

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.25.025

[http://www.crter.org]

毛庆华, 葛青华, 宁佳, 姜海英. 无创渗透树脂材料修复早期乳牙邻面龋[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(25):4739-4744.

## 无创渗透树脂材料修复早期乳牙邻面龋★

毛庆华, 葛青华, 宁佳, 姜海英

大庆油田总医院口腔内科, 黑龙江省大庆市 163001

### 文章亮点:

1 此问题的已知信息: 龋病形成早期, 表层牙釉质会出现脱矿, 形成许多微小孔隙, 自身无法通过再矿化来修复, 在长期口腔酸性等因素作用下, 会导致孔隙变大至开放状态, 早期龋病可以通过氟化物的预防性治疗起到一定作用。

2 文章增加的新信息: 无创渗透树脂材料的渗透性能体现在渗透深度和渗透速度两方面。影响材料渗透性能的因素包括材料的渗透系数、釉质表层处理、渗透时间和作用次数等。无创渗透树脂技术在邻面龋的治疗成功率方面优于流动树脂技术, 患者 1 次就诊即可遮盖早期邻面龋的白垩斑, 流动树脂治疗前需要将邻牙分开, 才能进行酸蚀和涂布封闭剂等操作, 通常要经过 1-4 周的时间完成, 增加患者的就诊次数和心理负担。

3 临床应用的意义: 无创渗透树脂治疗的过程需要使用橡皮障对周围软硬组织进行保护, 避免唾液造成污染, 治疗的同时要求有助手协助操作, 对临床操作者的技术要求较高。

### 关键词:

生物材料; 生物材料学术探讨; 早期邻面龋; 渗透技术; 渗透树脂; 流动树脂; 氟化物; 白垩色斑; 继发龋

### 摘要

**背景:** 乳牙早期邻面龋因解剖位置的原因菌斑不易去除, 常规再矿化治疗疗效不佳。

**目的:** 观察无创渗透树脂技术治疗乳牙早期邻面龋的临床疗效。

**方法:** 选择乳牙邻面早期龋的患牙 120 颗, 随机分为渗透树脂组和流动树脂组, 每组 60 颗, 分别应用渗透树脂和流动树脂进行治疗, 治疗后 1 年随访, 对患者邻面龋的牙体形态、去除釉质脱矿造成的白垩色斑和色泽稳定性、继发龋和治疗成功率方面进行临床评价。

**结果与结论:** 两组患者在充填治疗后 1 年的疗效检查结果中发现, 渗透树脂组邻面龋的牙体形态、去除釉质脱矿造成的白垩色斑以及色泽稳定性、继发龋方面均好于流动树脂组。渗透树脂组的治疗成功率 96.7% 远高于流动树脂组的 76.7%, 差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ )。无创渗透树脂材料是目前阻断龋病发展简便高效的方法。

毛庆华★, 女, 1971 年生, 黑龙江省大庆市人, 汉族, 1994 年佳木斯医学院毕业, 硕士, 副主任医师, 主要从事口腔临床的研究。

Mqh61@yahoo.com.cn

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2013)25-04739-06

收稿日期: 2013-03-30

修回日期: 2013-05-20

(201303283/LYL · C)

## Noninvasive penetration resin materials repair early stage deciduous caries

Mao Qing-hua, Ge Qing-hua, Ning Jia, Jiang Hai-ying

Department of Oral Medicine, Daqing Oilfield General Hospital, Daqing 163001, Heilongjiang Province, China

### Abstract

**BACKGROUND:** Due to the anatomical location of early deciduous caries, plaque is difficult to remove, and the effect of conventional remineralization therapy is poor.

**OBJECTIVE:** To observe the clinical effect of noninvasive penetration resin for the treatment of early deciduous caries.

**METHODS:** 120 teeth with early deciduous caries were collected and divided into penetration resin group

Mao Qing-hua★, Master,  
Associate chief physician,  
Department of Oral Medicine,  
Daqing Oilfield General  
Hospital, Daqing 163001,  
Heilongjiang Province, China  
Mqh61@yahoo.com.cn

Received: 2013-03-30  
Accepted: 2013-05-20

and flowable resin group, 60 teeth in each group. The teeth were treated with penetration resin and flowable resin respectively. The tooth morphology of caries, enamel demineralization removing caused chalk stains and color stability, secondary caries and treatment success rate were evaluated at 1-year follow-up after treatment.

**RESULTS AND CONCLUSION:** The efficacy at 1 year after filling treatment showed that tooth morphology of caries, enamel demineralization removing caused chalk stains and color stability, and secondary caries in the penetration resin group were better than those in the flowable resin group. The treatment success rate in the penetration resin group (96.7%) was significantly higher than that in the flowable resin group (76.7%), and the difference was significant ( $P < 0.05$ ). Noninvasive penetration resin material is the simple and efficient method to prevent the development caries.

**Key Words:** biomaterials; biomaterial academic discussion; early deciduous caries; infiltration techniques; penetration resin; flowable resin; fluoride; chalk stains; secondary caries

Mao QH, Ge QH, Ning J, Jiang HY. Noninvasive penetration resin materials repair early stage deciduous caries. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2013;17(25): 4739-4744.

## 0 引言

乳牙早期邻面龋可以表现为邻面白垩斑、表面粗糙, 未形成实际意义上的龋洞或缺损。然而, 在表层下已经发生脱矿现象, 龋病的范围会通过孔隙深入到牙釉质以下, 龋病的发展就会加速牙体组织的脱矿, 最终导致实质性缺损的形成, 显示出白垩斑或斑点, 表面无光泽。在龋病发现早期采取保守治疗的干预措施, 不仅可以保持牙体组织的完整性, 对控制龋病的继续发展还具有重要的临床意义<sup>[1]</sup>。

目前, 对于乳牙早期邻面龋的治疗有几种方法, 临床上应用较多的方法是促进早期邻面龋的再矿化, 但是, 此方法因疗程长, 而且对患者的依从性要求较高, 长期使用可能会有口腔耐菌株产生等问题<sup>[2]</sup>。对乳牙早期邻面龋进行充填的修复治疗, 即使是微小的牙体预备也会对损失健康的牙体组织<sup>[3]</sup>。

1975年, Davila等<sup>[4]</sup>提出了无创渗透理论, 实验发现流动的材料可以渗透到晶体间的孔隙, 将间隙填满, 使龋损表面得以封闭, 防止釉牙本质界面进一步脱矿。早期用于无创渗透技术的生物材料是黏结剂, 近年来, 应用较多的生物材料由德国DMG公司生产的ICON渗透树脂, 文章采用的渗透树脂也为此材料, ICON渗透树脂材料是低黏度的树脂<sup>[5]</sup>, 由双酚A甲基丙烯酸缩水甘油酯、二甲基丙烯酸三甘醇酯、光引发剂和溶剂乙醇组成。

ICON渗透树脂可以快速渗透到脱矿釉质中, 光照固化后形成树脂-多孔羟基磷灰石复合体, 阻止龋病的进一步发展。Meyer-Lueckel等<sup>[6]</sup>利用Washburn方程中渗透系数评价渗透树脂的渗透能力, 渗透系数越大, 渗透速度越快, 渗透性越好。ICON渗透树脂与黏结剂相比, 渗透树脂具有高渗透性系数、低黏性、低接触角和高表面张力, 能通过釉质表面孔隙渗透到脱矿层内, 而黏结剂只是在脱矿釉质表层形成保护膜<sup>[7]</sup>。

无创渗透树脂技术的渗透性, 改变早期邻面龋病的治疗现状, 可以避免去除釉牙本质组织, 患者1次就诊即可遮盖早期邻面龋的白垩斑, 改善了牙齿的美观, 而且不会使早期邻面龋继续脱矿, 是一种无创治疗的新方法。文章对105例早期邻面龋患儿的120颗患牙分别用渗透树脂和流动树脂进行治疗, 对渗透树脂技术进行了病例和理论与实践应用的分析。

## 1 无创渗透树脂技术治疗乳牙早期邻面龋的病例分析

### 1.1 对象和方法

设计: 随机对照观察。

时间和地点: 于2011年1月至2012年12月在大庆油田总医院口腔内科门诊完成。

对象: 选择2011年1月至2012年12月在大庆油田总医院口腔内科门诊治疗的早期邻面龋患儿105例。

120颗患牙分为渗透树脂组和流动树脂组, 每组60颗, 就诊前拍摄X射线, 显示釉质表面下脱钙透射影、根尖区未见低密度影像。

纳入标准: ①前牙及后牙邻面病变深度达至釉质及牙本质外1/3范围的非成洞性龋病<sup>[8-9]</sup>。②X射线片显示釉质表面下脱钙透射影。

排除标准: 牙周袋大于3 mm, 活性龋。

实验用材料及仪器:

试剂及仪器	来源
渗透树脂	德国 DMG 公司
流动树脂, Sof-Lex 抛光盘打 磨抛光碟, 自酸蚀黏结剂	美国 3M 公司

方法: 治疗前使用橡皮杯配合无氟抛光膏清洁患牙, 放置橡皮障隔离患牙, 于患牙和邻牙间隙的适当位置处放置楔子, 用15%盐酸凝胶酸蚀牙面2 min, 以溶解表面硬化层, 冲洗至少30 s以彻底去除酸蚀凝胶, 用无水、无油气枪吹干牙面; 用体积分数99%乙醇脱水30 s, 吹干, 然后涂布渗透树脂, 第1次涂布后静置3 min, 避光, 多余树脂用棉卷吸掉, 光固化40 s, 再次涂布渗透树脂, 静置1 min, 清理多余树脂, 光固化40 s, 拆除橡皮障后使用抛光盘打磨抛光碟精细抛光。流动树脂组常规清洁牙面、放置橡皮障隔离患牙, 吹干, 涂布自酸蚀黏结剂, 光固化20 s, 涂布流动树脂, 光固化20 s, 抛光。

评定标准: 1年后随访, 疗效判定参考美国公共卫生协会的评价系统<sup>[10]</sup>。

成功: 材料边缘密合、无脱落、无继发邻面龋的患者。失败: 材料边缘不密合、有部分脱落、继发性邻面龋, 有其中1项即判定为失败。

统计学分析: 应用SPSS 13.0统计学软件进行分析, 疗效比较采用 $\chi^2$ 检验,  $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

### 1.2 治疗结果

1.2.1 参与者数量分析 纳入患者105例120颗患牙, 全部纳入结果分析。

1.2.2 两组患者基线资料 见表1。

表1 两组患者基线资料比较

组别	年龄(岁)	n	男/女	总牙数	切牙数	磨牙数
渗透树脂组	3-12	60	30/30	60	17	43
流动树脂组	3-12	45	25/20	60	22	38

注: 两组患者的年龄、性别、切牙和磨牙数比较差异无显著性意义( $P > 0.05$ ), 可见两组患者疗效具有可比性。

1.2.3 治疗效果 在充填1年后的疗效方面, 经 $\chi^2$ 检验可以得出, 渗透树脂组的成功率远高于流动树脂组, 差异有显著性意义( $P < 0.05$ ), 充填1年后的疗效比较, 见表2。

表2 充填1年后的疗效比较

(n=60)

组别	边缘附着	变色	掉落	继发龋发生	失败	成功	成功率(%)
渗透树脂组	0	0	1	1	2	58	96.7
流动树脂组	1	6	2	5	14	46	76.7

注: 渗透树脂组患者的成功率远高于流动树脂组, 差异有显著性( $P < 0.05$ )。

## 2 无创渗透树脂材料的渗透性能

无创渗透树脂的渗透性能体现在渗透深度和渗透速度2个方面。Meyer-Lueckel等<sup>[6]</sup>在15%盐酸酸蚀龋损表面使用黏结剂和渗透树脂进行实验, 应用横断显微放射照相技术和激光共聚焦显微镜来观察两种材料的渗透深度, 结果发现黏结剂材料在龋病区域的渗透表浅, 大约在67  $\mu\text{m}$ , 而渗透树脂材料的渗透较深, 大约在171  $\mu\text{m}$ 。Meyer-Lueckel等<sup>[11]</sup>在体外实验对比双酚A甲基丙烯酸缩水甘油酯、二甲基丙烯酸三甘醇酯、乙醇3种材料不同比例混合制备的12种渗透树脂材料与Excite黏结剂进行渗透能力的比较, 发现渗透树脂材料比黏结剂更能深度进入龋坏组织中, 含有二甲基丙烯酸三甘醇酯, 不含有乙醇的混合渗透材料, 在阻断龋病进展方面更具优势。在渗透速度研究方面, 与黏结剂比较, 渗透树脂的速度更快。Paris等<sup>[12-13]</sup>研究发现黏结剂在人工龋上的渗透速度均值

在 $3.47 \mu\text{m/s}$ , 渗透树脂材料在人工龋上的渗透速度大于 $30 \mu\text{m/s}$ 。Meyer-Lueckel等<sup>[14]</sup>研究发现渗透树脂在自然龋上的渗透速度为 $3.33 \mu\text{m}/90 \text{ s}$ , 明显低于在人工龋上的渗透速度, 可能由于自然龋表面的玷污层未处理完全的原因, 影响材料的渗透速度。

渗透树脂材料适合于邻面和光滑面非洞龋损, 即位于釉质和牙本质浅层 $1/3$ 的早期龋。而且可以去除与美观相关的光滑面釉质白垩色斑块, 常在正畸固定矫治器被去除后釉质表面的脱矿。

早期釉质龋中脱矿物质的机械稳定, 保存健康的患牙和邻牙, 永久性的堵塞表层的微孔和龋洞, 可以阻止龋病的进展, 降低再次龋坏的风险, 推迟修复性治疗的时间, 没有治疗后敏感和牙髓炎的风险, 降低牙龈炎和牙周炎的风险, 对于唇面脱矿的病损, 如正畸后的白垩斑块, 可以提高美观效果。患者容易接受, 不需要多次复诊, 不用麻醉和机械磨除。值得注意的是渗透树脂没有X射线阻射, 治疗的效果可以通过将来的复查来追踪。

### 3 影响无创渗透树脂材料性能的因素

**3.1 材料的渗透系数** Paris等<sup>[15]</sup>利用物理Washburn方程式说明渗透材料的物理特性,  $d^2$ 是PC与rt的乘积,  $d$ 为树脂渗透的渗透深度, PC为渗透材料的渗透系数,  $r$ 为微孔的半径,  $t$ 为材料的渗透时间。从公式中可见渗透材料的渗透系数与渗透深度相关性很强, 渗透深度与渗透效果是紧密相关的。渗透系数越大, 渗透速度越快。

微孔的半径、体积和数量也影响渗透树脂材料的效果。渗透系数与树脂材料对空气的表面张力、树脂与釉质的接触角以及树脂动态黏度等相关。提高表面张力, 降低黏度和减小接触角可增强树脂的渗透系数。

**3.2 釉质表层处理** 早期龋齿发生后, 表层下已严重脱矿, 表层釉质相对完整, 而表层的釉质会阻碍渗透树脂的渗透性。如何处理矿物含量较高的牙釉质表层使渗透性增强是学者们关注的焦点。处理方法有机械性磨除和酸蚀处理<sup>[16]</sup>。机械性磨除法由于磨除量难以控制, 有可能会对邻面造成缺损, 机械性磨除法只能使龋病区暴露, 并不能增加微孔的半径和体积, 而且在磨除过程中会在表面釉质产生玷污层, 反而阻碍龋

病区域的开放, 从提高渗透系数方面考虑作用不大。

目前釉质表层处理应用最多的是酸蚀技术, 此技术可以使釉质表层发生脱矿, 增加渗透的面积和体积。常用的酸蚀剂有磷酸、盐酸以及有机酸, 而且酸蚀剂使用的种类、浓度、pH值以及酸蚀时间等都会对釉质表层处理产生影响。Gray等<sup>[17]</sup>应用37%的磷酸酸蚀人工龋5 s, 涂渗透树脂, 扫描电镜观察材料的渗透性, 发现其脱钙能力较高, 渗透效果较好。Paris等<sup>[18]</sup>对3种pH值不同的酸蚀凝胶的酸蚀效果进行比较, 选用37%磷酸、5%盐酸和15%盐酸酸蚀早期邻面龋, 激光共聚焦显微镜观察发现, 15%盐酸使用90-120 s, 表层釉质深度减少 $(31\pm 6) \mu\text{m}$ , 处理牙釉质表面2 min黏结剂的深度减少 $(18\pm 11) \mu\text{m}$ , 几乎可以完全去除龋损区域表层, 酸蚀程度最理想。可见, 15%的盐酸比37%的磷酸对釉质表层的腐蚀效果更好。乳牙与恒牙的表层结构以及有机质含量不同, 但使用15%的盐酸酸蚀乳牙龋病表层120 s, 也可完全去除表层。

**3.3 渗透时间和作用次数** 由Washburn方程式可知, 树脂渗透系数与渗透时间具有相关性, 即渗透时间越长, 越能阻断龋病区域的进展, 保证良好的渗透效果。有学者研究得出, 渗透剂的作用时间应至少在3 min, 这样才可以完全的渗透到自然龋的病损牙组织<sup>[19]</sup>。对渗透树脂进行一次渗透后, 表面会出现裂缝非均匀性表现, 因此可以对龋病区域进行重复树脂渗透, 有实验证实对人工龋进行2次渗透树脂治疗, 不仅可以有效的阻断病变进一步发展, 并且可以增强龋病区域的显微硬度<sup>[20]</sup>。

**3.4 干燥处理** 在使用酸蚀剂处理后, 需要有大量的水来冲洗多余的酸蚀剂残留。但残留水分会使开放微孔的半径以及体积减小, 进而减小驱动树脂渗透的毛细管力, 这样会影响渗透树脂的效果。如果完全去除残留在开放微孔内的水分会使牙本质的胶原基质崩塌<sup>[21]</sup>, 使龋病区域的微孔体积减少, 同样也会影响渗透树脂的效果。因此, 既去除微孔内水分, 又不会使胶原纤维崩塌, 这样的干燥处理对渗透性能有所帮助。文章应用的DMG公司生产的渗透树脂, 采用化学脱水的方法处理<sup>[22]</sup>, 即使用高浓度的乙醇作为干燥剂, 来替代胶原基质间的水分, 减少胶原基质的亲水性, 使胶原纤维处于脱水扩张状态, 保证微孔的开放,

进而保证渗透效果<sup>[23]</sup>。

#### 4 讨论

龋齿是口腔医生临床上最常见的疾病之一, 中国龋齿的发病率在40%–60%, 儿童乳牙的患龋率最高, 邻面龋的破坏性很强, 治疗的难度较大, 是临床上比较棘手的问题<sup>[24]</sup>。目前作为龋齿的预防性治疗, 平滑面和邻面的早期釉质龋多提倡应用氟化物来治疗, 在位于平滑面的白垩色病变, 可以通过改善患者的口腔卫生情况和实施规范化的氟化物治疗来达到较好的治疗效果<sup>[25]</sup>, 但是邻面菌斑因解剖部位的原因不易去除, 因此在口腔卫生较差以及暴露于氟化环境较难的情况下, 邻面白垩色病变很可能发展为龋齿。

龋齿的发生是由于脱矿化与再矿化不平衡造成的, 当脱矿化多于再矿化的早期, 表层釉质相对完整, 但是表层以下已严重脱矿化, 因此, 早期发现龋齿发生后要尽快给予治疗, 早期有效的预防和治疗, 可以在一定程度上使龋齿矿化得到修复, 这是治疗龋齿成功的关键因素。

目前, 对龋齿的早期治疗有两种方法, 一种方法是促进脱矿牙体组织的再矿化, 另一种方法是应用生物材料阻塞脱矿化区域的微孔和通道, 阻断脱矿牙体组织的进一步发展。1976年, Davila<sup>[4]</sup>最早提出通过渗透治疗自然和人工的白垩状病变。近年来, 龋病渗透治疗技术已经发展成为运用低黏度光固化渗透树脂进入病变牙体组织, 并形成扩散屏障, 阻断病变的发展, 这是一种避免去除大量健康牙体组织的无创性治疗方法。

流动树脂技术是在病变牙体组织的表面形成扩散屏障, 以阻止食物碎屑、细菌以及酸性代谢产物等进入窝沟, 达到防治龋齿的目的<sup>[26]</sup>。无创渗透树脂技术的治疗目的是在病变牙体部位形成扩散屏障, 用渗透树脂来取代已脱矿的组织<sup>[18]</sup>, 以防止表层釉质的崩溃和龋洞的形成, 强固表面釉质结构。流动树脂在邻面龋的治疗方面有一定效果, 其优点是在扩大牙间隙、酸蚀、涂布封闭剂、固化后, 运用流动树脂作为一种屏障, 可有效的阻止邻面龋病损的进一步发展。但是流动树脂技术也存在一些不足, 如流动树脂治疗前需要应用正畸技术将邻牙分开, 才能进行酸蚀和涂

布封闭剂等操作, 通常应用窝洞内推簧扩隙、阶段唇弓推簧扩隙、安放橡皮圈扩隙等方法, 在复诊时间方面, 窝洞内推簧扩隙和阶段唇弓推簧扩隙的方法需要2–4周, 安放橡皮圈扩隙方法需要1周, 这样会增加患者的就诊次数, 使患者的治疗负担加重。

国外有学者也对流动树脂和渗透树脂的治疗效果进行了比较研究。Mueller等<sup>[3]</sup>在体外实验的研究中发现, 应用渗透树脂技术在阻止龋齿牙体组织的脱矿能力方面要强于流动树脂技术。Paris等<sup>[27]</sup>进行的体外实验也证明了, 流动树脂技术的封闭剂不能够长时间的阻止牙体组织脱矿, 而且应用过多的封闭材料以及封闭剂, 其边缘会为菌斑聚集提供场所, 进而导致新龋的发生, 影响对患者的治疗效果。此外, Paris等<sup>[28]</sup>的原位试验同时也证明, 无创渗透树脂技术在治疗早期邻面龋方面效果优于流动树脂技术。

文章中的研究结果显示, 无创渗透树脂技术在治疗邻面龋1年后的牙体形态、去除釉质脱矿造成的白垩色斑以及色泽稳定性、继发龋方面均好于流动树脂材料, 治疗的成功率也高于流动树脂材料, 文章研究结果与以往结果相似。这可能与两种材料的作用机理有关。

无创性渗透树脂技术为龋病的治疗提供了一个创新性的方法, 改善了早期龋病治疗的现状, 使早期非成洞性龋病的治疗朝向简便、快捷、有效、无创的方向发展。但树脂渗透治疗过程需要使用橡皮障对周围软硬组织进行保护, 避免唾液造成污染, 治疗的同时要求有助手协助操作, 在临床推广应用方面仍然存在一定的困难。

**作者贡献:** 第一作者进行文章构思、实施及评估, 第一作者资料收集、成文, 第一作者对文章进行审校, 第一作者对文章负责。

**利益冲突:** 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

**伦理要求:** 实验获得所在单位的伦理委员会批注, 符合伦理学标准。

**作者声明:** 文章为原创作品, 数据准确, 内容不涉及泄密, 无一稿两投, 无抄袭, 无内容剽窃, 无作者署名争议, 无与他人课题以及专利技术的争执, 内容真实, 文责自负。

## 5 参考文献

- [1] Ekstrand KR. Improving clinical visual detection—potential for caries clinical trials. *J Dent Res.* 2004;83:C67-71.
- [2] 王芸,唐荣银.再矿化药物的研究进展[J].牙体牙髓牙周病学杂志,2005,15(9):523-526.
- [3] Mueller J, Meyer-Lueckel H, Paris S, et al. Inhibition of lesion progression by the penetration of resins in vitro: influence of the application procedure. *Oper Dent.* 2006;31(3):338-345.
- [4] Davila JM, Buonocore MG, Greeley CB, et al. Adhesive penetration in human artificial and natural white spots. *J Dent Res.* 1975;54(5):999-1008.
- [5] Meyer-Lueckel H, Paris S. Improved resin infiltration of natural caries lesions. *J Dent Res.* 2008;87(12):1112-1116.
- [6] Meyer-Lueckel H, Paris S. Progression of artificial enamel caries lesions after infiltration with experimental light curing resins. *Caries Res.* 2008;42(2):117-124.
- [7] Kielbassa AM, Muller J, Gernhardt CR. Closing the gap between oral hygiene and minimally invasive dentistry: a review on the resin infiltration technique of incipient (proximal) enamel lesions. *Quintessence Int.* 2009;40(8):663-681.
- [8] Mejäre I, Källest I C, Stenlund H. Incidence and progression of approximal caries from 11 to 22 years of age in Sweden: A prospective radiographic study. *Caries Res.* 1999;33(2):93-100.
- [9] Marthaler TM, Germann M. Radiographic and visual appearance of small smooth surface caries lesions studied on extracted teeth. *Caries Res.* 1970;4(3):224-242.
- [10] Ergin S, Gemalmaz D. Retentive properties of five different luting cements on base and noble metal copings. *J Prosthet Dent.* 2002;88(5):491-497.
- [11] Meyer-Lueckel H, Cölfen H, Verch A, et al. Effects of carboxymethyl cellulose-based saliva substitutes with varying degrees of saturation with respect to calcium phosphates on artificial enamel lesions. *Caries Res.* 2010;44(2):127-134.
- [12] Paris S, Meyer-Lueckel H, Mueller J, et al. Influence of the application time on the penetration of different dental adhesives and a fissure sealant into artificial subsurface lesions in bovine enamel. *Dent Mater.* 2006;22(1):22-28.
- [13] Paris S, Meyer-Lueckel H, Cölfen H, et al. Resin infiltration of artificial enamel caries lesions with experimental light curing resins. *Dent Mater J.* 2007;26(4):582-588.
- [14] Meyer-Lueckel H, Paris S, Kielbassa AM. Surface layer erosion of natural caries lesions with phosphoric and hydrochloric acid gels in preparation for resin infiltration. *Caries Res.* 2007;41(3):223-230.
- [15] Paris S, Meyer-Lueckel H, Cölfen H, et al. Penetration coefficients of commercially available and experimental composites intended to infiltrate enamel carious lesions. *Dent Mater.* 2007;23(6):742-748.
- [16] Croll TP. Bonded resin sealant for smooth surface enamel defects: new concepts in "microrestorative" dentistry. *Quintessence Int.* 1987;18(1):5-10.
- [17] Gray GB, Shellis P. Infiltration of resin into white spot caries-like lesions of enamel: an in vitro study. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2002;10(1):27-32.
- [18] Paris S, Meyer-Lueckel H, Kielbassa AM. Resin infiltration of natural caries lesions. *J Dent Res.* 2007;86(7):662-666.
- [19] Meyer-Lueckel H, Chatzidakis A, Naumann M, et al. Influence of application time on penetration of an infiltrant into natural enamel caries. *J Dent.* 2011;39(7):465-469.
- [20] Paris S, Schwendicke F, Seddig S, et al. Micro-hardness and mineral loss of enamel lesions after infiltration with various resins: Influence of infiltrant composition and application frequency in vitro. *J Dent.* 2013;41(6):543-548.
- [21] Osorio E, Toledano M, Aguilera FS, et al. Ethanol wet-bonding technique sensitivity assessed by AFM. *J Dent Res.* 2010;89(11):1264-1269.
- [22] Nishitani Y, Yoshiyama M, Donnelly AM, et al. Effects of resin hydrophilicity on dentin bond strength. *J Dent Res.* 2006;85(11):1016-1021.
- [23] Croll TP, Killian CM, Miller AS. Effect of enamel microabrasion compound on human gingiva: report of a case. *Quintessence Int.* 1990;21(12):959-963.
- [24] Lussi A, Zimmerli B, Hellwig E, et al. Influence of the condition of the adjacent tooth surface on fluorescence measurements for the detection of approximal caries. *Eur J Oral Sci.* 2006;114(6):478-482.
- [25] 张颖. 局部应用氟化物防龋[J]. 中国实用口腔科杂志, 2012, 5(10): 580-582.
- [26] 梁毅夫, 卢淑媛. 自酸蚀粘结剂并窝沟釉质成形窝沟封闭效果的临床观察[J]. 口腔医学研究, 2009, 25(3): 348-351.
- [27] Paris S, Meyer-Lueckel H, Mueller J, et al. Progression of sealed initial bovine enamel lesions under demineralizing conditions in vitro. *Caries Res.* 2006;40(2):124-129.
- [28] Paris S, Meyer-Lueckel H. Inhibition of caries progression by resin infiltration in situ. *Caries Res.* 2010;44(1):47-54.