

复合树脂直接粘接修复中光固化灯使用及操作规范的专家共识

中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会

通信作者:梁景平,200011,上海交通大学医学院附属第九人民医院牙体牙髓科上海市口腔医学重点实验室上海市口腔医学研究所国家口腔疾病临床研究中心,Email: liangjpdentist@126.com,电话:021-23271699-5282

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.09.002

Consensus recommendations from Chinese experts on the standard operation procedure of curing light in direct composite resin adhesive restorations *Society of Cariology and Endodontology, Chinese Stomatological Association*

Corresponding author: Liang Jingping, Department of Endodontics and Operative Dentistry, Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine & Shanghai Key Laboratory of Stomatology & Shanghai Research Institute of Stomatology & National Clinical Research Center of Stomatology, Shanghai 200011, China, Email: liangjp9h@gmail.com, Tel: 0086-21-23271699-5282

【Abstract】 The curing light in direct composite resin adhesive restorations is a common technique and treatment method in oral clinic. It has many advantages, such as matching the color of the teeth, less removing the hard tissues of the teeth, resistance to abrasion, good masticatory performance and so on. It has almost replaced the traditional amalgam filling in the clinical dentistry repair. However, in clinical practice, improper use of the technique can also lead to increased loss of restorations and postoperative sensitivity. The reason is related not only to the physical and chemical properties of the material itself, but also the operator's lack of understanding and mastering the properties of the light cured material, especially the use rules of the light curing lamp. To this end, in September 2017, the vice chairman of Society of Cariology and Endodontology, Chinese Stomatological Association, professor Liang Jingping, organized a part of professional experts in this field, and invited the chief expert in 3M company, Dr. Joe Oxman, held a meeting about the use principle, operation mode and specification symposium of light curing lamp. Experts at the meeting had a very heated discussion, forming the following consensus.

光固化复合树脂粘接修复是口腔临床常用的技术和治疗方法,具有与牙齿颜色匹配、去除牙体硬组织少、抗磨耗、抗咀嚼性能良好等优点,目前在临床牙体修复治疗中已基本取代了传统的银汞合金充填术。但在临床实践中,使用不当也可导致充填体脱落率和术后敏感发生率增高。究其原因,一方面与材料本身的物理化学性质有关,另一方面也与操作者对光固化材料的性能特点,尤其是对光固化灯使用规则的理解与掌握程度不足有关。为此,2017年9月,由中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会副主任委员梁景平教授牵头,组织部分牙体牙髓病学专家,并邀请3M公司光固化灯研发首席专家 Joe Oxman 博士,在上海召开关于光固化灯原理、操作方式及规范的研讨会。与会专家就光固化灯的使用及操作规范进行讨论后达成初步共识,经整理后

形成共识初稿,并经多次补充修订后完成共识终稿。

复合树脂及其固化原理

复合树脂是由树脂基质、无机填料、偶联剂、引发体系、阻聚剂及着色剂等构成的高分子化学粘接修复材料。

1 复合树脂的固化方式

早期的复合树脂是通过化学固化(又称自固化)的方式完成聚合反应,在临床使用过程中需将含有氧化剂或引发剂的组分与含有叔胺还原剂的组分完全调匀,组成氧化还原体系,该体系可迅速分解产生自由基,在室温下引发聚合反应,经3~5 min 可完成固化。这种固化方式在临床上应用很不方便。20世纪70年代,紫外光固化灯开始应用于临

床,但其存在穿透能力差、安全性不可靠等缺点,因此很快即被淘汰。20 世纪 80 年代中期后,可见光光固化逐渐成为安全的光固化方式^[1]。

2 复合树脂的固化原理

复合树脂光固化的基本原理是树脂在受到特定光源照射后,树脂基质内光敏剂被特定波长的光激活,在此基础上激活叔胺,将其转化为自由基,每个自由基可以激活 50 个单体,引发键式反应,形成长链并与其他链发生交联,形成牢固的三维结构而使树脂固化^[1]。

光固化复合树脂于 20 世纪 60 年代被引入口腔领域,其主要由无机填料、树脂基质和引发体系构成,其中引发体系在复合树脂粘接固化中具有重要作用。光固化体系由光敏剂[photosensitizer, 又称光引发剂(photoinitiator)]和有机胺活化剂(amine activator, 又称光敏促进剂)构成。可见光的波长范围为 380~780 nm,可见光固化体系在适宜的波长(470 nm)及足够的光强照射下形成自由基^[1]。随着复合树脂材料性能的不断改进,目前口腔科常用的光敏引发体系和还原体系为樟脑醌和叔胺,樟脑醌吸收的光线波长范围为 360~520 nm,最大吸收峰在 465~470 nm^[2]。

光固化灯的种类及特点

光固化灯是复合树脂粘接固化的主要光源,其性能特点对复合树脂及其粘接性能具有重要影响。目前,临床应用的光固化灯主要有以下 4 类^[3]。

1 普通卤素灯

卤素灯的应用历史悠久,光源为石英-卤-钨灯泡,灯泡中有一卷钨丝,石英包裹于其外层,两者之间含有惰性气体,惰性气体允许细丝在没有氧气的高温下发光,常用的卤素是氯^[4]。光波经滤光片过滤后产生波长为 400~510 nm 的蓝光,光强为 400~650 mW/cm²^[4]。普通卤素灯因品牌不同,输出的波长和强度差异较大。卤素灯虽然对各类树脂均有固化能力,但其固化速度较低,照射时间长(20~40 s),光线辐射相对较小,光照时噪音较大,灯泡、反光膜及滤光片容易老化,灯管易折断,而且老化后可使光强下降、固化效率低下而逐渐被其他光源替代^[5]。

2 速效卤素灯

速效卤素灯又称高亮度卤素灯。是通过较高输出功率的灯泡和能将光纤进行集中的导光棒实

现高输出光强的卤素灯。光强>850 mW/cm²,但仍需要在 10 s 以上才能完全固化树脂^[4-5]。

3 等离子弧光灯

等离子弧光灯是利用充满氩气的灯泡内电极间产生电弧发光,其光线比卤光灯的光线更强。通过较长且能弯曲的光导纤维束传出,与卤光灯一样都需要滤光片,但输出光强很大,有效波长范围集中在光敏剂吸收范围(430~490 nm)内,所以固化速度快,照射时间短,可在 3~5 s 内固化复合树脂^[6]。但等离子弧光灯价格较高,体积大,光线产热大,操作不方便^[4-5]。

4 氩激光灯

氩激光灯由氩原子激活发出蓝绿色的光,形成一些不连续的波长(470~495 nm),与大多数光敏引发剂的吸收波长相匹配,氩激光灯需要高能量供给和充分冷却,所以其光源及控制部分安装在体积较大的基座上,管线通过较长的可弯曲光导纤维束输送。氩激光灯输出光强大,几乎不衰减,且有效波长和光敏剂(樟脑醌)吻合性好,所以固化速度快,照射时间短,降低了材料与固化灯头间距离的敏感性,低亮度氩激光灯产热较低,与卤光灯相似。缺点是氩激光灯的辐射波长范围窄且不连续,体积较大、便携性差,操作复杂且价格高^[4-5]。

5 发光二极管(light emitting diode, LED)光固化灯

LED 光固化灯是以大功率 LED 阵列芯片为光源的一种光固化灯。LED 光固化灯是一块电致发光的半导体材料芯片,用银胶或白胶固化于支架上,然后用银线或金线连接芯片和电路板,四周用环氧树脂密封,起到保护内部芯线的作用,最后安装外壳,所以 LED 光固化灯的抗震性能好,其光波长分布窄(435~485 nm,峰值波长 467 nm),此波长为光固化树脂的敏感波长,故极适宜用于光固化^[5-7]。LED 光固化灯的光源能量转换率高,发射的光线为纯蓝光,几乎不产生多余的热量,因此被称为“冷光源”^[8]。LED 光固化灯的光强大,其所发出的蓝色光光强多>1 000 mW/cm²^[1];它具有体积小、耗电量低、无电源线、携带方便、光线热辐射小、使用寿命长、高亮度、坚固耐用及环保等特点,是目前较理想的光固化光源^[4,9-10]。

光固化灯的选择及使用中应考虑的因素

1 操作方便

从临床医师的角度,操作方便是选择光固化灯

非常重要的标准。在临床操作中,从颊面、颊面和舌面修复牙齿时均能方便地接近牙齿,光固化光源应有良好的角度,在成年人和儿童患者治疗时均能尽可能地接近患牙修复体表面,尽量避免出现照射死角^[1]。

2 充足的光固化强度

具有较高光强的光固化灯对提高复合树脂单体转化率具有重要意义,单体转化率越高,复合树脂的力学性能越好^[1,4,12]。因此,光固化灯的光强应足以保证树脂顶部和底部的完全固化,但又不会产生过多。建议光强应在 750~2 000 mW/cm² 之间,功率过大容易产热过多损伤邻近牙髓和牙龈组织^[3],且并不加快固化速度,光强 < 233 mW/cm² 时即不能再使用^[13-14]。

3 合适的光固化波长范围

光固化波长范围的选择主要取决于固化树脂中的光敏引发剂,目前临床上树脂引发体系大多为樟脑醌,其吸收光波范围为 400~500 nm,峰值在 465 nm。所以常用的光固化灯波长范围多为 400~500 nm 的可见蓝光^[4,7]。

目前,通常可以选择以下两种 LED 光固化灯:①只有蓝光的 LED 光固化灯;②既有蓝光也有紫外光的 LED 光固化灯,即多波长的光固化灯。只有蓝光的 LED 光固化灯能活化修复材料中的光敏剂樟脑醌,而多波长的光固化灯除可活化樟脑醌外,还可以活化其他光敏剂使树脂聚合^[15]。多波长的 LED 光固化灯对材料的表面固化效果比只有蓝光的 LED 光固化灯效果好,但蓝光能渗透复合树脂的深处,是材料力学强度的主要来源^[15-17]。从这个角度来说,只有蓝光的单波长光固化灯的照射强度明显高于多波长光固化灯^[16]。

4 足够的固化时间

对于 2 mm 厚的复合树脂,光固化灯生产商推荐的固化时间为 20~40 s,深颜色树脂需要的固化时间比浅颜色树脂长^[11]。使用同一个光固化灯,在一定范围内照射的时间越长,复合树脂表面硬度就越大^[1]。但延长光照时间只能非比例地增加固化深度^[18]。有学者提出,总光能量=光强×照射时间,即 600 mW/cm² 照射 40 s 的固化效果与 1 200 mW/cm² 照射 20 s 的固化效果相当。但是如果光强太低,单纯延长照射时间也不能保证树脂充分固化^[4]。

5 光照距离

光强在空气中随照射距离的增加而呈指数衰减^[11-12],在空气中每增加 1 mm 距离约衰减整个光强

的 20%^[19]。有学者研究不同光固化灯在空气中随照射距离增加光强变化的规律后发现,在距离为 3 mm 时,光强下降不超过 35%;距离为 6 mm 时大多数下降超过 50%;距离为 10 mm 时光强大部分衰减超过 80%^[20]。因此,为保证充分固化,必须尽量减少光固化灯与复合树脂的距离^[1,21]。

6 灯头的设计

临床上有两种光导头:标准光导和导光棒。标准光导以直径一致的纤维贯穿光导全长,光导两端具有均等的纤维密度。导光棒的设计是纤维从光导起始端到末端逐渐变细,光导末端的纤维密度较高。有研究显示在 5 mm 照射距离范围内,以 8 mm 导光棒取代 8 mm 标准光导照射穿过复合树脂、牙本质时,光能接收和传输的量在统计学上均显著增加(42±6)%^[22];距离为 5 mm 时两者近似相等;距离 > 5 mm 时,由于导光棒发出的光比标准光导出现更多的光散射,导致光强大幅度衰减^[23]。还有另一种光导起始端的纤维密度比末端大,称为“反向导光棒”,此设计减少了光导末端发出光的光强^[20]。因此,临床医师可以根据待治疗牙齿的具体情况,选择适合的光固化灯头,以达到最佳的聚合固化效果^[4]。

光固化灯的光束在一定距离内(3~10 mm 之间),整个尖端都应相对均匀,避免出现热点或冷点,以确保整个修复体固化均匀^[23-24]。

7 光输出方式

光固化灯常见的输出方式有 4 种:等光强输出、连续式输出、台阶式输出及脉冲延迟。等光强输出,即整个照射过程中光强保持不变。连续式输出和台阶式输出,这两种方式也叫软启动聚合(soft-start polymerization),即光强随光照时间的增加而出现变化。连续式输出的光强随光照时间呈线性逐渐增加。台阶式输出的光强变化呈阶梯状,先以低光强的光照射一段时间,再转变为高光强的光持续照射至结束^[4]。目前研究认为,等光强光固化在固化一定厚度的复合树脂时,将随收缩应力的增加出现力学性能方面的显著缺陷。软启动聚合方式能改善光固化复合树脂的边缘强度和力学性能,两种输出方式都是先提供较低的光强,使复合物有一定的时间流动并能提高材料的边缘密封性^[25]。脉冲延迟是系统通过提供一个低的初始光强,如以 300~350 mW/cm² 的光强照射,等待 2 s,使树脂释放一定的收缩应力,末期固化采用较高光强(500 mW/cm²)照射^[26]。

8 复合树脂

复合树脂自身的特性对其光固化也会产生影响,包括:复合树脂的组成、类型、色度、半透明性、厚度及温度^[11]。一般而言,光固化体系越少、填料颗粒越细、填料含量越多、树脂颜色越深,同等光照条件下的固化程度越小,需要的光照时间越长^[1,4]。

在临床应用中,光固化灯照射时的光强在树脂内部随着厚度的增加呈显著衰减。对于 A2 复合树脂,在树脂表面下 0.5 mm 处获得的光强为树脂表面光强的 50%,1 mm 处为 25%,2 mm 处为 9%,3 mm 处只有 3%^[27]。所以随着树脂厚度的增加,固化程度降低,复合树脂的使用寿命缩短^[18]。近年来大块充填的复合树脂问世,其通过改良的引发体系表现出更高的反应活性和更快的聚合速度;大块充填复合树脂还表现出高流动性、低黏性和高透射性,使到达较深窝洞底部的光线强度更大,增加了光照可达到的固化深度;大块充填复合树脂包含一种预聚合填料,可以最大限度地减少聚合收缩,减少边缘微渗漏的产生。研究表明,大块充填复合树脂的光固化深度接近 4 mm。但有些流动大块复合树脂减少了填料体积,硬度较低,半透明性高,在口腔内呈偏灰色,或使用较大的填料颗粒,磨损率较高。

9 其他因素

光固化灯的光强将随着使用时间的延长逐渐变小,有很多因素可以干扰固化装置的有效性。如灯泡的老化、光导的磨损或污染、光导纤维束的破坏、反复消毒导致装置内部的老化。因此,在使用过程中应注意光固化灯的类型和使用时间,经常检测光固化灯的光强,注意元件的更换和维护,确保临床使用的有效性和规范性^[4]。

使用光固化灯的基本步骤及注意事项

1 光固化灯使用前的准备工作

1.1 选择及使用与复合树脂中光敏剂匹配的光固化灯,了解被照射树脂 LED 光固化灯是否足够固化,光谱是多峰还是单峰。

1.2 检查光固化灯是否有损坏,光固化灯头是否清洁无遮挡。

1.3 使用前检测标准模式下光强是否达到 500 mW/cm² 且不大于 2 000 mW/cm²。

1.4 检查光固化灯头能否覆盖大部分修复体,设计光照位点,避免存在背光阴影区。

2 规范的光固化操作步骤^[3,11,28]

2.1 清洁、检查光固化灯光导头,使用一次性防护膜。

2.2 检查光固化灯处于工作手册所示的正确工作模式,根据树脂制造商要求和树脂颜色设定正确的光照时间。

2.3 佩戴护目镜,稳定光导棒,操作要有支点,双眼应观测光固化灯。

2.4 将光导头对准充填体位置,尽量减少对牙龈和软组织的热损伤,必要时使用气枪冷却帮助降温。

2.5 确定光导棒顶端应覆盖所有需要光照的区域,光导面与照射面的夹角应尽可能小;顶端尽可能靠近充填体,如果距离 ≥ 5 mm 则需增加照射时间,必要时可从不同角度增加照射。

2.6 舌侧充填体光固化灯应尽量置于舌侧照射。

2.7 严格按照说明书推荐的固化时间操作,避免长时间光照,10~20 s 即可,如需长时间光照,请配合气枪降温或每照射 10~20 s 停顿 2 s。

2.8 定期清洁、消毒,正确隔离。

2.9 定期检查光强、固化输出功率是否工作正常。

光固化灯使用中的常见误区

1 随意选择光固化灯

目前常用的 LED 光固化灯除光强设计各不相同以外,单峰光谱(蓝光)的 LED 灯激活樟脑醌最有效;多峰(蓝光和紫外)的 LED 灯既能激活樟脑醌,又能激活其他光敏剂。此外,不同光固化灯的输出方式也有差异,连续式输出和台阶式输出方式先提供较低的光强,使复合物有一定的时间流动并能提高材料的边缘密封性。

2 选择光照强度过大的光固化灯

光固化灯功率过大容易产热过多,且使表层迅速固化,而并不加快深层的固化速度,易导致过大的聚合收缩。建议的固化光强应在 750~2 000 mW/cm² 之间。

3 充填厚度过大

在临床应用中,光固化灯照射时的光强在树脂内部随着厚度的增加呈现显著衰减。如果光照的厚度过大则可导致表面固化而深部固化不全,遗留大量单体,刺激牙髓。大块充填复合树脂的固化深度为 4 mm 左右,如洞型较深,仍需要分次固化。

大块复合树脂光固化照射时应注意的问题

近年来,大块复合树脂在临床应用越来越多,对提高临床医师的工作效率、减少唾液污染和气泡形成,具有其他材料无法比拟的优点^[29]。但在临床治疗过程中,为确保树脂充填厚度不超过制造商推荐的厚度,临床医师应测量最大的备洞深度,应特别注意,使用大块复合树脂并不意味着所有修复体都只光固化1次。在较深的窝洞,两层或多层的分层照射有时是必须的^[30-31]。

1 大块复合树脂的种类

大块树脂分为两种:流动性大块复合树脂和可雕刻高强度大块复合树脂^[31]。

2 大块复合树脂光固化的推荐步骤^[31-32]



图1 成形片放置位置示意图^[21]

2.1 检查成形片是否合适和紧密贴合(图1),特别是邻面的龈缘。

2.2 在近远中分别光固化粘接剂和复合树脂。

2.3 大块充填时避免产生气泡。

2.4 将光源直接90°对准修复体(图2)。



图2 光固化灯照射角度示意图^[21] A:正确的光照角度; B:错误的光照角度; C:光固化范围应覆盖整个修复体

2.5 注意备洞设计和成形片的放置可能导致光的阴影,可移动和调整光尖角度消除阴影,必要时可增加光照时间。

2.6 由于牙齿的解剖形态、牙齿在口腔中的位置及成形片的使用等,固化灯头位置可能不能满足大块复合树脂光固化的需求,应通过增加光照时间补偿。

2.7 去除成型片后,建议从颊侧和舌侧增加光固化(图3)。

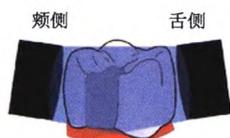
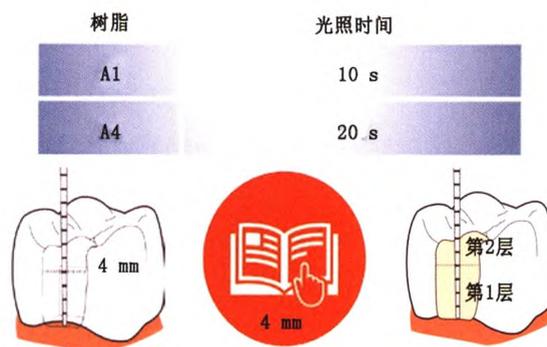


图3 邻面洞在去除成形片后可从颊侧和舌侧增加光固化^[21]

2.8 大块复合树脂的厚度建议不>4 mm, >4 mm时应分层充填照射(图4)。

在对临床医师的调查发现,约37%的



注:第1层填充4 mm后光固化;第2层填充后再行光固化

图4 大块复合树脂光固化厚度不宜大于4 mm^[32]

树脂修复体存在光固化不全的问题,69%的医师担心树脂固化不全,不良的光固化可导致树脂聚合不充分,影响复合树脂性能,力学性能降低可造成修复体边缘破损、磨损/磨耗增加、强度下降、形成继发龋、修复体/牙体折裂,颜色稳定性较差和吸水性增加,导致充填体着色/变色;固化不全可导致单体残留,残留单体是术后敏感的一个重要因素,甚至可引起牙髓坏死等不良后果。因此,规范的临床光固化操作至关重要。

志谢 加拿大达尔豪斯大学(Dalhousie University)固定修复科主任 Prof. Price 为本文提供全部图片

利益冲突 无

共识专家组名单(按姓氏汉语拼音排序):陈智(武汉大学口腔医学院);陈晓玲(厦门市口腔医院);邓婧(青岛大学附属口腔医院);杜丽娟(佛山科技大学附属口腔医院);黄定明(四川大学华西口腔医院);黄正蔚(上海交通大学医学院附属第九人民医院);侯铁舟(西安交通大学附属口腔医院);Joe Oxman(美国3M公司);梁景平(上海交通大学医学院附属第九人民医院);李继遥(四川大学华西口腔医院);雷雅燕(昆明医科大学附属口腔医院);刘学军(河南省口腔医院);李颂(安徽省口腔医院);卢兆杰(福建省口腔医院);仇丽鸿(中国医科大学口腔医学院);邱伟(大连市口腔医院);孙玉亮(新疆医科大学第一附属医院);王青(山东省口腔医院);王晓燕(北京大学口腔医学院·口腔医院);夏文薇(上海交通大学医学院附属第九人民医院);姚莉莉(安徽省合肥市口腔医院);岳林(北京大学口腔医学院·口腔医院);于鹏(北京大学口腔医学院·口腔医院);袁理(深圳市人民医院);张光东(江苏省口腔医院);张旗(同济大学附属口腔医院);张旻(第四军医大学口腔医学院);郑治国(南昌大学附属口腔医院)

执笔 梁景平、姜威、冉淑君

参 考 文 献

- [1] Santini A, Gallegos IT, Felix CM. Photoinitiators in dentistry: a review[J]. Prim Dent J, 2013, 2(4): 30-33.
- [2] Ogunyinka A, Palin WM, Shortall AC, et al. Photoinitiation chemistry affects light transmission and degree of conversion of curing experimental dental resin composites[J]. Dent Mater, 2007, 23(7): 807-813. DOI: 10.1016/j.dental.2006.06.016.

- [3] Krämer N, Lohbauer U, Garcia-Godoy F, et al. Light curing of resin-based composites in the LED era[J]. *Am J Dent*, 2008, 21(3): 135-142.
- [4] 朱松, 郝新青. 光固化灯及复合树脂聚合固化的影响因素[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2010, 3(8): 461-464. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1595.2010.08.005.
Zhu S, Hao XQ. Curing lights and related factors of polymerization of resin composite[J]. *Chin J Pract Stomatol*, 2010, 3(8): 461-464. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1595.2010.08.005.
- [5] 赵信义. 光固化灯的类型和特点[J]. *牙体牙髓牙周病学杂志*, 2004, 14(8): 477-478. DOI: 10.3969/j.issn.1005-2593.2004.08.031.
Zhao XY. Types and characteristics of light curing light[J]. *Chin J Conserv Dent*, 2004, 14(8): 477-478. DOI: 10.3969/j.issn.1005-2593.2004.08.031.
- [6] Tarle Z, Meniga A, Knezevi A, et al. Composite conversion and temperature rise using a conventional, plasma arc, and an experimental blue LED curing unit[J]. *J Oral Rehabil*, 2002, 29(7): 662-667.
- [7] 李星星, 张文云. 发光二极管光固化灯的研究进展[J]. *国际口腔医学杂志*, 2007, 34(5): 367-368, 371. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5749.2007.05.018.
Li XX, Zhang WY. Advancement of the study on light-emitting-diodes light curing unit[J]. *Int J Stomatol*, 2007, 34(5): 367-368, 371. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5749.2007.05.018.
- [8] Uhl A, Sigusch BW, Jandt KD. Second generation LEDs for the polymerization of oral biomaterials[J]. *Dent Mater*, 2004, 20(1): 80-87.
- [9] Jandt KD, Mills RW, Blackwell GB, et al. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs) [J]. *Dent Mater*, 2000, 16(1): 41-47.
- [10] 解路杨, 张保卫. 发光二极管光固化灯应用于复合树脂的研究进展[J]. *口腔医学*, 2007, 27(9): 494-496.
Xie LY, Zhang BW. Advancement of the study on light emitting diode light curing lamp applied to composite resin[J]. *Stomatology*, 2007, 27(9): 494-496.
- [11] Strydom C. Curing lights: the effects of clinical factors on intensity and polymerisation[J]. *SADJ*, 2002, 57(5): 181-186.
- [12] Zhu S, Platt JA. Curing efficiency of three different curing lights at different distances for a hybrid composite[J]. *Am J Dent*, 2009, 22(6): 381-386.
- [13] Hadis M, Leprince JG, Shortall AC, et al. High irradiance curing and anomalies of exposure reciprocity law in resin-based materials[J]. *J Dent*, 2011, 39(8): 549-557. DOI: 10.1016/j.jdent.2011.05.007.
- [14] Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite[J]. *Oper Dent*, 1994, 19(1): 26-32.
- [15] Rocha MG, de Oliveira D, Correa IC, et al. Light-emitting diode beam profile and spectral output influence on the degree of conversion of bulk fill composites[J]. *Oper Dent*, 2017, 42(4): 418-427. DOI: 10.2341/16-164-L.
- [16] Lee DS, Jeong TS, Kim S, et al. Effect of dual-peak LED unit on the polymerization of coinitiator-containing composite resins[J]. *Dent Mater J*, 2012, 31(4): 656-661.
- [17] Leonard DL, Charlton DG, Roberts HW, et al. Polymerization efficiency of LED curing lights[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2002, 14(5): 286-295.
- [18] de Araújo CS, Schein MT, Zanchi CH, et al. Composite resin microhardness: the influence of light curing method, composite shade, and depth of cure[J]. *J Contemp Dent Pract*, 2008, 9(4): 43-50.
- [19] Prati C, Chersoni S, Montebugni L, et al. Effect of air, dentin and resin-based composite thickness on light intensity reduction[J]. *Am J Dent*, 1999, 12(5): 231-234.
- [20] Felix CA, Price RB. The effect of distance from light source on light intensity from curing lights[J]. *J Adhes Dent*, 2003, 5(4): 283-291.
- [21] Vandewalle KS, Roberts HW, Andrus JL, et al. Effect of light dispersion of LED curing lights on resin composite polymerization[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2005, 17(4): 244-254, discussion 254-255.
- [22] Price RB, Murphy DG, Dérand T. Light energy transmission through cured resin composite and human dentin[J]. *Quintessence Int*, 2000, 31(9): 659-667.
- [23] Vandewalle KS, Roberts HW, Rueggeberg FA. Power distribution across the face of different light guides and its effect on composite surface microhardness[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2008, 20(2): 108-117; discussion 118. DOI: 10.1111/j.1708-8240.2008.00160.x.
- [24] Arikawa H, Kanie T, Fujii K, et al. Effect of inhomogeneity of light from light curing units on the surface hardness of composite resin[J]. *Dent Mater J*, 2008, 27(1): 21-28.
- [25] Mehl A, Hickel R, Kunzelmann KH. Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without 'softstart-polymerization' [J]. *J Dent*, 1997, 25(3/4): 321-330.
- [26] Kanca J, Suh BI. Pulse activation: reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins[J]. *Am J Dent*, 1999, 12(3): 107-112.
- [27] Small BW. A review of devices used for photocuring resin-based composites[J]. *Gen Dent*, 2001, 49(5): 457-460.
- [28] Price R. Tip for success in light curing[J/OL]. *CDA essentials*, 2016, 3(6): 30 [2018-03-27]. <http://www.cda-adc.ca/en/services/essentials/2016/issue6/files/assets/basic-html/index.html#30>.
- [29] Gan JK, Yap AU, Cheong JW, et al. Bulk-fill composites: effectiveness of cure with poly- and monowave curing lights and modes[J]. *Oper Dent*, 2018, 43(2): 136-143. DOI: 10.2341/16-304-L.
- [30] 武钊, 刘伟才. 大块充填复合树脂修复后的临床效果的研究进展[J]. *口腔医学*, 2017, 37(7): 656-659. DOI: 10.13591/j.cnki.kqyx.2017.07.019.
Wu Z, Liu WC. Research progress of the clinical effect of bulk-fill composite resin[J]. *Stomatology*, 2017, 37(7): 656-659. DOI: 10.13591/j.cnki.kqyx.2017.07.019.
- [31] Price R. Consensus statements on bulk fill resin composites[R/OL]. (2017-06-07)[2018-03-27]. http://oasisdiscussions.ca/2017/06/07/csbf/?utm_campaign=060717enconsent&utm_medium=email&utm_source=EOACLK.
- [32] Price R. Guidelines for using bulk fill resin composite. *CDA essentials*, 2017, 3(4): 39[2018-03-27]. http://oasisdiscussions.ca/wp-content/uploads/2017/05/Consensus-Statements-on-Bulk-Filled-Resin-Composites_final_english_oasis.pdf?utm_source=OasisDiscussions&utm_campaign=ConsensusStatement.

(收稿日期: 2018-03-27)

(本文编辑: 孔繁军)