



**University of  
Zurich**<sup>UZH</sup>

**Zurich Open Repository and  
Archive**

University of Zurich  
University Library  
Strickhofstrasse 39  
CH-8057 Zurich  
[www.zora.uzh.ch](http://www.zora.uzh.ch)

---

Year: 2004

---

## **Indikationsbereiche von MTA, eine Übersicht. Teil 1: chemische, physikalische und biologische Eigenschaften von MTA**

Schönenberger Göhring, K ; Lehnert, B ; Zehnder, Matthias

Other titles: Indications for use of MTA, a review. Part 1: Chemical, physical and biological properties of MTA

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-2580>

Journal Article

Originally published at:

Schönenberger Göhring, K; Lehnert, B; Zehnder, Matthias (2004). Indikationsbereiche von MTA, eine Übersicht. Teil 1: chemische, physikalische und biologische Eigenschaften von MTA. Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin SMfZ, 114(2):143-153.

# Indikationsbereiche von MTA, eine Übersicht

## Teil 1: Chemische, physikalische und biologische Eigenschaften von MTA

Kathrin Schönenberger Göhring<sup>1,2</sup>, Birgit Lehnert<sup>1</sup>  
und Matthias Zehnder<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Station für Endodontie, Klinik für Präventivzahnmedizin,  
Parodontologie und Kariologie, Zahnmedizinisches Zentrum  
der Universität Zürich

<sup>2</sup> Praxis für Endodontologie, Färberstrasse 35, 8008 Zürich

Schlüsselwörter: Dichtigkeit, Zytotoxizität, Biokompatibilität

Korrespondenzadresse:  
Dr. Kathrin Schönenberger Göhring  
Praxis für Endodontologie  
Färberstrasse 35  
CH-8008 Zürich

E-Mail: [kathrin.schoenenberger@zzmk.unizh.ch](mailto:kathrin.schoenenberger@zzmk.unizh.ch)

(Texte français voir page 149)

### Einleitung

Die Exposition der Pulpa zur Mundhöhle führt zu pulpalen und periapikalen Pathologien. Im Tiermodell konnte beobachtet werden, dass unter keimfreien Bedingungen keine solchen Läsionen entstehen (KAKEHASHI et al. 1965; MÖLLER et al. 1981). Das Ausmass einer Pulpaentzündung steht auch beim Menschen in direkter Relation mit der Penetrationstiefe der Mikroorganismen in kariösen Läsionen (REEVES & STANLEY 1966). Periapikale Veränderungen traumatisierter Zähne treten nur auf, wenn das avitale Pulpagewebe infiziert wird, nicht jedoch wenn dieses keimfrei bleibt (SUNDQVIST 1994). Heute steht ausser Zweifel, dass Mikroorganismen und deren Abbauprodukte die Hauptursache für pathologische pulvale und periapikale Veränderungen sind (KAKEHASHI et al. 1965; MÖLLER et al. 1981; SUNDQVIST 1994).

Gemäss eines der höchsten Prinzipien der Medizin, «primum nil nocere» (Hippocrates, 460–335 v.Chr.), sollte auch in der Zahnmedizin versucht werden, gesundes Gewebe möglichst

Mineral Trioxid Aggregat (MTA) ist ein vor wenigen Jahren in die Zahnmedizin eingeführtes Material. Es wird zum Verschluss von Perforationen, als retrogrades Füllmaterial bei Wurzelspitzenresektionen, zum orthograden Verschluss weit offener Apices und zur direkten Pulpaüberkappung verwendet. In dieser Literaturübersicht wird auf physikalische, chemische und biologische Eigenschaften von MTA eingegangen. Studien haben gezeigt, dass das Abdichtungsvermögen von MTA besser ist als dasjenige bisher verwendeter Materialien, wie IRM®, Amalgam und teilweise Super-EBA®. MTA weist sowohl eine geringe Zytotoxizität als auch eine gute Biokompatibilität auf. In-vivo-Studien konnten zeigen, dass MTA sowohl die pulpo-dentale als auch die parodontale Regeneration fördert. Obwohl prospektive klinische Vergleichsstudien noch fehlen, darf MTA auf Grund der heute vorliegenden Literatur als sehr gut geeignetes Material zum dichten Verschluss von Zahnhartgewebe zum Parodont angesehen werden. Auch zur direkten Pulpaüberkappung scheint MTA ausserordentlich geeignet zu sein.

gesund zu erhalten und von der krankheitserregenden Ursache, in diesem Falle den Mikroorganismen der oralen Flora, abzugrenzen. Kommt es bei Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum durch ein Trauma oder Karies zur Pulpaexposition und sind keine Zeichen einer irreversiblen Pulpitis vorhanden, soll die Exposition verschlossen werden, da im vitalen Pulpagewebe nur wenige Bakterien zu erwarten sind (LANGELAND 1987). Das Penetrieren von Bakterien soll ebenfalls verhindert werden, wenn Kommunikationen zwischen Wurzelkanalsystem und Parodont bestehen, indem diese mit restaurativen Materialien dicht verschlossen werden. Da solche Materialien in direktem Kontakt mit vitalem Gewebe stehen, müssen sie biokompatibel sein und sollten eine Regeneration des umgebenden Gewebes ermöglichen (SELTZER et al. 1970). Dasselbe gilt für Retrofüllungsmaterialien zum apikalen Verschluss bei Wurzelspitzenresektionen.

In der Vergangenheit wurden viele verschiedene Materialien zum Perforationsverschluss und als apikale Füllungsmaterialien

verwendet. Dazu gehören Amalgame, zinkoxideugenohaltige Zemente wie Super-EBA® (Harry J. Bosworth Co., Skokie, IL) und IRM® (Intermediate Restorative Material, L. D. Caulk Co., Milford, DE), Caviti® (ESPE, Seefeld, D), Komposit und Glasionomerezemente. Nachteile dieser Materialien sind mangelndes Abdichtungsvermögen (Leakage), Toxizität und/oder Empfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeit (TORABINEJAD et al. 1993). Mineral Trioxide Aggregat (MTA) ist ein Derivat von Portlandzement, das an der Universität von Loma Linda in Kalifornien als Retrofüllungsmaterial und zum Verschluss von Perforationen entwickelt wurde. Das Mineral Trioxide Aggregat ist als ProRoot® MTA Dental Cement (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, CH) im Handel erhältlich. Ursprünglich war MTA ein graues Material (Abb. 1). Seit Herbst 2002 ist jedoch nur noch weisses MTA im Handel erhältlich (Abb. 2). Es handelt sich dabei um weissen Portlandzement mit einem hohen Anteil an Wismutoxid (20%). Zurzeit liegen erst wenige wissenschaftliche Publikationen bezüglich weissem MTA vor. Falls im Text nicht speziell erwähnt, wurden die im Folgenden aufgeführten Studien mit dem originalen, grauen Material durchgeführt. MTA wurde 1993 erstmals in der zahnmedizinischen Literatur erwähnt (HONG et al. 1993). Anfänglich waren nur Veröffentlichungen der Entwicklergruppe um Mahmoud Torabinejad verfügbar. Später wurden deren Ergebnisse auch von anderen Forschergruppen weitgehend bestätigt.



Abb. 1 Herkömmliche Verpackung des grauen ProRoot® MTA Dental Cements (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, CH)

Fig. 1 Emballage traditionnel du ProRoot® MTA Dental Cement de couleur grise (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suisse)



Abb. 2 Neue Verpackung des weissen ProRoot® MTA Dental Cements (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, CH)

Fig. 2 Nouvel emballage du ProRoot® MTA Dental Cement de couleur blanche (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suisse)

Die Indikationen für den Einsatz von MTA werden immer mehr erweitert, beispielsweise als Verwendung zur direkten Pulpaüberkappung (EIDELMAN et al. 2001), so dass mit einer vermehrten Anwendung von MTA auch in der Privatpraxis zu rechnen ist.

Ziel dieser Literaturübersicht soll es sein, die Materialeigenschaften von MTA genauer darzustellen (Teil 1), und die Anwendung von MTA in der zahnärztlich-endodontischen Klinik anhand einiger Fallbeispiele zu erläutern (Teil 2).

## Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften von MTA

MTA ist ein Derivat von Portlandzement, also eines Bauzementes, und hat ähnliche chemische Eigenschaften (MITCHELL et al. 1999; TORABINEJAD et al. 1995b). Die Hauptbestandteile sind Trikalziumsilikat, Trikalziumaluminat, Kalziumoxid und Siliziumoxid. Daneben sind in MTA einige andere mineralische Oxide enthalten. Zur Erhöhung der Radioopazität wurde Wismutoxid beigefügt. MTA entspricht 6,4 mm Aluminium und ist damit röntgendichter als Dentin (0,7 mm Al), jedoch weniger röntgendicht als Super-EBA® (9,9 mm Al), IRM® (9,3 mm Al), Guttapercha (11,0 mm Al) oder Amalgam (15,6 mm Al) (LAGHIOS et al. 2000).

MTA alias ProRoot® ist ein Pulver (Abb. 3). Es wird mit destilliertem Wasser im Mischverhältnis 3:1 (1 g MTA: 0,35 g H<sub>2</sub>O) angemischt. Das Pulver besteht aus feinen hydrophilen Partikeln. Unter Wasseraufnahme entsteht ein kolloidartiges Gel, welches innerhalb 2½ bis 3 Stunden aushärtet und danach nicht mehr löslich ist (DEAL et al. 2002; LEE et al. 1993; TORABINEJAD et al. 1995b).

MTA hat nach dem Anmischen einen pH-Wert von 11. Dieser steigt innerhalb von drei Stunden auf pH 12,5 und bleibt mindestens während 22 Stunden unverändert (DEAL et al. 2002; TORABINEJAD et al. 1995b). Ursächlich dafür ist wohl das im MTA enthaltene Kalziumoxid (MINANA et al. 2001), das mit Gewebeflüssigkeit zu Kalziumhydroxid reagiert. Der pH-Wert von MTA entspricht demnach demjenigen von Kalziumhydroxid (TRONSTAD et al. 1980). Ob MTA allerdings, wie eine wässrige Kalziumhydroxidpaste, als Langzeitdepot von Hydroxidionen wirkt, ist bisher nicht untersucht.

Die Abbindezeit von MTA beträgt durchschnittlich 2 h 45 min (TORABINEJAD et al. 1995b). Dies ist wesentlich länger als diejenige von Amalgam, Super-EBA® oder IRM®. Die lange Abbinde-



Abb. 3 Graues, bzw. weisses MTA-Pulver und destilliertes Wasser in der mitgelieferten Ampulle

Fig. 3 Poudre MTA de couleur grise, respectivement blanche, et eau distillée dans l'ampoule pré-conditionnée, livrée dans l'emballage

zeit von MTA wird von einigen Autoren als Nachteil gesehen, da es ausgewaschen werden und umliegende Gewebe irritieren könne (ABDULLAH et al. 2002). Die Abbindezeit von MTA kann durch das Beimischen von Kalziumchlorid ( $\text{CaCl}_2$ ) verkürzt werden, was bei einem experimentellen, schnell abbindenden MTA, dem so genannten Fast-Set MTA, zu einer durchschnittlichen Abbindezeit von nur 17 Minuten führte (DEAL et al. 2002). Eine verkürzte Abbindezeit könnte jedoch eine grössere Material schrumpfung mit sich bringen, die das Abdichtungsvermögen des Materials negativ beeinflussen könnte. Studien zu diesem Thema stehen noch aus.

Die Druckfestigkeit von MTA nach 24 Stunden beträgt 40 MPa und ist damit signifikant kleiner als die von IRM<sup>®</sup> (52 MPa), Amalgam (313 MPa) oder Super-EBA<sup>®</sup> (60 MPa) (TORABINEJAD et al. 1995b). Nach 21 Tagen erreicht MTA durchschnittliche Kompressionsfestigkeiten von 67 MPa, die im Bereich von Zinkoxid-Eugenolzementen liegen (Super-EBA<sup>®</sup>: 78 MPa, IRM<sup>®</sup>: 57 MPa). MTA ist somit für okklusal belastete Füllungen nicht geeignet. Da Retrofüllungsmaterialien oder Materialien zum Verschluss von Perforationen keinem direkten Kaudruck standhalten müssen, sollte die niedrige Druckfestigkeit keinen negativen Einfluss auf diese Indikationen haben.

In einem Versuch wurde die Kraft gemessen, die notwendig war, um Perforationsverschlüsse aus MTA aus der Position zu bringen. 72 Stunden nach dem Anmischen war die aufzubringende Kraft sowohl bei feuchter (6,3 lb) als auch bei trockener (9,7 lb) Lagerung signifikant höher als 24 Stunden nach dem Anmischen (feuchte Lagerung 2,2 lb, trockene Lagerung 2,6 lb). Die Abbindezeit scheint somit nach 24 Stunden noch nicht komplett abgeschlossen zu sein (SLUYK et al. 1998).

### Dichtigkeit und marginale Adaptation in vitro

Das Abdichtungsvermögen von Retrofüllungsmaterialien wurde durch Penetrationsversuche mit Farbstoffen und Radioisotopen, elektrochemisch, rasterelektronenmikroskopisch und mithilfe der Flüssigkeitsfiltration untersucht. Die erste in der zahnmedizinischen Literatur veröffentlichte Studie bezüglich MTA untersuchte die Dichtigkeit von MTA, IRM<sup>®</sup> und Amalgam beim Verschluss von Perforationen mittels Penetration von Methyleneblau (LEE et al. 1993). Die lineare Farbstoffpenetrationstiefe war bei MTA signifikant geringer als bei den Vergleichsmaterialien. Das Über- oder Unterfüllen der Perforation mit MTA beeinflusste das Abdichtungsvermögen sehr wenig. In einer neueren Studie konnte mittels Flüssigkeitsfiltrationsverfahren keine signifikant bessere Abdichtung von Perforationen durch MTA im Vergleich zu Super-EBA<sup>®</sup> gefunden werden (WELDON et al. 2002).

Die erste Leakagestudie von MTA als Retrofüllungsmaterial erschien 1993 (TORABINEJAD et al. 1993). Hierbei konnte mit einem Farbstoffpenetrationstest gezeigt werden, dass MTA eine bessere marginale Adaptation aufweist als Super-EBA<sup>®</sup> und Amalgam. Neuere Studien bestätigen, dass MTA als Retrofüllungsmaterial besser abdichtet als Amalgam (WU et al. 1998; YATSUSHIRO et al. 1998) sowie als Super-EBA<sup>®</sup> und IRM<sup>®</sup> (MARTELL & CHANDLER 2002; TORABINEJAD et al. 1995g).

Bei Kontamination der Retropräparationen mit Blut zeigten IRM<sup>®</sup> und Super-EBA<sup>®</sup> zu 100% Leakage, währenddessen bei MTA nur etwa ein Viertel der Retrofüllungen undicht waren (TORABINEJAD et al. 1994). Nach fünfjahresäquivalenter Belastung im Kausimulator zeigten MTA-Retrofüllungen eine bessere Randadaptation als Amalgam und auch als Super-EBA<sup>®</sup> (PETERS & PETERS 2002). Auch hohe pH-Werte, wie sie nach

Applikation einer Kalziumhydroxideinlage im Dentin gemessen werden, scheinen die Dichtigkeit von MTA nicht zu beeinflussen (HACHMEISTER et al. 2002). Bei tieferen pH-Werten stieg das Abdichtungsvermögen von MTA sogar an (ROY et al. 2001).

Bei Leakageversuchen mit Mikroorganismen schnitt MTA besser ab als Vergleichsmaterialien (FISCHER et al. 1998; NAKATA et al. 1998; Torabinejad et al. 1995f). Neben der sehr guten marginalen Adaptation, welche durch die leichte Expansion bedingt sein könnte, wird ein antibakterieller Effekt von MTA diskutiert (HONG et al. 1993).

Es gibt jedoch auch Studien, bei denen MTA nicht besser abdichtete als Vergleichsmaterialien wie Amalgam ohne Dentinbonding, Komposit mit Dentinbonding, Super-EBA<sup>®</sup> oder Geristore<sup>®</sup> (ADAMO et al. 1999; BATES et al. 1996; SCHEERER et al. 2001). Eine weitere Studie ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Materialien Super-EBA<sup>®</sup>, Clearfil Liner Bond 2<sup>®</sup> und MTA, jedoch signifikante Unterschiede von MTA zu Amalgam und IRM<sup>®</sup> (FOGEL & PEIKOFF 2001).

Zusammenfassend kann zu den bislang veröffentlichten Leakage-Untersuchungen gesagt werden, dass MTA zumeist besser, jedoch nie schlechter als ein vergleichbares Material bewertet wurde.

### Antimikrobielle Eigenschaften

In Agardiffusionstests wurde die Hemmwirkung von Dispersalloy<sup>®</sup>, Sybraloy<sup>®</sup>, Super-EBA<sup>®</sup>, Zinkoxideugenol und MTA in frisch angemischtem und abgebundenem Zustand auf fakultative und strikt anaerobe Bakterien untersucht. Beide Amalgame zeigten sowohl frisch angemischt als auch nach dem Abbinden keinen antibakteriellen Effekt auf die getesteten Bakterien. Dies steht im Gegensatz zu anderen Untersuchungen (GLASSMAN & MILLER 1984; ØRSTAVIK 1985; SCHERRER et al. 1989; TOBIAS et al. 1988). MTA zeigte frisch und abgebunden eine antibakterielle Wirkung auf einige fakultativ anaerobe Bakterien, jedoch keinen Effekt auf strikt anaerobe Bakterien, wie sie bei apikaler Parodontitis vorherrschen (SUNDQVIST 1994). Zinkoxideugenol und Super-EBA<sup>®</sup> hatten einen schwachen Effekt auf beide Bakteriengruppen. Insgesamt zeigten aber keine der Testmaterialien unter den Versuchsbedingungen eine stark antibakterielle Wirkung (TORABINEJAD et al. 1995d).

### Mutagenität und Zytotoxizität

Materialien, die mit Gewebe in Kontakt kommen, müssen biokompatibel sein und sollten keine Zytotoxizität und Mutagenität aufweisen (GARTNER & DORN 1992). IRM<sup>®</sup>, Super-EBA<sup>®</sup> und MTA zeigten im Ames Tests (STANFORD 1980) kein mutagenes Potenzial (KETTERING & TORABINEJAD 1995).

Im Agar-Overlay-Test waren frisch angemischtes und abgebundenes Amalgam signifikant weniger toxisch als MTA, Super-EBA<sup>®</sup> und IRM<sup>®</sup>. Demgegenüber zeigte MTA bei Anwendung der Radiochromium-Methode signifikant weniger Toxizität als alle anderen getesteten Materialien (TORABINEJAD et al. 1995e).

Osorio und Mitarbeiter untersuchten die Zytotoxizität der Wurzelkanalzemente Endomet<sup>®</sup>, CRCS<sup>®</sup> und AH26<sup>®</sup> und der Retrofüllungsmaterialien Amalgam, Gallium GF2, Ketac Silber<sup>®</sup>, MTA und Super-EBA<sup>®</sup> auf Mausfibroblasten (L-929) und auf menschliche Gingiva-Fibroblasten (OSORIO et al. 1998). Alle verwendeten Materialien ausser MTA wirkten zytotoxisch auf die untersuchten Zellen. In dieser Studie erzeugten Amalgam



und Super-EBA® viel stärkere Reaktionen als in einer Studie, in der Affen-Nierenzellen mit einem Agarose-Overlay-Assay untersucht wurden (BRUCE et al. 1993). In einer weiteren Untersuchung, bei der menschliche Osteosarkomzellen verwendet wurden, erschienen die Zellen in Kontakt mit IRM® nach 1 und 3 Tagen rund und dünn gesät (KOH et al. 1998), was auf die Zytotoxizität des im Material enthaltenen Eugenols zurückzuführen ist (HUME 1984). Zellen, die mit MTA kultiviert wurden, waren zahlreich und adhären am Material, was ein Zeichen für gute Biokompatibilität ist. Als zytotoxische Effekte von MTA, Super-EBA® und Amalgam in verschiedenen Konzentrationen auf menschliche Fibroblasten des Parodonts untersucht wurden, konnte gezeigt werden, dass MTA, unabhängig von der Konzentration, weniger zytotoxisch war als Super-EBA® (KEISER et al. 2000). Menschliche Osteoblasten zeigten auf Komposit und MTA nach 24 Stunden eine Adhäsion, eine normale Zellmorphologie und Teilungsaktivität. Auf Amalgam und IRM® war die Osteoblastenadhäsion schlechter. Die Zellen waren teilweise rund und teilten sich nur wenig (ZHU et al. 2000). In einer kürzlich erschienen Studie wurden die zytotoxischen Effekte von MTA, Portlandzement und schnellabbindendem Portlandzement (Beimischung von Kalziumchlorid) mit derjenigen von Glasionomermzement verglichen. Glasionomermzement war signifikant weniger zellfreundlich als die anderen Materialien, zwischen denen keine Unterschiede gefunden wurden (ABDULLAH et al. 2002). Weitere Studien sind notwendig, um zu untersuchen, ob die Abbindezeit von MTA verkürzt und gleichzeitig seine erwünschten Materialeigenschaften beibehalten werden können.

### Biokompatibilität: Histologische Studien

Bei der Implantation von MTA, Amalgam, Super-EBA® und IRM® in Tibia und Mandibula von Meerschweinchen löste MTA die mildeste Entzündungsreaktion aus (TORABINEJAD et al. 1998). In 60% der Fälle wurden bei MTA histologisch keine Entzündungszeichen festgestellt (TORABINEJAD et al. 1995c). Es soll in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben, dass steriler Portlandzement im oben erwähnten Meerschweinchenversuch genau gleich gut abschnitt wie MTA (SAIDON et al. 2003). Diese kürzlich veröffentlichte Studie hat der Idee, Portlandzement als preiswerte Alternative zu MTA zu verwenden, weiter Vorschub geleistet.

Nach Applikation von MTA als «Apical Plug» am Hundemodell mit apikaler Parodontitis konnten nach neun Wochen histologisch und radiologisch kleinere apikale Läsionen als in der Kontrollgruppe beobachtet werden. Als Kontrollgruppen dienten Zähne, die mit einer Kalziumhydroxideinlage oder Wachstumsfaktoren (TGF- $\beta$ , IGF-1, PDGF) gefüllt wurden (TITTLE et al. 1996).

Bei der Implantation von mit grauem oder weissem MTA gefüllten Wurzelkanalscheiben ins subkutane Bindegewebe von Ratten wurde nach sieben und 30 Tagen mineralisiertes Gewebe in direktem Kontakt zum Dentin und MTA beobachtet. Die Autoren schlossen daraus, dass das Resultat und der Wirkungsmechanismus von weissem und grauem MTA sehr ähnlich sei (HOLLAND et al. 2001; HOLLAND et al. 2002).

Bei Verwendung als Retrofüllungsmaterial in vivo konnte histologisch eine Zementneubildung sowohl über dem Dentin der resezierten Wurzel als auch über dem MTA gezeigt werden (PITT FORD et al. 1995; TORABINEJAD et al. 1995a; TORABINEJAD et al. 1997). Diese Zementschicht ging grenzenlos in diejenige auf dem resezierten Dentin über. Es wurden parallele Inkrementli-

nien und Zellen in der Zementschicht beobachtet; Bindegewebsfasern inserierten teilweise an der Zementoberfläche. APAYDIN et al. (2002) verglich histomorphometrisch in einem Versuch an Beagle-Hunden die Häufigkeit der Zementneubildung und die Menge neu gebildeten Zementes über resezierten Wurzeln, die entweder frisches oder abgebundenes MTA enthielten. Die Zementneubildung über resezierten Wurzeln, die bereits vor der Resektion mit in der Zwischenzeit abgebundenem MTA gefüllt waren, war kleiner als wenn die Retropräparation intraoperativ mit frisch angemischtem MTA gefüllt wurden (APAYDIN et al. 2002). Es scheint also, dass frisch angemischtes MTA auf Zement stärker induktiv wirkt als abgebundenes MTA. In 75% der Fälle kam es aber auch hier zur Zementneubildung. Die Zementogenese über MTA ist ein Phänomen, das bei anderen Retrofüllungsmaterialien nicht gefunden wurde. Neben der unsicheren Quelle der Zementbildung ist auch unklar, warum Zement auf MTA gebildet wird. Ob MTA durch seine geringe Zytotoxizität eine Zementbildung einfach besser zulässt als andere Materialien oder ob die Zementsynthese aktiv induziert wird ist nicht geklärt. Das gute Abdichtungsvermögen, die hohe Biokompatibilität oder der stark basische pH-Wert von MTA beim Abbinden könnten dabei eine Rolle spielen. In-vitro-Studien zeigten, dass MTA die Freisetzung von Zytokinen in Knochenzellen stimulieren kann (KOH et al. 1997; MITCHELL et al. 1999). Dies deutet darauf hin, dass MTA die Bildung von Hartgewebe aktiv induzieren kann. Diese Hartgewebsbildung scheint nicht über die Induktion einer Koagulationsnekrose wie beim Kalziumhydroxid zu laufen (FARACO & HOLLAND 2001). Es ist durchaus denkbar, dass MTA, wie bioaktives Glas, die Kalzium-Phosphat-Präzipitation mittels einer Erhöhung der Siliziumkonzentration im unmittelbaren Umfeld fördert (KANGASNIEMI et al. 1993).

### Abschliessende Bemerkungen

Die Aussagekraft einzelner In-vitro-Studien, aber auch von Untersuchungen im Tiermodell, ist nur beschränkt. Obwohl die meisten der hier zitierten Studien dafür sprechen, dass MTA ein sehr gutes Material zur Versorgung von Perforationen, apikalen Retro-Präparationen, aber auch Pulpaeröffnungen darstellt, können definitive Aussagen über den klinischen Wert dieses Materials erst gemacht werden, wenn prospektive klinische Studien zum Thema vorliegen. Da diese noch weitgehend fehlen, müssen wir uns auf Fallberichte und kleinere klinische Studien berufen. Im zweiten Teil dieser Arbeit soll die klinische Anwendung von MTA erläutert und anhand einiger Fallbeispiele gezeigt werden.

### Abstract

Mineral trioxide aggregate is a recently introduced dental material. It may be used to seal perforations, make retrograde fillings in root-end resections, seal open apices, or cap vital pulps. In this review of the literature, physical, chemical, and biologic properties of MTA are discussed. Studies have suggested that MTA provides a better seal than formerly used materials such as IRM®, amalgam, and Super-EBA®. Further, MTA has low cytotoxicity and excellent biocompatibility. In vivo studies demonstrated a beneficial effect of MTA on pulpal and periodontal regeneration. Although controlled randomized clinical trials are still missing, MTA appears to be a suitable material to tightly seal dental hard tissues from the periodontium, or to cap the exposed pulp.

## Literatur

- ABDULLAH D, PITT FORD T R, PAPAIOANNOU S, NICHOLSON J, McDONALD F: An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material. *Biomaterials* 23: 4001–4010 (2002)
- ADAMO H L, BURUIANA R, SCHERTZER L, BOYLAN R J: A comparison of MTA, Super-EBA, composite and amalgam as root-end filling materials using a bacterial microleakage model. *Int Endod J* 32: 197–203 (1999)
- APAYDIN E S, SHABAHANG S, TORABINEJAD M: Hard tissue healing following fresh and set MTA as root end filling material. *J Endod* 28: 252, Abstract (2002)
- BATES C F, CARNES D L, DEL RIO C E: Longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod* 22: 575–578 (1996)
- BRUCE G R, MC DONALD N J, SYDISKIS R J: Cytotoxicity of retrofill materials. *J Endodon* 19: 288–292 (1993)
- DEAL B F, WENCKUS B R, JOHNSON B R, FAYAD M I: Chemical and physical properties of MTA, Portland cement, and a new experimental Material, Fast-Set MTA. *J Endod* 28: 252, Abstract (2002)
- EIDELMAN E, HOLAN G, FUKS A B: Mineral trioxide aggregate vs. formocresol in pulpotted primary molars: a preliminary report. *Pediatr Dent* 23: 15–18 (2001)
- FARACO I M, HOLLAND R: Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dental traumatology* 17: 163–166 (2001)
- FISCHER E J, ARENS D E, MILLER C H: Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material, and Super-EBA as a root-end filling material. *J Endod* 24: 176–179 (1998)
- FOGEL H M, PEIKOFF M D: Microleakage of root-end filling materials. *J Endodon* 27: 456–458 (2001)
- GARTNER A H, DORN S O: Advances in endodontic surgery. *Dent Clin North Am* 36: 357–378 (1992)
- GLASSMAN M D, MILLER I J: Antibacterial properties of one conventional and three high-copper dental amalgams. *J Prosthet Dent* 52: 199–203 (1984)
- HACHMEISTER D R, SCHINDLER W G, WALKER W A, 3RD, THOMAS D D: The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *J Endod* 28: 386–390 (2002)
- HOLLAND R, DE SOUZA V, NERY M J, FARACO JUNIOR I M, BERNABE P F, OTOBONI FILHO J A, DEZAN JUNIOR E: Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tube filled with mineral trioxide aggregate, Portland cement or calcium hydroxide. *Braz Dent J* 12: 3–8 (2001)
- HOLLAND R, SOUZA V, NERY M J, FARACO JUNIOR I M, BERNABE P F, OTOBONI FILHO J A, DEZAN JUNIOR E: Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with a white mineral trioxide aggregate. *Braz Dent J* 13: 23–26 (2002)
- HONG C U, TORABINEJAD M, KETTERING J D: The effects of three retrofilling materials on selected oral bacteria. *J Endodon* 19: 200, Abstract (1993)
- HUME W R: Effect of eugenol on respiration and division in human pulp, mouse fibroblasts and liver cells in vitro. *J Dent Res* 63: 1262–1265 (1984)
- KAKEHASHI S, STANLEY H, FITZGERALD R: The effect of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol* 20: 340–349 (1965)
- KANGASNIEMI I M, VEDEL E, DE BLICK-HOGERWORST J, YLI-URPO A U, DE GROOT K: Dissolution and scanning electron microscopic studies of Ca,P particle-containing bioactive glasses. *J Biomed Mater Res* 27: 1225–1233 (1993)
- KEISER K, JOHNSON C C, TIPTON D A: Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *J Endodon* 288–291 (2000)
- KETTERING J D, TORABINEJAD M: Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod* 21: 537–542 (1995)
- KOH E T, TORABINEJAD M, PITT FORD T R, BRADY K, McDONALD F: Mineral trioxide aggregate stimulates a biologic response in human osteoblasts. *J Bone Min Res* 35: 432–439 (1997)
- KOH E T, McDONALD F, PITT FORD T R, TORABINEJAD M: Cellular Response to Mineral Trioxide Aggregate. *J Endodon* 24: 543–547 (1998)
- LAGHIOS C D, BENSON B W, GUTMANN J L, CUTLER C W: Comparative radiopacity of tetracalcium phosphate and other root-end filling materials. *Int Endod J* 33: 311–315 (2000)
- LANGELAND K: Tissue response to dental caries. *Endod Dent Traumatol* 3: 149–171 (1987)
- LEE S J, MONSEF M, TORABINEJAD M: Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 19: 541–544 (1993)
- MARTELL B, CHANDLER N P: Electrical and dye leakage comparison of three root-end restorative materials. *Quintessence Int.* 33: 30–34 (2002)
- MINANA M, CARNES D L, JR., WALKER W A, 3RD: PH changes at the surface of root dentin after intracanal dressing with calcium oxide and calcium hydroxide. *J Endod* 27: 43–45 (2001)
- MITCHELL P J, PITT FORD T R, TORABINEJAD M, McDONALD F: Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials* 20: 167–173 (1999)
- MÖLLER A J, FABRICIUS L, DAHLÉN G, OHMAN A E, HEYDÉN G: Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys. *Scand J Dent Res* 89: 475–484 (1981)
- NAKATA T T, BAE K S, BAUMGARTNER J C: Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam using an anaerobic bacterial leakage model. *J Endod* 24: 184–186 (1998)
- ØRSTAVIK D: Antibacterial properties of and element release from some dental amalgams. *Acta Odontol Scand* 43: 231–239 (1985)
- OSORIO R M, HEFTI A, VERTUCCI F J, SHAWLEY A L: Cytotoxicity of endodontic materials. *J Endod* 24: 91–96 (1998)
- PETERS C I, PETERS O A: Occlusal loading of EBA and MTA root-end fillings in a computer-controlled masticator: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J* 35: 22–29 (2002)
- PITT FORD T R, TORABINEJAD M, MCKENDRY D J, HONG C U, KARIYAWASAM S P: Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Padiol Endod* 79: 756–763 (1995)
- REEVES R, STANLEY H R: The relationship of bacterial penetration and pulpal pathosis in carious teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Padiol Endod* 22: 59–65 (1966)
- ROY C O, JEANSONNE B G, GERRETS T F: Effect of an acid environment on leakage of root-end filling materials. *J Endod* 27: 7–8 (2001)
- SAIDON J, HE J, ZHU Q, SAFAVI K, SPÄNGBERG L S: Cell and tissue reactions to mineral trioxide aggregate and Portland cement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 95: 483–489 (2003)
- SCHREER S Q, STEIMAN H R, COHEN J: A comparative evaluation of three root-end filling materials: an in vitro leakage study using *Prevotella nigrescens*. *J Endod* 27: 40–42 (2001)

- SCHERRER W, LIPPMAN N, KAIM J: Antimicrobial properties of glass ionomer cements and other restorative materials. *Oper Dent* 14: 77–81 (1989)
- SELTZER S, SINAI I, AUGUST D: Periodontal effects of root perforations before and during endodontic procedures. *J Dent Res* 49: 332–339 (1970)
- SLUYK S R, MOON P C, HARTWELL G R: Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *J Endod* 24: 768–771 (1998)
- STANFORD J W: Recommended standard practices for biological evaluation of dental materials. Federation Dentaire Internationale, Commission of Dental Materials, Instruments, Equipment and Therapeutics. *Int Dent J* 30: 140–188 (1980)
- SUNDQVIST G: Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 78: 522–530 (1994)
- TITTLE K, FARLEY T, LINKHARDT M, TORABINEJAD M: Apical closure induction using bone growth factors and mineral trioxide aggregate. *J Endod* 22: 198, Abstract (1996)
- TOBIAS R S, RIPPIN J W, BROWNE R M, WILSON C A: A further study of antibacterial properties of dental restorative materials. *Int Endod J* 21: 381–392 (1988)
- TORABINEJAD M, WATSON T F, PITT FORD T R: Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod* 19: 591–595 (1993)
- TORABINEJAD M, HIGA R K, MCKENDRY D J, PITT FORD T R: Dye leakage of four root end filling materials: effects of blood contamination. *J Endod* 20: 159–163 (1994)
- TORABINEJAD M, HONG C U, LEE S J, MONSEF M, PITT FORD T R: Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endod* 21: 603–608 (1995a)
- TORABINEJAD M, HONG C U, McDONALD F, PITT FORD T R: Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 21: 349–353 (1995b)
- TORABINEJAD M, HONG C U, PITT FORD T R, KARIYAWASAM S P: Tissue reaction to implanted super-EBA and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: a preliminary report. *J Endod* 21: 569–571 (1995c)
- TORABINEJAD M, HONG C U, PITT FORD T R, KETTERING J D: Antibacterial effects of some root end filling materials. *J Endod* 21: 403–406 (1995d)
- TORABINEJAD M, HONG C U, PITT FORD T R, KETTERING J D: Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endod* 21: 489–492 (1995e)
- TORABINEJAD M, RASTEGAR A F, KETTERING J D, PITT FORD T R: Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod* 21: 109–112 (1995f)
- TORABINEJAD M, SMITH P W, KETTERING J D, PITT FORD T R: Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod* 21: 295–299 (1995g)
- TORABINEJAD M, PITT FORD T R, MCKENDRY D J, ABEDI H R, MILLER D A, KARIYAWASAM S P: Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endod* 23: 225–228 (1997)
- TORABINEJAD M, FORD T R, ABEDI H R, KARIYAWASAM S P, TANG H M: Tissue reaction to implanted root-end filling materials in the tibia and mandible of guinea pigs. *J Endod* 24: 468–471 (1998)
- TRONSTAD L, ANDREASEN J O, HASSELGREN G, KRISTERSON L, RIIS I: pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *J Endod* 7: 17–21 (1980)
- WELDON J K, JR., PASHLEY D H, LOUSHINE R J, WELLER R N, KIMBROUGH W F: Sealing ability of mineral trioxide aggregate and super-EBA when used as furcation repair materials: a longitudinal study. *J Endod* 28: 467–470 (2002)
- WU M K, KONTAKIOTIS E G, WESSELINK P R: Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endod* 24: 557–560 (1998)
- YATSUSHIRO J D, BAUMGARTNER J C, TINKLE J S: Longitudinal study of the microleakage of two root-end filling materials using a fluid conductive system. *J Endod* 24: 716–719 (1998)
- ZHU Q, HAGLUND R, SAFAVI K E, SPÄNGBERG L S W: Adhesion of Human Osteoblasts on root-end filling materials. *J Endodon* 26: 404–406 (2000)