译文

根管螯合作用新理念

Recent Concepts on Root Canal Chelation

Joyvaghela Dakshita, Amitsinha Ashish
原载 ENDO (Lond Engl), 2011, 5(3): 175-194.（英文）
陈晓丹 谭咏梅 译 赵望泓 审

摘 要

1957 年，Nygaard-Ostby 首次将螯合剂的概念引入牙体牙髓病学领域中，并推荐使用 15% EDTA 溶液。数年后，一种清洁剂被加入到 EDTA 溶液中以增强其清洁和杀菌的功能。从此，人们开始寻找理想的螯合剂，许多新的螯合剂被陆续运用到牙体牙髓病学领域中。本文回顾了螯合剂相关文献，对其化学和药理性能进行综述，并对其临床应用提出几点建议。

关键词 螯合剂；牙本质硬度；EDTA（乙二胺四乙酸）；玷污层

1 引言

螯合作用是指形成至少含有一个金属阳离子或氢离子的杂环化合物的化学过程。在此过程中，利用金属原子或离子与一个分子或离子中两个或多个位点结合所形成的惰性络合物来结合并稳定金属离子，以形成一个环状结构。简单来说，螯合剂就是一些能够通过自身两个或多个原子与金属形成配位键的有机化合物。螯合剂和金属所形成的化合物即称为螯合物。

1920 年，Gilbert T Morgan 和 HDK Drew 最早使用“螯合物”(chelate) 一词。“Chelate”源于希腊语“Chele”，意为“巨大的钳子”。Morgan 和 Drew 认为，“螯合物”源自龙虾或其他甲壳类动物的大钳子，类似于卡尺，即两部分固定于中央原子形成杂环而起作用。因此，由于这个环

译者单位 南方医科大学口腔医学院 南方医院口腔医院
广东省广州市广州大道北 1838 号 510515

状复合体的存在，螯合物是一种非常稳定的金属离子与有机物质结合的化合物。而这种稳定性则是由至少拥有一对自由电子以上的螯合剂和中央金属离子之间结合的结果。

1957年，Nygaard-Ostby首次将螯合剂的概念引入牙体牙髓病学领域中，并推荐使用15% EDTA溶液。数年后，一种清洁剂被加入到EDTA溶液中以增强其清洁和杀菌的功能。从此，人们开始寻找理想的螯合剂，许多新的螯合剂被陆续运用到牙体牙髓病领域中。

2 历史背景

由于毒气的使用，螯合剂在第一次世界大战期间即已被引入医学领域。二战后的1940年代，由于当时许多海军战士身中铅毒，作为铅螯合剂的EDTA开始用于医学用途。首次广泛应用的螯合剂——二巯基丙醇，在当时也被称为英国抗路易斯毒气剂（British anti-Lewisite）或简称为BAL，主要用于解除以砷为主的毒气，即Lewisite。而在牙体牙髓病学领域里，螯合剂可用于软化牙本质，疏通根管，也可用于清除根管预备时所形成的玷污层。1893年，Callahan建议使用硫酸（25%～50%）来疏通狭窄钙化的根管。其他酸类，如盐酸和硝酸也曾一度尝试被使用，但并未获得广泛应用。1953年，曾发现钙仅在pH 6～7.5间发生螯合作用的Nikiforuk和Sreebny报道了有机螯合剂在中性条件下对硬组织有脱矿作用。而这最早可追溯到1951年，当时已有人首次报道EDTA对牙体硬组织具有脱矿作用。1957年，Nygaard-Ostby首次将螯合剂引入牙体牙髓病学领域，同时推荐使用15%EDTA（pH7.3），配方如下：

- 乙二胺四乙酸二钠盐（17g）
- 蒸馏水（100ml）
- 5M氢氧化钠（9.25ml）

数年后，一种清洁剂被加入到EDTA溶液中以增强其清洁和杀菌的功能，1963年，Von der Fehr和Nygaard-Ostby命名该新配方为EDTAC。EDTAC是由EDTA和0.84g季铵化合物混合而成的，它可以降低冲洗液的表面张力，使其能更容易润湿整个根管内壁，从而增强螯合剂渗透牙本质的能力。起初，螯合剂在根管预备过程中是作为一种冲洗液来使用的。1969年，Stewart等曾介绍了RC-Prep（Premier Dental，Plymouth Meeting，PA，USA），这种最著名的糊状螯合剂。1978年，Kaufman等介绍了Salvizol这种螯合剂（Ravensburg，Konstanz，Germany），它含有5%溶解在丙二醇（pH6.6）中的氨基喹啉乙酸。2000年，Scelza等介绍了EDTA-T，含有17% EDTA和十二烷基硫酸钠（Tergentol）。

2002年，Ruddle等把一种具有高对比性的注射染料泛影钠加入到17%EDTA中，目的是使复杂的根管系统能被可视化。差不多同一时间，含有15% EDTA和10%过氧化脲的Glyde file(Dentsply Maillefer，Ballaigues，Switzerland）被开发，用于和次氯酸钠溶液联合使用，过氧化脲氧化释放出的氧气会形成气泡，更有利于清除牙本质碎屑和牙髓残留物。

近年研究证实，以四环素为基本成分的溶液由于其可发生螯合反应和具有长久抗菌活性的特点，被认为是一种良好的根管冲洗剂。人们已经注意到，盐酸多西环素能有效清除根管中部和根尖三分之一的玷污层，而这归功于其能形成pH值为2的酸性环境。Torabinejad及其同事发现柠檬酸、强力霉素和Tween 80（MTAD，Dentsply Tulsa Dental，Tulsa，OK，USA）的混合物可以消毒根管和去除玷污层，他们声称MTAD是生物相容性最高、能最有效去除玷污层和杀灭感染根管内细菌的材料。

由于能与次氯酸钠在最短时间内发生反应和具有与钙螯合的能力，1-羟基亚乙基-1，1双膦酸盐(HEBP)被证实可作为柠檬酸或EDTA的替代物。尽管液状和糊状剂型的EDTA在软化根管牙本质的能力上仍存有一定争议，但螯合剂现已成为根管预备的好帮手，尤其适用于狭窄和钙化的根管以及去除玷污层。

3 螯合作用的化学过程

螯合作用是一种在合适的反应化合物帮助下，能紧密地把一个金属离子结合在环状结构中的化学反应。金属离子在溶液里并不会处于游离状态，而是与配体（如溶剂分子或简单离子）或螯合基团结合在一起，从而产生复杂的离子或配位化合物。

Werner（1866-1919）扩展了之前以金属阳离子为中心的配体理论，提出了新的配位化合物理论（图1）。1913年，他因此而获得诺贝尔奖。螯合稳定性指的是溶液里某一化合物的稳定性，是指该化合物两种组分保持平衡状态时的关联程度。定性地说，关联程度越大，化合物的稳定性越高。

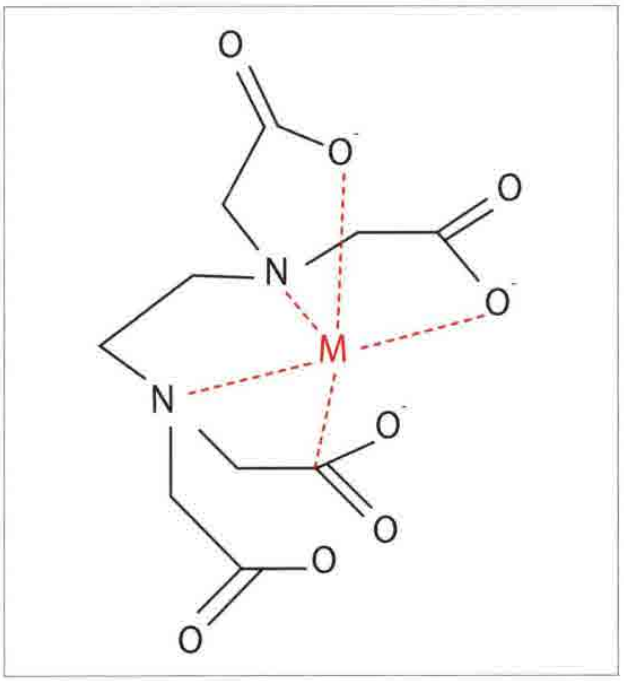

图1 EDTA和金属离子螯合作用示意图

4 牙体牙髓病学中的螯合作用

Nygaard-Ostby使用恒定溶解度原理来解释EDTA和其钠盐对牙体硬组织的脱矿作用。沉淀物中的离子会不断溶解入溶液里，同时，溶液里的离子也会不断沉淀为固体，因此在饱和盐溶液和沉淀之间会建立一种平衡关系。因此当盐溶液浓度保持不变时，在一定的温度下溶液离子浓度产物（溶度积）也保持稳定。

根据Nygaard-Ostby提出的理论，即使疏水的物质如牙本质，因其矿物成分主要是钙和磷酸盐，也是溶于水的。当EDTA钠盐加入到这一平衡体系里，钙离子就会从溶液里被清除，而这会导致牙本质内更多的离子被溶解以保持溶度积的恒定。钙和磷酸盐离子的摩尔浓度乘积在某一特定的温度下必须得等于一个常数，即溶度积常数，用“K”表示。螯合剂能与钙形成稳定的化合物。当所有可利用的离子都被结合，平衡会再次形成，不再发生新溶解。牙本质是由羟磷灰石构成，在以水为介质时，可按以下方式进行弱分解：

$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 \leftrightarrow 10Ca^{2+}+2OH^-$

在牙本质溶液中，钙和磷酸盐离子的溶解度很低，pKsp大约为115.2。当EDTA存在时，溶液中的钙离子被隔离，而为了满足溶度积，更多的羟基磷灰石会被分解：

$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 \leftrightarrow 10Ca^{2+}+6PO_4^{3-}+2OH^-$

+

EDTA

↓

EDTA-Ca

EDTA和钙离子会形成一种稳定的化合物，而牙本质分解反应会一直进行，直到再次达到平衡。这就是EDTA在中性环境时对牙本质作用的基础，同时由于EDTA的质子被Ca^{2+}置换，溶液的pH值会下降。螯合作用在中性环境下更容易发生，氢离子的增加能减少化合物的形成，pH值过低甚至会引起EDTA的质子化。而EDTA过多发生质子化会降低其脱矿作用。有报道指出，在较高的pH值环境中，由于溶液中电离分子与非电离分子比率提高，EDTA的螯合效能得到提高。这主要是因为在高pH值下，过多的羟离子会减慢羟基磷灰石的分解，从而限制了可利用的钙离子数量。相反，在低pH值或中性环境下，钙离子的结合会增加羟基磷灰石的分解和螯合作用发生的可能。EDTA的作用机制——质子化和螯合作用共存的关系能进一步解释这种现象。一旦在这两者间达成平衡，EDTA的作用就会受到自我限制。在中性环境下，大部分螯合剂的pH值接近中性。99%的EDTA是以EDTAH Na_3的形式存在。从化学的角度来说，两个共存的反应能被区分为化合反应和质子化作用。

$EDTAH^{3-}+Ca^{2+} \leftrightarrow EDTACa^{2-}+H$ （化合反应）

$EDTAH^{3-}+H \leftrightarrow EDTAH_2^{2-}$ （质子化反应）

氢原子与牙本质中的钙交换后会导致pH值下降。由于酸的释放，EDTA的效能会随时间逐渐降低，但另一方面，酸与羟基磷灰石的反应会影响牙本质的溶解度。因此，螯合剂可引起牙本质脱钙。

随着反应的进行，由于酸不断累积和EDTA质子化作用大量发生，脱矿的速度减慢。EDTA有4个羧基团，其分解过程可分为四步进行，而且每一步的分解都有自己的解离常数（pK），从第一步的$pK_1=2.0$到第四步的$pK_4=10.26$。因此，EDTA的分解可在一个很大的pH值范围内进行。脱矿过程会持续到所有螯合剂都与钙形成化合物为止。

5 不同类型的螯合剂

螯合剂可分为两类，例如依据：

（1）黏度（表1）。

（2）是否含有EDTA（表2）。

表 1 不同黏稠度的螯合剂

液状 / 水样	糊状 / 黏稠
有机和无机酸	Calcinase slide (Lege artis, Dettenhausen, Germany)
Calcinase (Lege artis, Dettenhausen, Germany)	RC-Prep (Premier-Dental, Norristown, PA,USA)
REDTA (Roth International, Chicago, USA)	Glydefile (Dentsply Maillefer, Ballaigues,Switzerland)
EDTAC (Formula & Acao Farmacia, Saõ Paulo, SP, Brazil)	File Care EDTA (VDW, Munich,Germany)
DTPAC (Sigma, St. Louis, MO,USA)	File-EZE (Ultradent, South Jordan, UT,USA)
EDTA-T (Formula & Acao Farmacia, Saõ Paulo, SP, Brazil)	HEBP (Zschimmer & Schwarz, Burgstadt, Germany)
EGTA(Sigma, St. Louis, MO,USA)	
Largal Ultra (Septodont, St.Maur-Des-Fossee-Cedex, France)	
Salvizol (Ravensberg, Konstanz, Germany)	
Decal (Veikko Auer, Helsinki, Finland)	
Tubulicid Plus (Dental Therapeutics, Nacka, Sweden)	
Hypaque (Amersham Health, Princeton, NJ, USA)	
MTAD (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK, USA)	

表 2 含 / 不含 EDTA 的螯合剂

含 EDTA	不含 EDTA
Calcinase (Lege artis, Dettenhausen, Germany)	有机酸和无机酸
EDTAC (Formula & Acao Farmacia, Saõ Paulo, SP, Brazil)	Salvizol (Ravensberg, Konstanz, Germany)
DTPAC (Sigma Chemical Company St. Louis, MO, USA)	MTAD (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK,USA)
REDTA (Roth International, Chicago, IL, USA)	HEBP (Zschimmer & Schwarz, Burgstadt, Germany)
EDTA-T (Formula & Acao Farmacia, Saõ Paulo, SP, Brazil)	
EGTA (Sigma, St. Louis, MO,USA)	
Largal Ultra (Septodont, St.Maur-Des-Fossee-Cedex,France)	
Decal (Veikko Auer, Helsinki, Finland)	
Tubulicid Plus (Dental Therapeutics, Nacka, Sweden)	
Hypaque (Amersham Health, Princeton, NJ,USA)	
Calcinase slide (Lege artis, Dettenhausen, Germany)	
RC-Prep (Premier-Dental, Norristown, PA,USA)	
Glyde file (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)	
File Care EDTA (VDW, Munich, Germany)	
File-EZE (Ultradent, South Jordan, UT,USA)	

6 有机酸和无机酸冲洗剂

1943 年，Grossman 提出用于根管治疗的无机酸应具有以下特性：

（1）清除障碍物，如髓石、第三期牙本质和断裂的器械。

（2）溶解根管内的牙髓组织。

（3）克服根管限制。

（4）扩大或疏通根管便于经根尖孔接触根尖周组织和封闭根管。

以下是已报道的使用酸的缺点：

（1）酸性物质有可能渗出根尖孔，刺激根尖周组织。

（2）降低牙体组织抗力。

1978 年，Tidmarsh 提出 50% 柠檬酸可以完全清除牙本质内的玷污层。Wayman 等也提出，在根管预备时按照 20% 柠檬酸——2.6% 次氯酸钠——10% 柠檬酸的顺序冲洗能达到很好的封闭效果。

6.1 Calcinase

Calcinase内含17% EDTA，NaOH稳定剂和蒸馏水，由Lege artis公司生产（Dettenhausen，Germany）。

6.2 EDTA（乙二胺四乙酸）

EDTA或乙二胺四乙酸是一种新型的用于络合金属离子的分子。它是一种多元酸，包含4个羧基基团和2个带孤对电子的氨基团。它可以乙二胺、甲醛和一种氰化物（如HCN或NaCN）为原材料进行大规模的工业化合成。EDTA的特殊之处在于它可以1:1的比例与金属离子螯合或络合来形成金属-EDTA化合物。

EDTA通过置换钠离子的方式与钙化组织发生作用，它通过与牙本质结合来使可溶性盐与溶解度较低的化合物中的钙离子发生交换。目前使用最广泛的螯合剂是EDTA，它是一种pH值为7.3的乙二胺四乙酸钠盐溶液，标准浓度的EDTA可去除100g钙中的10.6g。虽然它最初被引入牙体牙髓病领域内是利用其能软化根管内牙本质的作用来帮助预备钙化和狭窄的根管，但由于其也能去除玷污层，因而也被推荐作为一种有效的冲洗剂。Von der Fehr和Nygaard-Ostby提出把Cetavlon[十六烷基(三甲基)铵]和EDTA进行混合，并命名为EDTAC（Formula & Acao Farmacia，Saõ Paulo，SP，Brazil），同时进行商业销售。据称，EDTAC的作用有自限性，即使接触48h，溶解的牙本质深度也不超过50 μm。Stewart等曾把过氧化脲加入到EDTA里，与次氯酸盐联合使用后可产生泡沫，从而能把碎屑清除出根管。

RC-Prep（Premier-Dental，Norristown，PA，USA）正是这种混合液的商业化产品。虽然EDTA的表面张力相对较低，但是表面活性剂和消毒剂的添加能提高EDTA溶液去除表面玷污层的效果，有利于抗菌成分渗透入牙本质小管内，它的商品名是"Tubulicid"（Dental Therapeutics，Nacka，Sweden）。EDTA软化牙本质的效果在学术界仍存在争议。Von der Fehr和Nygaard-Ostby指出使用EDTAC 5min后，脱矿的深度在20～30 μm。Fromme等和Pawlicka对EDTA软化牙本质的效果进行了量化研究。颇具争议的是，Fraser提出在这三种不同的螯合剂中仅有一种具有软化效果，其中包括RC-Prep，研究发现它仅对冠部和中三分之一根管有效果，对根尖部则无效。之后对一种含有EDTA和溴棕三甲铵的液状螯合剂Largal Ultra（Septodont，St.Maur-Des-Fossee-Cedex，France）进行的研究结果进一步证实了以上结论。

后期研究结果表明，EDTA的脱矿作用是需要使用大量溶液与牙本质相接触才能发挥作用，而这种接触一般出现在宽根管的冠部，而非狭窄的根尖三分之一处。Wandelt在显微镜下并没找到根部牙本质的脱矿现象，因此同样对EDTA的软化效果提出了质疑。EDTA的作用有自限性，当牙本质的钙离子和螯合剂的钙离子之间达到平衡后脱矿作用就会停止。Goldberg和Spielberg证实了EDTA的脱矿效果与其接触的时间有关，接触15min后的脱矿效果最佳。虽然在接触5min后即可观察到螯合剂开始起作用，但仍建议延长接触时间以提高清洁效果。EDTA已被证实能有效清理根管壁。然而，这种清理能力在根管冠部和中部似乎更强。

研究表明，比起单独使用EDTA和次氯酸钠，这两种溶液的混合液（0.5%～5.25%）能更有效去除玷污层，同时还能增强抗菌性能。EDTA和超声波联合使用并不能增强EDTA的溶解能力。EDTA体外实验证实，当其渗漏到根尖周组织时，可抑制巨噬细胞的底物黏附性能，因此能减轻根尖周组织的炎性反应和促进其愈合。

6.3 REDTA

McComb和Smith发现，EDTA（商业产品为REDTA，Roth International，Chicago，USA）在根管内放置24h，其清理牙本质壁的效果最佳。Goldman和同事证实，单独使用次氯酸钠冲洗并不能去除玷污层，但与REDTA联合使用则可以。这个研究结果揭示了玷污层的组成成分，因为螯合剂仅能去除钙化组织，而次氯酸钠则可去除有机成分。REDTA是由17% EDTA和0.84g可减低表面张力的溴化十六烷基三甲铵（溴棕三甲铵）组成，同时还含有9.25ml 5M的NaOH和100ml蒸馏水。

6.4 EDTAC和DTPAC

Fehr和Nygaard-Ostby介绍了EDTAC，一种可减低表面张力和提高渗透能力的溴化季铵产品。EDTAC能提高渗透入牙本质小管、副根管和根尖孔的能力。EDTAC和DTPAC是EDTA（15%）和二乙基三胺五乙酸（DTPA）在pH值为8时的混合溶液。当在这两种100ml混合溶液里分别加

入0.75g清洁剂十六烷基三甲基溴化铵，即可得到两种新产品EDTAC和DTPAC（Sigma Chemical Company，St. Louis，MO，USA）。

6.5 EDTA-T

EDTA-T是由Formula和Acao Farmacia（Saõ Paulo，Brazil）生产。它含有17% EDTA和能减低表面张力的清洁剂月桂基乙醚硫酸钠（Tergentol）。

6.6 EGTA

EGTA是由Sigma公司（St. Louis，MO，USA）生产。它是一种以双乙二醇（双氨基乙醚）-N,N,N',N'-四乙酸为主要成分的螯合剂。据报道，与EDTA相比，它与钙结合的特异性更强。

6.7 Largal Ultra

Largal Ultra由Septodent公司(Paris，France)生产，含有15%二钠盐形式的EDTA、0.75%溴棕三甲铵和NaOH，并调整pH值为7.4。

6.8 Salvizol

这种根管螯合冲洗剂含有N1-十甲烯基-双-4-氨基喹啉-二醋酸，且pH值为6.6。Kaufman等提出，在中性环境下，Salvizol（Ravensberg，Konstanz，Germany）杀菌谱更广及与钙螯合能力更强。这使得产品具有生物相容性和在含有5%氨基喹啉二醋酸的丙二醇中有清洁效能。作者报道了数个使用双地喹氯铵醋酸（BDA）作为消毒剂和化疗药的成功案例，展现了其具有低毒性、润滑性、消毒性、低表面张力、良好螯合性能及术后疼痛率低的特点。

其中一篇报道指出，在对根尖三分之一清洁效果上，Salvizol优于次氯酸钠。当以Solvidont为品牌进行销售时（Dentsply/DeTrey，Ballaigues，Switzerland），马来西亚大学报道指出使用BDA冲洗根管可明显减轻术后疼痛。作者把这一效果归功于BDA能清除被细菌和污染物覆盖的玷污层的螯合特性以及能疏通器械无法到达的地方的表面活化性能。对次氯酸钠过敏的患者，BDA被推荐为一种良好的替代品。

6.9 Decal

Decal由Veikko Auer公司(Helsinki，Finland)生产，pH3.4，是由5.3%氧乙酸、4.6%氨氧乙酸和0.06%溴棕三甲铵组成，因此具有螯合特性和能利用酸性成分分解物质的能力。

6.10 Tubulicid Plus

Tubulicid Plus（Dental Therapeutics，Nacka，Sweden）含有1.5g两性霉素（38%），0.5g氯化苯甲烃铵、3g EDTA二钠二水物、pH7.3的磷酸盐缓冲液、100g蒸馏水和50%柠檬酸。这种溶液表面张力低，能更容易渗透入牙本质小管内。

6.11 Hypaque (Amersham Health，Princeton，NJ，USA)

Ruddle溶液是一种含有5%次氯酸钠、泛影葡胺和17%EDTA的试验性冲洗剂。在临床医学上，已经使用泛影葡胺这种具有高对照性可注射的染料进行血管造影、动脉造影、尿路造影和肾实质断层造影。泛影葡胺是一种包含两种碘盐、泛影酸和碘化钠的水溶液。它与次氯酸钠比重一样和具有水溶解性。它的pH值介于6.6～7.7，并且在室温下能稳定存在。至今在临床上，牙科仍未使用造影剂来观察根管系统。这种成分能同时提供三种功效：与次氯酸钠相当的溶解作用、可视性（因其透射性与牙胶相似）和增强的渗透性（因其具有表面张力活性剂作用可降低表面张力）。

在临床上，只要能完全进入髓室，溶液即会被冲进根管系统。溶液里的次氯酸钠成分会溶解牙髓组织和清除隐匿在根管系统内的内毒素和细菌。这种溶液会逐步溶解根管系统的内容物，以便有多余空间让溶液中的碘成分流进来。Endograms可用于观察病理情况，如龋坏、某些骨折、遗漏根管和渗漏修复。除此之外，Endograms也能协助临床医生处理内吸收问题，因为它可以标识内吸收的位置、大小和程度。所以在牙体牙髓非手术治疗方案中，Endograms在提高诊断的正确性、治疗计划的制订和医源性事故的处理中具有很大的优势。这种可视化的方法能帮助牙科医生制订最佳治疗方案和决定是否保留或拔除某一牙齿。作为清理根管系统最重要的化学物质，次氯酸钠和螯合剂都具有透射性，不能协助牙科医生从放射学上认识根管系统的解剖结构。因此，Ruddle溶液是临床牙体牙髓学上的一个突破。

6.12 MTAD：(BioPure MTAD；Dentsply Tulsa Dental，Tulsa，OK，USA)

MTAD据称是一种生物相容性良好的材料，可有效去除玷污层和清除感染根管里的细菌。这种冲洗剂含有3%盐酸强力霉素、4.25%柠檬酸和0.5%吐温80清洁剂（也叫聚山梨醇酯80，一种从山梨醇中提取的非离子化表面活性剂和乳化剂）。推荐使用方法为先使用低于1.3%的次氯酸钠冲洗20min，再使用MTAD冲洗5min。

Tay及其同事报道，当根管被1.3%次氯酸钠冲洗再用BioPure MTAD冲洗后，在光暴露下，经过处理的根管牙本质中有紫红色的物质形成。同时他们也观察到次氯酸钠和MTAD之间发生的是氧化还原反应，产生了紫红色的沉淀物，而这种紫红色的四环素降解产物与羟基磷灰石有很高的亲和力。

7 糊状螯合剂

这些螯合剂为凝胶状或糊状，被推荐用于根管预备的过程中，尤其是在使用旋转式钛镍（NiTi）器械时。但Peters等学者并未证实EDTA凝胶对有U形横切面的旋转器械预备根管时有任何帮助。

7.1 Calcinase slide

这种螯合剂为凝胶状，含有15%EDTA和58%～64%水，pH 8～9，能在临床使用中保持性质稳定(Lege artis，Dettenhausen，Germany)。与其他常用冲洗剂联合使用时无沉淀出现，而且凝胶状的形态使其能与水相溶，从而容易被冲洗出根管。由于具有触变性，在室温下能保持凝胶状态，而搅动后则成为乳脂状。因此它不仅能很好地黏附到器械上，并能在根管里很好地扩散，因此被推荐与次氯酸钠联合使用。

7.2 RC-Prep

RC-Prep（Premier-Dental，Norristown，PA，USA）由Stewart等研发（图2）。它以聚乙二醇为基质，含有15% EDTA和10%过氧化脲，非水溶性。过氧化脲与次氯酸钠反应时可释放出氧气，因此能轻易去除根管内的牙髓残留物和血凝块。乙二醇作为润滑剂，同时还能抑制过氧化脲氧化EDTA。它主要与次氯酸钠联合使用，由于次氯酸钠与RC-Prep中的过氧化脲反应具有发泡作用，从而能松解牙本质碎屑并使其易于被冲洗掉。然而，Zubriggen等学者报道即使在后续有冲洗和清洁的步骤，根管内仍有RC-Prep的残留。这就引发一个问题：残留在根尖封闭区的RC-Prep是否会有副作用。1976年，Cooke等学者证实RC-Prep使已封闭根管渗漏的可能性是对照组的2.6倍以上。

7.3 Glyde File-Prep

Glyde File-Prep（DeTrey Dentsply，Konstanz，Germany）是一种在水溶性基质内含有15% EDTA和10%过氧化脲的根管处理剂（图3）。它的黏稠度取决于储存条件。依照生产商的设计，它作为次氯酸钠冲洗剂的补充物与根管器械联合使用。据称，除了过氧化脲的氧化作用能增加内漂白效果外，这种凝胶状的制剂有助于根管的成形和清理，这可能是因为其含有的EDTA能黏附在玷污层上和过氧化脲有发泡释放氧的作用所致。

图2 RC-Prep根管螯合剂(Premier-Dental，Norristown，PA，USA)

图3 Glyde File-Prep根管螯合剂(Dentsply DeTrey，Konstanz，Germany)

据Ahn和Yu报道，使用Lightspeed NiTi器械进行旋转式预备时，17% EDTA冲洗根管的清洁效果优于Glyde File。Lim等发现在去除玷污层方面，使用Glyde File或17% EDTA冲洗的方式优于次氯酸钠。

7.4 File Care EDTA

这种糊剂(VDW Antaeos, Munich, Germany)含有15%EDTA和10%过氧化脲。

7.5 File-EZE

File-EZE (Ultradent, South Jordan, UT, USA) 是一种水溶性的黏性溶液，含有19%EDTA，有助于根管的预备和清理。

7.6 HEBP

近期研究表明，由于与次氯酸钠能在最短时间内发生作用和具有强大的钙螯合能力，1-羟基亚乙基二膦酸-1,1-二磷酸盐（HEBP）可作为柠檬酸或EDTA的替代物。由德国Zschimmer & Schwarz公司研发。根据Girard等学者的研究，它是一种含有2%藻酸盐、3%气相二氧化硅、10%吐温80和18% HEBP的液状凝胶。

8 牙体牙髓病学领域中的螯合剂

与应该选择哪种制剂较好相比，螯合剂的效能与其持续起作用的时间更有关系，从根管冠部向根部效能会大幅度下降。仅仅使用5min，即可出现30 μm厚的脱矿区，使用30min后，脱矿区厚度增至40 μm，使用48h后可增至50 μm。

脱矿区与其下方的牙本质之间有一条清晰的界限。EDTA的作用是有限的，并不能深入渗透到牙本质内。当与钙结合的化合物形成后，会建立某个特定平衡关系，不会出现更多的溶解现象。与器械联合使用后，螯合剂能够显著提高牙本质的去除效果，因此能简化根管预备的过程。然而这种脱矿作用也是有限的，它取决于根管的宽度，尤其是狭窄根管，因为没有足够的脱矿物质时也能使用。在根管预备过程中，一个5 μm厚的玷污层会出现在根管内壁表面，且其也能进入牙本质小管内，深度可达40 μm。玷污层是由被切削磨碎的牙本质粉末、牙髓组织残留物以及感染根管内的细菌组成。EDTA可溶解玷污层的无机成分。与次氯酸钠联合使用，清理效果明显提高。

超声波的应用并不能提升EDTA的清理效能。作用于牙本质小管的抗菌药物作用可被玷污层延缓甚至无效。凝胶状的螯合剂，如RC Prep、Glyde或File-Care，能发挥抗菌作用主要是因为其加入了10%尿素或过氧化脲，以及它与根管壁牙本质有足够的接触时间。

9 EDTA的pH、使用时间和浓度的影响

虽然没有确切证据表明pH值对EDTA的作用起非常重要的影响，但已有证据表明pH值为7.5的溶液比pH值为9.0的溶液作用效果更佳（表3）。与螯合剂接触的时间和使用浓度会影响其作用效果。使用液状EDTA（17%）1min能有效去除玷污层，冲洗10min后在根管牙本质小管周围和内部则可见有严重的腐蚀。用15%EDTA冲洗2～3min，然后再用5%次氯酸钠冲洗2～3min，可观察到腐蚀程度更严重，这表明5%的次氯酸钠会加速牙本质小管的腐蚀（表4）。

EDTA不仅能去除钙离子，而且能在中性环境下去除水溶性非胶原蛋白（NCP）和磷酸蛋白。根尖部NCP基质蛋白含量减少，因此根尖部的脱钙作用更低。使用EDTA后再以次氯酸钠进行冲洗能减少根尖部牙本质钙的含量，但镁含量却会增加，有人认为是镁离子取代了牙本质中的钙离子。因为每个相对较大的螯合剂分子仅能结合一个钙离子，所以EDTA的脱矿能力是有限的。当所有分子都被结合后，反应就会停止。

Sudha等曾做过测量，分别使用两种不同浓度EDTA在不同pH值下对牙本质作用1min和10min。去除玷污层和脱矿效果最好的是使用10% EDTA（pH9）1min（表5）。

10 本质硬度的影响

正常牙根牙本质硬度值介于40～75kg/mm^2。牙本质的硬度从根尖孔处至牙骨质-牙本质交界处逐渐增加，根尖1/3的硬度值低于中部1/3和冠部1/3。相反，根管入口处的根管壁硬度基本不变，Vickers硬度值为88.78kg/mm^2，根管口为94.68kg/mm^2。1965年，Weinreb和Meier证明了螯合剂具有软化牙本质的能力。

经EDTAC处理9min后，牙本质硬度从60 KHN下降至45 KHN (Knoop Hardness Number)，而24h后，经处理的牙本质平均硬度仅为7KHN。与蒸馏水相比，EGTA溶液（1%、3%和5%）能明显

表3 本研究中外科手术位点的临床数据

Rubin 等（1979）；Calt & Serper（2002）	中性或碱性 pH 时效果最佳
Seidberg & Schilder（1974）	牙本质的脱矿效果不依赖于 pH
Cury 等（1981）	牙本质脱矿的最适宜 pH 值介于 5 ～ 6
Serper & Calt（2002）	pH 值为 7.5 的溶液比 pH 值为 9.0 的作用效果更好
Sudha 等（2006）	pH 值为 9 时效果最佳（10% EDTA 作用 1min）

表4 螯合剂适宜使用时间推荐表

Nicholson 等（1968）	利用 45Ca 标记的 EDTA 自放射追踪技术进行观察，使用 15min 与 24h 后，渗透深度无显著差异
McComb & Smith（1975）	显示仅当螯合剂置入根管内 14h 的效果更好
Goldberg & Spielberg（1982）	使用 15min 之后清洁效果最理想
Yamada 等（1983）	显示糊状和水状螯合剂在使用 1 ～ 5min 后可取得较好的清洁效果
Calt & Serper（2002）	使用时会导致牙本质小管周围和小管内部过度腐蚀
Sudha 等（2006）	使用 1min 效果最佳（10% EDTA，pH 值为 9）

表5 推荐去除玷污层的方法

作者	溶液	数量
Goldman 等（1981）	REDTA 17%	20ml
Goldman 等（1982）	REDTA 17%	10ml
	NaOCl 5.25%	10ml
Yamada 等（1983）	REDTA 17%，	10ml
	NaOCl 5.25%	10ml
White 等（1984）	REDTA 17%，	10ml
	NaOCl 5.25%	10ml
Ciucchi 等（1989）	NaOCl 3%	1ml
	EDTA 15%	2ml
Gettleman 等（1991）	EDTA 17%	10ml
	NaOCl 5.25%	10ml

降低牙本质的硬度，但其软化作用取决于螯合剂的浓度。

11 本质通透性的改变

牙本质小管直径从牙髓－牙本质交界处的1.2μm降至牙骨质—牙本质交界处的0.4μm。同样，每平方毫米的牙本质小管数量在近牙髓处（58 000/mm²）多于远牙髓处（10 000/mm²）。随着牙本质小管的密度向根尖方向逐渐降低，牙本质的通透性也随之降低。而且，牙根部的牙本质并不都有矿化，根尖部牙本质更常发生硬化和矿化。牙本质的通透性直接取决于牙本质小管腔的面积，与根管壁的厚度成反比。根管预备后，根管壁的厚度减小，牙本质小管腔的表面积随之增大。另外，玷污层也是一种扩散屏障，能降低牙本质25% ～ 49%通透性。

去除玷污层后，牙本质通透性增加，根管充填后与根管壁牙本质之间的微渗漏也会减少，这可能是因为有更多侧支根管被封闭所致。另外，随着牙本质通透性增加，根管内药物的渗透作用也会增强。Tao 等指出牙骨质在牙本质通透性中有重要意义，具有完整牙根牙骨质的根管预备不会引起通透性的改变。

12 玷污层

玷污层是指由钙化组织、坏死组织、成牙本质细胞突起和微生物等有机和无机颗粒所组成的碎屑集团（图4）。在扫描电子显微镜下，它是一种有着不规则表面的不定形物质。McComb 和 Smith 指出，玷污层只是很松散地附着于根管壁上。玷污层的厚度受器械切割边缘设计类型和冲洗剂成分的影响，它会在1 ～ 5μm 间变化。

13 去除玷污层

许多学者研究如何去除玷污层，以获得良好的生物力学根管预备效果。虽然 Shahravan 等通过 meta 分析指出，去除玷污层能提高根管系统的封闭性，而其他因素，如封闭技术或封闭剂的种类并未起到重要作用。因此，由于没有科学界的一致认同，在根管封闭前是否应该去除玷污层仍备受争议。

据报道，在根管预备过程中产生的玷污层虽然不能阻止治疗后细菌的迁移，但它能减慢细菌的移

动速度，甚至能抑制细菌在根管内定植。另一方面，有报道称去除玷污层可以减少根管内微生物的数量和提高根管充填材料的封闭性能。鉴于此，尽可能创造最清洁的根管壁是明智之举，因此去除玷污层是根管治疗成功过程中不可缺少的一步（图5）。

由于玷污层含有有机和无机两种成分，所以去除它需要次氯酸钠（有机溶剂）和酸类物质，如柠檬酸、丹宁酸、聚丙烯酸，或与螯合剂联合使用，如EDTA之类。Goldman等以EDTA和次氯酸钠的不同混合物为冲洗液，测试其在根管预备中和预备后的效果。最有效的冲洗液是5.25%次氯酸钠，最佳冲洗方式是先使用10ml 17%EDTA，再使用10ml 5.25%次氯酸钠，这个结论同时也被Yamada等证实。

14 EDTA、次氯酸钠和超声的联合使用

通过不同冲洗顺序对玷污层去除效果的比较，EDTAC > NaOCl > EDTAC这一顺序比NaOCl > EDTAC > NaOCl这一顺序更为有效。联合使用超声并没有显示出明显效果。

15 螯合剂的生物相容性

在临床条件下，Nygaard-Ostby曾进行了一项调查，观察15% EDTA溶液（pH7.3）对人类活髓牙和死髓牙的根尖周组织和牙髓组织有何影响。经过长达14个月的使用，甚至故意利用根管器械疏通根尖狭窄区促使EDTA进入根尖周组织，也没有检测出根尖周组织的损伤。组织学检查显示有正常牙槽骨和新的功能性牙周韧带纤维的再生。另外，临床研究表明，即使在牙髓切断术后放入EDTA 28d也不会造成牙髓组织坏死。Lindemann等报道EDTA不能破坏胶原。

相反地，Collet等报道在体外实验中，15%EDTA钠盐溶液具有毒副作用。体外使用EDTA-T后，观测到细胞完全停止生长。研究表明15%EDTA和EDTAC（pH7.3）对L929细胞系产生严重的刺激作用。Segura等指出，即使是低浓度EDTA通过根尖狭窄区渗漏到牙周组织，也会对根尖周骨组织产生不可逆的脱钙作用，而且影响神经免疫调节机制。即使是低浓度10% EDTA也会抑制血管活性肠肽与巨噬细胞的结合，阻止巨噬细胞黏附到底物分子上，具有时间和浓度依赖性，不同浓度的EDTA均可减少根尖周区50%的结合作用。一方面，巨噬细胞活性的改变可使炎性反应更容易发生；另一方面，也使巨噬细胞吞噬功能减弱。另外，EDTA能增强血浆的外渗和传递反应。Cehreli等指出，使用RC-Prep和File-EZE 160min后可分别减低神经复合动作电位高达61.8%和62.4%。

对3种冲洗剂的细胞毒性作用进行比较，与水和次氯酸钠的氧化性能相比，EDTA被认为细胞毒性更大。Salvizol的细胞毒性被认为比EDTAC更小。因此，在机械化学根管预备过程中，应避免把EDTA挤入根尖周组织。

16 抗菌作用

EDTA的抗菌作用有限，这与其和细菌外膜上的阳离子发生螯合作用有关。使用10% EDTA能得到一个与木榴油相似的细菌生长抑制区域。低浓度EDTA溶液（0.03%～1%）的抗菌作用会降低，甚至完全无效。EDTA的抗菌性能取决于浓度和

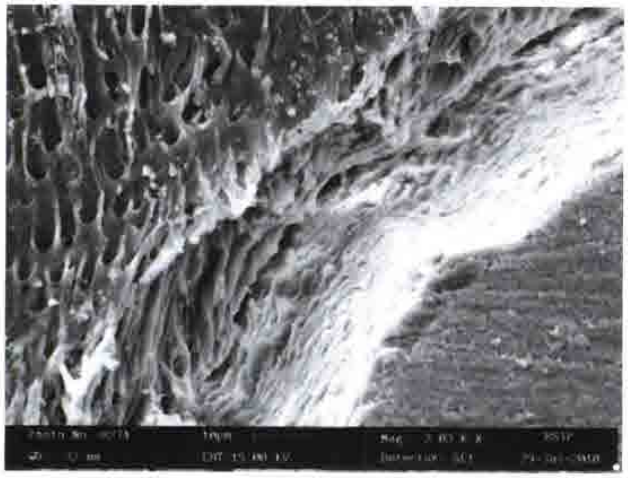

图4 被玷污层覆盖的根管壁扫描电镜图

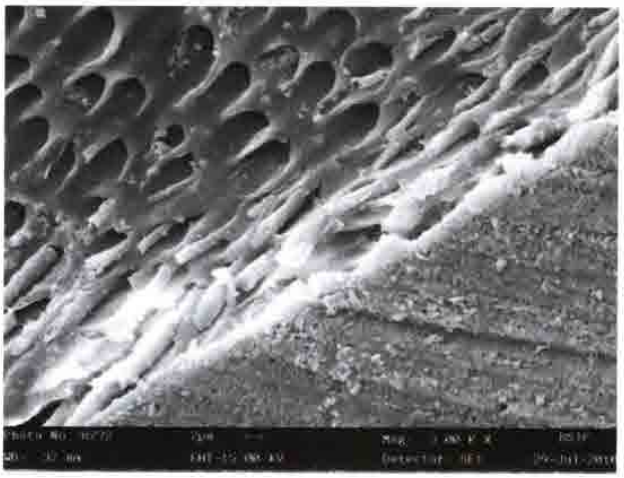

图5 去除玷污层的根管壁扫描电镜图

pH值。只要Na-EDTA螯合剂没有与金属离子结合，其抗菌作用就能一直维持下去。

Yoshida等检测了15%EDTA溶液的效果。治疗过程中没有在根管内放置敷料，1周后，129例中有93例根管内没有细菌。EDTA被证实比生理盐水具有更强的抗菌作用。笔者得出结论，使用EDTA清除玷污层后才能得到细菌培养阴性的结果。另外，EDTA与5%次氯酸钠联合使用比单用次氯酸钠抗菌作用更强。

使用REDTA 60min到1周能抑制某些厌氧菌的生长，但使用10%的溶液1min后即可看到对牙龈卟啉单胞菌（Porphyromonas gingivalis）的抗菌作用。Salvizol能杀灭真菌并具有广谱的抗菌作用，而且其毒性比EDTAC低。RC-Prep有一定的抗菌作用，主要取决于微生物的种类，与革兰阳性菌相比，它对革兰阴性菌的作用效果更明显。

把RC-Prep放置在牙本质小管内的时间从10min增加到45min，可以增强对金黄色葡萄球菌（Staphylococcus aureus）和peltzer链球菌（Streptococcus peltzer）的抗菌作用。RC-Prep中的过氧化脲（10%）是一种氧化抗菌剂，是起抗菌作用的主要成分。在一个包括100例患者的临床试验里，使用了EDTA、过氧化脲和次氯酸钠进行根管冲洗。首次治疗后，有97.2%的病例细菌培养阴性。虽然两次治疗之间没有在根管里置入氢氧化钙碘仿，但是在第二次治疗时，依然有94.4%显示无细菌生长。

Steinberg等探讨了RC-Prep中各组分对表兄链球菌（Streptococcus sobrinus）的抑菌和杀菌作用效果。EDTA的最小抑菌浓度为0.125%，过氧化脲为0.25%，乙二醇为30%，而EDTA的最小杀菌浓度为0.25%，过氧化脲为0.5%，乙二醇为50%。与此相反，Ørstavik和Haapasalo质疑17%EDTA溶液是否具有抗菌和消毒根管的作用。当使用次氯酸钠5min后，100～300μm深度的牙本质小管内的血链球菌（Streptococcus sanguis）数量减少，但使用EDTA则没有观察到有杀菌作用。

Yang和Bae发现，用次氯酸钠和EDTA联合冲洗可明显减少细菌（中间普氏菌，Prevotella nigrescens）黏附到根管壁上，而仅用次氯酸钠冲洗的根管内玷污层并没有去除，其中细菌减少的情况不明显。

17 封闭作用

和根管预备后不进行冲洗或仅用蒸馏水冲洗相比，单独使用次氯酸钠（6%）或与EDTA联用进行冲洗，可增加封闭副根管的数量。

虽然用Er:YAG激光预处理后效果更明显，但是用EDTAC预处理后，根管封闭剂与牙本质黏附的性能也能得到提高。虽然以氢氧化钙为基质的封闭剂，如Sealapex（Kerr, Romulus, MI, USA）、Apexit（Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein）和CRCS（Freud Carson, Hygienic, Mahwah, NJ,USA）在黏附性上仅有轻微提高，但其中提高最大的是封闭剂26（Dentsply, Petropolis, Brazil）。另一方面，次氯酸钠和RC-Prep两者都能明显降低树脂粘结剂与牙根牙本质之间的结合强度。而这种降低情况可以通过10%抗坏血酸或抗坏血酸钠完全逆转。牙科粘结剂与钙化牙本质结合的能力明显高于被EDTA预处理过脱钙牙本质。尽管某些研究指出，去除玷污层可以减少封闭后的根尖渗漏，但是使用EDTA处理后可能在牙本质－牙根充填界面留下一个牙本质螯合层。通过对次氯酸钠、REDTA和两者联合使用的比较，Madison和Krell并没有检测出冲洗溶液对根管充填后根尖部封闭有任何影响。

18 漂白作用

某些商用EDTA制剂中添加过氧化脲，由于氧气释放而产生的发泡作用不仅能提高清洁效果，而且据称有一定的漂白作用。但是没有科学证据支持这些螯合剂能起到漂白作用。利用过氧化脲进行内漂白过程仅在使用48h后被观察到。

19 最新进展

加入表面活性剂是否能更好地去除玷污层？Von der Fehr和Nygaard-Ostby介绍了EDTAC（EDTA和0.84g季铵化合物的混合物）。这种新制剂可以降低冲洗剂的表面张力，使其易于润湿整个根管壁，因此能增强螯合剂渗透入牙本质的能力。

之后有报道称降低螯合剂溶液的表面张力并不能提高与钙螯合的能力，而且在螯合剂里添加润湿剂也是不必要的。在体内，根管常常是湿润的，冲洗剂的表面张力并不起重要作用。最近，Jeen-Nee Lui等报道，与EDTA单独使用相比，Smear

Clear (Sybro Endo, Orange, CA,USA) 内含的表面活性剂并没有表现出能增强去除玷污层的能力。据De Deus等报道，EDTA和润湿剂联合使用不能提高溶液的螯合能力。

20 去除玷污层有必要吗？

一般认为保留根管壁上的玷污层是有好处的，因为它可以阻止细菌侵入和定植在牙本质小管中。但是最近的研究发现，玷污层的存在会降低粘结剂和牙本质的粘结效果。

其他因素也表明在根管充填前去除玷污层是有益的，不仅是因为它能作为微生物生长的温床，而且它还能抑制甚至严重阻碍抗菌剂，如根管内冲洗液和药物渗透入牙本质小管。另外，玷污层也会阻碍封闭剂黏附和渗透入牙本质小管的作用。基于去除玷污层能更好地使根管充填材料适应根管壁，提高黏附性能，并阻止细菌入侵的推论，现在普遍提倡在根管充填前应该去除玷污层。

但是，关于玷污层和黏附性能的结果仍存在争议，目前尚不清楚去除玷污层所可能带来的好处是一种普遍现象还是由于某些材料和技术的应用。直到最近，Paqué等证实玷污层并不是一个扩散屏障。他们通过电子显微镜观察发现，冲洗液的渗透并不受玷污层的影响，受牙本质小管硬化影响更大。Saleh等支持保留根管壁上的玷污层可以有效阻止细菌的入侵和定植。玷污层可起到封闭剂的作用，因此能减小收缩应力，减少牙本质小管内封闭剂含量，使封闭剂和牙本质之间结合更加紧密。这个结果也令人重新考虑，在根管封闭前，在无菌环境下重建玷污层是有益的。

20.1 一些新的螯合剂制剂

- Smear Clear (Sybron Endo, Orange, CA,USA)
- 水，17% EDTA
- 表面活性剂或张力活性剂
- 溴棕三甲铵

Smear Clear是一种混合物，以十四烷基三甲基溴化铵为主要成分，并含有少量十二烷基三甲基溴化铵、十六烷基三甲基溴化铵和特制的表面活性剂。

Luciano等对4种在牙体牙髓科中常用的冲洗剂表面张力进行了一项对比研究。这4种冲洗剂分别是：Moltendo EDTA (Molteni Dental, Scandicci, Italy)、17%Cetrexidin (GABA Vebas, San Giuliano Milanese, Italy)、Smear Clear（含有5.25%次氯酸钠和具有MTAD的表面张力）和Tetraclean (Ogna Laboratori Farmaceutici, Milan, Italy)。超纯水（去离子化和纯化的水，由美国Millipore公司制备）、5.25%次氯酸钠和17%EDTA具有最大的表面张力，而Cetrexidin和Tetraclean则表现出最小的表面张力值。MTAD和Tetraclean这两种新冲洗剂的表面张力较低，能提高与牙本质壁紧密接触的能力，因此具有去除玷污层的能力。

Lui等对一种添加了表面活性剂的17%EDTA溶液——Smear Clear (Sybron Endo, Orange, CA,USA) 和17%EDTA溶液在是否与超声联合使用的情况下，进行了去除玷污层的体外评估实验。随机分配75颗被拔除牙齿到5个测试小组，根管已预先使用ProFile旋转镍钛器械 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) 进行预备，并且使用不同的冲洗方案。通过扫描电子显微镜观察样本以及对残留物和玷污层的清除效果进行评分。数据分析显示，无论是否与超声处理联用的Smear Clear实验组均并没有表现出明显优于是否与超声处理联用的17% EDTA。虽然在Smear Clear的EDTA中添加表面活性剂并未能使去除玷污层的效果更好，但是17% EDTA与超声联合使用能提高玷污层的去除效果。

20.2 Tetraclean (Ogna Laboratori Farmaceutici, Milan, Italy)

- 柠檬酸
- 强力霉素 50mg/5ml
- 聚丙二醇

Giardino及其同事承认至今仍然缺乏根管治疗中使用抗菌剂效果的研究。因为在失败的治疗中，肠球菌经常与牙齿隔离，因此他们对根管冲洗剂杀灭肠球菌 (Enterococcus faecalis) 的效果进行评估。肠球菌的生物膜是在硝酸纤维素膜滤器上形成的，将接种有生物膜的培养平板在37℃厌氧环境中培养48h，之后，膜滤器转换为滤过小管，并含有以下实验抗菌剂中的一种：5.25%次氯酸钠（阴性对照），BioPure MTAD (Dentsply Tulsa, Johnson City, TN,USA)，Tetraclean和0.9%次氯酸钠（阳性对照），将这些小管分别培养5min、30min和60min，只有5.25%次氯酸钠能够每次都破坏和

去除生物膜，但与MTAD相比，Tetraclean在每次间隔时间内都能够使细胞膜破坏更严重。作者认为：冲洗剂对生物膜中微生物和游离微生物的抗菌效果仍需进一步的实验评估。

21 额外的发现

（1）一些研究报告提到，使用螯合剂后的根管壁上能观察到含有钙和磷的晶体。通过电子色散分光计能分析这些化合物的成分。有人提出，将拔除的牙齿保存在含有甲醛的溶液中可能是这些晶体产生和扩大的原因。

（2）一项体外研究表明，使用EDTA进行冲洗不会影响Root ZX（Morita，Tokyo，Japan）测量根管长度的精确性。

（3）在根管预备过程中，与次氯酸钠（5.25%）相比，使用EDTA能减少不锈钢挫的腐蚀。然而在其他研究中并未观察到EDTA对不锈钢器械有任何腐蚀作用。相反，由于EDTA的轻度腐蚀作用使不锈钢挫的切削效率有所下降，但仍低于使用次氯酸钠造成的结果。

（4）与单独使用次氯酸钠相比，EDTA与次氯酸钠联合冲洗会使银汞充填体所释放的汞离子更低，这是因为EDTA能与很多金属包括汞离子形成稳定的化合物。因此得出这样一个推论：在EDTA和次氯酸钠联合使用的过程中，EDTA能与银汞充填体所释放的汞离子形成稳定的螯合化合物。

（5）当使用镍钛器械预备弯曲根管到30号时，没有使用EDTA的实验组能更好维持根管的原有弯曲度。但是，由于该实验每个实验组的牙齿数目过少，无法得出最终的结论。

（6）据推测，使用EDTA可以大幅度提高桩的保留率。尽管玷污层的去除有利于提高桩的保留率，但牙本质的脱矿作用会降低保留率。相反的，联合使用17%EDTA和5.25%次氯酸钠进行冲洗后可以明显提高保留率。

22 结论及临床建议

通过对大量关于螯合剂效果的文献搜集，作者认为在根管预备过程中推荐使用螯合剂。使用螯合剂可以减少根管预备中产生的玷污层。螯合剂的效果不在于品牌，更多取决于使用时间的长短，而且其效果从根管口到根尖孔会有明显下降。谨慎使用可使根尖周组织损伤的风险降低。另外，螯合剂的抗菌作用很弱，因此即使它能提高次氯酸钠渗透入牙本质的性能和抗菌作用，液状螯合剂也不能取代次氯酸钠成为一种常规冲洗剂。螯合剂对钙化或狭窄根管预备的确切程度尚未知。目前认为螯合剂的效果不仅取决于其浓度和工作时间，也取决于螯合剂容量和根管壁表面积间的相互关系，但这个说法仍受到质疑。

基于以上讨论，提出以下几点临床建议：

（1）据称，使用镍钛器械进行根管预备时，糊状螯合剂能起到润滑剂的作用，因此能降低器械折断的风险。Boessler等通过使用锥度为0.06的30号Profile器械预备人类牙本质中的人工根管来探究润滑剂参数在根管预备过程中的影响。通过扭矩测试平台，测量了次氯酸钠（1%次氯酸钠）和一种液状螯合剂（18%羟乙磷酸）对最大扭矩、完全扭力负荷和最大力值的影响。而且，当螯合剂以润滑剂形式使用时与牙本质接触和其凝胶状材质（液状vs凝胶状）的影响变量也被检测了。与干燥条件相比，液状润滑剂能明显降低所有的结果变量。螯合剂的混合使用能进一步降低这些数值，而次氯酸盐则与水作用相似。螯合剂的效果是立即起效的，而且不会随时间的增加而增加。笔者得出的结论：液状润滑剂比凝胶状效果更佳。因此，在临床应用中建议根管预备时使用次氯酸钠溶液，因为其具有良好的抗菌性能和组织溶解性。

（2）含有EDTA的螯合剂使用时间应控制在1～5min内。推荐在髓室内使用液状EDTA溶液以寻找钙化根管的根管口。EDTA预处理会降低粘结材料和充填材料之间的粘结强度。应避免将螯合剂推出根尖孔。