

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2017.04.001

· 专家论坛 ·

# 大块充填树脂在牙体修复中的应用与研究进展

陈智<sup>1</sup>, 张磊<sup>1</sup>, 赵小娥<sup>2</sup>

1. 武汉大学口腔医院牙体牙髓科, 湖北, 武汉(430000); 2. 兰州市口腔医院牙体牙髓科, 甘肃, 兰州(730000)



**【作者简介】** 陈智,男,医学博士。现任武汉大学口腔医学院教授、主任医师、博士生导师,武汉大学珞珈杰出学者。兼任中华口腔医学会第四届理事、牙体牙髓病学专委会第五届常委、口腔美学专委会第一届副主任委员、湖北省口腔医学会副会长、湖北省口腔医学会牙体牙髓病学专委会主任委员、全国医学专业学位研究生教育指导委员会委员、国际牙科研究协会会员、《Oral Diseases》副主编、《口腔医学研究》副主编、《中华口腔医学》等多本杂志编委。

从事牙髓生物学和牙体修复方面的研究。近年来主持国家自然科学基金面上项目5项,国际合作重点项目1项。共同主编专著《牙体修复》,担任住院医师规培教材《口腔医学-口腔内科分册》共同主编,本科生规划教材《牙体牙髓病学》(第5版)副主编。

**【摘要】** 传统复合树脂在临床应用中分层充填,步骤较多,树脂的聚合收缩可导致修复体边缘微渗漏、术后敏感等,导致修复失败。2009年,大块充填树脂(bulk-fill resin-based composite)应运而生,改良的基质单体、改性强化的纳米混合填料以及独特的光引发剂,使得大块充填树脂能够一层充填4 mm,其简化操作步骤、节约椅旁时间、并能显著降低聚合收缩和聚合应力。本文就大块充填树脂的分类、固化原理、性能等方面进行阐述和讨论,并提出大块充填树脂的应用发展方向。

**【关键词】** 大块充填树脂; 固化深度; 聚合收缩; 微渗漏; 树脂修复

**【中图分类号】** R783.3 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2017)04-0205-06

**【引用著录格】** 陈智,张磊,赵小娥. 大块充填树脂在牙体修复中的应用与研究进展[J]. 口腔疾病防治, 2017, 25(4): 205-210.

**Clinical application and research progress of bulk-fill resin-based composites** CHEN Zhi<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, ZHAO Xiao'e<sup>2</sup>. 1. School of Stomatology, University of Wuhan, Wuhan 430000, China; 2. Lanzhou Stomatological Hospital, Lanzhou 730000, China

Corresponding author: CHEN Zhi, Email: zhi\_chen@163.com, Tel: 0086-13971037354

**【Abstract】** Traditional resin-based composites have been placed in cavities by incremental layering technique. The shrinkage stress may result in microleakage, post-operative sensitivity which lead to the failed restorations. In 2009, bulk-fill resin-based composites were reported to have the capability to be placed and cured in 4-5 mm increments, because of the improved resin matrix, modified nano-hybrid fillers and new photo initiators. This group of materials can simplify operation in clinical application in addition to decrease shrinkage stress and polymerization shrinkage. The aim of this review is to summarize the classification and properties of bulk-fill resin-based composites and to discuss the development of these new materials in the future.

**【Key words】** Bulk-fill resin-based composite; Depth of cure; Polymerization shrinkage; Microleakage; Resin composite

**【收稿日期】** 2016-11-06; **【修回日期】** 2016-12-11

**【基金项目】** 湖北省科技攻关计划(2013BCB025); 兰州市人才创新创业科技计划(2015-RC-53)

**【通讯作者】** 陈智,教授,博士, Email: zhi\_chen@163.com

随着复合树脂材料物理、机械性能和美学特性的改善,复合树脂得到了广泛的应用,逐渐取代了银汞合金材料。复合树脂材料主要由有机树脂基质、无机填料和光引发剂组成,在特殊波长光源的照射下,光敏引发剂激活固化反应,基质和填料形成聚合网状结构。在临床应用中,复合树脂仍然面临很多挑战,最主要的问题就是聚合收缩。体积的收缩容易导致充填物边缘着色、边缘微渗漏、釉质折裂、牙尖变形、术后敏感等,造成修复失败。为了减少聚合收缩,使用水平或斜向的分层充填方式,每层厚度不超过2 mm以保证光线的穿透和固化转化率,可达到较好的临床效果。然而,分层充填方式应用于较深窝洞时,固化深度不足,操作步骤较多,固化距离较远,转化率降低,并且占用椅旁时间。

为了满足临床医生和市场对增加固化深度和简化操作步骤的需求,2009年,大块充填树脂(bulkfill resin-based composite)应运而生。改良的基质单体,改性强化的纳米混合填料,以及独特的光引发剂,使得大块充填树脂能够一层充填4 mm,光固化反应充分,简化操作步骤,节约椅旁时间,并能显著降低聚合收缩和聚合应力。与传统复合树脂相比,还具有良好的物理、机械性能,抗弯曲和抗压缩强度,良好的光泽度和耐磨性等<sup>[1]</sup>。

## 1 大块充填树脂的分类

由于大块充填树脂的发展过程中,不同厂商有各自的专利产品,其中不免存在一些过渡性产品,所以大块充填树脂种类较多,目前没有统一的分类标准。大块充填树脂按固化原理可分为两类:光固化型(SDR、SonicFill等)和双固化型(HyperFill、Fill-Up!等)。双固化型利用光引发和化学引发共同激活聚合反应,弥补光引发反应效率的不足,在自固化模型中可以达到理论上无限的固化深度<sup>[2]</sup>。但由于树脂基质、填料以及光引发剂的改良,单纯光引发即可达到有效的转化率,并且双固化型对临床操作有时间限制,笔者认为双固化型可能是一种过渡性产品,不应自成一类。笔者根据大块充填树脂的流动性和临床运用,认为可进行如下分类:低粘型(low-viscosity)、高粘型(high-viscosity)和粘度可变量型(viscosity-change)(表1)。

低粘型无机填料比较低,流动性较高,具有良好的自流平性,更容易进入点隙裂沟和窝洞倒凹,

表1 大块充填树脂分型

Table 1 Types of Bulkfill resin-based composites

流动性	产品	生产商家	填料比 (wt%)
低粘型	Beautiful Bulk flowable	Shofu	73
	Filtek Bulk Fill	3M Espe	64
	Surefil SDR	Dentsply	68
	Venus Bulk Fill	Heracus	65
	x-tra base	Voco	75
高粘型	Beautiful Bulk restorative	Shofu	87
	QuiXX	Dentsply	86
	Tetric N-Ceram Bulk Fill	Ivoclar Vivadent	77
	x-tra Fil	Voco	86
	ever X Posterior	GC	74
	HyperFill	Parkell	76
粘度可变量型	Fill-Up!	Coltene	65
	SonicFill	Kerr	83

透光性更好<sup>[3]</sup>,表面还需覆盖一层传统树脂。高粘型无机填料比较高,流动性较低,易于雕刻外形,有良好的机械、美学性能,实现真正意义的一次充填。粘度可变量型仅SonicFill一种树脂,利用声波的能量使得树脂粘度大幅下降,在充填窝洞时具有更好的流动性,充填完成后粘度恢复,成为高粘状树脂,便于雕刻外形,表面无需再覆盖。粘度可变量型树脂拥有低粘型和高粘型树脂的优点,但需要与超声设备搭配使用。

## 2 大块充填树脂的原理

大块充填树脂通过改良树脂基质成分、填料以及光敏引发剂等因素,实现了4 mm的固化深度,使得大块一次充填成为可能。

### 2.1 树脂基质

大块充填树脂在原有传统树脂基质的基础上加入了新型的高分子量基质单体,对减少聚合应力、降低聚合体积收缩起到了极其重要作用。这些新型的基质材料包括:①双甲基丙烯酸尿烷酯(urethane dimethacrylate, UDMA),通过改良聚合链,提高前凝胶态时的弹性,降低粘性,增加C=C双键的形成和固化深度,并且分子主干无羟基(-OH)基团,使材料在口腔内的吸水性显著降低<sup>[4]</sup>;②芳香簇UDMA(aromatic urethane dimethacrylate, AUDMA),通过减少活性反应基团,调节聚合收缩和收缩应力;③碎片增加分子(addition-fragmentation monomers, AFM),固化反应时,键位断裂形成第三反应基团,相互交联,松弛网络,延迟凝胶点,减缓应力的产生;④1,12-十二烷二醇双甲基丙烯酸酯(1,12-Dodecanediol dimethacrylate, DDD-

MA), 疏水性主干可以增加分子的流动性, 降低粘稠度, 具有低挥发性和低放热曲线, 减小聚合反应体积收缩; ⑤基质单体中还包括作稳定剂和抗氧化剂的二丁基羟基甲苯 (butylated hydroxytoluene, BHT), 以及与常规复合树脂相似的乙氧基双酚 A 双甲基丙烯酸酯 (bisphenol A ethoxylate dimethacrylate, Bis-EMA)。树脂基质的色度较常规树脂的牙本质色和牙釉质色透明, 更有利于光线的穿透, 在临床根管再治疗病例中, 也便于发现树脂充填物下的根管口。

## 2.2 改性填料

大块充填树脂采用改性后的纳米混合填料, 不仅能够提高填料比, 改善物理机械性能, 而且具有独特的光学特性。未聚合的氧化硅和氧化锆填料 (< 20 nm) 折射率与树脂基质相似, 填料不会对蓝光产生吸收和散射, 能够增加固化光线透过深度, 达到 4 mm, 提高了光强利用率。并且颗粒表面使用硅烷偶联, 避免颗粒聚集成团, 减少聚合应力的产生。预聚合的氧化硅和氧化锆填料, 为球形或多边形, 减少与基质的临界面, 从而让更多的光线进入树脂内部, 降低树脂弹性模量。三氟化铍颗粒增加 X 线阻射性, 并且可以释放氟化物。还包含一些玻璃基质填料, 可以释放和储存氟化物, 具有良好的耐磨性和光泽度, 搭配调色的氧化铁颗粒, 为小块充填树脂提供了更多的色度选择。

## 2.3 光敏引发剂

大块充填树脂能够实现固化深度到达 4 mm, 光敏引发系统扮演着极为重要的角色。在原有传统树脂使用樟脑醌 (camphorquinone) 和酰基磷氧类 (benzoyl phenyl phosphine oxide, BPO) 光引发剂的基础上, 加入了一种联苯甲酰锗衍生物 (bis 4-methoxy benzoyl diethyl germanium compound), 锗化合物无需与叔胺共引发, 可独立激活光固化反应, 并在反应过程中至少产生两个活性游离基团引发聚合反应, 从而大大提高了固化反应的效率。传统引发剂的吸收峰为 400 nm, 新引发剂的吸收峰为 400 ~ 450 nm, 两者的联合, 使得吸收范围显著扩大。锗化合物显黄色, 与蓝光互补, 同时不影响树脂基质和填料的透光性, 最大限度增加光线透过率和光强利用率, 能使树脂的固化深度达到 6 mm<sup>[5]</sup>。

通过改良、改性无机填料和有机基质, 采用引发效率更高的锗化合物作光引发剂, 使得大块充填

树脂拥有更高的光吸收系数和光强利用率, 在提高聚合反应速度和转化率的同时减少聚合应力 and 体积收缩, 从而使得实现大块充填树脂 4 mm 的固化深度。

## 3 大块充填树脂的性能

大块充填树脂实现革命性突破的一点就是保证转化率的前提下固化深度的大幅提高, 减化临床操作步骤。近年来, 关于大块充填树脂材料物理机械性能的体外研究众多。

### 3.1 固化深度

Benetti 等<sup>[6]</sup>采用 ISO 4049 标准测定法分别检测了传统复合树脂和 5 种大块充填树脂发现, 粘度可变型 SonicFill 的固化深度仅略高于传统树脂, 而高粘型 Tetric N-Ceram Bulk-fill 和低粘型大块充填树脂 (X-tra base, Venus Bulk-fill, SDR) 固化深度都显著高于传统树脂。Jang 等<sup>[7]</sup>使用显微维氏硬度法测量固化深度得出, 除了 Tetric N-Ceram Bulk-fill, SDR 和 Venus Bulk-fill 都可以在达到 4 mm 的固化深度。由于使用的实验方法或检测标准不同, 可能导致研究得出了不同甚至有偏差的结果。Flury 等<sup>[8]</sup>对上述两种评价方法进行比较, 针对 SDR、Venus Bulk-fill 和 Tetric EvoCeram Bulk-fill 的平均固化深度, 发现使用 ISO 4049 标准测量出的固化深度高于显微维氏硬度法。研究证实大块充填树脂固化深度都可以达到 4 mm, 且与光固化灯的种类和模式无关<sup>[9]</sup>, 个别产品如 X-tra base 在保证转化率的情况下甚至可以达到 8 mm 的深度<sup>[10]</sup>, 但固化反应转换率在不同产品间有差异, 与材料自身性质有关。

### 3.2 微渗漏

边缘微渗漏一直是评价树脂材料临床疗效的重要指标<sup>[11]</sup>, 边缘封闭性很大程度上决定了修复体的成功与失败。侧壁边缘的封闭有效的阻止继发龋的发生<sup>[12]</sup>, 提高树脂直接修复的使用寿命。对于根管治疗后的牙, 良好的冠部封闭比完善的根管充填拥有更高的成功率<sup>[13]</sup>。

Scotti 等<sup>[14]</sup>用光学相干断层成像术 (optical coherence tomography, OCT) 检测 30 颗离体牙时得出, 根管治疗后充填髓室时使用低粘型大块充填树脂有助于减少髓室底裂隙的产生; Gaintantzopoulou 等<sup>[15]</sup>使用  $\mu$ -CT 和扫描电镜检测前磨牙 II 类洞, 发现使用 SonicFill 比玻璃离子水门汀有更好的洞壁密合性。大块充填树脂在侧壁和髓室底拥有更

好的封闭,减少冠方渗漏,提高充填修复以及根管治疗的成功率。但 Kalmowicz 等<sup>[16]</sup>认为充填 I、II 类洞时,使用 SonicFill 大块充填与 Herculite Ultra 传统树脂分层充填在边缘密合性上无明显差异,对边缘微渗漏产生显著影响的因素是窝洞形态(或“C”因素<sup>[17]</sup>)和粘接面类型(牙釉质/牙本质)。同样,de Assis 等<sup>[18]</sup>运用低粘型大块充填树脂(SDR)和一层传统树脂覆盖的充填方式,并未像预想的一样显著提高边缘封闭性和粘结、抗折裂强度。甚至 Benetti 等<sup>[4]</sup>在与传统树脂比较时发现,低粘型大块充填树脂 X-tra base 和 Venus Bulkfill 产生的微渗漏反而大于传统复合树脂。

对于研究树脂材料微渗漏,体外实验一般采用染料染色、微生物渗透、扫描电镜、电化学方法、免疫荧光法以及光学 OCT 等技术,不同的实验方法有不同的分辨率以及自身的局限性,目前还没有“金标准”去评价材料内部实际裂隙的多少。相比传统树脂而言,大块充填树脂是否能减少微渗漏的产生,提供更好的边缘密合性,还需更多体外、体内研究证明。

### 3.3 聚合应力

在光引发聚合反应方面,厂商声称大块充填树脂可以降低聚合应力,减小聚合体积收缩,保证有效且安全的聚合反应。

El-Damanhoury 等<sup>[19]</sup>认为与 Filtek Z250 (3M ESPE)相比, Tetric EvoCeram Bulkfill, Venus Bulkfill 和 Filtek Bulk-fill 具有较小的收缩应力,且在深度 4 mm 处都能到达有效的固化转化率。SDR 树脂基质中含有聚合调节分子(polymerization modulator),可以减缓聚合反应中弹性模量的增加,从而达到比传统树脂和流动树脂更小的聚合应力值和弹性形变<sup>[20-21]</sup>。Tomaszewska 等<sup>[22]</sup>分别比较了高粘型大块树脂充填和低粘型大块树脂覆盖传统树脂充填 MOD 洞型,无论是微渗漏的产生还是牙尖变形,高粘型显著优于低粘型树脂。在聚合反应中,聚合应力值很难直接测量得出,都是通过测量微渗漏、牙尖变形或者界面脱粘接等指标侧面反应。

## 4 大块充填树脂的临床应用

优异的性能使得大块充填树脂拥有广泛的适应证: I、II 类深窝洞的充填,窝沟封闭,树脂成核,夹板固定,以及制作嵌体、贴面等间接修复体和临时冠。

临床研究方面, Van Dijken 等<sup>[23]</sup>使用 SDR 进行了为期 5 年的随机临床研究,口内自身对照分为 SDR 组和传统树脂组,选取 38 对 I 类洞和 62 对 II 类洞。第 3 年回访时,74 个 I 类洞和 122 个 II 类洞纳入统计,SDR 充填组 4 例失败,年失败率为 1.2%,与传统树脂分层充填组无显著差异。第 5 年回访时<sup>[24]</sup>,68 个 I 类洞和 115 个 II 类洞纳入统计,总共 10 例失败,SDR 仅 4 例,年失败率为 1.1%,所有修复体失败均是 II 类洞,主要原因是牙体折裂或者修复体折裂,两种树脂之间无统计学差异,SDR 树脂具有良好的临床疗效。同样,SDR 树脂在 Van Dijken 等<sup>[25]</sup>的另一个为期 3 年临床研究中未发现失败病例,失败率为 0%。Bayraktar 等<sup>[26]</sup>纳入 50 例自身对照,观察一年, Filtek Bulk-Fill Flowable、Tetric EvoCeram Bulk-Fill 和 SonicFill 的临床疗效与传统树脂之间无任何显著差异。

大块充填树脂也可运用于儿童牙科, Cantekin 等<sup>[27]</sup>对 60 颗乳磨牙进行牙髓切断术后,运用低粘型大块树脂进行“三明治”充填封闭,观察一年,边缘密合性优于传统不锈钢全冠。

大块充填树脂已报道的临床效果令人满意,但符合循证医学要求的临床研究太少,仍需更多的多中心随机对照研究和循证医学的支持。

## 5 大块充填树脂的发展与前景

50 年代以来,复合树脂逐渐取代银汞合金成为最主要的直接修复材料,但复合树脂的聚合收缩、临床操作繁琐等缺陷大大阻碍了在临床上的应用,直接影响着树脂充填体的使用寿命。而近年来问世的新型大块充填树脂,声称可以一次充填、固化达 4 mm,同时减少聚合收缩的产生,节约临床操作时间,其优异的性能还需经历时间和临床实践的考验,笔者在使用大块充填树脂的过程中,总结归纳出大块充填树脂目前的缺陷及未来发展的方向。

一般根管治疗后的窝洞深度都大于 4 mm,所以目前高粘型大块充填树脂用于根充后充填时仍然是两步充填。而低粘型大块充填树脂为了达到较大的流动性,牺牲了物理机械性能,在充填之后,表面仍需覆盖一层传统复合树脂,临床操作上至少两次充填才能完成,增加了操作步骤。目前临床使用上,大块充填树脂大多数仍需要两步充填,如何在保证固化转化率的情况下,增大固化深度是未来需要面临的问题,做到名副其实的一次

充填,从而便捷临床操作,提高诊疗效率。同时,大块充填树脂还应改良填料、基质,提高机械性能,增强抗折裂强度,从强度和模量上尽量恢复牙齿原本的状态<sup>[28]</sup>。

大块充填树脂通过改良基质、填料,使其在机械性能和临床操作上有了较大提升,但是其美学性能并未明显改善。绝大多数大块充填树脂色度单一,未设计产出牙本质色和牙釉质色树脂,无法实现更多颜色层次的区分,达不到美观的要求,无法直接用于临床上的分层美学修复。大块树脂应适当增加玻璃基质类填料,提高光泽度和抛光性能,有利于还原牙齿本身的半透明性;利用更多的染色剂,调制出完善的颜色梯度和配色方案。目前的大块充填树脂还无法做到性能与美观兼得。

目前,低粘型大块充填树脂需配合洞缘处充填的传统树脂一同使用,不仅增加了操作步骤,又降低了洞缘密合性,增加了微渗漏的产生,失去了大块充填树脂的部分优势。笔者认为,低粘型大块充填树脂仅为大块充填树脂发展的过渡产品,随着材料科学的发展,会有更好的树脂材料取而代之。

由于大块树脂基质的改性和加入了新的锆化合物光引发剂,大块充填树脂的光固化反应迅速且有效,但是在固化过程中,修复体的温度上升速率比传统树脂更快,尤其是在髓室处温度比传统树脂高2.4℃,在活髓牙近髓充填时可能会影响牙髓的活力<sup>[29]</sup>,造成医源性的牙髓损伤。未来,大块充填树脂材料需要改良光引发剂,或加入调节成分,做到固化反应快速且稳定,并且可以有效的对反应速率进行控制,避免产生不必要的医源性损伤。

虽然大块充填树脂的临床疗效有待进一步验证,但其操作简便,一次固化达4 mm,节约椅旁时间,有广泛的适应证,也为其日后的改良与发展提供了坚实的应用基础。未来,大块充填树脂应当兼顾物理、机械性能的同时完善美学特性,提高固化深度,还可朝向自酸蚀自粘结树脂和粘度可变形树脂方向发展,实现快捷、有效、美观、方便于一体,做到真正的一步充填通用树脂。

#### 参考文献

- [1] Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance[J]. Oper Dent, 2013, 38(6): 618-625.
- [2] Vandewalker JP, Casey JA, Lincoln TA, et al. Properties of dual-cure, bulk - fill composite resin restorative materials[J]. General Dentistry, 2016, 64(2): 68-73.
- [3] Garoushi S, Vallittu P, Shinya A, et al. Influence of increment thickness on light transmission, degree of conversion and micro hardness of bulk fill composites[J]. Odontology, 2016, 104(3): 291-7.
- [4] Alshali RZ, Salim NA, Satterthwaite JD, et al. Long-term sorption and solubility of bulk-fill and conventional resin-composites in water and artificial saliva[J]. Journal of Dentistry, 2015, 43(12): 1511-1518.
- [5] Ilie N, Valceanu A S, Hickel R. Effect of germanium-based initiator system in resin - based composites[C]. Iadr General Session, 2010.
- [6] Benetti AR, Havndruppedersen C, Honoré D, et al. Bulk-fill resin composites: polymerization contraction, depth of cure, and gap formation[J]. Operative Dentistry, 2015, 40(2): 190-200.
- [7] Jang JH, Park SH, Hwang IN. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill resin composites and highly filled flowable resin [J]. Operative Dentistry, 2014, 40(2): 172-180.
- [8] Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, et al. Depth of cure of resin composites: Is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials?[J]. Dental Materials Official Publication of the Academy of Dental Materials, 2012, 28(5): 521-528.
- [9] Menees TS, Lin CP, Kojic DD, et al. Depth of cure of bulk fill composites with monowave and polywave curing lights[J]. American Journal of Dentistry, 2015, 28(6): 357-361.
- [10] Finan L, Palin WM, Moskwa N, et al. The influence of irradiation potential on the degree of conversion and mechanical properties of two bulk-fill flowable RBC base materials[J]. Dental Materials Official Publication of the Academy of Dental Materials, 2013, 29(8): 906-912.
- [11] Dijken J W V V. A clinical evaluation of anterior conventional, microfiller, and hybrid composite resin fillings: A 6-year follow-up study[J]. Acta Odontologica Scandinavica, 1986, 44(6): 357-367.
- [12] Maltz M, Henz SL, Oliveira EFD, et al. Conventional caries removal and sealed caries in permanent teeth: A microbiological evaluation[J]. Journal of Dentistry, 2012, 40(9): 776-782.
- [13] Ray H A, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration[J]. International Endodontic Journal, 1995, 28(1): 12-18.
- [14] Scotti N, Alovisei C, Comba A, et al. Evaluation of composite adaptation to pulpal chamber floor using optical coherence tomography [J]. Journal of Endodontics, 2015, 42(1): 160-163.
- [15] Gaintantzopoulou MD, Gopinath VK, Zinelis S. Evaluation of cavity wall adaptation of bulk esthetic materials to restore class II cavities in primary molars[J]. Clinical Oral Investigations, 2016, 10(1): 1-8.
- [16] Kalmowicz J, Phebus JG, Owens BM, et al. Microleakage of Class I and II composite resin restorations using a sonic-resin placement system[J]. Operative Dentistry, 2015, 40(6): 653-661.

- [17] Han SH, Sadr A, Tagami J, et al. Internal adaptation of resin composites at two configurations: Influence of polymerization shrinkage and stress[J]. *Dent Mater*, 2016, 32(9): 1085-1094.
- [18] de Assis FS, Lima SN. Evaluation of bond strength, marginal integrity, and fracture strength of bulk-vs incrementally-filled restorations[J]. *J Adhes Dent*, 2016, 18(4): 317-323.
- [19] El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites[J]. *Operative Dentistry*, 2014, 39(4): 374-382.
- [20] Ilie N, Hickel R. Investigations on a methacrylate-based flowable composite based on the SDR technology[J]. *Dental Materials Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 2011, 27(4): 348-355.
- [21] Irata R, Clozza E, Giannini M, et al. Shrinkage assessment of low shrinkage composites using micro-computed tomography[J]. *Journal of Biomedical Materials Research Part B Applied Biomaterials*, 2014, 103(4): 798-806.
- [22] Tomaszewska IM, Kearns JO, Ilie N, et al. Bulk fill restoratives: To cap or not to cap-That is the question?[J]. *Journal of Dentistry*, 2015, 43(3): 309-316.
- [23] Van Dijken JW, Pallesen U. Randomized 3-year clinical evaluation of Class I and II posterior resin restorations placed with a bulk-fill resin composite and a one-step self-etching adhesive[J]. *Journal of Adhesive Dentistry*, 2015, 17(1): 81-88.
- [24] Van Dijken JW, Pallesen U. Posterior bulk-filled resin composite restorations. A 5-year randomized controlled clinical study[J]. *Journal of Dentistry*, 2016, 221(7): 29-35.
- [25] Van Dijken JW, Pallesen U. A randomized controlled three year evaluation of "bulk-filled" posterior resin restorations based on stress decreasing resin technology[J]. *Dental Materials*, 2014, 30(9): 245-251.
- [26] Bayraktar Y, Rul Ercan, Hamidi MM, et al. One-year clinical evaluation of different types of bulk-fill composites[J]. *Journal of Investigative & Clinical Dentistry*, 2016, 22(1): 1-9.
- [27] Cantekin K, Gumus H. In vitro and clinical outcome of sandwich restorations with a bulk-fill flowable composite liner for pulpotomized primary teeth[J]. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 2014, 38(4): 349-354.
- [28] Atalay C, Yazici A R, Horuztepe A, et al. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with bulk fill, bulk fill flowable, fiber-reinforced, and conventional resin composite[J]. *Operative Dentistry*, 2016, 41(5): 131-140.
- [29] Kim JY, Son SA, Hwang J Y, et al. Comparison of photopolymerization temperature increases in internal and external positions of composite and tooth cavities in real time: Incremental fillings of microhybrid composite VS. bulk filling of bulk fill composite[J]. *Journal of Dentistry*, 2015, 53(6): 501-504.

(编辑 全春天)