

大块树脂微渗漏研究进展

任玲¹ 刘威震¹ 王小婷² 邵丽娜²

¹中国医科大学口腔医学院,沈阳 110002; ²中国医科大学口腔医学院·附属口腔医院
牙体牙髓病科,辽宁省口腔疾病重点实验室,沈阳 110002

通信作者:邵丽娜,Email:429530054@qq.com

【摘要】 修复充填材料与牙体界面间的微渗漏是导致修复体失败的主要原因。大块树脂因增加单次充填厚度、减少聚合收缩、增强牙体抗折裂性,被广泛应用于龋病充填治疗。本文回顾大块树脂微渗漏的相关研究进展,总结大块树脂的分类及性能特点,比较大块树脂与传统树脂在充填不同洞型微渗漏的差异,探讨不同种大块树脂产生微渗漏差异的原因,归纳微渗漏的影响因素,以期为临床治疗提供更好的选择。

【关键词】 复合树脂类; 聚合作用; 收缩; 黏度; 微渗漏

基金项目: 辽宁省自然科学基金(2020-BS-111); 中国医科大学大学生创新创业训练计划(x202010159200)

引用著录格式: 任玲,刘威震,王小婷,等. 大块树脂微渗漏研究进展[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2021, 15(5):314-319.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2021.05.011

Research progress of bulk-fill resin composites in microleakage

Ren Ling¹, Liu Weizhen¹, Wang Xiaoting², Shao Lina²

¹School of Stomatology, China Medical University, Shenyang 110002, China; ²Department of Endodontics, School and Hospital of Stomatology, China Medical University, Liaoning Provincial Key Laboratory of Oral Diseases, Shenyang 110002, China

Corresponding author: Shao Lina, Email:429530054@qq.com

【Abstract】 Microleakage between the filling material and the tooth interface is considered as the most important risk factor responsible for the failure of the restoration. Bulk-fill resin composites (BFRCs) are widely used in the treatment of dental caries because they have the ability to build up increments in single filling, reduce polymerization shrinkage and increase fracture resistance of treated teeth. In this paper, the related research progress on microleakage of BFRCs is reviewed, and the classification and performance characteristics of BFRCs are summarized. The capability of BFRCs and traditional resin against microleakage in filling different types of cavities is compared. The causes of the differences of

microleakage in using different kinds of BFRCs are discussed, and the factors causing microleakage are generalized in order to provide better choices for clinical treatment.

【Key words】 Composite resins; Polymerization; Shrinkage; Viscosity; Microleakage

Fund programs: Natural Science Foundation of Liaoning Province (2020-BS-111); Innovation and Entrepreneurship Training Program for College Students of China Medical University (x202010159200)

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2021.05.011

微渗漏是指修复充填材料和牙体界面间的渗漏,复合树脂固化后的聚合收缩会造成充填体和牙体组织之间出现微小缝隙,此缝隙是细菌及各种体外分子和离子等的通道^[1]。粘接界面长期的微渗漏可导致不良后果包括充填体边缘着色、继发龋、术后敏感、牙髓损伤,甚至出现充填体松动脱落等,是修复体失败的主要原因,也是评价树脂材料临床疗效的重要指标^[2-3]。

大块树脂单次充填厚度的增加,可以减少牙尖变形、聚合收缩和收缩应力,增加牙体抗折裂性;同时缩短椅旁操作时间,降低技术敏感性,提升操作效率,减轻患者的不适感^[4]。此外,由于单层充填厚度增加,充填层数减少,大块充填树脂修复的微渗漏也明显小于传统复合树脂材料修复^[5-6]。大块充填树脂修复避免了由树脂材料微渗漏而引起的术后敏感、继发龋等。

一、大块树脂的由来及性能特点

1. 大块树脂的由来

复合树脂材料由于其良好的美学效果,易于操作,对温度具有绝缘性,且能最大程度保留健康牙体组织等优点而被广泛应用于修复牙体缺损,并逐渐取代银汞合金成为临床牙体充填修复的主要材料^[7]。传统复合树脂材料也存在缺点,例如固化深度有限,超过2 mm即需要分层充填。其产生的收缩应力可影响边缘的完整性,从而导致微渗漏、分离、继发龋、术后敏感及边缘白线的形成^[8]。

2009年,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基质材料包括双甲基丙烯酸尿酸酯(UDMA)、芳香簇UDMA(AUDMA)、碎片增加分子(AFM)、1,12-十二烷二醇双甲基丙烯酸酯(DDD-MA)、二丁基羟基甲苯

(BHT)、乙氧基双酚 A 双甲基丙烯酸酯(Bis-EMA);采用改性后的填料包括未聚合的氧化硅和氧化锆填料,颗粒表面使用硅烷偶联剂、三氟化镱颗粒、一些玻璃基质填料;其光敏引发剂在原有传统树脂使用樟脑醌和酰基磷氧类(BPO)光引发剂的基础上,加入了一种联苯甲酰锆衍生物^[9]。通过改良、改性无机填料和有机基质,采用更高引发效率的锆化物作为光引发剂,使大块充填树脂拥有更高的光吸收系数和光强利用率,从而提高聚合反应速度和转化率并减少聚合应力和体积收缩,使大块充填树脂达到4 mm的固化深度,避免了分层充填的弊端,受到医生和患者的欢迎,被广泛应用于龋病治疗^[9]。

按照固化机制分类,大块树脂可以分为光固化和双固化(光固化和化学固化)两种类型。按照机械性能分类,可将大块树脂分为高黏度型、低黏度型。

2. 大块树脂的性能

(1)转化率:单体转化率决定树脂的固化程度,转化率越高,树脂固化越彻底。Marovic等^[10]研究发现,对于较深窝洞来说,与传统复合树脂相比,大块充填复合树脂的单体转化率更高。Monterubbianesi等^[11]对低黏度大块充填复合材料SDR,中黏度且双固化大块充填复合材料Fill Up,以及3种高黏度大块充填复合材料Filtek、SonicFill、SonicFill2转化率的研究表明,在高黏度样品中,SonicFill系统表现出较高的转化率,特别是SonicFill2,即使在5 mm厚的样品中转化率仍较高。但也有研究表明,大块充填树脂的转化率与传统复合树脂无明显差异^[12]。

(2)固化深度:固化深度受单体转化率的影响,因此能影响转化率的因素均能影响固化深度。研究表明,由于大块树脂引发剂体系的改进,树脂的透光性、固化深度得到提高^[13]。Benetti等^[14]检测传统复合树脂和5种大块充填树脂发现,黏度可变型SonicFill的固化深度为3.43 mm,仅略高于传统树脂2.90 mm;而高黏度型Tetric N-Ceram Bulk-fill和低黏度型大块充填树脂X-tra base、Venus Bulk-fill、SDR固化深度分别为3.82、5.68、5.57和4.34 mm,显著高于传统树脂。Daugherty等^[15]对大块树脂Beautiful-Bulk、Filtek-Bulk-Fill、Tetric-EvoCeram-Bulk-Fill、Sonic-Fill-2、Venus-Bulk-Fill和传统树脂3M Z250固化深度的研究表明,Beautiful-Bulk、Venus-Bulk-Fill和Tetric-EvoCeram-Bulk-Fill均达到5.0 mm及以上的固化深度,而Filtek-Bulk-Fill和Sonic-Fill-2的固化深度分别为3.6和3.2 mm,且采用小于2000 mW/cm²光固化单元和20 s照射能使复合材料的固化深度最大化。

(3)聚合收缩:聚合收缩是指复合树脂在聚合固化过程中由可流动的糊状转变为坚硬的固体,从而出现体积收缩^[16]。有研究比较高黏度大块充填树脂、低黏度树脂和传统树脂的聚合收缩情况,结果表明Surefil SDR的聚合收缩明显小于Filtek Bulk Fill和Filtek Z350 Flowable,高黏度大块充填树脂与传统树脂聚合收缩情况差异无统计学意义^[17]。Yu等^[18]发现大块充填树脂较传统树脂聚合收缩量小,但转化率低。Benetti等^[14]用Tetric EvoCream传统树脂和5种大块树

脂充填Ⅱ类洞的研究表明,高填充体积的高黏度树脂复合材料SonicFill和Tetric EvoCeram大块树脂的聚合收缩值接近Tetric EvoCeram传统树脂。而低黏度的大块树脂Venus、SDR、X-tra base表现出较高的聚合收缩值,可能与其含有较低的填料体积有关。不同种类大块树脂无机填料含量的降低可以在一定程度上增加聚合收缩^[19]。

(4)收缩应力:无机填料含量较高的树脂材料在一定程度上具有较小的收缩应力^[20]。El-Damanhoury等^[21]的研究表明,与Filtek Z250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。

(5)机械性能:高黏度型树脂具有较多的无机填料,流动性较差,固化后硬度更高,主要用于填充需要承受较大咀嚼应力的后牙窝洞^[22]。低黏度型无机填料含量少,流动性大,可以直接将材料注射至需要充填的部位,充填较小的窝洞或窝洞的倒凹处,减少气泡的产生^[23]。此外还有黏度可变量,黏度可变量仅包括SonicFill和新进研发的SonicFill2,SonicFill系统将超声波技术与大块树脂充填技术相结合,利用声波能量来降低黏度,当声波能量通过手机应用时,导致树脂黏度下降,从而增加复合材料的流动性,使快速填充和精确适应腔壁。当声波能量停止时,树脂复合材料逐渐恢复到初始的高黏度状态。这有利于雕刻轮廓并保证了良好的机械性能,从而使SonicFill系统具有高黏度和低黏度的共同优点。

二、大块树脂微渗漏的研究进度

1. 大块树脂与传统树脂在充填不同洞型微渗漏的比较

(1)大块树脂与传统树脂充填Ⅰ类洞微渗漏的比较:复合树脂与牙釉质的结合过程比复合树脂与牙本质或牙骨质表面下层结构的结合更有效。研究表明,与Ⅱ类洞修复充填相比,Ⅰ类洞修复充填的微渗漏明显减少^[24]。刘清华等^[25]用Sonic-Fill声波树脂、卡瑞斯玛光固化复合树脂分别充填Ⅰ类洞的研究显示,SonicFill的微渗漏明显小于卡瑞斯玛光固化复合树脂。尚选等^[26]用Sonic Fill超声充填树脂、SureFil SDR整层充填流动树脂、Tetric N-Ceram bulk Fill大块充填树脂、Filtek Z350后牙树脂分别充填Ⅰ类洞的研究显示,4组微渗漏均有发生,SonicFill超声充填树脂组微渗漏值最小,Filtek Z350后牙树脂充填组微渗漏值最大,但数值差异无统计学意义,分析其原因可能是传统复合树脂充填采用分层斜向充填技术,每层充填的厚度小于2 mm,树脂的分层充填固化可以有效降低C因素,减小聚合收缩应力^[27]。SonicFill声波树脂是黏度可变型大块树脂,它利用声波能量来降低黏度,充填开始时为低黏度型,流动性强,增加树脂与洞壁的密合性,当声能被去除后,树脂复合材料逐渐恢复到初始的高黏度状态,产生较小的聚合收缩,减小微渗漏程度并保证了良好的力学性能。

(2)大块树脂与传统树脂充填Ⅱ类洞微渗漏的比较:Politi等^[5]发现,与传统的Ⅱ类洞修复技术相比,当采用改进的大块充填修复方式时,树脂材料的微渗漏显著降低。大量

研究表明,SonicFill 超声树脂充填系统修复后牙Ⅱ类洞微渗漏程度轻于传统 3M Filtek Z350 纳米树脂。分析其原因可能是 SonicFill 的无机填料含量高于 Z350, 聚合收缩更小^[28-29]。管婷婷等^[30]报道,SonicFill 超声树脂充填系统与 Herculite Précis 纳米树脂相比能够有效减少Ⅱ类洞树脂充填术后微渗漏的发生。高欣等^[31]用 SonicFill 超声树脂和 Neofil 常规树脂充填Ⅱ类洞的研究表明,SonicFill 组的微渗漏明显小于 Neofil 组。Ozel 等^[32]用 Herculite XRV Ultra 和 SonicFill 充填Ⅱ类洞的研究表明,与 Herculite XRV Ultra 相比,SonicFill 减少了殆面和牙颈部边缘的微渗漏。Swapna 等^[33]用大块树脂 SonicFill 和两种传统树脂 Tetric Evo Ceram、X-tra fil 进行Ⅱ类洞修复研究显示,SonicFill 声波充填复合材料的边缘微渗漏明显少于其他组。

而 Rengo 等^[6]研究发现,大块充填树脂材料在Ⅱ类洞修复时表现出与传统分层充填相似的边缘微渗漏。与 García Marí 等^[34]用 Filtek Bulk Fill 和 Filtek Supreme XTE 充填Ⅱ类洞均有微渗漏产生,差异无统计学意义的结论相一致。王晓荣等^[35]用 SonicFill 大块充填树脂、Z350 传统树脂分别充填离体牙Ⅱ类洞的研究表明,SonicFill 大块充填树脂组边缘裂隙小于传统树脂组,而边缘染色深度却无明显差异。Mosharrafian 等^[36]用 SonicFill、3M 大块树脂及 Z250 传统复合树脂对Ⅱ类洞修复的研究表明,3组间在牙龈或咬合边缘的微渗漏没有显著差异,但 SonicFill 组微渗漏最小。

(3) 大块树脂与传统树脂充填 V 类洞微渗漏的比较: V 类洞边缘建立在牙本质或牙骨质上,更容易发生微渗漏^[37]。林玉红等^[38]用 SonicFill 声波树脂和 Filtek Bulk-fill 流体树脂一次性充填 3 mm 深的 V 类洞,SonicFill 组边缘微渗漏的染色深度和裂隙宽度均低于 3M Z350 XT 传统树脂。朱晟等^[39]用义获嘉 N Ceram 纳米瓷化树脂、N Flow 流动树脂和 Bulk Fill 三次方大块充填树脂充填上颌前磨牙 V 类洞的研究显示,义获嘉 Bulk Fill 组树脂在龈壁的微渗漏最小,3组树脂在殆壁的微渗漏值无明显差异,可能是因为殆壁主要以牙釉质为主,黏接强度较高,相比牙本质不易产生微渗漏。

Elshazly 等^[40]研究表明,Filtek supreme XTE 传统树脂和 Filtek 大块充填树脂的聚合收缩差异无统计学意义,但有明显的下降趋势。有观点认为,Filtek 大块复合树脂中新型单体碎片增加分子的加入,可以在保持聚合物物理特性的同时提供一种应力释放机制^[41]。Filtek 大块复合树脂还有改良的高分子量芳香族二甲基丙烯酸氨基甲酸酯,这些单体具有低浓度的双键,从而提高了转化率,减小了聚合收缩^[9,42]。分析其原因可能是圆柱形洞型的独特性、Filtek 不具有流动性以及两种充填材料具有相似材料载荷而不易产生差异。钟伟英等^[43]用 SonicFill 和用 3M Filtek Z350 XT 充填颈部楔状缺损,进行 2 年时间观察,在充填体完整性、边缘着色、继发龋和术后敏感这 4 个评价指标方面的差异无统计学意义,但合计成功率差异有统计学意义。随着随访时间的延长,差异逐渐显现,SonicFill 超声树脂的充填效果在一定程度上优于传统树脂。但也有学者提出不同的研究结论,Lokhande 等^[44]对

80 颗离体前磨牙应用 Tetric 流动树脂与普通树脂充填 V 类洞发现,两者的边缘微渗漏程度无明显差异。可能是由于流动性复合材料较低的弹性模量降低应力的程度与其高收缩应变增加应力的程度相似,从而导致其应力水平与非流动性材料相当^[45-46]。

2. 不同大块树脂间微渗漏比较

大块树脂通过改变无机填料与有机基质的含量及比例,使不同种类的大块树脂具有不同的性能。Tomaszewska 等^[47]分别比较高黏度型大块树脂和低黏度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,高黏度型显著优于低黏度型树脂。Kim 等^[48]用两个高黏度大块树脂 SonicFill、Tetric N-Ceram bulk-fill 和 2 个低黏度大块树脂 Filtek bulk-fill、SureFil SDR Flow 分别充填 I 类洞所得 600 s 聚合收缩率分别为 2.05%、2.22%、3.05% 和 2.99%,所有高黏度复合材料的聚合收缩明显小于低黏度复合材料。林玉红等^[38]的研究结果认为,SonicFill 声波树脂组染料渗入深度(0.80±0.20) mm 小于 Filtek Bulk-fill 流体树脂组(0.94±0.12) mm。以上结论均与 Tomaszewska 等^[47]发现高黏度型大块树脂微渗漏显著优于低黏度型树脂相一致。与低黏度大块树脂相比,高黏度大块树脂具有更高比例的无机填料,较小的聚合收缩,减少了边缘微渗漏的产生。Sonic Fill 为黏度可变型大块树脂,通过改变声波能量使树脂从低黏度型变为高黏度型,而 Filtek Bulk-fill 流体树脂为低黏度型,其流动性强,充填后体积收缩大于 SonicFill,更易于产生微渗漏。而 Orłowski 等^[49]比较了 4 种不同的大块树脂复合材料 Sonic Fill、Tetric Evo Ceram 大块树脂、Filtek 大块树脂和 SDR 在体外条件下修复Ⅱ类洞的边缘封闭性,结果表明低黏度大块树脂、Sonic Fill 声波流体树脂比高黏度大块树脂具有更好的边缘封闭性。此实验中可能由于低黏度大块树脂流动性好,窝洞充填充分,减少了充填材料与牙体间隙,减少了气泡产生,故具有较少的微渗漏。

Swapna 等^[33]发现与 Tetric Evo Ceram 和 X-tra fil 相比,Sonic Fill 具有更小的边缘微渗漏。原因是 Sonic Fill 中含有一种能被超声波活化的改性剂,当声波通过手机手柄加载至树脂时,Sonic Fill 中黏性减小 87%,有利于树脂成分流动至窝洞各处。当超声波停止发送后,树脂黏性增强,有利于固化。刘清华等^[25]用 SonicFill 声波树脂、SDR 树脂分别充填 I 类洞的研究显示,SonicFill 的微渗漏明显小于 SDR 树脂。SDR 树脂因使用了新型的光引发剂与压力抑制剂,树脂聚合压力明显降低,凝固时间更长^[25]。同时 SDR 树脂在基质中添加了环氧乙烷和硅氧烷聚合形成的环状化合物,减少了体积收缩^[50]。但 SonicFill 通过声波改变树脂黏度及流动性减少微渗漏的程度大于 SDR 树脂。

3. 影响大块树脂微渗漏的因素

大块树脂主要由有机基质、无机填料和光引发剂组成,其中有机基质和无机填料的含量和比例均可影响树脂材料的性能。一般来说,无机填料的含量较低时,树脂材料具有较好的半透明性,导致较高的透光性,提高了聚合效率和固

化深度^[51]。但同时无机填料含量的降低也会导致更大的聚合收缩,增加了边缘微渗漏的产生^[19]。除了材料本身因素,大块树脂微渗漏还与以下因素密切相关。

(1)牙体结构及洞壁类型:Gamarra等^[52]的研究证明用SonicFill充填Ⅱ类洞时位于牙本质的颈缘微渗漏比位于牙釉质的颈缘微渗漏更严重。管婷婷等^[30]的研究表明,用SonicFill充填Ⅱ类洞时与轴壁相比,龈壁微渗漏较大,分析原因可能是由于后牙Ⅱ类洞龈壁和轴壁的结构成分存在差异,轴壁釉质厚度远大于龈壁,基于形态学、组织学及组成成分的差异,牙釉质的粘接效果要优于牙本质。

Segal等^[53]报道SureFil SDR流动树脂充填Ⅱ类洞时釉牙骨质界以上的修复相比釉牙骨质界以下具有更小的微渗漏,更好的边缘密闭性。分析原因,是位于釉牙骨质界以上和釉牙骨质界以下的Ⅱ类洞与树脂粘接的牙体组织主要为牙釉质和牙骨质,牙骨质与复合树脂粘接修复效果差^[54]。也有学者持不同观点,梁椿怡等^[55]研究认为,3M Filtek Bulk Fill树脂充填Ⅱ类洞时树脂与位于釉牙骨质界以上的龈壁粘接后产生的微渗漏更大,大于与釉牙骨质界及釉牙骨质界下的微渗漏。分析原因,部分釉质获得良好的边缘封闭的效果,采用的是全酸蚀粘接系统445(酸蚀-冲洗-粘接)进行粘接,树脂与牙釉质间的粘接效果好,因而牙釉质的微渗漏较小。而该实验使用的Single Bond Universal(3M)粘接剂为新型通用型粘接剂,牙釉质粘接强度并不理想,可能需预酸蚀牙釉质以达到良好的粘接效果,故位于釉牙骨质界以上的龈壁粘接后产生的微渗漏更大。

(2)光照因素:Ramic等^[56]的研究表明,无论是大块充填还是分层充填,间断性光照都可以减少树脂-牙本质界面微渗漏。Agarwal等^[57]也认为SonicFill树脂充填时,“软启动”模式及脉冲式光照使树脂基质分子有充足的时间进行重组,从而减少聚合收缩。然而Gamarra等^[52]的研究表明,用SonicFill充填Ⅱ类洞时软启动技术导致了较高比例的牙本质在颈部边缘的连续边缘。并且无论采用何种光聚合技术,在热循环后都存在连续边缘损失。分析其原因可能是在不同条件下不同树脂由于光引发剂的差异适合于不同的光固化模式且存在实验间的差异。

(3)制洞方式:目前备受关注的窝洞预备方式为Er:YAG激光和传统牙钻。Ozel等^[32]的研究表明,无论是Herculite XRV Ultra还是SonicFill充填Ⅱ类洞时,单纯Er:YAG激光预备比传统牙钻制备结合酸蚀处理洞形更易发生微渗漏,若Er:YAG结合酸蚀剂处理可使微渗漏程度减小^[58]。目前看来,尽管Er:YAG激光预备窝洞去除玷污层的能力更强,但可能会改变牙本质对粘接的敏感性,从而可能增加树脂充填后的微渗漏情况。无论是激光制洞还是机械制洞洞壁与充填物之间都有一个界面,它们主要为微机械结构结合,并没有发生化学反应而融为一体,因此虽然电镜下可见边缘密合好,但液体染料也有可能渗入^[59]。

(4)窝洞形态:洞形因素值是指树脂充填修复体的窝洞粘接面与未粘接面之比,又称C因素,C因素越高,复合树脂

的聚合收缩应力越大^[54]。

4. 大块树脂减少微渗漏的改进方向

大块树脂降低微渗漏的同时仍不可避免地产生微渗漏,可通过增大无机填料的比例来降低聚合收缩,继而降低微渗漏。但同时要保证填充体积及充填操作过程中的固化深度,实际中可能出现小于4 mm的固化深度,这是因为在临床工作中无法达到实验中的光源垂直于树脂表面以及近距离照射的条件,随着固化灯距树脂表面距离增加,光强度也随之减弱^[60]。这种情况不是偶然的,Daugherty等^[15]对Beautiful-Bulk、Filtek-Bulk-Fill、Tetric-EvoCeram-Bulk-Fill、Sonic-Fill-2、Venus-Bulk-Fill、Z250的固化深度和聚合度的研究表明,所有的大块树脂充填材料均未达到制造商声称的固化深度,这可能与实验条件,光照模式等多种因素有关。因此进一步增加透光率,提高单体转化率,进而保证临床固化深度是大块树脂改进的方向。

综上所述,与传统树脂相比,大块树脂一次可达4 mm的固化深度,避免了分层充填的弊端,在提高聚合反应速度和转化率的同时减少聚合应力和体积收缩。但是也存在需要改进的方面,如:增加固化深度、减小聚合收缩、提高美学性能等。下阶段应继续探索大块树脂的临床应用,以期临床治疗提供新的选择。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Bollu IP, Hari A, Thumu J, et al. Comparative evaluation of microleakage between nano-ionomer, giomer and resin modified glass ionomer cement in class V cavities-CLSM study[J]. J Clin Diagn Res, 2016,10(5):ZC66-ZC70. DOI:10.7860/JCDR/2016/18730.7798.
- [2] Hafez MA, Elkateb M, El-Shabrawy S, et al. Microleakage valuation of composite restorations following papain-based chemomechanical caries removal in primary teeth [J]. J Clin Pediatr Dent, 2017,41(1):53-61. DOI:10.17796/1053-4628-41.1.53.
- [3] Kimyai S, Pournaghi-Azar F, Daneshpooy M, et al. Effect of two prophylaxis methods on marginal gap of Cl Vresin-modified glass-ionomer restorations [J]. J Dent Res Dent Clin Dent Prospects, 2016,10(1):23-29. DOI:10.15171/joddd.2016.004.
- [4] Chesterman J, Jowett A, Gallacher A, et al. Bulk-fill resin-based composite restorative materials: A review[J]. Br Dent J, 2017, 222(5):337-344. DOI:10.1038/sj.bdj.2017.214.
- [5] Politi I, McHugh LEJ, Al-Fodeh RS, et al. Modification of the restoration protocol for resin-based composite (RBC) restoratives (conventional and bulk fill) on cuspal movement and microleakage score in molar teeth[J]. Dent Mater, 2018,34(9):1271-1277. DOI:10.1016/j.dental.2018.05.010.
- [6] Rengo C, Spagnuolo G, Ametrano G, et al. Marginal leakage of bulk fill composites in class II restorations: A microCT and digital microscope analysis[J]. Int J Adhesion Adhesives, 2015, 60:123-129. DOI:10.1016/j.ijadhadh.2015.04.007.
- [7] Giachetti L, Scaminaci Russo D, Bambi C, et al. A review of

- polymerization shrinkage stress: Current techniques for posterior direct resin restorations[J]. *J Contemp Dent Pract*, 2006, 7(4): 79-88.
- [8] Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials[J]. *Aust Dent J*, 2011, 56(Suppl 1): 59-66. DOI: 10.1111/j.1834-7819.2010.01296.x.
- [9] 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. DOI: 10.12016/j.issn.2096-1456.2017.04.001.
- [10] Marovic D, Tauböck TT, Attin T, et al. Monomer conversion and shrinkage force kinetics of low-viscosity bulk-fill resin composites [J]. *Acta Odontol Scand*, 2015, 73(6): 474-480. DOI: 10.3109/00016357.2014.992810.
- [11] Monterubbianesi R, Orsini G, Tosi G, et al. Spectroscopic and mechanical properties of a new generation of bulk fill composites [J]. *Front Physiol*, 2016, 7: 652. DOI: 10.3389/fphys.2016.00652.
- [12] Alshali RZ, Silikas N, Satterthwaite JD. Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals [J]. *Dent Mater*, 2013, 29(9): e213-e217. DOI: 10.1016/j.dental.2013.05.011.
- [13] 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]. *Dent Mater*, 2012, 28(5): 521-528. DOI: 10.1016/j.dental.2012.02.002.
- [14] Benetti AR, Havndrup-Pedersen C, Honoré D, et al. Bulk-fill resin composites: Polymerization contraction, depth of cure, and gap formation [J]. *Oper Dent*, 2015, 40(2): 190-200. DOI: 10.2341/13-324-L.
- [15] Daugherty MM, Lien W, Mansell MR, et al. Effect of high-intensity curing lights on the polymerization of bulk-fill composites [J]. *Dent Mater*, 2018, 34(10): 1531-1541. DOI: 10.1016/j.dental.2018.06.005.
- [16] 赵信义. 复合树脂的聚合收缩及收缩应力[J]. *口腔材料器械杂志*, 2020, 29(3): 121-127. DOI: 10.11752/j.kqcl.2020.03.01.
- [17] Yokesh CA, Hemalatha P, Muthalagu M, et al. Comparative evaluation of the depth of cure and degree of conversion of two bulk fill flowable composites[J]. *J Clin Diagn Res*, 2017, 11(8): ZC86-ZC89. DOI: 10.7860/JCDR/2017/28004.10444.
- [18] Yu P, Yap A, Wang XY. Degree of conversion and polymerization shrinkage of bulk-fill resin-based composites [J]. *Oper Dent*, 2017, 42(1): 82-89. DOI: 10.2341/16-027-L.
- [19] 姜雪, 高平, 魏茜茜, 等. 大块充填树脂的研究进展[J]. *口腔医学*, 2019, 39(1): 89-92. DOI: 10.13591/j.cnki.kqyx.2019.01.020.
- [20] Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: A systematic review [J]. *Dent Mater*, 2005, 21(10): 962-970. DOI: 10.1016/j.dental.2005.04.018.
- [21] El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites [J]. *Oper Dent*, 2014, 39(4): 374-382. DOI: 10.2341/13-017-L.
- [22] Barabanti N, Preti A, Vano M, et al. Indirect composite restorations luted with two different procedures: A ten years follow up clinical trial [J]. *J Clin Exp Dent*, 2015, 7(1): e54-e59. DOI: 10.4317/jced.51604.
- [23] Lassila LV, Nagas E, Vallittu PK, et al. Translucency of flowable bulk-filling composites of various thicknesses [J]. *Chin J Dent Res*, 2012, 15(1): 31-35.
- [24] Kalmowicz J, Phebus JG, Owens BM, et al. Microleakage of class I and II composite resin restorations using a sonic-resin placement system [J]. *Oper Dent*, 2015, 40(6): 653-661. DOI: 10.2341/15-006-L.
- [25] 刘清华, 林琪, 魏华. 3种树脂充填材料在修复牙体窝洞后其边缘微渗漏的差异[J]. *医学理论与实践*, 2020, 33(14): 2335-2336. DOI: 10.19381/j.issn.1001-7585.2020.14.051.
- [26] 尚选, 李侗, 朱洪光, 等. 3种大块后牙充填树脂体外操作时间与微渗漏的对比观察[J]. *口腔医学*, 2017, 37(3): 237-239. DOI: 10.13591/j.cnki.kqyx.2017.03.010.
- [27] Alqudaihi FS, Cook NB, Diefenderfer KE, et al. Comparison of internal adaptation of bulk-fill and increment-fill resin composite materials [J]. *Oper Dent*, 2019, 44(1): E32-E44. DOI: 10.2341/17-269-L.
- [28] 杜美仪, 王宏, 刘原宁, 等. Sonicfill系统粘接和挠曲强度及对后牙充填边缘密合性影响的研究[J]. *中华老年口腔医学杂志*, 2020, 18(1): 30-34. DOI: 10.19749/j.cn.cjgd.1672-2973.2020.01.008.
- [29] 瞿灵丽, 徐艳, 李璐. 不同酸蚀条件下 SonicFill™ 超声树脂修复后牙微渗漏的体外研究[J]. *口腔医学*, 2017, 37(12): 1057-1060, 1065. DOI: 10.13591/j.cnki.kqyx.2017.12.001.
- [30] 管婷婷, 陈霞云, 陈强, 等. 树脂直接充填与超瓷嵌体修复牙体缺损的微渗漏比较[J/OL]. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2014, 8(3): 203-207. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2014.03.005.
- [31] 高欣, 张元, 平逸帆, 等. 大块树脂与常规树脂整体和分层充填后牙 II 类洞边缘微渗漏及固化程度的比较[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2020, 40(10): 1460-1464.
- [32] Ozel E, Tuna EB, Firatli E. The effects of cavity-filling techniques on microleakage in class II resin restorations prepared with Er: YAG laser and diamond bur: A scanning electron microscopy study [J]. *Scanning*, 2016, 38(5): 389-395. DOI: 10.1002/sca.21282.
- [33] Swapna MU, Koshy S, Kumar A, et al. Comparing marginal microleakage of three bulk-fill composites in class II cavities using confocal microscope: An *in vitro* study [J]. *J Conserv Dent*, 2015, 18(5): 409-413. DOI: 10.4103/0972-0707.164058.
- [34] García Marí L, Climent Gil A, LLena Puy C. *In vitro* evaluation of microleakage in class II composite restorations: High-viscosity bulk-fill vs conventional composites [J]. *Dent Mater J*, 2019, 38(5): 721-727. DOI: 10.4012/dmj.2018-160.
- [35] 王晓荣, 姚丽萍. 3种树脂材料修复离体牙 II 类洞的边缘裂隙和微渗漏比较[J]. *口腔材料器械杂志*, 2019, 28(4): 199-203. DOI: 10.11752/j.kqcl.2019.04.03.
- [36] Mosharrafian S, Heidari A, Rahbar P. Microleakage of two bulk

- fill and one conventional composite in class II restorations of primary posterior teeth [J]. J Dent (Tehran), 2017, 14(3): 123-131.
- [37] Sadeghi M. An *in vitro* microleakage study of class V cavities restored with a new self-adhesive flowable composite resin versus different flowable materials [J]. Dent Res J (Isfahan), 2012, 9(4):460-465.
- [38] 林玉红,孙毅,孟磊,等. 大块树脂充填楔状缺损微渗漏的体外研究[J]. 临床口腔医学杂志, 2019, 35(9): 525-528. DOI: 10.3969/j.issn.1003-1634.2019.09.005.
- [39] 朱晟,朱亚琴. 3种复合树脂充填V类洞的微渗漏比较研究[J]. 上海口腔医学, 2017, 26(3): 241-245. DOI: 10.19439/j.sjss.2017.03.001.
- [40] Elshazly TM, Bourauel C, Sherief DI, et al. Evaluation of two resin composites having different matrix compositions [J]. Dent J (Basel), 2020, 8(3): 76. DOI: 10.3390/dj8030076.
- [41] Bowman CN, Kloxin CJ. Covalent adaptable networks: Reversible bond structures incorporated in polymer networks [J]. Angew Chem Int Ed Engl, 2012, 51(18): 4272-4274. DOI: 10.1002/anie.201200708.
- [42] Atai M, Ahmadi M, Babanzadeh S, et al. Synthesis, characterization, shrinkage and curing kinetics of a new low-shrinkage urethane dimethacrylate monomer for dental applications [J]. Dent Mater, 2007, 23(8): 1030-1041. DOI: 10.1016/j.dental.2007.03.004.
- [43] 钟伟英,李进红. SonicFill超声树脂修复楔状缺损的临床研究[J]. 临床口腔医学杂志, 2019, 35(11): 650-653. DOI: 10.3969/j.issn.1003-1634.2019.11.003.
- [44] Lokhande NA, Padmai AS, Rathore VPS, et al. Effectiveness of flowable resin composite in reducing microleakage: An *in vitro* study [J]. J Int Oral Health, 2014, 6(3): 111-114.
- [45] Chuang SF, Liu JK, Chao CC, et al. Effects of flowable composite lining and operator experience on microleakage and internal voids in class II composite restorations [J]. J Prosthet Dent, 2001, 85(2): 177-183. DOI: 10.1067/mpr.2001.113780.
- [46] Braga RR, Hilton TJ, Ferracane JL. Contraction stress of flowable composite materials and their efficacy as stressrelieving layers [J]. J Am Dent Assoc, 2003, 134(6): 721-728. DOI: 10.14219/jada.archive.2003.0258.
- [47] Tomaszewska IM, Kearns JO, Ilie N, et al. Bulk fill restoratives: To cap or not to cap—That is the question? [J]. J Dent, 2015, 43(3): 309-316. DOI: 10.1016/j.jdent.2015.01.010.
- [48] Kim RJY, Kim YJ, Choi NS, et al. Polymerization shrinkage, modulus, and shrinkage stress related to tooth-restoration interfacial debonding in bulk-fill composites [J]. J Dent, 2015, 43(4): 430-439. DOI: 10.1016/j.jdent.2015.02.002.
- [49] Orłowski M, Tarczydło B, Chałas R. Evaluation of marginal integrity of four bulk-fill dental composite materials: *In vitro* study [J]. Scientific World Journal, 2015: 701262. DOI: 10.1155/2015/701262.
- [50] Di Fiore A, Meneghello R, Savio G, et al. *In vitro* implant impression accuracy using a new photopolymerizing SDR splinting material [J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2015, 17(Suppl 2): e721-e729. DOI: 10.1111/cid.12321.
- [51] 薛晶. 大块充填树脂的临床应用影响因素[J]. 华西口腔医学杂志, 2020, 38(3): 233-239. DOI: 10.7518/hxkq.2020.03.001.
- [52] Gamarra VSS, Borges GA, Júnior LHB, et al. Marginal adaptation and microleakage of a bulk-fill composite resin photopolymerized with different techniques [J]. Odontology, 2018, 106(1): 56-63. DOI: 10.1007/s10266-017-0294-5.
- [53] Segal P, Candotto V, Ben-Amar A, et al. The effect of gingival wall location on the marginal seal of class II restorations prepared with a flowable bulk-fill resin-based composite [J]. J Biol Regul Homeost Agents, 2018, 32(2): 11-18.
- [54] Santhosh L, Bashetty K, Nadig G. The influence of different composite placement techniques on microleakage in preparations with high C-factor: An *in vitro* study [J]. J Conserv Dent, 2008, 11(3): 112-116. DOI: 10.4103/0972-0707.45249.
- [55] 梁椿怡,朱洪光,魏美荣,等. 树脂充填II类洞龈壁不同位置微渗漏体外实验[J]. 潍坊医学院学报, 2019, 41(6): 443-446. DOI: 10.16846/j.issn.1004-3101.2019.06.014.
- [56] Ramic BD, Premovic MT, Stojanac IL, et al. Improved marginal adaptation of composite restorations by using different placement and light polymerization techniques [J]. Am J Dent, 2018, 31(1): 7-12.
- [57] Agarwal PM, Taneja S, Kumar M. To evaluate and compare the effect of different light-curing modes and different liners on cuspal deflection in premolar teeth restored with bulk filled or incrementally filled composite measured at different time intervals [J]. J Conserv Dent, 2017, 20(5): 317-321. DOI: 10.4103/JCD.JCD_328_16.
- [58] 李金恒,朱亚琴. Er:YAG激光预备及酸蚀处理对复合树脂充填体微渗漏的影响[J]. 口腔材料器械杂志, 2014, 23(1): 15-19. DOI: 10.11752/j.kqcl.2014.01.03.
- [59] 王惠敏,赵增波,陈志宇,等. 不同制洞方法及充填材料对乳牙充填体边缘微渗漏的影响[J]. 现代口腔医学杂志, 2020, 34(3): 169-171.
- [60] Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr, et al. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites [J]. Am J Dent, 1993, 6(2): 91-95.

(收稿日期:2020-12-02)

(本文编辑:王嫒)