in comparison with the electrical and thermal tests for assessing pulp vitality. *J Endod.* 2007;33(4):411-4.
3. Evans D, Reid J, Strang R, Stirrups D. A comparison of laser Doppler flowmetry with other methods of assessing the vitality of traumatised anterior teeth. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15(6):284-90.
4. Kahan RS, Gulabivala K, Snook M, Setchell DJ. Evaluation of a pulse oximeter and customized probe for pulp vitality testing. *J Endod.* 1996;22(3):105-9.

5. Nekoofar MH, Ghandi MM, Hayes SJ, Dummer PM. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J.* 2006;39(8):595-609.
6. Vieyra JP, Acosta J, Mondaca JM. Comparison of working length determination with radiographs and two electronic apex locators. *Int Endod J.* 2010;43(1):16-20.
7. Vieyra JP, Acosta J. Comparison of working length determination with radiographs and four electronic apex locators. *Int Endod J.* 2011;44(6):510-8.
8. Smadi L. Comparison between two methods of working length determination and its effect on radiographic extent of root canal filling: a clinical study [ISRCTN71486641]. *BMC Oral Health.* 2006;11;6:4.
9. Ravanshad S, Adl A, Anvar J. Effect of working length measurement by electronic apex locator or radiography on the adequacy of final working length: a randomized clinical trial. *J Endod.* 2010;36(11):1753-6.
10. Fouad AF, Reid LC. Effect of using electronic apex locators on selected endodontic treatment parameters. *J Endod.* 2000;26(6):364-7.

