

Mineral Trioxid Aggregat

- sammensætning, egenskaber og håndtering

Henrik Løvschall, René Christiansen og Preben Hørsted Bindslev

Mineral Trioxid Aggregat (MTA) er et nyt cementmateriale med flere endodontiske anvendelsesmuligheder. Efter udrøring af pulver med sterilt vand får man en cement med høj pH-værdi, der afbinder bedst i fugtigt miljø. Størstedelen af cementen er calciumoxid, der over tid bliver omdannet til calciumhydroxid. En række studier tyder på at MTA, i lighed med calciumhydroxid, er meget biokompatibelt. Studier har vist, at MTA har en antibakteriel virkning og stimulerer regeneration af hårdtvæv. Kliniske studier finder samstemmende, at MTA er velegnet til bl.a. pulpotomi, apikal forsegling af rodkanaler efter rodsidsresektion og overkapning. Ulemper er, at afbindingen tager op til flere timer, og at materialet stadig er relativt dyrt. Længerevarende undersøgelser må afventes. Materialet bliver tilsyneladende anvendt af endodontister verden over og i stigende grad i almindelig praksis. Denne artikel har fokus på MTA's sammensætning og fysiske egenskaber, som har betydning for en optimal brug og håndtering af materialet.

Mineral Trioxid Aggregat (MTA) er et materiale, der har både en god biokompatibilitet og forseglingssevne. Det blev introduceret i 1993, primært til apikal forsegling af rodkanaler og sårbehandling af skader i pulpa-dentin-organet (1). Produktet blev godkendt af U.S. Food and Drug Administration (FDA) i 1998 (2) og er i dag markedsført bl.a. som ProRoot MTA (Tulsa Dental Products, Tulsa, OK, USA). MTA er undersøgt i en række studier, herunder laboratorietest, dyreforsøg, kliniske afprøvninger, cases mv. Der er publiceret op mod 300 artikler og heriblandt enkelte reviews (PubMed); længerevarende kliniske undersøgelser foreligger dog ikke.

De centrale fordele ved MTA er: (a) at det har et højt pH, både under og lige efter afbinding, (b) at det kan afbinde og blive hårdt i fugtigt miljø, (c) at det hæmmer bakterievækst, og (d) at det over tid er meget vævsvenligt, når det høje pH klinger af. Denne artikel vil især fokusere på MTA's sammensætning, dets fysiske og kemiske egenskaber, og på baggrund heraf belyse den kliniske håndtering af materialet.

MTA hvad er det?

MTA består af Portland Cement (Fig. 1), røntgenkontraststof og vand. Materialet har på denne baggrund fysiske og kemiske egenskaber, der har lighed med byggecement og herunder især Portland Cement (1) (Fig. 6). MTA-pulver skal ifølge producentens anvisninger udrøres med destilleret vand i blandingsforholdet 3:1 (1 g MTA til 1/3 ml H₂O). MTA-pulver er tilsat ca. 20 % (vægt) af et røntgenkontraststof (3). Efter udrøringen med vand reagerer MTA-pulveret kemisk med vand (hydratisering), og der dannes en stenhård masse. Ved fremstilling af Portland Cement benytter man normalt tre forhåndenværende hovedkomponenter. Det er *kalk*, *silikat* og *aluminat*, der i rette forhold og forarbejdning til pulver kan afbinde ved sammenblanding med vand. Cementpulveret består primært af faserne tricalcium•silikat (3CaO•SiO₂), dicalcium•silikat (2CaO•SiO₂), tricalcium•aluminat (3CaO•Al₂O₃) og tetracalcium•aluminoferrit (4CaO•Al₂O₃•Fe₂O₃) (4). Ved tilsætning af *sulfater*, her i landet ofte i form af gips, til Portland cementer justerer man cementens mekaniske egenskaber og forlænger samtidig arbejds- og afbindingstiden. Cementpulver indeholder flere grundstoffer, der påvirker farven: Fe, Co, Ni, Cr, Ti og Cu. Sådanne atomer forekommer i relativt større mængder i grå MTA.

MTA grå og hvid

ProRoot-producenten (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Switzerland) leverer i dag MTA i en grå version med en almindelig Portland Cement og i en hvid, der indeholder Aalborg

White Portland Cement (Fig. 2) (5). MTA-pulveret bliver leveret i aflukkede foliposer med vandampuller. Efter sammenrøring af afvejede cementpulver og afmålt sterilt vand i engangsampuller optager cementpulveret vand og danner en kolloidlignende gel (en silikat-hydratgel), der afbinder og solidificerer. Arbejdstiden er begrænset (minutter) pga. hurtig vandfordampning, men den kan blive forlænget ved tilsætning af sterile vanddråber. ProRoot MTA er normalt afbundet efter 2½-5 timer afhængigt af fugtigheden i omgivelserne og omstændighederne (6,7).

Den hvide ProRoot® MTA indeholder kun ubetydelige mængder af jern (8,9).

En brasiliansk MTA-version (MTA-Angelus®, Angelus Dental Solutions, Londrina, Parana, Brazil) har et mindre sulfatindhold, hurtigere afbinding (10,11) og væsentligt større partikler (12). Foreløbige studier indikerer, at materialet potentielt kan matche ProRoot MTA med hensyn til pH (13,14) og apikal forsegling in vitro (15), men denne sydamerikanske MTA har kun været undersøgt i begrænset omfang. Flere studier af biokompatibilitet er nødvendige og må afventes.

Biokompatibilitet og indikationer

En del undersøgelser har fundet, at ProRoot MTA-materialet er celle- og vævsvenligt. Studier i cellekulturer og studier, hvor materialet er implanteret subkutant, i knogle eller i kontakt med pulpa-tandvæv in vivo (16-20) samt reviews (21,22), finder samstemmende, at materialet har en høj grad af biokompatibilitet. Dertil kommer, at materialet især initialt har en bakteriehæmmende virkning (23-25). Oversigter vedrørende kliniske studier beskriver generelt, at MTA har tilsvarende eller bedre egenskaber end calciumhydroxid (2,26,27). Det gælder brug af MTA til retrograd fyldning af rodspidser (28-31), til ortograd rodfyldning i rodåbne tænder (32-34) og til pulpaoverkapning (35-39) samt til pulpa-periodontale perforationer (40-43) og resorptioner (invasive/interne/kaviterede) (44,45). En oversigt over forskellige forslag til steder, hvor MTA kan anvendes, er skitseret i Fig. 3.

MTA er bedre end formolcresol

Endvidere bør det bemærkes, at en række pulpotomistudier i primære molarer har sammenlignet MTA og formol-

Tabel 1. Komponenter i White ProRoot® MTA analyseret vha. flere metoder (4).

Grundstof	Hovedkomponenter						Sporstoffer			
	EDX		XPS		Patent		ICP-OES		Grundstof	vægt mg/g
Atom%	Vægt%	Atom%	Vægt%	Atom%	Vægt%	Grundstof	vægt mg/g	Grundstof		
O	64,8	38,0	60,7	36,6	56,3	30,5	Al	6,585	Li	0,042
Ca	25,3	37,1	22,1	33,3	27,4	37,2	B	0,000	Mg	2,194
Si	6,3	6,5	6,4	6,8	8,3	7,9	B	0,012	Mn	0,000
S	8,8	0,9	0,6	0,8	0,7	0,8	Ba	136,452	Ni	0,017
Mg	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,0	Cl	0,494	S	19,875
Al	0,6	0,6	1,1	1,1	1,9	1,7	Cu	0,043	Sr	0,703
K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	Fe	1,489	Tl	0,019
Fe	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	2,8	Ga	0,181	Zn	0,000
Bi	2,2	16,9	1,9	14,9	2,5	17,9	In	0,116	Ag,Cd,Co,Cr,Pb	0,000
							K	0,685		

Tabellen sammenligner atomsammensætningen i hvid MTA som datasæt fra brug af forskellige metoder. Indholdet af O og Ca er størst. MTA (med Portland Cement) har et højt indhold af CaO, i størrelsesordenen 50-60 %, som reagerer med vand og danner calciumhydroxid (højt pH). X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), energy-dispersive X-ray analysis (EDX), inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES).



Fig. 1. Hvid Aalborg Portland Cement bliver her i landet fremstillet ud fra hvidt flyvesand fra Råbjerg Mile-egnen. Endvidere indgår kridt, som er dannet bl.a. ved sedimentering af mindre organismers cytoskelet. Sand og kridt bliver formalet til slam i råmøller, og blandingen bliver herefter brændt ved 1.400-1.500 °C. Efter sammenbrænding og sintning bliver der dannet små cementklinker, der sammen med aluminatilsætninger mv. bliver findelt til cementpulver i kuglemøller.

Fig. 1. White Aalborg Portland Cement contains white sand from the countryside of Råbjerg Mile. In addition, the cement contains white chalk which includes sedimented cytoskeletons from small sea organisms. Sand and chalk are grinded into a sludge in raw mills, and the mixture is thereafter burned at 1400-1500 °C. After melting and sintering small clincers are formed and aluminates are added and the materials are particulated into fine cement powder by ball milling.

cresol. Disse studier finder, at MTA er overlegent i forhold til det cytotoxiske og kræft- og allergirisikable formolcresol (46), både når det gælder dyreesperimentelle studier (47), humane histologiske (48) og humane kliniske undersøgelser (49-53). Evidens taler således for, at vi bør vælge MTA, der er overlegent både ud fra kliniske og bivirkningsmæssige erfaringer (46,54). Jævnfør lovgivning bør det også nævnes, at vi har pligt til substitution af kræftrisiko-stoffer, hvor det er muligt.

MTA-stimulering af hårdtvæv er det muligt?

Visse kliniske studier foreslår, at MTA og $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ud over at hæmme bakterievækst også kan fremme regeneration af hårdtvæv. I overensstemmelse hermed har studier in vitro fundet, at deponering af MTA (55) eller $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (56) på

dentinmatrix kan frigive biomolekyler, der kan stimulere reparation og regeneration af vævsskader (55,56). Både knogle-, rodcement-, og dentinmatrix indeholder vækst- og differentieringsfaktorer (57,58). Disse signalmolekyler er centrale for stamceller og progenitorcellers reparative celle-vækst og for stamcellernes differentiering til den hårdtvævstype, som de er programmerede til at danne (59). En forklaring på, at det høje pH omkring MTA kan fremme sårheling, er tilsyneladende ikke kun, at materialet hæmmer bakterievækst. MTA kan potentielt også opløse hårdtvævsmatrix (ved alkalisk hydrolyse), hvorved signalmolekyler bliver frigjort og derved bidrager til vævsregeneration, dog må videre studier afventes.

Klinisk håndtering af MTA

Applicering af MTA bør, i lighed med brugen af calciumhydroxid i opslæmning, foregå med opmærksomhed på, at MTA-materialet er vandigt og ikke afbinder umiddelbart.

Cementpulveret indeholder tunge kontrastpartikler, der kan synke til bunds. Ryst derfor pulveret umiddelbart før brug. En passende mængde pulver dispenseres på en steril plade og udrøres omhyggeligt i 30 sekunder med 1/3 sterilt vand til en passende leragtig konsistens, som kan blive deponeret og i en vis grad kondenseret. Hvis mikset er for tørt, tilsæt blot et par dråber sterilt vand. Hvis det er for vådt, fjern vandoverskud med steril gazetampon, dog pas på at gaze fibre ikke bliver inkorporeret. Da vand hurtigt fordamper fra plader og pulvere, som har en stor overflade, kan der opstå behov for at finjustere MTA-miksets vandpulver-forhold. Det er en god idé at dække nyudrørt cement med fugtet/våd gaze, specielt i tørre omgivelser.

Der er udviklet forskellige instrumenter og pistoler til applicering af MTA. Pistoler, som til amalgam, er i mindre størrelser anvendelige i princippet, men i praksis er de svære at anvende, da de ikke er fleksible (Fig. 4). Nyere og mindre specialstoppere kan gøre appliceringen nemmere (Fig. 5). Det er anbefalet, at man i sin præparation udvider kanalen tilstrækkeligt for at fjerne bakterier i den perifere del af kanallumen, og fordi det kan være vanskeligt at anbringe MTA i meget tynde kanaler.

Fugt med måde

På den ene side er det vigtigt med tørlægning af området, da MTA, inden afbindingen har fundet sted, kan opslæmme og flyde væk. På den anden side bør materialet på sigt ikke udtørre for at opnå en vandig sammenhæng og afbinding i materialet. Ved retrograd rod fyldning bliver MTA efterladt i et naturligt fugtigt miljø. Ved anbringelse af MTA i rodåbne tænder via en tilgængelig rod kanal kan

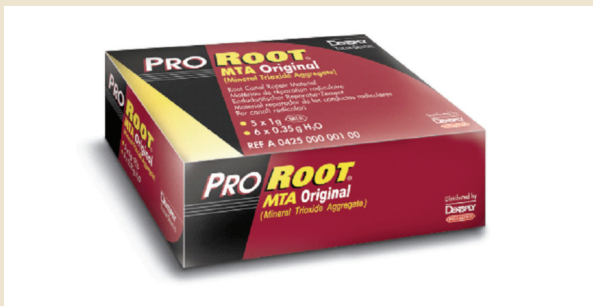


Fig. 2. Den første kommercielle MTA-version på markedet (1998) var den grå ProRoot® MTA Original (til venstre), som stadig bliver forhandlet. Denne MTA er baseret på grå Portland Cement, et produkt der er lavet ud fra gråt havsand. Brugen af MTA med grå farve viste sig at kunne være æstetisk uheldig i tandkroner i fronten. For at omgå de æstetiske problemer med den grå farve blev hvid ProRoot® MTA udviklet (til højre), som er baseret på »Aalborg White« (Portland Cement).

Fig. 2. The first commercial MTA on the market (1998) was the grey ProRoot® MTA Original (left), which still is an available product. This MTA is based on grey Portland Cement, a product which contained grey sea sand components. The clinical use of grey MTA in the crowns of incisors may esthetically be a disadvantage. In order to avoid the esthetical problems by using a grey cement-color in the crowns a white ProRoot® MTA (right) was produced, which is based on »Aalborg White« (Portland Cement).

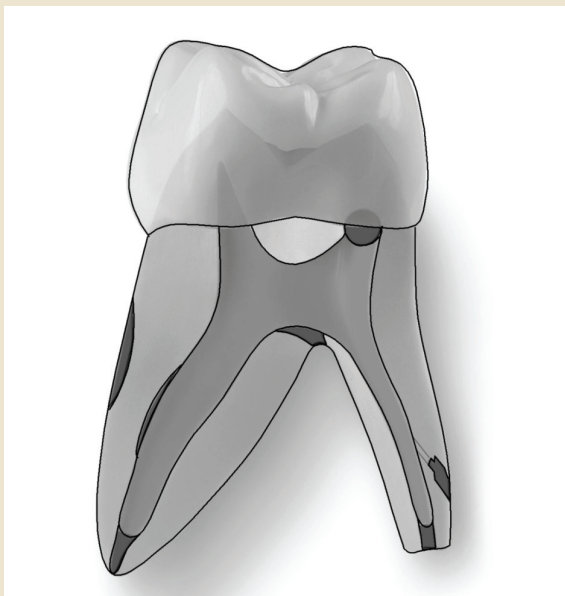


Fig. 3. Skitsen viser et overblik over steder, hvor det er foreslået, at MTA er velegnet til sårbehandling af tandvæv. Studier af MTA-anvendelse til apikal forsegling, pulpaperforationer eller resorptioner synes at støtte disse forslag.

Fig. 3. The sketch gives an overview of locations, where MTA treatments are suggested to be appropriate for wound treatments in dental tissues. Studies on the use of MTA for apical sealing, pulp perforation, or resorptions, seem to support these suggestions.

man kondensere med en tilpasset guttaperkapoint. MTA-pulver har kornstørrelser, der i diameter overstiger bredden i meget tynde rodkanaler. Da MTA tillige er vanskeligt at fjerne efter afbinding, synes det ikke velegnet som forsegl eller alternativ til konventionel rodfyldning med guttaperka (60).

Opbevaring

Ifølge brugsanvisninger fra producenten (Tulsa Dental, USA) er poser med 1 gram, som ProRoot® MTA-pulver bliver leveret i, beregnet til engangsbrug. Materialet er imidlertid relativt dyrt i indkøb. Hvis en seance kræver en lille mængde MTA, kan man overveje at opbevare ubrugt materiale i steriliserede filmrullebeholdere eller fx Ependorf-rør med lufttæt låg for at forhindre hydratisering og kontaminering af pulveret (2). Det er vigtigt at opretholde produktets tørhed og sterilitet. Luftfugtighed i kontakt med MTA-pulver gør, at det hydratiserer og derved får dårligere afbindingsevne. Opvarmning og udtørring af MTA-pulver fx i tørsterilisator eller i mikrobølgeovn (fx i glas/plast) vil i et vist omfang kunne forlænge cementpulverets levetid.

Afbinding

Både den initiale og den endelige afbinding af gråt MTA er rapporteret at være lidt langsommere end afbindingen af hvidt MTA. MTA-materialet har en lav ekspansion; for gråt MTA er ekspansionen på 0,28 % og for hvidt MTA på 0,30



Fig. 4. Dovgan MTA carrier (Quality Aspirators, USA) er en pistol, som er meget brugt, men den har den ulempe, at røret, som materialet skubbes igennem, ikke er bøjeligt. Derfor kan den i nogle situationer, som ved retrograd rod-fyldning, være vanskelig at anvende til applicering af MTA direkte i den præparerede kanal.

Fig. 4. The Dovgan MTA carrier (Quality Aspirators, USA) is a pistol, which is quite used, however, it has the disadvantage that the pipe in which the material is pushed through is not bendable. Therefore, in certain situations, as during retrograde root-end filling, it can be complicated to use it for application of MTA directly into the prepared canal.

% (61). Afbindingstiden for gråt MTA er i et studie opgivet til to timer og 45 minutter i gennemsnit (7). Den meget lange afbindingstid for MTA er en ulempe, bl.a. fordi MTA-depotet risikerer at blive udvasket, hvorved det kan irritere det omkringliggende væv (62). Initialt er materialet meget basisk. Det er vigtigt at være opmærksom på, at MTA er længe om at afbinde og derfor let kan blive diskaliseret. Standsning af blødning og skylninger skal principielt foregå, før materialet bliver deponeret (2).

Afbindingsstudier

Ved scanningselektronmikroskopi (SEM) har man undersøgt overfladen af normalt afbundet MTA og Portland Cement. Ved store forstørrelser er det muligt at se områder med tegn på henholdsvis god og mangelfuld afbinding. Der er beskrevet vandporer i cementen og overfladeområder dels med solidificerede korallignende strukturer, dels med isolerede krystaller (62).

Ved at undlade gipstilsætning under fremstillingen af Portland Cement er det muligt at fremme cementens afbin-

ding (63). Data fra egne Gillmore-test foretaget på Tandlægeskolen i Århus (ikke publiceret) viser dog, at modificeret Aalborg White Portland Cement uden gips kun har en begrænset forbedring af afbindingstiden. MTA's afbindingstid kan ved tilsætning af calciumklorid (CaCl_2) blive noget kortere. Dette kan imidlertid have negativ indvirkning på cementens egenskaber og holdbarhed og kan potentielt forringe materialets biokompatibilitet (26); videre studier må afventes.

Radiopacitet

Røntgenkontrasten har man undersøgt ved at sammenligne MTA's røntgendensitet med densiteten i en aluminiumtrappe (1-9 mm) jf. ISO6876:2001 (64). For at øge kontrasten af ProRoot® MTA på røntgenbilleder er materialet tilsat 20 % bismutoxid (65,66). Radiopaciteten i 1 mm gråt MTA svarer til ca. 6,4 til 6,7 mm aluminium (9). Cementerne har højere røntgendensitet end dentin (0,7 mm Al), og lavere densitet end Super-EBA® (9,9 mm Al), IRM® (9,3 mm Al), guttaperka (11,0 mm Al) og amalgam (15,6 mm Al) (9). ProRoot® MTA har signifikant højere radiopacitet end Portland Cement-blandinger uden kontraststoffer (2,5-3,3 mm Al) (64).

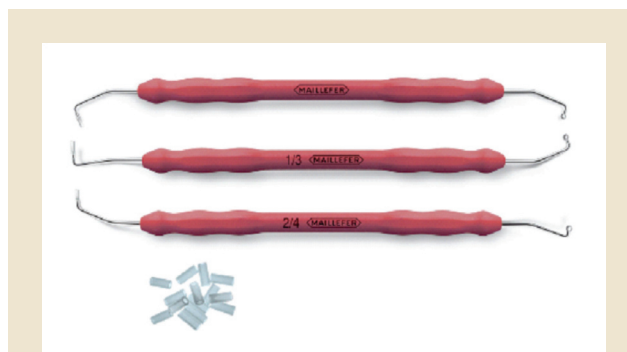


Fig. 5. MTA Endo Carrier og MTA Surgical Carrier (Mallefer, Ballaigues, Schweiz) er nye specialstoppere, der er udviklet som store og små bajonetbøjede stoppere, der kan påsættes små plastkrør, hvorigennem man kan trykke ilagt MTA-materiale ud. Da røret samtidigt glider op af sig selv, kan man på en enkel måde kondensere MTA med denne stopper.

Fig. 5. The MTA Endo Carrier og MTA Surgical Carrier (Mallefer, Ballaigues, Schweiz) are special new instruments, which are developed as big and small bent stoppers, on which small plastic tubes are placed and through which it is possible to push MTA-material out. As the plastic tubes are pushed away at the same time during use it is possible in a simple way to condense MTA with this stopper.

pH-værdi

MTA har efter sammenblanding vist en pH-værdi i området 10,2-11,0 (7,14,61,67). Denne værdi stiger efter tre timer til et pH på 12,5, som blev opretholdt i mindst 22 timer (7,61). Årsagen til dette er især, at MTA indeholder calciumoxid, som vedvarende reagerer med vand i vævsvæsken og frigiver hydroxylioner til væskefasen (14,68). Opløseligheden af gråt MTA er lidt større (1,28 %) end af hvidt MTA (0,97 %) in vitro (61). Det sure pH, der opstår i forbindelse med vævsskader og infektioner, kan i særlige tilfælde virke hæmmende på MTA's afbinding. I sådanne situationer bør man af flere grunde overveje et mellemseanceindlæg med calciumhydroxid og først fylde med MTA, når vævets tilstand og pH er normaliseret, og de akutte symptomer er aftaget.

Trykstyrke

MTA's trykstyrke er efter et døgn nået op på 40 MPa, hvilket er mindre end trykstyrken i fx IRM® (52 MPa), amalgam (313 MPa) eller Super-EBA® (60 MPa). Efter 21 døgn er den gennemsnitlige trykstyrke i MTA nået op på 67 MPa, hvilket er på niveau med trykstyrken for ZnO-eugenol-cementer (IRM®: 57 MPa, Super-EBA®: 78 MPa) (7). Så valget af MTA til behandling er ikke begrundet i høj trykstyrke, men har først og fremmest baggrund i MTA's bakteriostatiske og biologiske fordele.

Push-out-modstand

I et in vitro-forsøg på ekstraherede molarer har man målt den kraft, der er nødvendig for at trykke MTA ud, efter materialet er blevet deponeret i furkaturperforationer centralt i bunden af et kronepulpakammer. Kraftmålinger viste lidt større push-out-modstand i tørt miljø end i fugtigt miljø. Push-out-modstanden mod displacering af MTA var generelt større 72 timer efter deponering sammenlignet med efter 24 timer (69), hvilket bekræfter, at cementmaterialet udvikler mekanisk styrke over tid.

Hvis der skulle opstå mindre forskydninger af MTA-materialet efter 24 timer, vil materialet selvfølgelig lettere kunne falde ud. Men da MTA-materialet fortsat afbinder, vil det i en vis udstrækning reetablere modstand mod displacering. Fugtigheden i det orale miljø og på tandvævenes overflader er fordelagtig og vil i et vist omfang kunne fremme adaptation af MTA til kavitetens dentinvægge (70) såsom ved krystalvækst i spalter og reorganisering af mineralfaser. Apikale MTA-barrierer med en materialetykkel på 4 mm har en markant større forseglingssevne og displaceringsstyrke end barrierer på kun 1 mm. Men selv om MTA på flere måder er et lovende materiale, er det på-

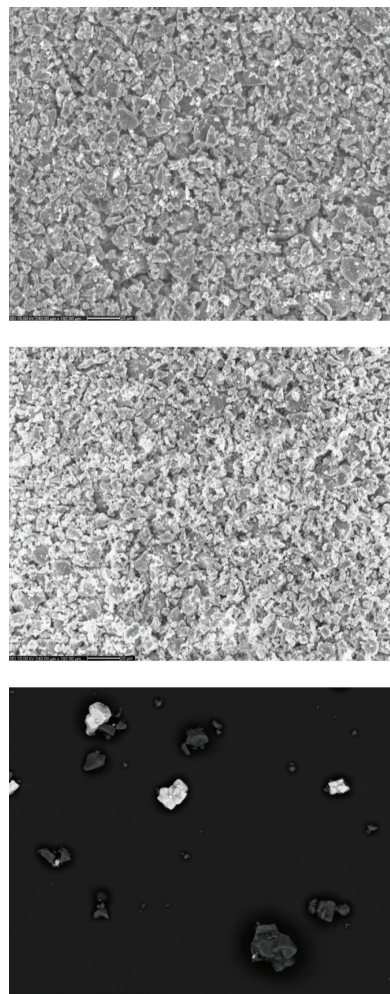


Fig. 6. Øverst ses talrige partikler, som er typiske for Aalborg White Portland Cement undersøgt ved scanningselektromikroskopi (SEM). I midten et tilsvarende billede af White ProRoot MTA-pulver. Nederst et SEM-billede, hvor vi kunne observere, at de lettere cementpartikler fremtræder med en mere mørkegrå farve. Røntgenkontrastpartikler fremstod med hvide farver ved røntgendiffractionsanalyse, og desuden fandt vi, at de havde et meget højt indhold af Bi₂O₃ (ved Jacques Chevalier og Henrik Løvschall).

Fig. 6. White ProRoot MTA powder examined by the use of scanningelectron microscopy (SEM). Above, several particles are seen with typical Aalborg White Portland Cement particle morphology. In the middle, a corresponding White ProRoot MTA powder. Below, a SEM photomicrograph showing numerous light cement particles in a relatively grey color. Furthermore, radiocontrast-particles were observed in white colors, and x-ray backscatter analysis demonstrated a high content of Bi₂O₃ (Jacques Chevalier and Henrik Løvschall).

peget, at der er behov for videreudvikling og forbedring af materialets håndterbarhed (71).

Anbringe våd vatpellet?

Det kan diskuteres, om det er en fordel at anbringe en våd vatpellet oven på MTA-cementen. Arens og Torabinejad (72) foretrækker en våd vatpellet over MTA i 1-3 dage efter deponeringen for at fremme hydratiseringen af cementen. Ved næste seance kunne man så kontrollere, om cementen er afbundet. Et andet studie fandt imidlertid ingen signifikant forskel i MTA-cementens retention, når en våd eller en tør vatpellet blev anvendt under afbindingen (70). Et andet in vitro-studie undersøgte virkningen af et fugtigt miljø på den ene eller på begge sider af MTA-cementen under afbinding. I dette studie fandt man, at bøjestykken efter 24 timer blev større, når MTA'en var i et dobbeltsidet fugtmiljø. Forfatterne fandt desuden, at en vandfugtet vatpellet anbragt oven på MTA-overfladen i de første 24 timer (under en temporær fyldning) i begrænset omfang kan øge MTA's bøjestykke (73).

En del taler dog for, at MTA-cement anbragt i en tand in vivo med meget stor sandsynlighed vil modtage vandmolekyler fra det orale miljø. Vandmolekyler er mindre end bakterier og diffunderer fra vævet eller saliva igennem både mikrospalter, tubuli, plastmaterialer og selv de bedste rodfyldninger. Dentin, rodcement og knogle er væv, der indeholder vandmolekyler som en del af vævenes interstitialvæske. Et lille initialt tørt depot MTA-pulver anbragt i en tand in vivo vil derfor med meget stor sandsynlighed modtage indsvivning af små vandmængder, der bidrager til cementafbindingen. Anbringelse af en våd vatpellet oven på normaludrørt MTA-cement in vivo synes umiddelbart ikke nødvendigt, men videre studier må afventes.

Pull-out-styrke

Anvendelsen af MTA til cementering af stifter i rodbehandlede tænder er blevet sammenlignet med brugen af andre cementer. I et forsøg på ekstraherede bovine incisiver, hvor man udførte en standardrodbehandling og udboring til stift in vitro, målte man efter to ugers afbinding i fugtigt miljø den kraft, der er nødvendig for at fjerne stiften. Pull-out-retentionen ved anvendelse af zinkfosfat eller glasionomercement var signifikant større end efter brug af MTA, som derfor er mindre velegnet til retention af stifter (74).

Forsegling af kanaler

Etablering af en barriere i rodkanalen uden marginal lækage er centralt for rodbehandlings prognose. Ingen materialer har en absolut evne til at forhindre bakteriel læka-

ge. Studier af orto- og retrograde rodfyldninger har undersøgt MTA's evne til at modvirke bakteriel lækage. For eksempel har in vitro-studier af Torabinejad et al. undersøgt forseglingssevne hos ProRoot MTA og bl.a. sammenlignet med amalgam og Super EBA. Disse studier har fundet, at MTA havde en relativt bedre adaptation (75) og forseglingssevne mod gennemtrængning af farve (1,6) og bakterier (76). Et andet studie på ekstraherede humane molarer indikerer, at Portland Cement og MTA er lige effektive til at forsegle furkale perforationer (77).

Sammenfatning

MTA rummer en række fordele i situationer, hvor målet er regeneration af hårdtvæv. MTA har initialt et højt pH ligesom calciumhydroxid. Materialet har evne til afbinding i et fugtigt miljø samtidig med stimulering af hårdtvævsdannelse. Materialet har god biokompatibilitet og forseglingssevne over for mikroorganismer. Mange endodontister verden over anvender i dag materialet. Forskellige faktorer har betydning for en optimal brug og håndtering af MTA til endodontisk behandling. Forsegling apikalt er afhængig af, at MTA-materialet har en vis lagtykkelse. En relativt høj pris og lang afbindingstid er ulemper. En velovervejet opbevaring af MTA samt brug af mindre pulverportioner vil kunne reducere omkostningerne. Antallet af studier, hvor MTA og dets virkninger bliver undersøgt, er stigende. En række studier finder samstemmende, at brug af MTA rummer væsentlige fordele ved sårbehandling, hvor der ønskes regeneration af hårdtvæv, såsom overkapning, kanalperforation, intern resorption, pulpotomi og apikal forsegling. Yderligere studier og herunder specielt kliniske randomiserede langtidsstudier må afventes.

Tak

Tak til direktør Jesper Sand Damtoft og laboratorieforsker Søren Rasmussen, Research and Development Centre, Aalborg Portland A/S, samt Bent Ole Borup, Aalborg Portland Group, for materialer og rundvisning. Også tak til Michel Petitjean, Dentsply Maillefer, for MTA-ProRoot-materialer og fotos, og til Jacques Chevalier, Fysisk Institut, Aarhus Universitet, for assistance ved backscatter-analyse.

English summary

The number of studies on mineral trioxide aggregate (MTA) is increasing. They agree that MTA cement is a biocompatible material with a wide range of potentials in endodontics. After mixing cement powder with water it forms a colloid solution, and the material solidifies, most favorably in a humid environment. The setting of MTA takes up to several

hours. MTA initially has a high pH like calcium hydroxide. The biocompatibility, antibacterial, and sealing properties of MTA are apparently central to the advantages of using MTA in pulpotomy, pulp capping, pulp-perio perforations, and retrograde fillings. Further investigations are awaited.

Litteratur

- Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod* 1993; 19: 591-5.
- Schmitt D, Lee J, Bogen G. Multifaceted use of ProRoot MTA root canal repair material. *Pediatr Dent* 2001; 23: 326-30.
- Coomaraswamy KS, Lumley PJ, Hofmann MP. Effect of bismuth oxide radioopacifier content on the material properties of an endodontic Portland cement-based (MTA-like) system. *J Endod* 2007; 33: 295-8.
- Damaschke T, Gerth HU, Zuchner H, Schafer E. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. *Dent Mater* 2005; 21: 731-8.
- Aalborg Portland A/S. Aalborg White cement saves tooth. The White Site 2003.
- Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 1993; 19: 541-4.
- Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 1995; 21: 349-53.
- Ferris DM, Baumgartner JC. Perforation repair comparing two types of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2004; 30: 422-4.
- Laghios CD, Benson BW, Gutmann JL, Cutler CW. Comparative radiopacity of tetracalcium phosphate and other root-end filling materials. *Int Endod J* 2000; 33: 311-5.
- Oliveira MG, Xavier CB, Demarco FF, Pinheiro AL, Costa AT, Pozza DH. Comparative chemical study of MTA and Portland cements. *Braz Dent J* 2007; 18: 3-7.
- Ber BS, Hatton JF, Stewart GP. Chemical modification of proroot mta to improve handling characteristics and decrease setting time. *J Endod* 2007; 33: 1231-4.
- Komabayashi T, Spangberg LS. Comparative analysis of the particle size and shape of commercially available mineral trioxide aggregates and portland cement: a study with a flow particle image analyzer. *J Endod* 2008; 34: 94-8.
- Duarte MA, Demarchi AC, Yamashita JC, Kuga MC, Fraga SC. pH and calcium ion release of 2 root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95: 345-7.
- Santos AD, Moraes JC, Araujo EB, Yukimitu K, Valerio Filho WV. Physico-chemical properties of MTA and a novel experimental cement. *Int Endod J* 2005; 38: 443-7.
- Hashem AA, Hassanien EE. ProRoot MTA, MTA-Angelus and IRM Used to Repair Large Furcation Perforations: Sealability Study. *J Endod* 2008; 34: 59-61.
- Camilleri J, Pitt Ford TR. Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. *Int Endod J* 2006; 39: 747-4.
- Camilleri J, Montesin FE, Papaioannou S, McDonald F, Pitt Ford TR. Biocompatibility of two commercial forms of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2004; 37: 699-704.
- Economides N, Pantelidou O, Kokkas A, Tziafas D. Short-term periradicular tissue response to mineral trioxide aggregate (MTA) as root-end filling material. *Int Endod J* 2003; 36: 44-8.
- Mitchell PJ, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F. Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials* 1999; 20: 167-73.
- Sousa CJ, Loyola AM, Versiani MA, Biffi JC, Oliveira RP, Pascon EA. A comparative histological evaluation of the biocompatibility of materials used in apical surgery. *Int Endod J* 2004; 37: 738-48.
- Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. *Dent Mater* 2007.
- Camilleri J. A review of the methods used to study biocompatibility of Portland cement-derived materials used in dentistry. *Malta Medical Journal* 2006; 18: 9-14.
- Estrela C, Bammann LL, Estrela CR, Silva RS, Pecora JD. Antimicrobial and chemical study of MTA, Portland cement, calcium hydroxide paste, Sealapex and Dycal. *Braz Dent J* 2000; 11: 3-9.
- Al Hezaimi K, Al Shalan TA, Naghshbandi J, Oglesby S, Simon JH, Rotstein I. Antibacterial effect of two mineral trioxide aggregate (MTA) preparations against *Enterococcus faecalis* and *Streptococcus sanguis* in vitro. *J Endod* 2006; 32: 1053-6.
- Eldeniz AU, Hadimli HH, Ataoglu H, Orstavik D. Antibacterial effect of selected root-end filling materials. *J Endod* 2006; 32: 345-9.
- Gohring KS, Lehnert B, Zehnder M. Indications for use of MTA, a review. Part 1: Chemical, physical and biological properties of MTA. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2004; 114: 143-53.
- Fuks AB. Current concepts in vital primary pulp therapy. *Eur J Paediatr Dent* 2002; 3: 115-20.
- Chong BS, Pitt Ford TR, Hudson MB. A prospective clinical study of Mineral Trioxide Aggregate and IRM when used as root-end filling materials in endodontic surgery. *Int Endod J* 2003; 36: 520-6.
- Koh ET. Mineral trioxide aggregate (MTA) as a root end filling material in apical surgery – a case report. *Singapore Dent J* 2000; 23: 72-8.
- Lindeboom JA, Frenken JW, Kroon FH, van den Akker HP. A comparative prospective randomized clinical study of MTA and IRM as root-end filling materials in single-rooted teeth in endodontic surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 100: 495-500.
- Tanomaru-Filho M, Luis MR, Leonardo MR, Tanomaru JM, Silva LA. Evaluation of periapical repair following retrograde filling with different root-end filling materials in dog teeth with periapical lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 102: 127-32.
- El Meligy OA, Avery DR. Comparison of apexification with mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide. *Pediatr Dent* 2006; 28: 248-53.
- Felippe WT, Felippe MC, Rocha MJ. The effect of mineral trioxide

- de aggregate on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. *Int Endod J* 2006; 39: 2-9.
34. Giuliani V, Baccetti T, Pace R, Pagavino G. The use of MTA in teeth with necrotic pulps and open apices. *Dent Traumatol* 2002; 18: 217-21.
 35. Tziafas D, Pantelidou O, Alvanou A, Belibasakis G, Papadimitriou S. The dentinogenic effect of mineral trioxide aggregate (MTA) in short-term capping experiments. *Int Endod J* 2002; 35: 245-54.
 36. Parirokh M, Asgary S, Eghbal MJ, Stowe S, Eslami B, Eskandarizade A et al. A comparative study of white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents in dog's teeth. *Dent Traumatol* 2005; 21: 150-4.
 37. Bodem O, Blumenshine S, Zeh D, Koch MJ. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate in a primary molar: a case report. *Int J Paediatr Dent* 2004; 14: 376-9.
 38. Faraco J, I, Holland R. Histomorphological response of dogs' dental pulp capped with white mineral trioxide aggregate. *Braz Dent J* 2004; 15: 104-8.
 39. Faraco IM, Jr., Holland R. Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dent Traumatol* 2001; 17: 163-6.
 40. Yildirim T, Gencoglu N, Firat I, Perk C, Guzel O. Histologic study of furcation perforations treated with MTA or Super EBA in dogs' teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 100: 120-4.
 41. Bargholz C. Perforation repair with mineral trioxide aggregate: a modified matrix concept. *Int Endod J* 2005; 38: 59-69.
 42. Kratchman SI. Perforation repair and one-step apexification procedures. *Dent Clin North Am* 2004; 48: 291-307.
 43. Holland R, Filho JA, de S, V, Nery MJ, Bernabe PF, Junior ED. Mineral trioxide aggregate repair of lateral root perforations. *J Endod* 2001; 27: 281-4.
 44. Baratto-Filho F, Limongi O, Araujo CJ, Neto MD, Maia SM, Santana D. Treatment of invasive cervical resorption with MTA: case report. *Aust Endod J* 2005; 31: 76-80.
 45. White C, Jr., Bryant N. Combined therapy of mineral trioxide aggregate and guided tissue regeneration in the treatment of external root resorption and an associated osseous defect. *J Periodontol* 2002; 73: 1517-21.
 46. Casas MJ, Kenny DJ, Judd PL, Johnston DH. Do we still need formocresol in pediatric dentistry? *J Can Dent Assoc* 2005; 71: 749-51.
 47. Salako N, Joseph B, Ritwik P, Salonen J, John P, Junaid TA. Comparison of bioactive glass, mineral trioxide aggregate, ferric sulfate, and formocresol as pulpotomy agents in rat molar. *Dent Traumatol* 2003; 19: 314-20.
 48. Caicedo R, Abbott PV, Alongi DJ, Alarcon MY. Clinical, radiographic and histological analysis of the effects of mineral trioxide aggregate used in direct pulp capping and pulpotomies of primary teeth. *Aust Dent J* 2006; 51: 297-305.
 49. Eidelman E, Holan G, Fuks AB. Mineral trioxide aggregate vs. formocresol in pulpotomized primary molars: a preliminary report. *Pediatr Dent* 2001; 23: 15-8.
 50. Agamy HA, Bakry NS, Mounir MM, Avery DR. Comparison of mineral trioxide aggregate and formocresol as pulp-capping agents in pulpotomized primary teeth. *Pediatr Dent* 2004; 26: 302-9.
 51. Farsi N, Alamoudi N, Balto K, Mushayt A. Success of mineral trioxide aggregate in pulpotomized primary molars. *J Clin Pediatr Dent* 2005; 29: 307-11.
 52. Holan G, Eidelman E, Fuks AB. Long-term evaluation of pulpotomy in primary molars using mineral trioxide aggregate or formocresol. *Pediatr Dent* 2005; 27: 129-36.
 53. Aeinehchi M, Dadvand S, Fayazi S, Bayat-Movahed S. Randomized controlled trial of mineral trioxide aggregate and formocresol for pulpotomy in primary molar teeth. *Int Endod J* 2007; 40: 261-7.
 54. Srinivasan V, Patchett CL, Waterhouse PJ. Is there life after Buckley's Formocresol? Part I - a narrative review of alternative interventions and materials. *Int J Paediatr Dent* 2006; 16: 117-27.
 55. Tomson PL, Grover LM, Lumley PJ, Sloan AJ, Smith AJ, Cooper PR. Dissolution of bio-active dentine matrix components by mineral trioxide aggregate. *J Dent* 2007; 35: 636-42.
 56. Graham L, Cooper PR, Cassidy N, Nor JE, Sloan AJ, Smith AJ. The effect of calcium hydroxide on solubilisation of bio-active dentine matrix components. *Biomaterials* 2006; 27: 2865-73.
 57. Smith AJ, Cassidy N, Perry H, Begue-Kirn C, Ruch JV, Lesot H. Reactionary dentinogenesis. *Int J Dev Biol* 1995; 39: 273-80.
 58. Smith AJ, Matthews JB, Hall RC. Transforming growth factor-beta1 (TGF-beta1) in dentine matrix. Ligand activation and receptor expression. *Eur J Oral Sci* 1998; 106 (Suppl 1): 179-84.
 59. Lovschall H, Giannobile WV, Somerman MJ, Jin O, Andreasen JO. Stem cells and regeneration of injured dental tissue. In: Andreasen JO, Andreasen FM, Anderson L, editors. *Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth*. Blackwell Pub Professional; 2007.
 60. Mc Cabe PS. The clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Ir Dent Assoc* 2003; 49: 123-31.
 61. Chng HK, Islam I, Yap AUJ, Tong YW, Koh ET. Properties of a new root-end filling material. *J Endod* 2005; 31: 665-8.
 62. Abdullah D, Ford TR, Papaioannou S, Nicholson J, McDonald F. An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material. *Biomaterials* 2002; 23: 4001-10.
 63. Camilleri J, Montesin FE, Di Silvio L, Pitt Ford TR. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J* 2005; 38: 834-42.
 64. Danesh G, Dammaschke T, Gerth HU, Zandbiglari T, Schafer E. A comparative study of selected properties of ProRoot mineral trioxide aggregate and two Portland cements. *Int Endod J* 2006; 39: 213-9.
 65. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater* 2005; 21: 297-303.
 66. Islam I, Chng HK, Yap AUJ. X-ray diffraction analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *Int Endod J* 2006; 39: 220-5.
 67. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1999; 25: 197-205.
 68. Tronstad L, Andreasen JO, Hasselgren G, Kristerson L, Riis I. pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *J Endod* 1980; 7: 17-21.
 69. Krupalini KS, Udayakumar, Jayalakshmi KB. A comparative evaluation of medicated calcium sulphate, hydroxylapatite, mi-

- neral trioxide aggregate (MTA as barrier and their effect on the sealing ability of furcation perforation repair material – an in vitro study. *Indian J Dent Res* 2003; 14: 156-61.
70. Sluyk SR, Moon PC, Hartwell GR. Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *J Endod* 1998; 24: 768-71.
 71. Hachmeister DR, Schindler WG, Walker WA, III, Thomas DD. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *J Endod* 2002; 28: 386-90.
 72. Arens DE, Torabinejad M. Repair of furcal perforations with mineral trioxide aggregate: two case reports. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996; 82: 84-8.
 73. Walker MP, Diliberto A, Lee C. Effect of setting conditions on mineral trioxide aggregate flexural strength. *J Endod* 2006; 32: 334-6.
 74. Vargas JW, Liewehr FR, Joyce AP, Runner RR. A comparison of the in vitro retentive strength of glass-ionomer cement, zinc-phosphate cement, and mineral trioxide aggregate for the retention of prefabricated posts in bovine incisors. *J Endod* 2004; 30: 775-7.
 75. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod* 1995; 21: 295-9.
 76. Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod* 1995; 21: 109-112.
 77. De Deus G, Petruccelli V, Gurgel-Filho E, Coutinho-Filho T. MTA versus Portland cement as repair material for furcal perforations: a laboratory study using a polymicrobial leakage model. *Int Endod J* 2006; 39: 293-8.

Forfatteroplysninger:

Henrik Løvschall, lektor, ph.d., tandlæge
Afdeling for Tandsygdomslære
Tandlægeskolen i Århus
Vennelyst Boulevard 9
8000 Århus C
e-mail loev@odont.au.dk

René Christiansen, klinisk assistent, tandlæge, ph.d.-studerende
Afdeling for Oral Radiologi
Tandlægeskolen i Århus
Vennelyst Boulevard 9
8000 Århus C
e-mail rchristiansen@odont.au.dk

Preben Hørsted Bindslev, institutleder, lektor, tandlæge
Afdeling for Tandsygdomslære
Tandlægeskolen i Århus
Vennelyst Boulevard 9
8000 Århus C
e-mail ph-b@odont.au.dk