

·综述·

牙髓治疗后牙齿内源性着色的研究进展

陈柳池 蒋宏伟

中山大学附属口腔医院, 光华口腔医学院, 广东省口腔医学重点实验室, 广州 510055

通信作者: 蒋宏伟, Email: jianghw@163.com



扫码阅读电子版

【摘要】 牙髓治疗,特别是牙髓再生治疗后出现牙齿内源性着色是临床治疗经常遇到的问题。牙髓治疗过程中出现在髓室内的血液,残留于髓室的根管消毒药物、根管充填用封闭剂及冲洗剂等均可能导致牙齿内源性着色。本文对牙髓治疗后硅酸盐水门汀、抗生素、次氯酸钠、乙二胺四乙酸和氢氧化钙等材料引起牙齿内源性着色的具体机制、预防方法和内源性着色后处理的研究现状作一综述。

【关键词】 牙髓治疗; 牙齿内源性着色; 硅酸盐水门汀; 抗生素; 漂白

基金项目: 广东省自然科学基金(2017A030313713)

引用著录格式: 陈柳池, 蒋宏伟. 牙髓治疗后牙齿内源性着色的研究进展[J/CD]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2020, 14(4): 260-264.

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2020.04.011

Research progress of intrinsic staining of tooth induced by endodontic treatment

Chen Liuchi, Jiang Hongwei

Hospital of Stomatology, Guanghua School of Stomatology, Sun Yat-sen University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Stomatology, Guangzhou 510055, China

Corresponding author: Jiang Hongwei, Email: jianghw@163.com

【Abstract】 Intrinsic staining of tooth after endodontic treatment, especially regenerative endodontic treatment, is a common problem in dental clinic. The intrinsic staining of tooth may be caused by blood, root canal irrigants, sealing agent and root canal medicine in the pulp chambers. Therefore, this article summarized the specific mechanism, prevention strategies and the management methods of intrinsic staining of tooth caused by silicate cement, antibiotics, sodium hypochlorite, EDTA and calcium hydroxide after endodontic treatment.

【Key words】 Endodontic treatment; Intrinsic staining; Silicate cement; Antibiotics; Bleaching

Fund program: Natural Science Foundation of Guangdong Province(2017A030313713)

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2020.04.011

牙髓治疗后出现牙齿内源性着色是一个临床常见问题,不能满足患者的美学要求。牙髓治疗后牙齿内源性着

色,可能与牙髓治疗过程中使用的冲洗剂、根管消毒药物及根管充填用封闭剂等残留于髓室有关,也可能与血液染色髓室牙本质有关。因此,本文就牙髓治疗后牙齿内源性着色的具体机制,预防方法和内源性着色后的处理方法的研究现状作一综述,以期能为解决牙髓治疗后牙齿内源性着色提供新的思路。

一、牙髓治疗后牙齿内源性着色的具体机制

牙齿的颜色与牙齿的不同光学性质有关^[1]。Wei等^[2]对内源性着色牙的化学分析表明,牙本质的光学性质与牙本质中无机物和有机物质的化学结构及组成密切相关,变色牙本质发生脱矿且有新的化学物质在其有机成分中形成,牙齿颜色的改变是由于牙本质中无机和有机成分的化学结构发生了变化。牙髓治疗过程所使用的冲洗剂、封闭剂和根管消毒药物等均可能改变牙本质中的物质组成,从而导致牙齿内源性着色。

1. 硅酸盐水门汀:硅酸盐水门汀材料由于其良好的生物相容性和密封性,被广泛应用于牙髓治疗中。大多数研究认为,硅酸盐水门汀引起牙齿内源性着色主要与材料所含的重金属成分有关,如氧化铍、铁、铝、锰和镁^[3-6]。ProRoot MTA配方中含氧化铍,其染色潜力显著高于不含氧化铍的材料如Retro MTA、Biodentine和Neo MTA Plus^[4,7-9]。氧化铍引起牙齿内源性着色的机制之一是与胶原蛋白相互作用,转变成黑色沉淀^[10-11],从而导致牙体内源性着色。第二种可能的机制是在无氧环境中暴露于高温或光照下的氧化铍会发生分解,产生黑色的晶体铍和氧^[4,12-13]。另外,还有研究提出次氯酸钠可使氧化铍继续氧化,后与空气中的二氧化碳反应,生成碳酸铍^[14]。碳酸铍对光敏感,易变色。

硅酸盐水门汀变色的另外一个原因是与血液的接触。一种机制可能是红细胞与未凝固的MTA之间的相互作用。MTA的凝固过程可能导致邻近牙髓组织中红细胞的吸收和溶血,引起牙齿内源性着色^[11]。另一种可能的机制是硅酸盐水门汀中存在孔隙,可以吸收血液成分^[15],从而使材料和牙体变色。Yoldaş等^[16]发现,尽管Bioaggregate中不含铝和氧化铍,但与Biodentine、MTA-A和WMTA三种材料相比,仍具有最高的染色潜力。这可能与Bioaggregate具有更高的孔隙率、更高的流体吸收率和更高的吸附值有关^[17-18],Bioaggregate比Biodentine等更能吸收血液,从而显示出更高的染色潜力。此外,还有研究表明,血液污染会显著加剧含有氧化铍或其他显影剂的硅酸盐水门汀材料的变色^[3,15,19]。但是,血液本

身也可能由于血红蛋白或色素分子在牙本质小管中的积累而直接导致牙齿内源性着色^[20-21]。

研究表明,有效的颈部屏障材料厚度应为2~4 mm^[22]。因此,在大多数研究硅酸盐水门汀导致牙齿内源性着色的实验中,颈部屏障材料的厚度均设置为2~4 mm^[3,7,19]。

2. 抗生素:早期牙髓再生治疗在临床上常使用三联抗生素(TAP)进行根管内消毒,TAP是牙髓再生治疗后牙齿内源性着色的主要原因^[23]。TAP引起牙齿内源性着色的主要原因^[24-25]是TAP中的二甲胺四环素。二甲胺四环素引起的牙齿内源性着色通常发生在使用后的24 h内^[26]。

二甲胺四环素的氧化是抗生素使牙齿内源性着色的原因之一。在光照条件下,黄色四环素能强烈吸收可见蓝光、紫外光,导致四环素光氧化^[27]。一些人体组织,特别是牙本质、骨等胶原含量高的组织,对二甲胺四环素有很高的亲和力,二甲胺四环素与胶原分子接触,氧化为色素副产物,可导致牙齿内源性着色^[28]。此外,四环素可与羟基磷灰石中的钙离子在光照条件下形成一种红色螯合物^[29],可与铁螯合产生不溶性螯合物^[28],也可能改变牙齿的颜色。Berkhoff等^[30]指出,在使用了含有二甲胺四环素的TAP后,无论使用何种冲洗技术,仍有约88%的TAP残留在根管周围牙本质中,TAP深入牙本质组织可达350 nm。残留的四环素会导致牙本质在去除抗生素后很长一段时间内仍会变暗^[31]。

许多环境因素可影响二甲胺四环素氧化的速度,从而影响牙齿的内源性着色。实验表明,酸性pH、锌离子、镁离子和抗坏血酸,作为抗氧化剂可减慢四环素所致的变色^[27]。相反,较高的氧张力、钙、锶和铋等离子,都可与四环素络合,加剧四环素所致变色的程度。

3. 其他:其他引起牙齿内源性着色的原因还可能包括牙髓治疗过程中使用的冲洗剂和氢氧化钙。研究指出,次氯酸钠可改变牙本质的有机成分^[32],乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)会影响牙本质的矿物含量^[33],但目前均未有文献报告,使用上述两种冲洗剂可以直接造成牙齿内源性着色。

次氯酸钠是根管治疗和牙髓再生治疗中常用的冲洗剂。次氯酸钠是一种漂白剂,可以漂白被血液染色的变色牙^[34],通常认为其不会引起牙体内源性着色。然而,多项研究表明,次氯酸钠与铋等重金属氧化物接触后,会出现黑色沉淀,从而导致牙体内源性着色^[11,14,35-36]。研究表明,纯氢氧化钙不会导致牙齿内源性着色,氢氧化钙类药物导致牙齿内源性着色的原因与添加至其中的其他成分有关,如铋等金属离子^[15,37-38]。在根管治疗进行氢氧化钙封药前,一般使用次氯酸钠作最终冲洗剂,次氯酸钠可与氢氧化钙类药物中的铋等显影剂反应,导致牙齿内源性着色。但是,临床操作中,冲洗吸干后的牙体组织上是否残留足够的次氯酸钠与重金属离子反应,仍需进一步研究。在牙髓再生治疗的临床操作中,一般在使用次氯酸钠后再使用EDTA冲洗^[39],因此次氯酸钠不太可能与硅酸盐水门汀接触,此种机制在牙髓再生治疗中发生的可能性不大。

牙髓再生治疗中还会用到的另一种冲洗剂是EDTA,但目前关于EDTA是否影响硅酸盐水门汀颜色稳定性的研究仍然较少。Sobhnamayan等^[40]的实验发现,WMTA、CEM和Biodentin三种材料分别与EDTA接触后,仅含有氧化铋的WMTA表现出了明显变色。EDTA是牙髓再生治疗中最后使用的根管冲洗剂,有可能残留于根管内,EDTA更可能与牙齿内源性着色有关,但这仍需要进一步研究。

二、预防牙髓治疗后牙齿内源性着色的方法

由于牙髓治疗后牙齿内源性着色的原因较多,针对不同的变色机制,主要有以下几种预防牙齿内源性着色的方法。

1. 对于硅酸盐水门汀引起的牙齿内源性着色,建议使用其他显影剂替代氧化铋,如氧化锆和钨酸钙^[12,16]等。Marconyak等^[41]的研究表明,EndoSequence Root Repair是一种以氧化锆和氧化钨为显影剂的硅酸钙水门汀,不会导致牙齿明显内源性着色。Shokouhinejad等^[3]对四种硅酸盐材料的染色潜力进行比较的结果显示,不含氧化铋的RRM与Biodentine造成牙齿内源性着色的程度小于含氧化铋的ProRoot MTA和Ortho MTA。然而,虽然使用不含氧化铋的硅酸盐水门汀引起的牙齿内源性着色较少,但这些显影剂的阻射程度较低^[17]。在硅酸盐水门汀配方中增加显影剂的用量来增加阻射程度会对硅酸盐水门汀的物理和化学性能产生不利影响^[11]。因此,需要更多的研究来证明,替代氧化铋的显影剂可减少硅酸盐水门汀引起的牙齿内源性着色,并能够提供足够的阻射程度而不会引起硅酸盐材料性质的变化。

2. 在WMTA粉体中加入氧化锌^[42]或氟化铝^[43]。Marciano等^[43]的实验证明,在WMTA中添加氟化铝或氧化锌均可减少牙齿内源性着色,添加5%氧化锌就足以减少牙齿内源性着色,而不改变WMTA的阻射性、凝固时间、体积变化、pH值和生物相容性。氧化铋可与氧化锌分子相互作用,使氧化铋在强氧化剂存在的情况下不发生变化^[10,44]。

3. 使用牙本质粘接剂(DBA)封闭髓室牙本质小管^[45]。DBA封闭髓室牙本质小管后,可以阻止硅酸盐材料和抗生素等在髓室牙本质小管内聚集和与牙本质胶原蛋白接触,还可以减少血红蛋白等进入牙本质小管。Akbari等^[45]通过实验比较了GMTA、WMTA在有无使用DBA的情况下牙体内源性着色的情况。结果显示,两个MTA组的平均牙体内源性着色程度都明显高于两个DBA+MTA组。然而,在一项对20例牙髓再生治疗牙齿的研究中,在髓室应用DBA后再使用TAP/头孢克洛,仍可见12颗牙齿发生变色^[46]。因此,还需要更多的研究来证实DBA在预防牙髓治疗后牙齿内源性着色方面的作用。除此之外,目前还没有明确的证据表明,DBA是否会干扰MTA等材料的封闭能力,同样还需进行更多研究来评估DBA对各种硅酸盐水门汀封闭性能的影响。

4. 对于含二甲胺四环素的TAP引起的牙齿内源性着色,建议使用其他抗生素替代二甲胺四环素,或使用不含二甲胺四环素的双抗生素糊剂。文献报道二甲胺四环素的替代药物有头孢克洛^[46]、阿莫西林^[47]或多西环素^[48]等。然而,多项研究表明^[25,47-49],使用阿莫西林等其他抗生素替代二甲胺四

环素,仍可观察到牙齿内源性着色。虽然使用双抗生素糊剂可使牙齿颜色变化低于人眼感知阈值^[25],但它们不能保证牙齿颜色稳定^[50]。此外,还可使用氢氧化钙替代抗生素。在已知的研究中,氢氧化钙没有表现出染色的潜力^[15,37-38],氢氧化钙比TAP更容易去除^[30]。氢氧化钙还可刺激牙本质混合物释放生长因子^[51],其处理后的牙本质状态对根尖端乳头干细胞的生存有积极影响^[52]。

三、牙髓治疗后牙齿内源性着色的处理方法

正在生长发育中的青少年及儿童,牙齿髓腔宽大,进行牙髓再生治疗后,不适宜直接使用瓷贴面或冠修复体来解决牙体内源性着色的问题^[53]。因此,目前用于解决生长中的儿童及青少年牙髓治疗后牙冠内源性着色的主要方法有:漂白,去除部分作为冠部封闭剂的变色材料、使用直接复合树脂贴面遮盖变色^[54]。

内漂白是处理内源性着色最保守和最有效的方法^[53]。常见的牙体内漂白剂有过硼酸钠、过氧化氢、过氧化脲^[55]。使用过硼酸钠糊剂可以成功漂白牙髓治疗后的变色牙^[54,56-57]。过硼酸钠/过氧化脲的联合治疗效果与过硼酸钠/蒸馏水的联合治疗效果相当^[58]。35%的过氧化氢比过硼酸钠对血液所致牙冠内源性着色的牙齿具有更好的漂白效果^[59]。但是,目前还未存在明确的研究指出,哪一种漂白剂有更好的漂白效果。将颈部屏障材料放置在釉牙骨质界下方,可以使漂白剂对整个牙冠产生最大的漂白效果^[53]。为了降低内漂白后牙根外吸收的风险,需要在牙齿颈部放置足够的屏障材料。研究表明,有效的颈部屏障材料的厚度为2~4 mm^[22]。然而,在牙髓再生治疗中颈部放置MTA等材料的最合适厚度,仍需要进一步的研究。Galler等^[60]推荐使用WMTA(或其他类似材料)、GIC和复合树脂进行冠部封闭。然而,漂白并不能使所有变色牙都有满意的漂白效果。Fundaoğlu Küçükenci等^[48]的实验表明与牙齿初始颜色相比,使用抗生素造成变色的牙齿漂白后存在可感知的颜色变化。这可能是由于二甲胺四环素可进入牙本质小管深处^[30],或者是由于残留的颈部屏障没有完全清除^[61],导致漂白剂不能到达牙本质深处。

Timmerman等^[62]在去除冠部修复体后,发现牙齿颈部放置的WMTA材料已变黑,去除变色得WMTA后,仍可在髓室内发现一种黑色颗粒。Jang等^[63]在比较新型材料(Endocem)和MTA所致牙冠内源性着色的漂白效果时发现,去除变色的MTA材料比内漂白有更好的漂白效果。Belobrov和Parashos的病例报告也指出^[54],去除局部内源性着色MTA材料后再使用内漂白技术可以获得更好的漂白效果。除此之外,Antov等^[53]报道的一个病例还应用了直接复合树脂贴面来遮盖内源性着色牙。但是,到目前为止,运用直接复合树脂贴面来解决牙髓治疗后内源性着色问题的方法还没有太多的病例报告和研究。

四、总结

硅酸盐水门汀材料导致牙齿内源性着色的具体机制较为明确,越来越多针对各种牙齿内源性着色机制进行改良的材料出现。但是新材料是否会引起牙齿内源性着色,还需要

更多的实验和观察。同时,用于预防牙齿内源性着色的各种方法,都只是在一定程度上减少了牙齿内源性着色,但目前还没有哪种方法可以完全保证牙齿颜色不变。现阶段临床可以结合使用新型材料和相应的预防手段,以探索更多预防牙齿内源性着色的方法。漂白是内源性着色牙常用的治疗方法,但是漂白效果的预测,漂白后牙齿颜色的稳定性等问题仍然需要深入研究。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Joiner A. Tooth colour: a review of the literature [J]. J Dent, 2004,32 Suppl 1:3-12. DOI:10.1016/j.jdent.2003.10.013.
- [2] Wei J, Wang Y, Li Q. Spectroradiometric and Chemical Analysis of Severely Discolored Endodontically Treated Teeth [J]. Oper Dent, 2016,41(4):370-378. DOI:10.2341/15-243-C.
- [3] Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Pirmoazen S, et al. Evaluation and Comparison of Occurrence of Tooth Discoloration after the Application of Various Calcium Silicate-based Cements: An Ex Vivo Study [J]. J Endod, 2016,42(1):140-144. DOI:10.1016/j.joen.2015.08.034.
- [4] Kang SH, Shin YS, Lee HS, et al. Color changes of teeth after treatment with various mineral trioxide aggregate - based materials: an ex vivo study [J]. J Endod, 2015,41(5):737-741. DOI:10.1016/j.joen.2015.01.019.
- [5] Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review -- Part I : chemical, physical, and antibacterial properties [J]. J Endod, 2010,36(1):16-27. DOI:10.1016/j.joen.2009.09.006.
- [6] Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, et al. Chemical differences between white and gray mineral trioxide aggregate [J]. J Endod, 2005,31(2):101-103. DOI:10.1097/01.DON.0000133156.85164.B2.
- [7] Ramos JC, Palma PJ, Nascimento R, et al. 1 - year In Vitro Evaluation of Tooth Discoloration Induced by 2 Calcium Silicate-based Cements [J]. J Endod, 2016,42(9):1403-1407. DOI:10.1016/j.joen.2016.06.012.
- [8] Kohli MR, Yamaguchi M, Setzer FC, et al. Spectrophotometric Analysis of Coronal Tooth Discoloration Induced by Various Bioceramic Cements and Other Endodontic Materials [J]. J Endod, 2015,41(11):1862-1866. DOI:10.1016/j.joen.2015.07.003.
- [9] Camilleri J. Staining Potential of Neo MTA Plus, MTA Plus, and Biodentine Used for Pulpotomy Procedures [J]. J Endod, 2015,41(7):1139-1145. DOI:10.1016/j.joen.2015.02.032.
- [10] Marciano MA, Costa RM, Camilleri J, et al. Assessment of color stability of white mineral trioxide aggregate angelus and bismuth oxide in contact with tooth structure [J]. J Endod, 2014,40(8):1235-1240. DOI:10.1016/j.joen.2014.01.044.
- [11] Marciano MA, Duarte MA, Camilleri J. Dental discoloration caused by bismuth oxide in MTA in the presence of sodium hypochlorite [J]. Clin Oral Investig, 2015,19(9):2201-2209.

- DOI:10.1007/s00784-015-1466-8.
- [12] Vallés M, Roig M, Duran-Sindreu F, et al. Color Stability of Teeth Restored with Biodentine: A 6-month In Vitro Study [J]. J Endod, 2015, 41(7): 1157-1160. DOI: 10.1016/j.joen.2015.03.014.
 - [13] Alsubait S, Al-Haidar S, Al-Sharyan N. A Comparison of the Discoloration Potential for EndoSequence Bioceramic Root Repair Material Fast Set Putty and ProRoot MTA in Human Teeth: An In Vitro Study [J]. J Esthet Restor Dent, 2017, 29(1): 59-67. DOI: 10.1111/jerd.12264.
 - [14] Camilleri J. Color stability of white mineral trioxide aggregate in contact with hypochlorite solution [J]. J Endod, 2014, 40(3): 436-440. DOI: 10.1016/j.joen.2013.09.040.
 - [15] Lenherr P, Allgayer N, Weiger R, et al. Tooth discoloration induced by endodontic materials: a laboratory study [J]. Int Endod J, 2012, 45(10): 942-949. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2012.02053.x.
 - [16] Yoldaş SE, Bani M, Atabek D, et al. Comparison of the Potential Discoloration Effect of Bioaggregate, Biodentine, and White Mineral Trioxide Aggregate on Bovine Teeth: In Vitro Research [J]. J Endod, 2016, 42(12): 1815-1818. DOI: 10.1016/j.joen.2016.08.020.
 - [17] Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials [J]. Dent Mater, 2013, 29(2): e20-e28. DOI: 10.1016/j.dental.2012.11.007.
 - [18] Camilleri J, Grech L, Galea K, et al. Porosity and root dentine to material interface assessment of calcium silicate-based root-end filling materials [J]. Clin Oral Investig, 2014, 18(5): 1437-1446. DOI: 10.1007/s00784-013-1124-y.
 - [19] Felman D, Parashos P. Coronal tooth discoloration and white mineral trioxide aggregate [J]. J Endod, 2013, 39(4): 484-487. DOI: 10.1016/j.joen.2012.11.053.
 - [20] Marin PD, Heithersay GS, Bridges TE. A quantitative comparison of traditional and non-peroxide bleaching agents [J]. Endod Dent Traumatol, 1998, 14(2): 64-67. DOI: 10.1111/j.1600-9657.1998.tb00811.x.
 - [21] Shokouhinejad N, Razmi H, Farbod M, et al. Coronal tooth discoloration induced by regenerative endodontic treatment using different scaffolds and intracanal coronal barriers: a 6-month ex vivo study [J]. Restor Dent Endod, 2019, 44(3): e25. DOI: 10.5395/rde.2019.44.e25.
 - [22] Torabinejad M, Parirokh M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review - part II: leakage and biocompatibility investigations [J]. J Endod, 2010, 36(2): 190-202. DOI: 10.1016/j.joen.2009.09.010.
 - [23] Kahler B, Rossi-Fedele G. A Review of Tooth Discoloration after Regenerative Endodontic Therapy [J]. J Endod, 2016, 42(4): 563-569. DOI: 10.1016/j.joen.2015.12.022.
 - [24] Nagata JY, Gomes BP, Rocha Lima TF, et al. Traumatized immature teeth treated with 2 protocols of pulp revascularization [J]. J Endod, 2014, 40(5): 606-612. DOI: 10.1016/j.joen.2014.01.032.
 - [25] Akcay M, Arslan H, Yasa B, et al. Spectrophotometric analysis of crown discoloration induced by various antibiotic pastes used in revascularization [J]. J Endod, 2014, 40(6): 845-848. DOI: 10.1016/j.joen.2013.09.019.
 - [26] Cho WC, Kim MS, Lee HS, et al. Pulp revascularization of a severely malformed immature maxillary canine [J]. J Oral Sci, 2016, 58(2): 295-298. DOI: 10.2334/josnusd.15-0715.
 - [27] Bennett ZY, Walsh LJ. Factors affecting the rate of oxidation and resultant discolouration of tetracyclines contained in endodontic medicaments and irrigants [J]. Int Endod J, 2015, 48(4): 373-379. DOI: 10.1111/iej.12323.
 - [28] Sánchez AR, Rogers RS 3rd, Sheridan PJ. Tetracycline and other tetracycline-derivative staining of the teeth and oral cavity [J]. Int J Dermatol, 2004, 43(10): 709-715. DOI: 10.1111/j.1365-4632.2004.02108.x.
 - [29] Davies AK, Cundall RB, Dandiker Y, et al. Photo-oxidation of tetracycline adsorbed on hydroxyapatite in relation to the light-induced staining of teeth [J]. J Dent Res, 1985, 64(6): 936-939. DOI: 10.1177/00220345850640061701.
 - [30] Berkhoff JA, Chen PB, Teixeira FB, et al. Evaluation of triple antibiotic paste removal by different irrigation procedures [J]. J Endod, 2014, 40(8): 1172-1177. DOI: 10.1016/j.joen.2013.12.027.
 - [31] Chen BK, George R, Walsh LJ. Discoloration of roots caused by residual endodontic intracanal medicaments [J]. Scientific World Journal, 2014; 404676. DOI: 10.1155/2014/404676.
 - [32] Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review [J]. Int Dent J, 2008, 58(6): 329-341. DOI: 10.1111/j.1875-595x.2008.tb00354.x.
 - [33] Cobankara FK, Erdogan H, Hamurcu M. Effects of chelating agents on the mineral content of root canal dentin [J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2011, 112(6): e149-e154. DOI: 10.1016/j.tripleo.2011.06.037.
 - [34] Zollinger A, Attin T, Mohn D, et al. Effects of endodontic irrigants on blood and blood-stained dentin [J]. Heliyon, 2019, 5(5): e01794. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01794.
 - [35] Keskin C, Demiryurek EO, Ozyurek T. Color stabilities of calcium silicate-based materials in contact with different irrigation solutions [J]. J Endod, 2015, 41(3): 409-411. DOI: 10.1016/j.joen.2014.11.013.
 - [36] Voveraityte V, Gleizniene S, Lodiene G, et al. Spectrophotometric analysis of tooth discolouration induced by mineral trioxide aggregate after final irrigation with sodium hypochlorite: An in vitro study [J]. Aust Endod J, 2017, 43(1): 11-15. DOI: 10.1111/aej.12149.
 - [37] Santos LG, Felipe WT, Souza BD, et al. Crown discoloration promoted by materials used in regenerative endodontic procedures and effect of dental bleaching: spectrophotometric analysis [J]. J Appl Oral Sci, 2017, 25(2): 234-242. DOI: 10.1590/1678-77572016-0398.
 - [38] Esmaeili B, Alaghehmand H, Kordafshari T, et al. Coronal Dis-

- coloration Induced by Calcium-Enriched Mixture, Mineral Trioxide Aggregate and Calcium Hydroxide: A Spectrophotometric Analysis [J]. Iran Endod J, 2016, 11(1): 23-28. DOI: 10.7508/iej.2016.01.005.
- [39] Žižka R, Šedý J, Gregor L, et al. Discoloration after Regenerative Endodontic Procedures: A Critical Review [J]. Iran Endod J, 2018, 13(3): 278-284. DOI: 10.22037/iej.v13i3.21271.
- [40] Sobhnamayan F, Adl A, Ghanbaran S. Effect of Different Irrigation Solutions on the Colour Stability of Three Calcium Silicate-Based Materials [J]. J Dent Biomater, 2017, 4(2): 373-378.
- [41] Marconyak LJ Jr, Kirkpatrick TC, Roberts HW, et al. A Comparison of Coronal Tooth Discoloration Elicited by Various Endodontic Reparative Materials [J]. J Endod, 2016, 42(3): 470-473. DOI: 10.1016/j.joen.2015.10.013.
- [42] Marciano MA, Camilleri J, Costa RM, et al. Zinc Oxide Inhibits Dental Discoloration Caused by White Mineral Trioxide Aggregate Angelus [J]. J Endod, 2017, 43(6): 1001-1007. DOI: 10.1016/j.joen.2017.01.029.
- [43] Marciano MA, Camilleri J, Lucateli RL, et al. Physical, chemical, and biological properties of white MTA with additions of AlF3 [J]. Clin Oral Investig, 2019, 23(1): 33-41. DOI: 10.1007/s00784-018-2383-4.
- [44] Vallés M, Mercadé M, Duran-Sindreu F, et al. Influence of light and oxygen on the color stability of five calcium silicate-based materials [J]. J Endod, 2013, 39(4): 525-528. DOI: 10.1016/j.joen.2012.12.021.
- [45] Akbari M, Rouhani A, Samiee S, et al. Effect of dentin bonding agent on the prevention of tooth discoloration produced by mineral trioxide aggregate [J]. Int J Dent, 2012; 563203. DOI: 10.1155/2012/563203.
- [46] Bezgin T, Yilmaz AD, Celik BN, et al. Efficacy of platelet-rich plasma as a scaffold in regenerative endodontic treatment [J]. J Endod, 2015, 41(1): 36-44. DOI: 10.1016/j.joen.2014.10.004.
- [47] Kahler B, Mistry S, Moule A, et al. Revascularization outcomes: a prospective analysis of 16 consecutive cases [J]. J Endod, 2014, 40(3): 333-338. DOI: 10.1016/j.joen.2013.10.032.
- [48] Fundaoğlu Küçükkekenci F, Çakici F, Küçükkekenci AS. Spectrophotometric analysis of discoloration and internal bleaching after use of different antibiotic pastes [J]. Clin Oral Investig, 2019, 23(1): 161-167. DOI: 10.1007/s00784-018-2422-1.
- [49] Yasa B, Arslan H, Akcay M, et al. Comparison of bleaching efficacy of two bleaching agents on teeth discoloured by different antibiotic combinations used in revascularization [J]. Clin Oral Investig, 2015, 19(6): 1437-1442. DOI: 10.1007/s00784-014-1364-5.
- [50] Dettwiler CA, Walter M, Zaugg LK, et al. In vitro assessment of the tooth staining potential of endodontic materials in a bovine tooth model [J]. Dent Traumatol, 2016, 32(6): 480-487. DOI: 10.1111/edt.12285.
- [51] Graham L, Cooper PR, Cassidy N, et al. The effect of calcium hydroxide on solubilisation of bio - active dentine matrix components [J]. Biomaterials, 2006, 27(14): 2865-2873. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2005.12.020.
- [52] Althumairy RI, Teixeira FB, Diogenes A. Effect of dentin conditioning with intracanal medicaments on survival of stem cells of apical papilla [J]. J Endod, 2014, 40(4): 521-525. DOI: 10.1016/j.joen.2013.11.008.
- [53] Antov H, Duggal MS, Nazzari H. Management of discolouration following revitalization endodontic procedures: A case series [J]. Int Endod J, 2019, 52(11): 1660-1670. DOI: 10.1111/iej.13160.
- [54] Belobrov I, Parashos P. Treatment of tooth discoloration after the use of white mineral trioxide aggregate [J]. J Endod, 2011, 37(7): 1017-1020. DOI: 10.1016/j.joen.2011.04.003.
- [55] Iriboz E, Öztürk BA, Körklü S, et al. Comparison of intracoronary bleaching methods on teeth discolored by different antibiotic pastes [J]. Niger J Clin Pract, 2017, 20(6): 700-706. DOI: 10.4103/1119-3077.183247.
- [56] D' Mello G, Moloney L. Management of coronal discolouration following a regenerative endodontic procedure in a maxillary incisor [J]. Aust Dent J, 2017, 62(1): 111-116. DOI: 10.1111/adj.12462.
- [57] Kirchhoff AL, Raldi DP, Salles AC, et al. Tooth discolouration and internal bleaching after the use of triple antibiotic paste [J]. Int Endod J, 2015, 48(12): 1181-1187. DOI: 10.1111/iej.12423.
- [58] de Souza-Zaroni WC, Lopes EB, Ciccone-Nogueira JC, et al. Clinical comparison between the bleaching efficacy of 37% peroxide carbamide gel mixed with sodium perborate with established intracoronary bleaching agent [J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2009, 107(2): e43-e47. DOI: 10.1016/j.tripleo.2008.09.011.
- [59] Lim MY, Lum SO, Poh RS, et al. An in vitro comparison of the bleaching efficacy of 35% carbamide peroxide with established intracoronary bleaching agents [J]. Int Endod J, 2004, 37(7): 483-488. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2004.00829.x.
- [60] Galler KM, Krastl G, Simon S, et al. European Society of Endodontology position statement: Revitalization procedures [J]. Int Endod J, 2016, 49(8): 717-723. DOI: 10.1111/iej.12629.
- [61] Kim JH, Kim Y, Shin SJ, et al. Tooth discoloration of immature permanent incisor associated with triple antibiotic therapy: a case report [J]. J Endod, 2010, 36(6): 1086-1091. DOI: 10.1016/j.joen.2010.03.031.
- [62] Timmerman A, Parashos P. Bleaching of a Discolored Tooth with Retrieval of Remnants after Successful Regenerative Endodontics [J]. J Endod, 2018, 44(1): 93-97. DOI: 10.1016/j.joen.2017.08.032.
- [63] Jang JH, Kang M, Ahn S, et al. Tooth discoloration after the use of new pozzolan cement (Endocem) and mineral trioxide aggregate and the effects of internal bleaching [J]. J Endod, 2013, 39(12): 1598-1602. DOI: 10.1016/j.joen.2013.08.035.

(收稿日期: 2019-10-08)

(本文编辑: 王嫚)