

Endodontologie in beweging: nieuwe concepten, materialen en technieken 1. Hydraulische calciumsilicaatcementen

Hydraulische calciumsilicaatcementen (HCSC's) zijn materialen die sinds de introductie van 'mineral trioxide aggregate' (MTA) in de jaren 90 van de vorige eeuw aan populariteit hebben gewonnen binnen de endodontologie. MTA is Portlandcement waaraan bismutoxide is toegevoegd om de radiopaciteit te verhogen. Het belang van MTA is de eigenschap om in water en in een vochtige omgeving te kunnen uitharden. Desondanks heeft MTA ook belangrijke beperkingen, zoals gebruiksonvriendelijkheid en het risico van verkleuring van het gebitselement. Recent zijn er talloze producten die gebaseerd zijn op de chemie van HCSC's, en dus te beschouwen als modificaties van MTA, op de markt gebracht met de bedoeling de beperkingen van MTA te verminderen. Ondanks de potentiële voordelen van deze materialen, hebben ze elk hun specifieke beperkingen die nog onvoldoende gekend en onderzocht zijn.

Moinzadeh AT, Jongasma L, Groot-Kuin D de, Cristescu R, Neiryck N, Camilleri J. Endodontologie in beweging: nieuwe concepten, materialen en technieken 1. Hydraulische calciumsilicaatcementen. Ned Tijdschr Tandheelkd 2015; 122: 405-414. doi: 10.5177/ntvt.2015.07/08.15146

Inleiding

De endodontische behandeling heeft als doel het vormgeven en het desinfecteren van het wortelkanaalstelsel om gunstige omstandigheden te creëren voor de genezing van laesies van endodontische oorsprong (Thoden van Velzen en Wesselink, 2010). Om deze situatie ook op de lange termijn te behouden wordt de plaatsing van een wortelkanaalvulling met langdurige afsluitende eigenschappen gunstig geacht voor de effectiviteit van de behandeling (Waltimo et al, 2005). De endodontische behandeling wordt uitgevoerd onder isolatie van rubberdam om contaminatie te voorkomen en een droge omgeving te creëren. De afsluitende eigenschappen van de gebruikte wortelkanaalvulmaterialen komen immers het beste tot hun recht als ze onder de juiste omstandigheden worden aangebracht.

Er bestaan echter specifieke klinische situaties waarin een teveel aan vocht de volledige uitharding van conventionele vulmaterialen kan hinderen, waardoor hun eigenschappen negatief worden beïnvloed. Voorbeelden van dergelijke klinische situaties zijn het aanbrengen van een retrograde vulling bij apicale chirurgie, het repareren van een perforatie, de directe pulpaoverkapping en het behandelen van open apices. Om deze specifieke situaties te kunnen behandelen werd in de jaren 90 van de vorige eeuw een mengsel van Portlandcement en bismutoxide (toegevoegd voor radiopaciteit) in de endodontologie geïntroduceerd en gepatenteerd als 'mineral trioxide aggregate' (MTA) (Torabinejad en White, 1995). Na deze ontdekking

Leerdoelen

Na het lezen van dit artikel kent u:

- de samenstelling, uithardingsreactie en de materiaalkundige, fysicochemische en biologische eigenschappen van hydraulische calciumsilicaatcementen (HCSC's);
- de voor- en nadelen van HCSC's als wortelkanaalcement;
- de wijze waarop moderne HCSC's afwijken van de oorspronkelijke formule.

werden verschillende materialen ontwikkeld die leken op de originele samenstelling van MTA, maar gebaseerd waren op tricalcium- en dicalciumsilicaten. Deze familie van materialen is het beste bekend als 'hydraulische calciumsilicaatcementen (HCSC) (Niu et al, 2014). HCSC's zijn hydraulische materialen, dit betekent dat de uithardingsreactie plaatsvindt wanneer ze gemengd worden met water en dat ze uit kunnen harden in een vochtige omgeving.

Dit overzichtsartikel zal eerst ingaan op de fysicochemische en biologische eigenschappen alsmede de belangrijkste beperkingen van MTA, aangezien van dat materiaal de voornaamste kenmerken en eigenschappen gelijk zijn aan die van de verschillende HCSC's. De belangrijkste modificaties op de nieuwere HCSC's zullen worden besproken. Het doel van dit artikel is de lezer in staat te stellen de indicaties en beperkingen van HCSC's te begrijpen en kritisch te beoordelen.

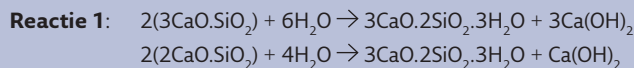
Mineral trioxide aggregate (MTA)

Samenstelling, uithardingsreactie en eigenschappen

MTA is ontwikkeld door M. Torabinejad en D.J. White (1995) en kan worden beschouwd als het eerste HCSC in de moderne tandheelkunde. In de eerste publicatie over MTA wordt het gebruik ervan als materiaal voor reparatie van perforaties beschreven (Lee et al, 1993). Het idee van Torabinejad en White was echter niet geheel nieuw, want in 1878 beschreef de Duitse tandarts Witte al het gebruik van Portlandcement als wortelkanaalvulmateriaal (Witte, 1878). MTA is in feite Portlandcement met de toevoeging van bismutoxide om het materiaal voldoende radiopaciteit te geven voor tandheelkundig gebruik. Alle andere HCSC's kunnen worden beschouwd als variaties op de originele MTA-formule.

Aanvankelijk werd aangenomen dat MTA bestond uit oxides en een amorf calciumfosfaat, vandaar de naamgeving als oxideaggregaat. Deze veronderstelling is inmiddels weerlegd door Camilleri et al, die concludeerden dat MTA eigenlijk bestaat uit een fijn poeder van tricalciumsi-

Intermezzo 1. Reacties in hydratatieproces van MTA



Tricalciumsilicaat en dicalciumsilicaat reageren met water en vormen calciumsilicaathydraat en calciumhydroxide.

Reactie 2: Tricalciumalumiinaat reageert met gips en water, dit vormt ettringiet. Deze reactie is essentieel voor het regelen van de uithardingsnelheid van MTA, en van Portlandcement in het algemeen.

licaat, dicalciumsilicaat, tricalciumalumiinaat, gips, tetra-calciumaluminiumferriet, calciumsulfaat, bismutoxide en enkele sporen van metaaloxiden (Camilleri et al, 2005a). Er bestaat wit en grijs MTA, waarbij het belangrijkste verschil is dat de ijzeroxide concentratie lager is in wit MTA-cement (Camilleri et al, 2005b).

MTA is beschikbaar in poedervorm, wat gemengd dient te worden met steriel gedestilleerd water in een ideale verhouding van 1 deel water en 3 delen poeder, zoals geadviseerd door de fabrikant. Deze water/poeder-ratio zorgt voor een werkbare pasta. Na menging vindt er een hydratatiereactie plaats. Dit hydratatieproces bestaat uit 2 verschillende reacties die gelijktijdig plaatsvinden (intermezzo 1) (Taylor, 1997). Het vrijkomen van calciumhydroxide zorgt voor de hoge pH van MTA en is karakteristiek voor alle HCSC's. De hoge pH is verantwoordelijk voor enkele van de therapeutische effecten alsook voor enkele beperkingen van het materiaal.

De reactie van tricalciumsilicaat vindt snel plaats en is verantwoordelijk voor de initiële sterkte (Damaschke et al, 2005). De reactie van dicalciumsilicaat is trager en zorgt voor de uiteindelijke sterkte op lange termijn (Damaschke et al, 2005). Een frequent probleem tijdens de applicatie van MTA is het uitwassen van het materiaal, ofwel het 'wash-out'-effect. Omdat het materiaal een lange uithardingstijd en, tijdens het uitharden, een lage cohesie en adhesie sterkte heeft, kan het tijdens de klinische procedure makkelijk desintegreren of 'uitwassen' wanneer het in contact komt met vloeistoffen zoals speeksel, bloed of spoelmiddelen (bijvoorbeeld bij irrigeren tijdens chirurgische behandelingen). Het wash-out-effect moet worden onderscheiden van de oplosbaarheid, die van toepassing is op de meeste biomaterialen.

MTA hardt na ongeveer 3 uur uit, maar na die tijd is het materiaal nog niet helemaal gehydrateerd (Torabinejad et al, 1995). Het kan dagen tot weken duren totdat de complete hydratatiereactie heeft plaatsgevonden (Taylor, 1997). MTA heeft vocht nodig om zijn eigenschappen optimaal te kunnen ontwikkelen. Dit is afkomstig van het water waarmee het poeder gemengd wordt, maar ook van fysiologische vloeistoffen die in contact komen met het materiaal. Het aanbrengen van een vochtige wattenpellet op het materiaal, zoals geadviseerd wordt door de fabrikant, kan wanneer nodig geacht het MTA van extra vocht voorzien. Dit houdt wel in dat er een extra afspraak nodig is om de wattenpellet weer te verwijderen en de tijdelijke restauratie te vervangen voor een definitieve. Een tekort

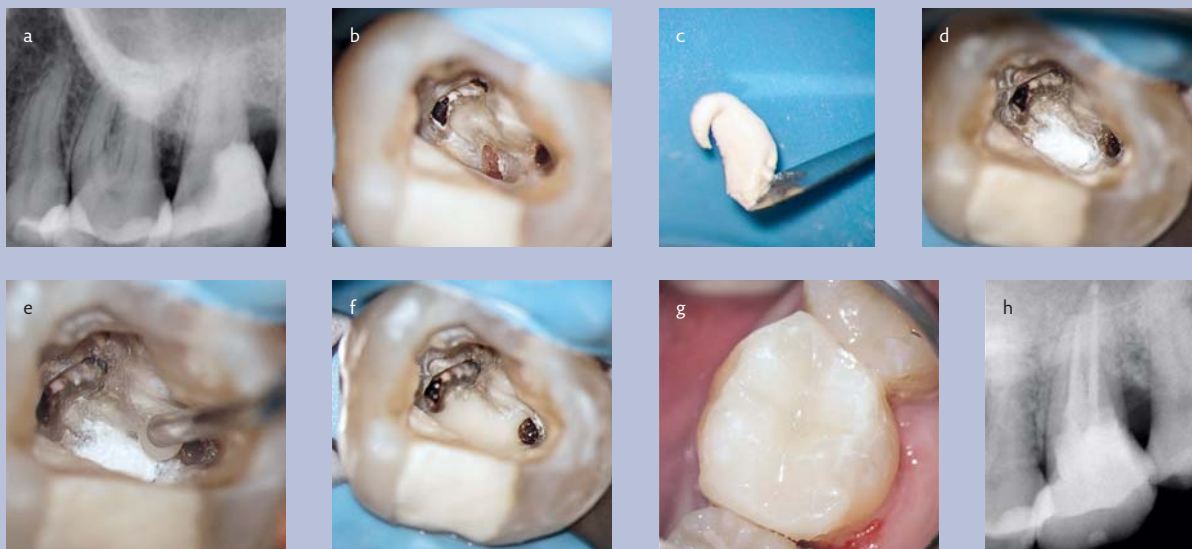
aan vocht zal er echter toe leiden dat MTA niet volledig gehydrateerd is, hetgeen de materiaalkundige eigenschappen negatief beïnvloedt (Camilleri, 2007).

Er zijn relatief hoge hechtsterktes gevonden voor MTA in vergelijking met hechtsterktes voor conventionele wortelkanaalvulmaterialen (EL-Ma'aita et al, 2013). Voor de betere adhesie van MTA aan dentine wordt verondersteld dat de groei van apatietkristallen op het contactvlak met dentine verantwoordelijk zou kunnen zijn (Reyes-Carmona et al, 2010). Een andere verklaring zou de wateropname zijn, ofwel de neiging van het materiaal om water uit de omgeving te absorberen wat leidt tot uitzetting en dus een grotere wrijvingsweerstand tijdens *in vitro*-testen. In het onderzoek van Reyes-Carmona et al (2010) werden namelijk inderdaad apatietkristallen gevonden in proefmonsters die ondergedompeld waren in 'phosphate buffered saline', terwijl deze in de controlegroep, waarbij alleen een vochtige wattenpellet werd gebruikt, niet gevonden werden. Aangezien de controlegroep aanmerkelijk droger werd bewaard, kan dit ook een verklaring zijn voor het verschil in adhesie.

Een frequent voorkomend klinisch probleem is verkleuring van een met MTA behandeld gebitselement. Verondersteld werd dat het probleem lag in de concentratie ijzeroxides in het originele MTA-product dat grijs van kleur was. Er werd daarom een witte versie van MTA op de markt gebracht met een lagere concentratie ijzeroxides. Het probleem bleef echter bestaan. De verkleuring kon niet worden verklaard totdat de rol van bismutoxide werd onderzocht. Het bleek dat radiopaker de hoofdveroorzaker van de verkleuring was (Camilleri, 2014a). Als bismutoxide reageert met natriumhypochloriet resulteert dit in een zwarte neerslag. Tevens wordt verondersteld dat de aanwezigheid van licht en een gebrek aan zuurstof effect hebben op deze reactie (Valles et al, 2014a; Valles et al, 2014b). Dit kan te maken hebben met de vorming van bismutcarbonaat, wat gevoelig is voor licht. Een andere mogelijke verklaring is dat het bismutoxide een redoxreactie ondergaat, waardoor het metaal bismuth wordt gevormd dat zwart van kleur is (Camilleri, 2014a). Het is ook aangetoond dat een reactie met collageen verkleuring van MTA veroorzaakt (Marciano et al, 2014). Ook kunnen andere spoelmiddelen, zoals chloorhexidine en waterstofperoxide, reageren met MTA en verkleuring veroorzaken, zij het in veel mindere mate dan bij natriumhypochloriet (Keskin et al, 2015). Het zou daarom nuttig kunnen zijn om tijdens de endodontische procedure, voorafgaand aan het gebruik

Casus 1. Het gebruik van HCSC om een perforatie te sluiten

Patiënt:	Vrouw, 45 jaar.
Medische geschiedenis:	Geen bijzonderheden.
Behandelindicatie:	Afronden wortelkanaalbehandeling in gebitselement 27 i.v.m. gecompliceerde anatomie.
Diagnose:	Endodontische behandeling reeds gestart. Geen periapicale afwijking waarneembaar op intraorale foto (afb. a). Perforatie pulpabodem.
Behandeling:	Endodontische behandeling. Nadat toegang tot de pulpakamer was verschaft met behulp van de microscoop (afb. b), werd geen mesiobuccaal kanaal gevonden, alleen een enkel C-vormig kanaal. Distaal in de pulpabodem werd een kleine perforatie gevonden. De perforatie werd schoongemaakt met natriumhypochloriet en gedroogd. Een HCSC reparatiemateriaal werd aangebracht op de perforatie (afb. c-e) en afgedekt met glasionomeercement (afb. f) voordat de wortelkanaalbehandeling af werd gemaakt (afb. g en h).
HCSC:	EndoSequence® RRM™ (Root Repair Material).
Overwegingen:	Er is geen sterk wetenschappelijk bewijs voor de superioriteit van een bepaald wortelkanaalvulmateriaal voor het repareren van een perforatie. De keuze om dit HCSC te gebruiken was gebaseerd op de gebruiksvriendelijkheid van het materiaal en omdat het materiaal, zonder voorbereiding, direct aan te brengen is. De druksterkte van dit HCSC is vergelijkbaar met MTA, maar de initiële uitharding is langer dan die van MTA (Charland et al, 2013; Walsh et al, 2014). Het is aangetoond dat EndoSequence® RRM™ in een zure omgeving zal leiden tot meer poreuze en minder kristallijne microstructuren. Aangezien MTA minder beïnvloed wordt door de zure pH van het milieu (bijvoorbeeld in geval van inflammatie), lijkt dit het meest geschikte materiaal om in zo een situatie te gebruiken (Wang et al, 2015).



van MTA, als laatste te spoelen met gedestilleerd water, om zo de resten natriumhypochloriet te verminderen en zo de verkleuring te minimaliseren.

Fysicochemische eigenschappen

De blootstelling van uitgehard MTA aan water veroorzaakt een continue proces van ionenuitwisseling. Zo resulteert de hydratatie van MTA in de productie van calciumsilicaathydraat waarbij calciumhydroxide vrijkomt (Camillieri, 2007). Dit mechanisme is verantwoordelijk voor verschillende, voornamelijk de alkaliserende, eigenschappen van MTA. De sterk basische pH (> 9) is bepalend voor de antimicrobiële en biologische effecten van MTA en HCSC's (Eldeniz et al, 2006; Tomson et al, 2007).

De klinische toepasbaarheid wordt voornamelijk beperkt door de lange tijd die nodig is voor de uitharding van MTA (ongeveer 3 uur). De druksterkte van MTA is 24 uur na het mengen lager dan die van andere retrograde materialen, maar dit verschil verdwijnt na 21 dagen (Torabinejad et al, 1995). Dit is waarschijnlijk gelinkt aan de tragere hydratatie van dicalciumsilicaat in vergelijking met tricalciumsilicaat (Dammaschke et al, 2005).

De dimensionale stabiliteit van MTA is ook afhankelijk van de vochtigheidsgraad, aangezien het uitzet wanneer het in contact komt met weefselvloeistoffen en krimpt wanneer het kan uitdrogen (Camillieri, 2011a).

Oplosbaarheid vormt een probleem van MTA. Ook al wordt er geen of een lage oplosbaarheid toegeschreven aan

Casus 2. HCSC gebruikt als wortelkanaalsealer bij een horizontale wortelfractuur

Patiënt:	Man, 25 jaar.
Medische geschiedenis:	Geen bijzonderheden.
Behandelindicatie:	Trauma van de frontelementen. Gebitselement 22 heeft een horizontale subalveolaire wortelfractuur (afb. a). Zes weken na trauma was er een fistel aanwezig en vertoonde het gebitselement een verhoogde mobiliteit (afb. b).
Diagnose:	Horizontale wortelfractuur met een niet pijnlijke parodontitis apicalis met fistel gerelateerd aan het coronale breukstuk.
Behandeling:	Nadat toegang tot de pulpakamer was verschaft met behulp van de microscoop, werd het wortelkanaal gelokaliseerd, geïnstrumenteerd en gespoeld met NaOCl en EDTA (afb. c en d). Een HCSC-sealer en een tapse guttaperchastift werden geplaatst tot de fractuurlijn (afb. e en f). De openingscaviteit werd opgevuld met composiet (afb. g).
HCSC:	EndoSequence® BC Sealer™.
Overwegingen:	De fractuurlijn heeft een brede open communicatie tussen het wortelkanaal en het alveolaire bot veroorzaakt. Het gevolg is dat de kans op extrusie van vulmateriaal aanzienlijk toeneemt. Normaaliter zou in dit soort gevallen MTA worden gebruikt. Hier werd voor een HCSC-sealer gekozen in combinatie met een enkele guttaperchastift ('single cone'-techniek). Het besluit om voor dit materiaal te kiezen was gebaseerd op de gebruikersvriendelijke applicatie van het materiaal onder de microscoop. De plastic applicatie tip van de sealer zorgt voor een gemakkelijke applicatie, en bovendien zorgt het gebruik van de single cone voor een verminderde kans op extrusie door een geringe compactiedruk. Ter vergelijking, MTA moet worden aangestampt. De aanwezigheid van vocht ter plaatse van de fractuurlijn is een perfecte indicatie voor het gebruik van HCSC, alhoewel de relatief hoge oplosbaarheid van EndoSequence® BC Sealer™, zoals beschreven in de literatuur, een nadeel zou kunnen zijn op de lange termijn (Zhou et al, 2013).



MTA op korte termijn, de voortdurende afgifte van calciumhydroxide veroorzaakt een verhoogde oplosbaarheid op lange termijn (Fridland en Rosado, 2005). Deze oplosbaarheid wordt ook beïnvloed door de water/poeder-verhouding. Door de relatieve hoeveelheid water te verhogen zal het materiaal poreuzer zijn met een hogere oplosbaarheid.

Het bismut dat in MTA aanwezig is, lekt gedurende de tijd in toenemende hoeveelheden uit het materiaal (Camil-

leri, 2008a). Onderzoeken naar de biocompatibiliteit van wortelkanaalvulmaterialen die bismutoxide bevatten, laten een gunstig veiligheidsprofiel (op korte termijn) zien (Zeferino et al, 2010). De biocompatibiliteit en/of toxiciteit op de lange termijn moet echter nog worden vastgesteld.

De totaal aanwezige hoeveelheid van de sporen arseen, lood en chroom zijn zowel in grijs als in wit MTA groot indien gemeten met zuur/base-extractie, maar de hoeveel-

heden die daadwerkelijk uit het materiaal lekken zijn verwaarloosbaar, waardoor er geen invloed wordt verwacht op de veiligheid van het materiaal (Chang et al, 2011).

Biologische eigenschappen

In verschillende calculturen *in vitro* en in diermodellen *in vivo* is aangetoond dat de cytotoxiciteit van MTA laag is en dus de biocompatibiliteit hoog (Osorio et al, 1998, Andelin et al, 2003). Het materiaal wordt ook beschouwd als niet mutageen en niet genotoxisch (Ribeiro et al, 2006). Het kan genezing van parodontaal weefsel tot aan regeneratie bevorderen, met als voorbeeld de vorming van wortelcement op het oppervlak van het materiaal (Al-Daafas en Al-Nazhan, 2007). Bismutoxide lijkt ook niet te interfereren met de biocompatibiliteit van het materiaal, ook al heeft dat zelf geen positieve invloed op celgroei en -proliferatie (Camilleri et al, 2004; Camilleri et al, 2005b). Na verloop van tijd lijkt de biocompatibiliteit van MTA echter te verminderen. Dit zou erop kunnen wijzen dat de biocompatibiliteit geassocieerd is met de afgifte van calciumhydroxide (Camilleri et al, 2004).

Het blijkt dus dat MTA een gunstige biologische activiteit uitoefent, vooral door het vermogen om de groei van een laag wortelcement over het oppervlak van het materiaal te induceren als het wordt geplaatst op de grens tussen worteloppervlak en alveolair bot, zoals ter hoogte van een perforatie of bij de vulling van de wortelpunt (Hakki et al, 2012). Meerdere histologische onderzoeken toonden eenduidig aan dat MTA in vergelijking met andere materialen (zoals amalgaam of IRM) de beste weefselrespons stimuleert (Torabinejad et al, 1998; Hakki et al, 2012).

Vermoedelijk gerelateerd aan de hoge pH kan er een dentinebrug gevormd worden tegen het materiaal na pulpa-overkapping. Het exacte mechanisme voor de vorming van dit tandweefsel is niet volledig begrepen. Een belangrijk verschil met cementen gebaseerd op calciumhydroxide is dat deze harde weefselbrug voorspelbaarder wordt gevormd (Nair et al, 2009).

Histologische onderzoeken naar behandelingen bij een vitale pulpa, waarbij de respons van de pulpa op verschillende overkappingsmaterialen werd geëvalueerd in cariës-vrije gebitselementen, zijn in het voordeel van MTA. Er werd een meer consistente vorming van de dentinebrug waargenomen en minder infiltratie van ontstekingscellen (Nair et al, 2009). Ook de klinische prognose van deze behandeling lijkt beter te zijn met MTA in vergelijking met andere materialen (Hilton et al, 2013; Li et al, 2015). De modificaties in de chemische samenstelling van de nieuwere HCSC's gaan soms ten koste van hun biocompatibiliteit en hun eigenschap om mineralisatie te bevorderen. Van sommige blijkt de *in vitro* toxiciteit, hoger te zijn dan van zowel MTA als een op epoxyhars gebaseerde sealer en het botvormend vermogen lager dan MTA (Loushine et al, 2011; Modareszadeh et al, 2012). Zelfs zonder deze bevindingen te extrapoleren naar hun klinische significantie, lijkt het logisch om vragen te stellen bij de vervanging van MTA door deze materialen, gezien hun hogere oplosbaar-

heid vergeleken met MTA en een lagere biocompatibiliteit vergeleken met de reeds uitvoerig onderzochte sealers op basis van epoxyhars.

Interactie met de omgeving

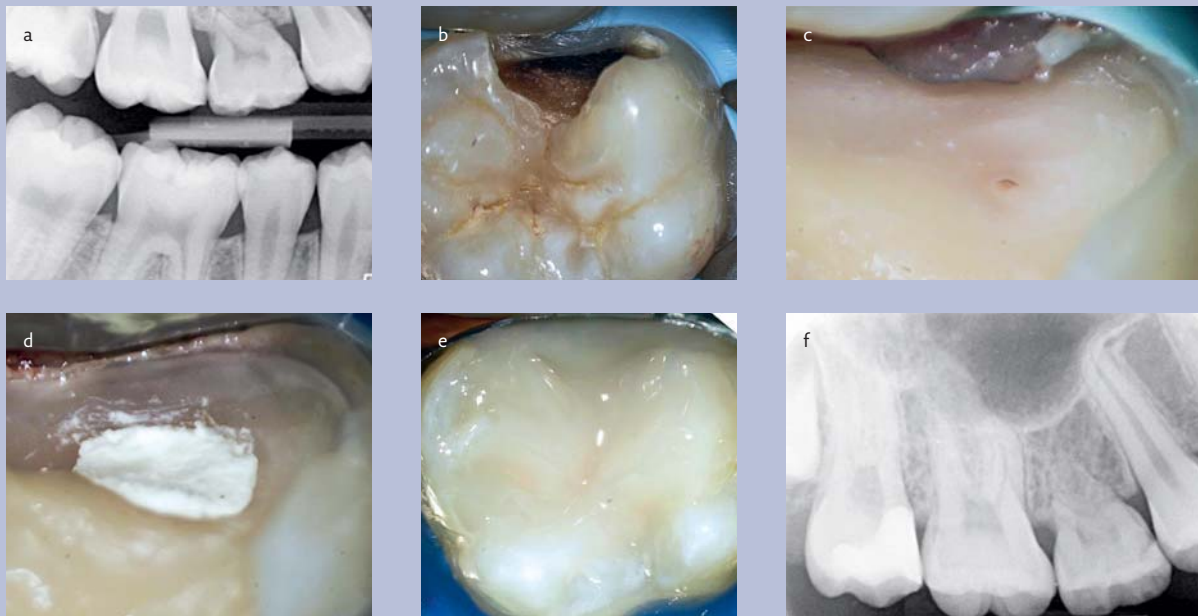
De veronderstelde bioactieve eigenschappen van HCSC-materialen en MTA worden door de producenten gebruikt om deze producten te promoten. Daarom is het noodzakelijk om te begrijpen waar dit concept om draait. Een bioactief materiaal is een materiaal dat een specifieke biologische activiteit kan uitlokken ter hoogte van het contactoppervlak met het milieu dat het omringt, resulterend in een binding met de omgevende weefsels (Hench, 1991). Dit is in tegenstelling tot een bio-inert materiaal dat biocompatibel is, maar geen of slechts minimale weefselreactie veroorzaakt. Het huidige concept van bioactiviteit wordt gebruikt om het direct contact en de interactie tussen botweefsels en biomaterialen te beschrijven, wat vaak neerkomt op de vorming van koolzuurhoudend apatiet op het materiaaloppervlak (Tay et al, 2007). Dergelijke bioactieve eigenschappen werden voor MTA aangetoond onder specifieke omstandigheden, ook al zijn de resultaten niet consistent (Torabinejad et al, 1998).

Het concept van bioactiviteit werd recent uitgebreid naar de interactie tussen biomaterialen en dentine. Dit is gebaseerd op de resultaten van *in vitro*-onderzoeken die de depositie van koolzuurhoudend apatiet op het oppervlak van HCSC's aantoonde (Sarkar et al, 2005). De sterk basische omgeving tijdens de uitharding van HCSC kan het collageen van het intertubulair dentine afbreken wat een poreuze structuur veroorzaakt waarin calcium-, carbonaat- en hydroxylionen zullen infiltreren (Atmeh et al, 2012). Dit proces wordt 'basisch etsen' genoemd, naar analogie met het werkingsmechanisme van etsen met zuur in de restauratieve tandheelkunde. Het basisch etsen resulteerde in de vorming van apatietrijke uitlopers die *in vitro* werden gezien in dentine tubuli op dunne coupes van gebitselementen. Er wordt verondersteld dat de aanwezigheid van deze neerslagen de afsluitende eigenschappen van het materiaal en zijn adhesie aan worteldentine verbetert (Reyes-Carmona et al, 2010). Verder onderzoek is nodig om deze 2 potentiële eigenschappen aan te tonen. Het synthetiseren van producten met biologische karakteristieken door middel van artificiële processen gelijkend op de natuurlijke, zoals verondersteld wordt met HCSC, kan gedefinieerd worden als een 'biomimetisch proces' (Schmitt, 1969).

Men moet zich wel realiseren dat de experimentele setup van *in vitro*-modellen die gebruikt worden om bioactiviteit van HCSC aan te tonen, niet vergelijkbaar is met *in vivo*-condities en dat deze metingen enkel werden uitgevoerd op relatief korte termijn en in extreme condities die ver van de klinische realiteit af staan. Het is ook niet duidelijk hoeveel koolzuurhoudend apatiet gevormd wordt en of dit het oplossen van het materiaal kan voorkomen of vertragen. Het is evenmin bekend of koolzuurhoudend apatiet zelf oplosbaar is. Deze cascade van reacties die de bioactiviteit van HCSC kenmerkt, kan echter niet plaats-

Casus 3. Directe pulpa-overkapping met HCSC

Patiënt:	Vrouw, 12 jaar.
Medische geschiedenis:	Geen bijzonderheden.
Behandelindicatie:	Verwezen voor behandeling van een asymptomatische cariës profunda van gebitselement 17 (afb. a en b). Intraoraal is er geen percussiepijn, geen palpatiepijn, mobiliteit klasse I. De patiënt reageert positief op koude test. Er is een pocket van 4 mm.
Diagnose:	Reversibele pulpitis.
Behandeling:	Volledige verwijdering van cariës met behulp van de microscoop (afb. b en c). Er was sprake van pulpa-exponatie zonder bloeding (afb. c). Een directe pulpaoverkapping vond plaats met MTA (afb. 3d). Een laag vloeibaar composiet (Tetric flow®) werd aangebracht over het MTA om wash-out en dislocatie van het materiaal te voorkomen tijdens de vulprocedure. Het gebitselement werd direct gerestaureerd met composiet (afb. e en f).
HCSC:	White ProRoot® MTA (WMTA).
Overwegingen:	De keuze om dit HCSC te gebruiken was gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek dat een beter histologisch en klinisch resultaat laat zien wanneer MTA werd gebruikt in vergelijking met andere materialen (Bogen et al, 2008; Nair et al, 2009; Mente et al, 2010; Hilton et al, 2013). Daarbij was de keuze ook gebaseerd op eigen onderzoek naar het klinische succespercentage van MTA bij gebruik in directe pulpaoverkappingen (Marques et al, 2015).



vinden in een omgeving met weefselvloeistof zonder of met een tekort aan fosfaat waar het materiaal uithardt (zoals in een ontzenuwd wortelkanaal). MTA hardt echter ook niet uit in aanwezigheid van gesimuleerde weefselvloeistof die fosfaten bevat (Camilleri et al, 2013). De juiste concentratie fosfaat in de weefselvloeistof lijkt dus van essentieel belang te zijn.

Een niet-ideale hoeveelheid vocht kan eveneens de uitharding van het materiaal veranderen, wat resulteert in een onvolledige uitharding in afwezigheid van voldoende vocht of in een hoge oplosbaarheid van het materiaal in geval van een teveel aan vocht (Fridland en Rosado, 2003).

Het uitharden van MTA in contact met bloed heeft een negatieve invloed op de hydratatiereactie zelf (Nekoofar et al, 2011). Bloed heeft ook een negatieve invloed op de oppervlaktehardheid, de microstructuur, de druksterkte en

de randaansluiting (Nekoofar et al, 2010a; Nekoofar et al, 2010b; Salem Milani et al, 2013). Wanneer MTA in contact komt met weefselvloeistoffen wordt de benodigde tijd voor uitharding verlengd en kan uitharding in bepaalde gevallen zelfs volledig onmogelijk zijn (Camilleri et al, 2013). Dit is klinisch een probleem, aangezien MTA meestal gebruikt wordt in situaties waar bloed en/of weefselvloeistoffen aanwezig zijn.

Restauratie van een met MTA behandeld gebitselement is ook niet zo eenvoudig, aangezien verschillende restauratiematerialen de uitharding en eigenschappen van MTA beïnvloeden en vice versa. Het bedekken van MTA met een glasionomeercement, bijvoorbeeld in het geval van een directe pulpa-overkapping, veroorzaakt ter plaatse van het contactoppervlak fysische veranderingen in de materialen. Water verdwijnt uit het MTA en wordt door het

glasionomeercement opgenomen. Hierdoor wordt de hydratatie van het MTA gehinderd en de porositeit verhoogd (Camilleri, 2011b). Er is overigens geen effect op de eigenschappen van het glasionomeercement. Eveneens heeft etsen met fosforzuur ongunstige effecten op de uitdruksterkte, de porositeit, de microhardheid en de druksterkte van MTA (Namazikhah et al, 2008; Kayahan, et al 2009; Shokouhinejad et al, 2010). Dit suggereert dat het beter zou zijn om restauratieve procedures uit te stellen om een meer gevorderde hydratatie van het cement toe te laten en het wash-out-effect tijdens het conditioneren van de cavititeit en het aanbrengen van het restauratiemateriaal te voorkomen.

Materiaalevolutie

De belangrijkste klinische nadelen geassocieerd met het gebruik van MTA zijn:

- De mogelijke toxiciteit van het materiaal veroorzaakt door lekkage van sporenelementen.
- Lekkage van bismutoxide en de gerelateerde verkleuring.
- Manipulatie van het materiaal.
- Uithardingstijd van MTA.
- Uitwassen van het materiaal, ofwel wash-out-effect.

Bovendien moet het materiaal, doordat het in een breed en divers toepassingsgebied wordt gebruikt, geschikt zijn voor verschillende specifieke klinische omstandigheden, wat ook voor problemen kan zorgen. De gemakkelijke inburgering van MTA door tandartsen, samen met de relatief goede biologische eigenschappen heeft ertoe geleid dat fabrikanten een keur aan op MTA gebaseerde materialen (de HCSC's) op de markt hebben gebracht. Deze zijn allen gebaseerd op de chemie van calciumsilicaten, met een breed toepassingsgebied en met als gehoopt doel verbeterde eigenschappen in vergelijking met MTA. Er is bijvoorbeeld getracht bovenstaande klinische nadelen op te lossen door de introductie van nieuwere materialen die gebaseerd zijn op tricalciumsilicaatcement. Dat is een puurder materiaal dan de afgeleiden van Portlandcement, omdat het volledig in een laboratorium wordt vervaardigd. Hierdoor spelen mogelijk nadelige effecten van sporenelementen geen rol meer. Het bismutoxide is in bepaalde materialen ook vervangen door alternatieve radiopakkers.

Sinds het verlopen van het originele patent op MTA een paar jaar geleden zijn er vele nieuwe producten ontwikkeld en op de markt gebracht. HCSC's zijn er daarom tegenwoordig in vele vormen, waarbij elk materiaal specifieke eigenschappen bezit. HCSC's worden in populair jargon vaak bestempeld als 'bioceramics' ofwel biokeramieken. Deze naamgeving is echter incorrect, aangezien er binnen de groep van keramieken een breder scala aan materialen bestaat dan alleen calciumsilicaatcementen. Materialen gebaseerd op calciumsulfaat, zoals Cavit®, behoren bijvoorbeeld ook tot de familie van keramische materialen. Bovendien is het gebruik van het voorvoegsel 'bio' verwarrend en misleidend. De meeste HCS-materialen bevatten namelijk een grote hoeveelheid toevoegingen met eigen-

schappen die verre van biocompatibel zijn. Bovendien moet de bioactiviteit van deze materialen vooralsnog nog *in vivo* worden aangetoond.

Beschrijvingen en voorbeelden van specifieke MTA-gerelateerde producten zijn gegeven bij de klinische casussen 1 tot en met 4. Het is belangrijk er notie van te nemen dat de fysicochemische en biologische eigenschappen van MTA niet zomaar kunnen worden geëxtrapoleerd naar deze nieuwe materialen, aangezien hun chemische samenstelling, ondanks de aanwezigheid van HCSC, verschilt van die van MTA.

Vermindering van toxiciteit

Om de toxische effecten door lekkage van sporenelementen te verminderen, zijn nieuwere HCSC's ontwikkeld, die zijn vervaardigd uit puur tricalciumsilicaat. Tricalciumsilicaat is een puurder materiaal dan Portlandcement, omdat het volledig in een laboratorium wordt vervaardigd. Hierdoor spelen mogelijk nadelige effecten van sporenelementen geen rol meer. Deze nieuwere HCSC-materialen bestaan uit tricalciumsilicaat met een radiopaker, en bevatten dus niet de aluminaatfase die wel aanwezig is in Portlandcement. Aluminium wordt geassocieerd met de ziekte van Alzheimer en daarom wordt het nog nauwelijks gebruikt in biomaterialen (Forbes en McLachlan, 1996). Het eerste materiaal dat aan deze zorg gehoor gaf was MTA Bio®, gevolgd door Biodentine® en Bioaggregate®. De hydratatie van tricalciumsilicaat is gelijk aan die van Portlandcement (Camilleri, 2011c). Andere materialen die ook gebaseerd zijn op tricalciumsilicaat zijn de wortelkanaalsealers Bioroot RCS® en EndoSequence® BC Sealer™.

Alternatieve radiopakkers tegen verkleuring

Omdat bismutoxide verkleuring veroorzaakt, hebben sommige fabrikanten alternatieve radiopakkers toegevoegd aan hun HCSC-formuleringen, bijvoorbeeld zirkoniumdioxide. Dit lijkt een valide oplossing om de verkleuring van gebits-elementen behandeld met HCSC's te minimaliseren, maar het zal verkleuring niet helemaal voorkomen (Keskin et al, 2015). In Biodentine®, Bioroot RCS® en EndoSequence® BC Sealer™ wordt zirkoniumdioxide gebruikt en in Bioaggregate® tantalumoxide.

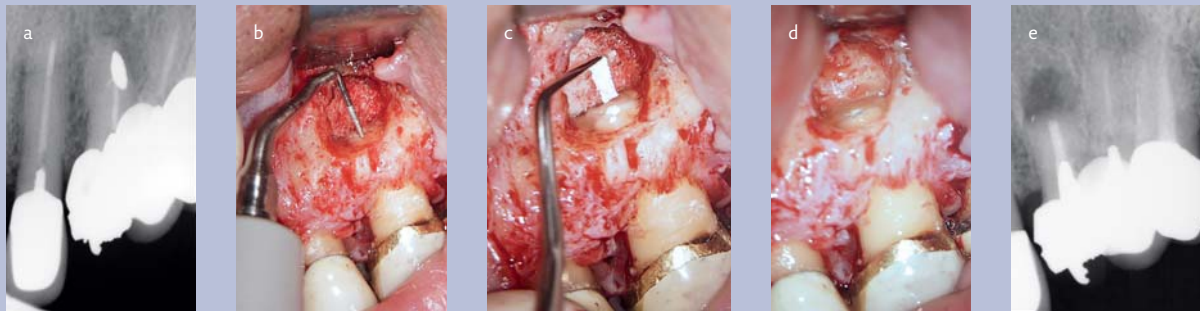
Alternatieve radiopakkers onderzocht voor gebruik in HCSC's die resulteren in een radiopaciteit van meer dan 3 mm aluminium zijn goudpoeder, zilver-tinlegering, bariumsulfaat, loodoxide, bismutsubnitraat, bismutcarbonaat en calciumtungstaat (Húngaro Duarte et al, 2009; Camilleri en Gandolfi, 2010).

Manipulatie van het materiaal

Een veelgehoorde klacht bij het gebruik van MTA is de lastige manipulatie van het materiaal. Het materiaal is korrelig, de water/poederverhouding luistert zeer nauw en het materiaal is lastig op de goede plaats aan te brengen. Modificaties betreffen vooral de consistentie en de methode van aanbrengen met als doel het HCSC geschikt te maken voor specifieke indicaties (zie casus 1, 2 en 4). Afhankelijk

Casus 4. Endodontische apicale microchirurgie met een HCSC als retrograde vulling

Patiënt:	Man, 60 jaar.
Medische geschiedenis:	Geen bijzonderheden.
Behandelindicatie:	Wortelkanaalbehandeling van gebitselement 23 20 jaar geleden en een chirurgische behandeling 10 jaar geleden met amalgaam als retrograad vulmateriaal (afb. a). De patiënt heeft 6 maanden geleden een zwelling met een fistel ontwikkeld.
Diagnose:	Pijnlijke apicale parodontitis met fistel.
Behandeling:	Apicale chirurgie. Na toediening van anesthesie werd er een triangulaire flap gelicht. De resectie werd gelokaliseerd en gecorrigeerd met een hoek van 0-10°. Er werd geen fractuurlijn gevonden. Het wortelkanaal werd met behulp van ultrasonie apparatuur 7 mm in diepte gereinigd (afb. b). Na reiniging van de retropreparatiecaviteit door middel van NaOCl en fysiologisch serum werd een HCSC retrograde vulling aangebracht (afb. c-e). Hechtingen met nylon 6/0 werden na 1 week verwijderd.
HCSC:	EndoSequence® RRM™ (Root Repair Material).
Overwegingen:	De keuze voor dit HCSC was gebaseerd op de gebruiksvriendelijke applicatie van het materiaal, de verlengde verwerkingstijd en de mogelijkheid het materiaal, zonder voorbereiding, direct aan te brengen. Er is nog onvoldoende literatuur aanwezig met betrekking tot de fysicochemische eigenschappen en het klinische gedrag in vergelijking met de meer conventionele materialen zoals IRM en MTA. Een enkel onderzoek demonstreert een vergelijkbare genezing met cementumdepositie zoals wordt gezien bij MTA (Chen et al, 2015).



van deze indicatie kunnen de materialen beschikbaar zijn in bijvoorbeeld spuitjes of capsules. Wortelkanaalsealer MTA Fillapex® bijvoorbeeld, is beschikbaar in een spuit en bevat een kunstharzmatrix op basis van salicylaten die de verwerkbaarheid voor deze indicatie gemakkelijker maakt. De consistentie van het materiaal kan ook worden aangepast door de toevoeging van propyleenglycol aan de mengvloeistof (Holland et al, 2007; Duarte et al, 2012). Toevoeging van wateroplosbare polymeren komt de verwerkbaarheid ook ten goede (Camilleri en Mallia 2011). Bovendien verhoogt het wateroplosbare polymeer de vloeibaarheid van het materiaal, wat het geschikt maakt voor het gebruik als wortelkanaalsealer (Camilleri en Mallia 2011). Voorbeelden van materialen waaraan wateroplosbare polymeren zijn toegevoegd om de verwerkbaarheid te verbeteren zijn Biodentine® en Bioroot RCS®. Aangezien de dragers watervrij zijn, zijn deze materialen afhankelijk van vocht aanwezig op de plaats van uitharden, om de hydratatie-reactie te kunnen laten plaatsvinden. Dit in tegenstelling met de klassieke poedervorm, die worden gemengd met water. Deze benadering van het materiaal vereist een substantiële hoeveelheid vocht op de plek waar het wordt aangebracht, en het risico bestaat dat de drager zich gedraagt als een barrière tussen vocht en calciumsilicaat, waardoor

de hydratatiereactie niet plaats kan vinden. Het gebruik van specifieke dragers kan bovendien effect hebben op de eigenschappen van HCSC's. Hierover is nog weinig bekend.

Uithardingstijd van MTA

Vanwege de relatief lange initiële uithardingstijd van het originele MTA, zou een tweede afspraak nodig zijn indien de behandelaar wil wachten tot de oppervlakkige uitharding van het materiaal bewerkstelligd is. Dit is een klinisch probleem dat door de wetenschap en de industrie op verschillende wijzen is getracht op te lossen. Een reductie van de uithardingstijd kan worden bereikt door de toevoeging of uitsluiting van bepaalde componenten van het materiaal, zolang dit geen effecten zou hebben op de eigenschappen zoals biocompatibiliteit of sterkte.

Bij de productie van Portlandcement en MTA wordt de verhardingstijd bewust vertraagd door het vermalen van het cement met gips (calciumsulfaat). In een experimenteel materiaal, waarbij het gips werd weggelaten, resulteerde dat in een snel uithardend materiaal zonder de andere eigenschappen te beïnvloeden (Camilleri, 2008b). MTA Angelus® is een commercieel beschikbaar product dat minder gips bevat en daardoor sneller uithardt.

Chloride blijkt zowel een versnellend als een vertragend

effect hebben op de uithardingstijd, afhankelijk van de gebruikte concentratie. Biodentine® bijvoorbeeld bevat calciumchloride, wat helpt bij de verlaging van de uithardingstijd.

Lichthardende HCSC's combineren lichthardende kunst-harsen en tricalciumsilicaatpartikels. Deze materialen zijn geïntroduceerd in een poging een biomimetisch proces te induceren waarbij caries dentine wordt geremineriseerd dankzij lekkage van calciumionen uit het HCS- gedeelte van het materiaal (Gandolfi et al, 2011). Hierbij is gepoogd een materiaal te creëren wat snel en makkelijk te appliceren is, dankzij de 'command cure' en de prettige verwerkbaarheid. Een typische indicatie voor deze materialen is het te gebruiken als overkappingsmateriaal voor directe pulpaoverkappingen (Cannon et al, 2014).

De versimpelde manipulatie van deze lichthardende HCSC's, evenals hun potentie een directe afsluiting te bewerkstelligen belooft veel goeds. De lichthardende kunst-harsen maken een snelle uitharding mogelijk, waardoor de sterkte snel toeneemt en de wash-out wordt voorkomen. Het blijkt echter dat de hydratatie van de tricalciumsilicaat-partikels sterk verminderd is. Hierdoor is ook de calciumafgifte verminderd, met als consequentie minder bioactiviteit gerelateerd aan het tricalciumsilicaat (Formosa et al, 2013a). Het blijkt inderdaad dat als de matrix van het materiaal veranderd wordt, de hydratatie van tricalciumsilicaat wordt beïnvloed (Formosa et al, 2013a; Camilleri, 2014b). Dit was bijvoorbeeld het geval met Theracal LC®. Bij dit materiaal was geen goede hydratatie mogelijk vanwege de beperkte diffusie van vocht binnen het materiaal, en hierdoor was er ook geen afgifte van calciumhydroxide. De effectiviteit van deze nieuwe overkappingsmaterialen zou uiteindelijk onderzocht moeten worden in klinische onderzoeksopzetten waarbij ze vergeleken worden met de klassieke MTA.

Wash-out-effect

Het wash-out-effect, zoals hierboven beschreven, is een serieuze beperking van sommige HCSC's. De langzame uitharding van het materiaal, gecombineerd met de neiging tot desintegratie bij contact met (weefsel)vloeistoffen kan zelfs leiden tot de volledige verdwijning van het materiaal, wat klinisch nog wel eens wordt gezien. Sommige fabrikanten hebben anti-wash-out-gels ontwikkeld, om te gebruiken in plaats van water tijdens het mixen. De toevoegingen in deze gels kunnen echter het hydratatieproces beïnvloeden en daarmee de eigenschappen van het materiaal (Formosa et al, 2013b). Toevoegingen zoals chitosan, natriumalginaat en gemodificeerd zetmeel zijn toegevoegd aan een gelijkaardige groep van materialen, namelijk de calciumfosfaatcementen (CPC's) in een poging hun reologische eigenschappen te verbeteren en daarmee de wash-out te verminderen. Het is aangetoond dat deze toevoegingen de uitwassing sterk verminderden en de uithardingstijd verkortten, maar helaas beïnvloedden ze ook de druksterkte negatief en verminderden ze de groei van hydroxyapatiet-kristallen (Takechi et al, 1998; Wang et al, 2007). Het is daarom verstandig om verder onderzoek af te wachten voordat de klinische toepassing van specifieke HCSC's met gere-

duceerde uithardingstijden gezien kan worden als een goed alternatief om de wash-out te voorkomen.

Klassieke MTA versus ander materiaal

Er zijn onderzoeken uitgevoerd die de klinische en röntgenologische slagingspercentages van MTA vergeleken met andere groepen wortelkanaalvulmaterialen. Alhoewel het lijkt dat bij directe pulpaoverkappingen MTA enkele voordelen heeft in vergelijking met conventionele op calciumhydroxide gebaseerde producten, lijkt er een overeenkomstig slagingspercentage te zijn wanneer wordt gekeken naar chirurgische retrograde afsluiting met MTA en goedkopere materialen zoals IRM® of Super EBA™ (Chong et al, 2003; Lindeboom et al, 2005; Hilton et al, 2013; Song en Kim 2012). Aangaande het repareren van perforaties is het inmiddels geaccepteerd dat gebruik van het MTA leidt tot bevredigende resultaten (Mente et al, 2014).

Er is wetenschappelijk bewijs beschikbaar waaruit blijkt dat het behandelingsucces van een directe pulpaoverkapping met MTA gelijk is aan, zo niet groter dan, met op calciumhydroxide gebaseerde materialen (Hilton et al, 2013). Met betrekking tot andere HCSC's zoals gebruikt in de casussen, is er meer tijd nodig om genoeg klinisch bewijsmateriaal te verzamelen voor een vergelijking met de klinische succespercentages van conventionele materialen.

Conclusie

HCSC's representeren een grote familie van materialen die gebruikt worden in de endodontologie. MTA, als het eerste HCSC in de moderne tandheelkunde, is uitgebreid bestudeerd en bezit bewezen gunstige eigenschappen wanneer het gebruikt wordt in diverse toepassingen zoals pulpaoverkappingen, apexresecties en apexificaties. Met de introductie van nieuwe HCSC-materialen wordt het materiaal vriendelijker in gebruik, maar dit gaat soms ten koste van de biocompatibiliteit, de stabiliteit en het biologisch gedrag. Er is tijd nodig om genoeg wetenschappelijke onderbouwing te verkrijgen voordat deze materialen als valide alternatief voor MTA kunnen dienen.

Literatuur

- * Al-Daafas A, Al-Nazhan S. Histological evaluation of contaminated furcal perforation in dogs' teeth repaired by MTA with or without internal matrix. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 103: e92-99.
- * Andelin WE, Shabahang S, Wright K, Torabinejad M. Identification of hard tissue after experimental pulp capping using dentin sialoprotein (DSP) as a marker. *J Endod* 2003; 29: 646-650.
- * Atmeh AR, Chong EZ, Richard G, Festy F, Watson TF. Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. *J Dent Res* 2012; 91: 454-459.
- * Bogen G, Kim JS, Bakland LK. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: an observational study. *J Am Dent Assoc* 2008; 139: 305-315.
- * 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.

- * Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. Dent Mater 2005a; 21: 297-303.
- * 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 2005b; 38: 834-842.
- * Camilleri J. Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. Int Endod J 2007; 40: 462-470.
- * Camilleri J. Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. Int Endod J 2008a; 41: 408-417.
- * Camilleri J. The physical properties of accelerated Portland cement for endodontic use. Int Endod J 2008b; 41: 151-157.
- * Camilleri J, Gandolfi MG. Evaluation of the radiopacity of calcium silicate cements containing different radiopacifiers. Int Endod J 2010; 43: 21-30.
- * Camilleri J. Evaluation of the effect of intrinsic material properties and ambient conditions on the dimensional stability of white mineral trioxide aggregate and Portland cement. J Endod 2011a; 37: 239-245.
- * Camilleri J. Scanning electron microscopic evaluation of the material interface of adjacent layers of dental materials. Dent Mater 2011b; 27: 870-878.
- * Camilleri J. Characterization and hydration kinetics of tricalcium silicate cement for use as a dental biomaterial. Dent Mater 2011c; 27: 836-844.
- * Camilleri J, Mallia B. Evaluation of the dimensional changes of mineral trioxide aggregate sealer. Int Endod J 2011; 44: 416-424.
- * Camilleri J, Formosa L, Damidot D. The setting characteristics of MTA Plus in different environmental conditions. Int Endod J 2013; 46: 831-840.
- * Camilleri J. Color stability of white mineral trioxide aggregate in contact with hypochlorite solution. J Endod 2014a; 40: 436-440.
- * Camilleri J. Tricalcium silicate cements with resins and alternative radiopacifiers. J Endod 2014b; 40: 2030-2035.
- * Cannon M, Gerodias N, Viera A, Percinoto C, Jurado R. Primate pulpal healing after exposure and TheraCal application. J Clin Pediatr Dent 2014; 38: 333-337.
- * Chang SW, Baek SH, Yang HC, et al. Heavy metal analysis of ortho MTA and ProRoot MTA. J Endod 2011; 37: 1673-1676.
- * Charland T, Hartwell GR, Hirschberg C, Patel R. An evaluation of setting time of mineral trioxide aggregate and EndoSequence root repair material in the presence of human blood and minimal essential media. J Endod 2013; 39: 1071-1072.
- * Chen I, Karabucak B, Wang C, et al. Healing after root-end microsurgery by using mineral trioxide aggregate and a new calcium silicate-based bioceramic material as root-end filling materials in dogs. J Endod 2015; 41: 389-399.
- * 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: 520-526.
- * Dammaschke T, Gerth HU, Züchner H, Schäfer E. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. Dent Mater 2005; 21: 731-738.
- * Duarte MA, Alves de Aguiar K, Zeferino MA, et al. Evaluation of the propylene glycol association on some physical and chemical properties of mineral trioxide aggregate. Int Endod J 2012; 45: 565-570.
- * Eldeniz AU, Hadimli HH, Ataoglu H, Ørstavik D. Antibacterial effect of selected root-end filling materials. J Endod 2006; 32: 345-349.
- * El-Ma'aita AM, Qualtrough AJ, Watts DC. The effect of smear layer on the push-out bond strength of root canal calcium silicate cements. Dent Mater 2013; 29: 797-803.

- * Forbes WF, McLachlan DR. Further thoughts on the aluminum-Alzheimer's disease link. J Epidemiol Community Health 1996; 50: 401-403.
- * Formosa LM, Mallia B, Camilleri J. The chemical properties of light- and chemical-curing composites with mineral trioxide aggregate filler. Dent Mater 2013a; 29: e11-19.
- * Formosa LM, Mallia B, Camilleri J. A quantitative method for determining the antiwashout characteristics of cement-based dental materials including mineral trioxide aggregate. Int Endod J 2013b; 46: 179-186.
- * Fridland M, Rosado R. Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. J Endod 2003; 29: 814-817.

De volledige literatuurlijst bij dit artikel is beschikbaar op de website.

Summary

Endodontics in motion: new concepts, materials and techniques 1. Hydraulic Calcium Silicate Cements

Hydraulic Calcium Silicate Cements (HCSCs) constitute a group of materials that have become increasingly popular in endodontics since the introduction of Mineral Trioxide Aggregate (MTA) in the 1990s. MTA is Portland cement to which bismuth oxide has been added to increase its radiopacity. The most important property of MTA is its capacity to set in water or a humid environment. However, MTA also has important limitations, for example, it's difficult to work with and can discolour teeth. Recently, numerous products based on HCSC chemistry, which can be considered as modifications of MTA intended to reduce its limitations, have become available on the market. Despite their potential advantages, all of these materials have their own specific limitations that are currently insufficiently known and investigated.

Bron

A.T. Moizadeh¹, L. Jongsma², D. de Groot-Kuin¹, R. Cristescu³, J. Neiryck¹, J. Camilleri⁴

Uit de afdelingen ¹Endodontologie en ²Materiaalwetenschappen van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam (ACTA), een ³zelfstandig gevestigd endodontoloog te Amsterdam en uit ⁴ het Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dental Surgery, van de University of Malta, Malta.

Datum van acceptatie: 6 juni 2015

Adres: A.T. Moizadeh, ACTA, Gustav Mahlerlaan 3004, 1081 LA Amsterdam
a.moizadeh@acta.nl

Dankwoord

De auteurs bedanken Miguel Marques Seruca en Carlos Aznar Portoles voor de opbouwende discussie en voor het verschaffen van casussen 3 en 4.

Verantwoording casussen

De aan dit artikel toegevoegde casussen hebben tot doel de klinische toepassing van verschillende vormen van huidig beschikbare HCSC's te illustreren, in plaats van het resultaat van de behandeling of de overwegingen waarom voor een bepaald materiaal is gekozen te bediscussieren. Aannames aangaande de effectiviteit van een bepaald materiaal of bepaalde techniek moeten nooit gemaakt worden op basis van casusbeschrijvingen, om die reden zijn er ook geen follow-up röntgenfoto's toegevoegd. De beslissing van de clinicus om voor een bepaald materiaal te kiezen werd genomen op basis van de overtuiging van een betere uitkomst door de betere verwerkbaarheid van het materiaal in vergelijking tot MTA.