

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2021.08.002

· 基础研究 ·

# 血液环境下 Biodentine 与 MTA 的颜色稳定性研究

王怡天<sup>1</sup>, 吴寅龙<sup>2,3</sup>, 余钒源<sup>1</sup>, 吴凡子<sup>1</sup>, 汪成林<sup>1</sup>, 叶玲<sup>1</sup>

1. 口腔疾病研究国家重点实验室 国家口腔疾病临床医学研究中心 四川大学华西口腔医院牙体牙髓科, 四川 成都(610041); 2. 口腔疾病研究国家重点实验室 国家口腔疾病临床医学研究中心 四川大学华西口腔医院, 四川 成都(610041); 3. 山东大学齐鲁医学院口腔医学院·口腔医院牙体牙髓科 山东省口腔组织再生重点实验室 山东省口腔生物材料与组织再生工程实验室, 山东 济南(250000)

**【摘要】** 目的 比较牙体牙髓治疗中常用的骨水泥材料 Biodentine 与三氧化矿物凝聚体(mineral trioxide aggregate, MTA)在与血液接触条件下的颜色稳定性,并探讨其可能的变色原因。方法 制备直径5 mm、高3 mm的 Biodentine 和 MTA 圆盘,将每种材料的24个圆盘随机分配到去离子水组和脱纤维羊血组中,浸泡1 d和7 d后进行后续检测。进行各类检测的3个时间点为:圆盘固化脱模后即刻、浸泡1 d和7 d后。检测指标如下:在同样光照环境下对圆盘进行拍照,直观比较两种材料的颜色变化;采用比色仪检测两种材料的色度;借助扫描电镜观察两种材料的表面形态;使用X射线能谱仪测量两种材料各元素含量。结果 肉眼观察到与脱膜后即刻相比,在脱纤维羊血组浸泡1 d后仅MTA在明暗度上发生改变,脱纤维羊血组浸泡7 d后 Biodentine 与 MTA 颜色均加深变红,但 MTA 暗度明显增加。比色仪结果显示脱纤维羊血组 MTA 的7 d色差值 $\Delta E(21.257 \pm 0.955)$ 大于 Biodentine 的7 d  $\Delta E(5.833 \pm 0.501)$  ( $t = 24.781, P < 0.001$ ); MTA 材料自身变色随着与血液接触时间延长而加深,其7 d  $\Delta E$ 与1 d  $\Delta E(6.233 \pm 0.888)$ 相比,差异具有统计学意义( $t = 19.956, P < 0.001$ );而 Biodentine 材料自身变色随时间延长则无统计学意义[7 d  $\Delta E$ 与1 d  $\Delta E(6.790 \pm 0.831)$ 相比,  $t = 1.707, P = 0.163$ ]。扫描电镜结果表明:用脱纤维羊血浸泡7 d后,MTA表面孔隙率大于 Biodentine,且 MTA 的晶体边缘相较 Biodentine 也更为圆钝。X射线能谱仪检测显示:在脱纤维羊血组浸泡7 d后 MTA 中氧元素含量下降、铋元素含量上升;与此同时 Biodentine 因阻射能力低未被检测出锆元素,但其他元素含量稳定。结论 Biodentine 在与血液接触条件下的颜色稳定性优于 MTA,这主要与 Biodentine 表面孔隙率小、阻射剂成分稳定有关。

**【关键词】** Biodentine; MTA; 颜色稳定性; 牙髓血运重建术; 牙体变色; 骨水泥; 牙髓再生; 材料表征

**【中图分类号】** R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2021)08-0515-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID)

**【引用著录格式】** 王怡天,吴寅龙,余钒源,等. 血液环境下 Biodentine 与 MTA 的颜色稳定性研究[J]. 口腔疾病防治, 2021, 29(8): 515-522. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2021.08.002.

**Research on the color stability of Biodentine and MTA within the blood environment** WANG Yitian<sup>1</sup>, WU Yinlong<sup>2,3</sup>, YU Fanyuan<sup>1</sup>, WU Fanzi<sup>1</sup>, WANG Chenglin<sup>1</sup>, YE Ling<sup>1</sup>. 1. State Key Laboratory of Oral Disease & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Department of Endodontics, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. State Key Laboratory of Oral Disease & National Clinical Research Center for Oral Diseases & West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 3. Department of Endodontics, School and Hospital of Stomatology, Cheeloo College of Medicine, Shandong University & Shandong Key Laboratory of Oral Tissue Regeneration & Shandong Engineering Laboratory for Dental Materials and Oral Tissue Regeneration, Ji'nan 250000, China

Corresponding author: YE Ling, Email: yeling@scu.edu.cn, Tel: 86-28-85503497

**【收稿日期】** 2021-01-08; **【修回日期】** 2021-03-10

**【基金项目】** 四川省科技计划项目(2019YFS0035); 四川大学华西口腔医院探索与研发项目(LCYJ2019-18)

**【作者简介】** 王怡天, 硕士研究生, Email: wangyitian13098@126.com

**【通信作者】** 叶玲, 教授, 博士, Email: yeling@scu.edu.cn, Tel: 86-28-85503497

**【Abstract】 Objective** To compare the color stability of Biodentine and mineral trioxide aggregate (MTA) within the blood environment *in vitro* and to further investigate the underlying reasons for such color instability. **Methods** We first generated Biodentine and MTA discs with a diameter of 5 mm and a height of 3 mm. 24 discs of each material were randomly divided into two groups: the deionized water group and the defibrinated sheep blood group. Discs of each group were immersed for 1 day or 7 days before assessments. First, all discs were photographed to directly compare the discoloration of Biodentine and MTA. The color degree of the two materials was tested by a spectrophotometer. Then, the high-resolution morphological characteristics were observed by scanning electron microscopy. Finally, the chemical contents of each element in the material were measured by energy-dispersive spectroscopy. **Results** Compared to immediately after stripping, a change in the brightness of discs after immersion in defibrinated sheep blood for 1 day was observed only in MTA. On the 7th day after being immersed in blood, the colors of both the Biodentine and MTA discs darkened and turned deep red, but the darkness of the MTA discs increased significantly. The color change of MTA immersed in blood was measured on a spectrophotometer with a greater 7-day  $\Delta E$  ( $21.257 \pm 0.955$ ) than the Biodentine 7-day  $\Delta E$  ( $5.833 \pm 0.501$ ) ( $t = 24.781, P < 0.001$ ). MTA exhibits more discoloration as the immersion time goes on. A significant difference was noted between the 1-day  $\Delta E$  ( $6.233 \pm 0.888$ ) and the 7-day  $\Delta E$  ( $t = 19.956, P < 0.001$ ) of MTA immersed in blood. However, there was no statistically significant difference between the 1-day  $\Delta E$  ( $6.790 \pm 0.831$ ) and the 7-day  $\Delta E$  ( $t = 1.707, P = 0.163$ ) of Biodentine immersed in blood. It was observed by scanning electron microscopy that after 7 days of immersion in the defibrinated sheep blood, the surface porosity of MTA was larger than that of Biodentine, and the crystal edge of MTA became rounded and blunt. The analysis by energy-dispersive X-ray spectroscopy showed that the oxygen content decreased and the bismuth content increased in MTA after immersion in defibrinated sheep blood for 7 days. Zirconium was not detected in Biodentine due to its low radiodensity, but the contents of other elements were stable in Biodentine after immersion in defibrinated sheep blood for 7 days. **Conclusion** The color stability of Biodentine within the blood environment is better than that of MTA *in vitro*, which is mainly related to the low surface porosity and stable composition of the anti-radiation agent of Biodentine.

**【Key words】** Biodentine; MTA; color stability; pulp revascularization; tooth discoloration; bone cement; dental pulp regeneration; material characterization

**J Prev Treat Stomatol Dis, 2021, 29(8): 515-522.**

**【Competing interests】** The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from The Scientific-Plan Program of Sichuan Province (No. 2019YFS0035); The Exploration and Creation Project of West China Hospital of Stomatology, Sichuan University (No. LCYJ2019-18).

美国牙髓病学协会(American Association of Endodontics, AAE)关于再生性牙髓治疗的临床建议(2018版)中提出,在血凝块或其他血液制品上需要覆盖一层盖髓材料。该盖髓材料需具有良好的封闭性和生物相容性。目前常用的盖髓材料为三氧化矿物凝聚体(mineral trioxide aggregate, MTA)和Biodentine。临床研究发现,MTA可能具有导致牙体颈部变色的美学风险<sup>[1-2]</sup>。临床上为避免MTA材料导致的牙变色,往往采用牙颈部涂布粘接剂来避免材料进入牙本质小管从而发生反应。然而牙髓血运重建术中盖髓材料会长时间、大面积地与血液接触,甚至会有部分材料会完全沉浸于血凝块中,此时材料的变色会直接透过牙体组织导致变色。该类变色临床上更难以预防,因此牙髓血运重建术过程中对材料在与血液接触环境中的颜色稳定性有较高的要求。盖髓材料中,基

于牙本质替代物设计理念的Biodentine在光氧<sup>[3]</sup>、冲洗液<sup>[4-5]</sup>等接触条件下均表现出了良好的颜色稳定性。本研究旨在比较Biodentine和MTA与血液直接接触后的颜色稳定性。由于体内环境相较于体外实验环境更为复杂,因此本实验首先探究单纯的体外血液环境对Biodentine和MTA颜色稳定性的影响。本研究回答了两种材料在体外血液环境下的变色情况,是进一步探讨牙体变色有关因素的基础,为临床盖髓材料的使用提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 主要试剂和仪器

MTA(Dentsply,美国);Biodentine(Septodont,法国)(表1);硅橡胶(DMG塞拉格,德国);48孔板(Corning,美国);脱纤维羊血(九龙生物,郑州);去离子水(Millipore,美国)。Crystaleye分光光度计电

脑比色仪(CE100-DC/EU, Olympus, 日本);佳能数码相机(PowerShot SX720 HS, 佳能, 日本);Inspect F50扫描电镜(FEI Inspect F50, FEI, 美国);X射线能谱仪(INCA350, Oxford, 美国)。

表1 两种材料的基本颜色和组成

Material	Basic color	Composition
MTA	Gray	Tricalcium silicate, dicalcium silicate, tricalcium aluminate, tetracalcium aluminoferrite, bismuth oxide
		Powder: tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium carbonate, calcium oxide, zirconium oxide, ferric oxide
Biodentine	Primrose yellow	Liquid: calcium chloride, water-soluble polymer

MTA: mineral trioxide aggregate

## 1.2 圆盘制备和处理

制作直径5 mm、高3 mm的铝制圆盘,以此为模型使用硅橡胶制作圆盘印模。按照材料说明书调制 Biodentine 和 MTA,放入硅橡胶印模中,置于37 ℃、100%湿度的恒温箱中4 h。待材料固化后脱模,得到直径5 mm、高3 mm的 Biodentine 和 MTA 圆盘。

分组:采用随机数表法将同一材料的24个圆盘随机平均分配到去离子水1 d组、去离子水7 d组、脱纤维羊血1 d组、脱纤维羊血7 d组,每组6个圆盘。于48孔板中进行浸泡处理,避光放置于37 ℃恒温箱中。浸泡7 d组中的液体(去离子水或脱纤维羊血)每天更换。

## 1.3 Biodentine 和 MTA 圆盘颜色比较

1.3.1 比色法 使用去离子水对固化脱模后即刻、浸泡1 d和7 d后的圆盘冲洗5 min,晾干2 h后使用 Crystaleye 分光光度计电脑比色仪进行比色。每个圆盘重复测量3次。所有测量均在同样的室内光照条件下进行,样本均按操作说明一致摆放。采用国际照明委员会 CIE L\*a\*b\*色度系统,获取材料表面各部的明度值(L\*)、红绿色度坐标轴的色度值(a\*)、黄蓝色度坐标轴上的色度值(b\*);与其在固化脱模后即刻的值L0\*、a0\*、b0\*对应求差,得到ΔL、Δa、Δb。计算各组处理前后的色差值ΔE,  $\Delta E = [(L^*-L0^*)^2 + (a^*-a0^*)^2 + (b^*-b0^*)^2] / 2$ 。

1.3.2 目测法 使用去离子水对固化脱模后即刻、浸泡1 d和7 d后的圆盘冲洗5 min,晾干2 h后使用佳能数码相机在同样光照条件下对固化脱模后

即刻、浸泡1 d和7 d后的圆盘进行拍照,观察比较圆盘的颜色变化。

## 1.4 表面形态观察

取固化脱模后即刻、浸泡1 d和7 d后的圆盘,使用去离子水冲洗后晾干,固定于基座,表面喷镀金属,于Inspect F50场发射电子显微镜下观察材料表面,电压20 kV。扫描电镜下放大2 000倍、10 000倍观察不同处理条件下两种材料的表面形态。

## 1.5 元素含量检测

测定区域同1.4。用X射线能谱仪测量固化脱模后即刻、脱纤维羊血组浸泡7 d后的 Biodentine 和 MTA 材料中钙、硅、碳、氧、铋、锆元素含量。

## 1.6 统计学分析

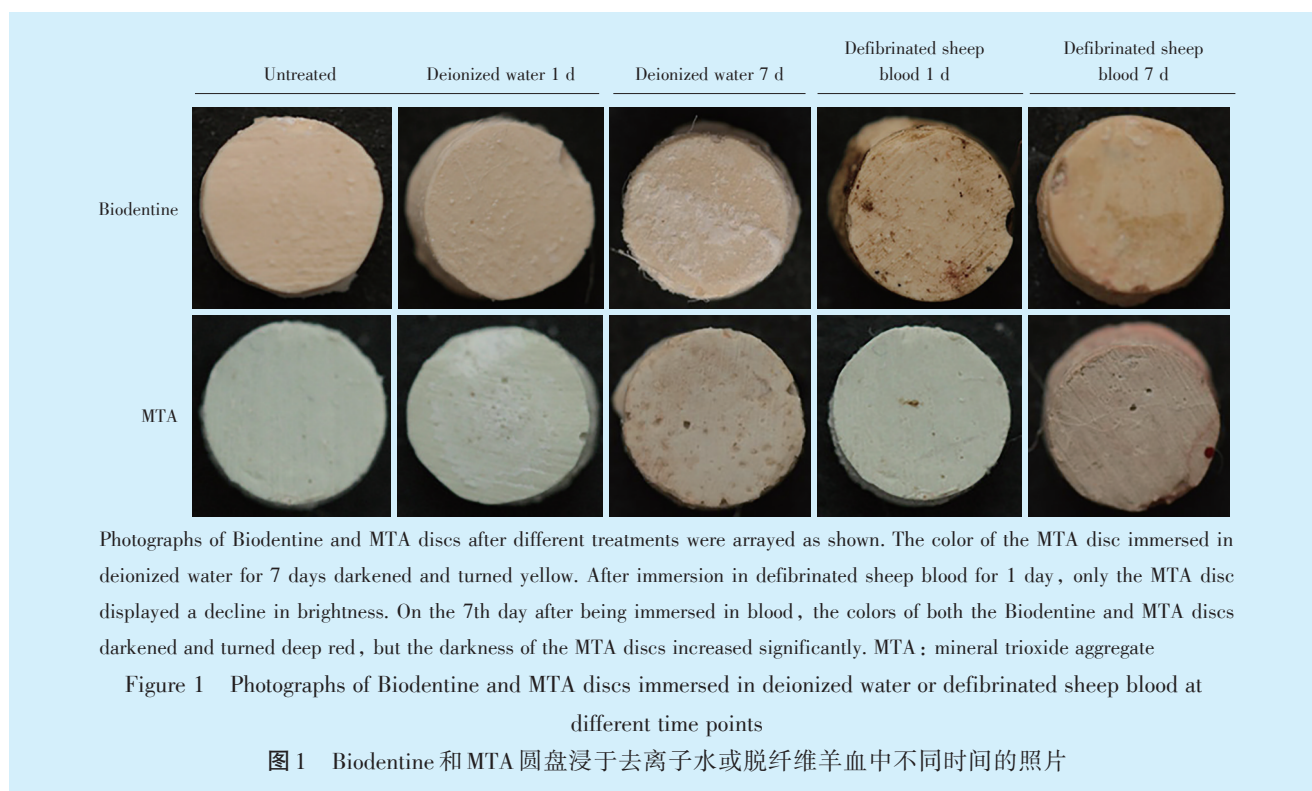
采用 Graphpad Prism 6.0 软件进行统计分析。对各组计量资料进行正态性检验,数据服从正态分布用均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,方差齐采用t检验,方差不齐则用t'检验。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 Biodentine 与血液接触条件下的颜色稳定性优于 MTA

2.1.1 目测照片结果 去离子水组浸泡1 d后 Biodentine 和 MTA 圆盘均没有出现明显的明暗度和色彩度的改变(图1)。脱纤维羊血组浸泡1 d后 Biodentine 圆盘表面有较多血色物质吸附,色彩度上发生一定程度的改变,但明暗度上并没有明显变化;而 MTA 圆盘表面只有一小部分血色物质吸附,在明暗度上发生目测可见的改变。去离子水组浸泡7 d后 Biodentine 圆盘在颜色上变化较小且表面有白色晶体析出;而 MTA 圆盘颜色变化较大:暗度增加且颜色偏黄。脱纤维羊血组浸泡7 d后两者均发生较大变化,其中 Biodentine 圆盘颜色略有加深偏红而 MTA 圆盘暗度明显增加且颜色加深变红。

2.1.2 比色仪结果 Biodentine 和 MTA 圆盘在去离子水和脱纤维羊血组浸泡1、7 d后,处理前后色差值变化ΔE见表2。去离子水组浸泡1 d后 Biodentine 的色差值ΔE(2.937 ± 0.099)低于 MTA 的ΔE(6.163 ± 0.241),差异有统计学意义( $t = 21.437, P < 0.001$ )。脱纤维羊血组浸泡1 d后 Biodentine 的ΔE(6.790 ± 0.831)与 MTA 的ΔE(6.233 ± 0.888)之间差异没有统计学意义( $t = 0.793, P = 0.472$ )。去离子水组浸泡7 d后 Biodentine 的色差值ΔE(4.063 ± 0.450)低于 MTA 的ΔE(13.427 ± 0.926) ( $t =$



15.752,  $P < 0.001$ )。脱纤维羊血组浸泡 7 d 后 Biodentine 的  $\Delta E$  ( $5.833 \pm 0.501$ ) 也低于 MTA 的  $\Delta E$  ( $21.257 \pm 0.955$ ), 差异具有统计学意义 ( $t = 24.781, P < 0.001$ )。在去离子水组浸泡 1、7 d 和在脱纤维羊血组浸泡 7 d 后 Biodentine 的色差值均低于 MTA 的色差值, 而在脱纤维羊血组浸泡 1 d 的两种材料圆盘色差值之间差异无统计学意义。以上结果表明: 与血液长时间接触后 Biodentine 的颜色稳定性优于 MTA。

就材料自身与液体接触前后的色度变化而言, Biodentine 在去离子水组浸泡 7 d 的  $\Delta E$  比 1 d 的  $\Delta E$  略高 ( $t = 4.239, P = 0.013$ ); 而在脱纤维羊血组浸泡 7 d 的  $\Delta E$  与 1 d 的  $\Delta E$  差异无统计学意义 ( $t = 1.707, P = 0.163$ )。MTA 在去离子水组和脱纤维羊血组浸泡 7 d 后的  $\Delta E$  均高于相应 1 d  $\Delta E$ , 差异具有统计学意义。见表 2。上述结果表明: 在与血液接触的环境中, Biodentine 具有较好的颜色稳定性且优于 MTA。

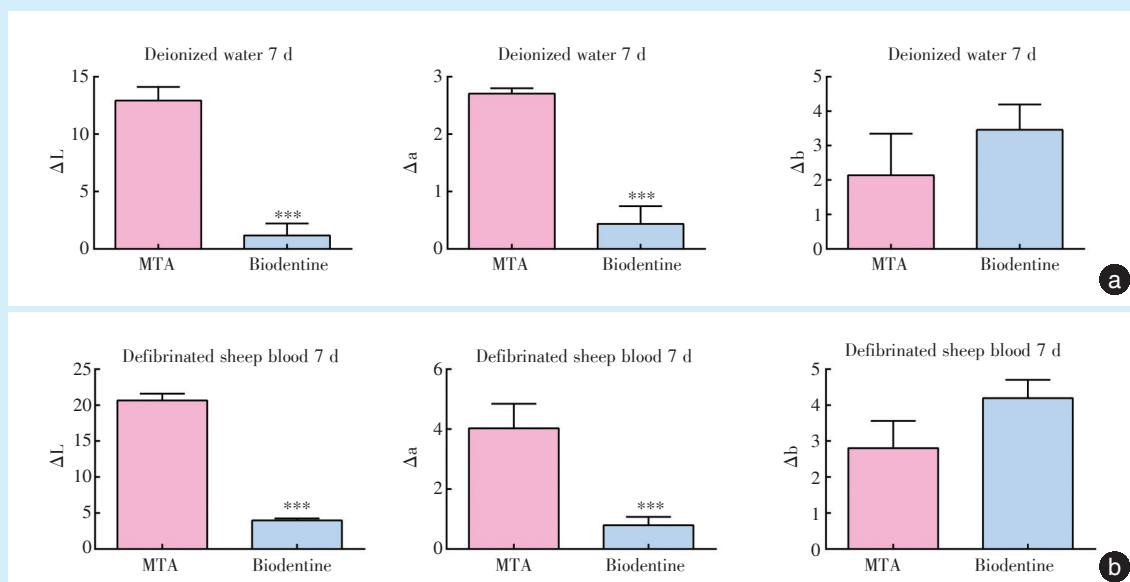
表 2 Biodentine 和 MTA 圆盘浸于去离子水或脱纤维羊血中不同时间的色差值  $\Delta E$

	Deionized water 1 d	Deionized water 7 d	$t$	$P$	Defibrinated sheep blood 1 d	Defibrinated sheep blood 7 d	$t$	$P$
Biodentine	$2.937 \pm 0.099$	$4.063 \pm 0.450$	4.239	0.013	$6.790 \pm 0.831$	$5.833 \pm 0.501$	1.707	0.163
MTA	$6.163 \pm 0.241$	$13.427 \pm 0.926$	13.145	< 0.001	$6.233 \pm 0.888$	$21.257 \pm 0.955$	19.956	< 0.001
$t$	21.437	15.752			0.793	24.781		
$P$	< 0.001	< 0.001			0.472	< 0.001		

The horizontal direction shows the statistical results of the 7th day  $\Delta E$  and the 1st day  $\Delta E$  of the material itself in the same immersion liquid. The vertical direction shows the statistical results of the two materials  $\Delta E$  under the same conditions. There was no statistically significant difference between the 7th day  $\Delta E$  and the 1st day  $\Delta E$  of Biodentine immersed in defibrinated sheep blood. There was a statistically significant difference between the 7th day  $\Delta E$  and the 1st day  $\Delta E$  MTA immersed in defibrinated sheep blood. MTA: mineral trioxide aggregate

$\Delta E$  的构成包括明度、红绿色度、黄蓝色度差值 ( $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$ ), 分析上述三个细化指标后发现: MTA 色度变化的主要来源是明度差值  $\Delta L$ , 且无论在去离子水或者血液浸泡的条件下 7 d 后的明度

差值  $\Delta L$  都远大于 Biodentine (图 2)。在红绿色度差值 ( $\Delta a$ ) 方面差异具有统计学意义; 黄蓝色度差值 ( $\Delta b$ ) 方面, MTA 与 Biodentine 在血液浸泡后的变化差异无统计学意义。上述结果表明, Biodentine



a:  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  and  $\Delta b$  of Biodentine and MTA immersed in deionized water for 7 days; b:  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  and  $\Delta b$  of Biodentine and MTA immersed in defibrinated sheep blood for 7 days. MTA: mineral trioxide aggregate; \*\*\*:  $P < 0.001$  vs. MTA

Figure 2 Comparison of  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  and  $\Delta b$  of Biodentine and MTA immersed in deionized water or defibrinated sheep blood for 7 days

图2 Biodentine 和 MTA 浸于去离子水或脱纤维羊血中 7 d 的  $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$  比较

在血液环境中颜色稳定性高于 MTA 的主要原因就是其明度稳定性更高。

## 2.2 Biodentine 和 MTA 表面形态变化趋势不同

使用扫描电镜观察到 Biodentine 圆盘未处理时表面孔隙率小(图 3)。去离子水组浸泡后 Biodentine 圆盘表面可见片状结晶,而在脱纤维羊血组浸泡后表面亦有结晶但数量少于去离子水组。MTA 圆盘未处理时表面可见片状晶体,在去离子水浸泡后表面有边缘较锐的结晶,但在脱纤维羊血组浸泡后表面结晶边缘变圆钝。值得注意的是两种液体环境下各时间点时 MTA 的孔隙率都明显大于 Biodentine。

## 2.3 Biodentine 和 MTA 材料中元素含量变化不同

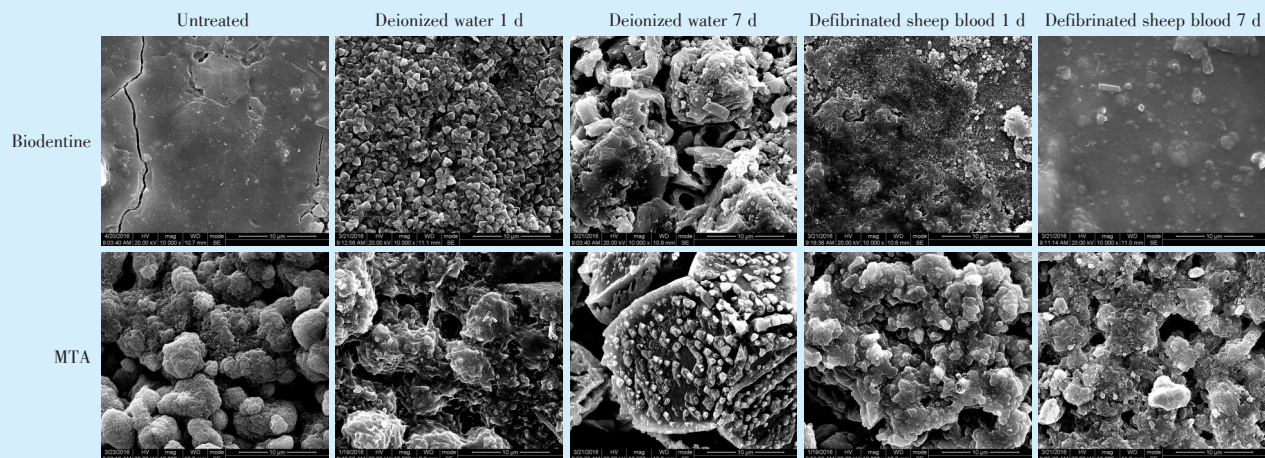
X 射线能谱仪测量结果显示(图 4):脱纤维羊血组浸泡 7 d 后,MTA 中氧元素含量下降、铋元素含量上升,提示其阻射剂成分氧化铋可能分解成金属铋。Biodentine 因阻射能力低未被检测出铋元素(X 射线检测发现 Biodentine 的阻射能力低于 MTA),但其他元素氧、钙、硅含量稳定,提示其阻射剂成分氧化锆可能较为稳定,不易分解。

## 3 讨论

作为一种骨水泥封闭剂,MTA 因其良好的生

物相容性、强密合性、抑菌性等优点在临床应用广泛,但其潜在的变色风险仍是美学修复中不可忽视的问题<sup>[1-2]</sup>。关于其变色原因多数研究认为:MTA 中阻射剂成分氧化铋会受光氧、冲洗液环境影响分解生成黑色金属、或反应生成有色的碳酸铋从而变黑;以及其他金属氧化物造成的变色<sup>[6-7]</sup>。此外材料组分氧化铋可与牙本质内胶原成分反应发黑<sup>[8]</sup>,血液接触也可能与变色有关<sup>[9]</sup>。许多离体牙实验设计未能清楚划分造成变色的几种因素,得到材料本身及生物成分原因混合影响的结果<sup>[8-11]</sup>。综上,造成牙体颜色变化的可能原因包括:与血液接触后材料本身颜色不稳定;材料、血液渗入牙本质小管与管内胶原成分发生反应;血液本身影响牙齿颜色。本实验首先研究体外血液环境下材料的颜色稳定性,推测牙体变色是否与上述第一个可能因素即材料在血液接触条件下的颜色稳定性有关。本研究设计体外实验排除了生理条件中各种复杂因素的干扰,能够单纯并直接地观察材料本身受血液影响的情况。

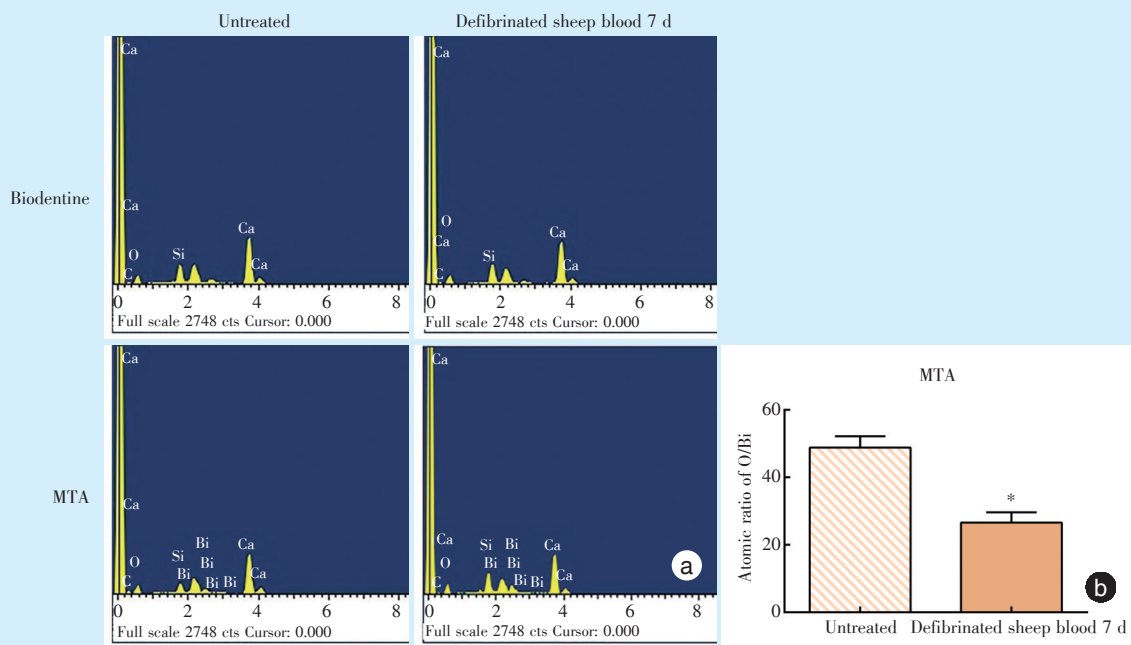
关于 Biodentine 和 MTA 在血液环境中的颜色稳定性研究,有报道曾在离体牙根管内放置泡沫塑料后注入人血,釉牙骨质界处放置 MTA 及 Biodentine 等硅酸钙类骨水泥材料后封闭根管两



The surface porosity of MTA was significantly larger than that of Biodentine at each time point in both liquid environments. MTA : mineral trioxide aggregate. Scale plate: 10  $\mu\text{m}$

Figure 3 Morphological characteristics of Biodentine and MTA discs immersed in deionized water or defibrinated sheep blood at different time points detected by scanning electron microscopy

图3 扫描电镜检测浸于去离子水或脱纤维羊血中不同时间的 Biodentine 和 MTA 的形态学特征



a: EDS results of Biodentine and MTA discs immersed in defibrinated sheep blood for 7 days with untreated discs as controls; b: atomic ratio of oxygen and bismuth in untreated MTA discs and MTA discs immersed in defibrinated sheep blood for 7 days, there was a statistically significant difference between untreated MTA discs and MTA discs immersed in defibrinated sheep blood for 7 days. EDS: energy dispersive spectroscopy; MTA: mineral trioxide aggregation. \*:  $P < 0.05$

Figure 4 Results of elemental content determination of Biodentine and MTA discs immersed in defibrinated sheep blood for 7 days compared with untreated discs

图4 脱纤维羊血组浸泡7 d的 Biodentine、MTA 与未处理组元素含量测定结果

端<sup>[12]</sup>。该研究的结果发现:随着时间延长各组间的牙体变色均加重,但各材料间的变化没有统计

学意义<sup>[12]</sup>。但上述研究存在以下局限:①人体血液在体外会迅速凝固,因此在注入血液的过程中

可能出现局部的凝集;②泡沫导致血液与材料接触面积受限。因此该实验的方法设计尚不能准确评估各材料与血液接触后的颜色稳定性。而截止目前其余关于血液影响材料颜色的研究也仅是模拟血液污染如放置血液饱和的棉球<sup>[13-14]</sup>,这也不能反映治疗中材料与血液长期接触的真实情况。为了避免上述实验的问题,本实验采用浸泡方式使材料圆盘与血液接触完全并选择羊血脱纤维处理确保血液不会发生凝固。在本实验的条件下,笔者得出结论:在体外与血液接触的环境中,Biodentine的颜色稳定性优于MTA。

骨水泥材料引起牙体变色的多项独立研究显示,MTA在处理7 d后已明显致色<sup>[10,15]</sup>。本实验依此选择7 d为检测时间点,灵敏且经济地完成检测。本实验是针对体外血液环境进行的研究,故设置成分单一的液体环境即去离子水作为对照,排除一切可能存在的盐离子影响。实验采用脱纤维羊血避免血液凝固,关于脱去的纤维蛋白原是否会对材料致色产生影响目前尚无报道,还需进一步实验来回答。

本研究目测照片中去离子水组MTA材料圆盘发生颜色变化,其 $\Delta E$ 均高于Biodentine相应组别,主要与MTA材料组分、性质有关。MTA中存在多种金属元素,其分解释放会降低材料明度;去离子水的浸泡会一定程度上改变材料表面孔隙率。就MTA圆盘而言,脱纤维羊血浸泡7 d相比于去离子水浸泡7 d颜色发生较大改变。已知血液红细胞会引起牙体变色<sup>[16]</sup>,由早期偏红色逐渐转为暗棕色。研究认为红细胞溶血是明暗度变化的原因。有研究提示,硅酸钙类材料与血液接触时变色加快<sup>[9]</sup>,但具体原因尚不明确。有学者认为,MTA中少量三价铁会导致变色,且血红蛋白中二价铁因发生氧化还原反应转化为三价铁而变色<sup>[17]</sup>。血液还会吸附在材料表面,导致变色并抑制水化过程<sup>[18-19]</sup>,降低材料表面孔隙率,这与本研究的扫描电镜结果一致,浸泡在血液组的材料表面孔隙率均有降低,提示材料表面存在血液的吸附。

在比较几类骨水泥材料对牙体颜色影响的相关研究中,Biodentine会造成牙体变色但致色情况低于MTA<sup>[20]</sup>。学者的分析结论与本实验研究结果一致,Biodentine金属元素含量少、阻射剂由氧化铋更换成了稳定性更高的氧化锆(不易分解),这有助于颜色稳定性。这些离体牙实验设计中都存在材料和牙本质的接触。而已有研究表明防止牙本

质小管内胶原成分的降解可大大改善牙体变色<sup>[21]</sup>说明牙本质成分对牙体颜色有较大影响。此外,血液污染也是引起牙体变色的重要因素。有研究显示血液污染材料后处理好的牙体避光保存于37 ℃ 180 d进行检测,MTA、Biodentine均造成牙体变色<sup>[22]</sup>。但从其结果可见,检测时长达180 d时Biodentine组的变色情况较轻,MTA组变色较重。综上可知,现有研究条件下Biodentine的颜色稳定性总是优于MTA。尽管实际使用中Biodentine也存在造成牙体变色的情况,但美学修复效果与MTA相比已获得较大改善。

关于本实验发现Biodentine具有更高的颜色稳定性的机制之一,即阻射剂的更换,以下问题在临床实践中需要纳入考虑。X射线能谱(energy dispersive spectroscopy, EDS)分析结果表明:在血液环境中浸泡后Biodentine的氧元素含量都没有变化,提示其阻射剂氧化锆成分稳定未分解;而MTA的阻射剂氧化铋稳定性低于氧化锆。虽然Biodentine更换阻射剂成分减轻了其变色的风险,但Biodentine的阻射能力低<sup>[23]</sup>有可能会给牙体牙髓治疗带来不便,因此在实际应用时需综合考虑需求进行选择。

临床治疗中材料与血液接触时处于未完全凝固的状态。在牙髓血运重建术过程中该部分未完全凝固即接触血液的材料往往位于牙釉本质界以下3 mm,其变色与临床口内可见的牙体部分关系不大。而与临床口内可见的牙体变色密切相关的通常是靠近牙釉质牙本质界的材料部分,因此本实验选择材料凝固后浸泡处理来模拟临床。尽管本实验不能完全模拟实际临床操作状态,但本实验为比较两种材料在血液接触条件下的颜色稳定性提供了最基础和有力的体外证据。后续本课题组将设计体内试验模拟临床操作状态,探讨实际治疗中材料盖髓对牙体颜色的影响;同时会考虑使用粘接剂封闭牙本质小管,探究临床操作中若减少材料与牙本质小管的接触能否改善牙体变色。该设计或许可以分析回答临床使用Biodentine也会出现牙体变色的原因,并有助于探寻美学修复方面更优秀的治疗方案。

综上,本研究发现在体外与血液接触的条件下Biodentine的颜色稳定性优于MTA。原因包括:Biodentine的表面形态和晶体结构在血液接触环境中较MTA更稳定,且Biodentine的阻射剂及氧化物组分与血液接触后也表现出更好的稳定性。但由

于 Biodentine 更换阻射剂后带来的阻射能力降低, 在临床应用时需综合考虑。

【Author contributions】 Wang YT, Wu YL wrote the article. Yu FY, Wu FZ, Wang CL performed the experiments, and analyzed the data. Ye L designed the study, and revised the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

### 参考文献

- Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview-part II: other clinical applications and complications[J]. *Int Endod J*, 2018, 51(3): 284-317. doi: 10.1111/iej.12843.
- Tripathi R, Cohen S, Khanduri N. Coronal tooth discoloration after the use of white mineral trioxide aggregate[J]. *Clin Cosmet Investig Dent*, 2020, 12(12): 409-414. doi: 10.2147/CCIDE.S266049.
- 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.
- Akbulut MB, Terlemeç A, Akman M, et al. Tooth discoloration effects of calcium silicate based barrier materials used in revascularization and treatment with internal bleaching[J]. *J Dent Sci*, 2017, 12(4): 347-353. doi: 10.1016/j.jds.2017.03.009.
- Rajasekharan S, Martens LC, Cauwels R, et al. Biodentine™ material characteristics and clinical applications: a 3 year literature review and update[J]. *Eur Arch Paediatr Dent*, 2018, 19(1): 1-22. doi: 10.1007/s40368-018-0328-x.
- Marciano MA, Duarte MAH, 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.
- Pelepenko LE, Saavedra F, Bombarda GF, et al. Dental discoloration caused by Grey-MTAFlow cement: analysis of its physicochemical, biological and antimicrobial properties[J]. *J Appl Oral Sci*, 2020, 28: e20200269. doi: 10.1590/1678-7757-2020-0269.
- 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.
- Oliveira LV, da Silva GR, Souza GL, et al. A laboratory evaluation of cell viability, radiopacity and tooth discoloration induced by regenerative endodontic materials[J]. *Int Endod J*, 2020, 53(8): 1140-1152. doi: 10.1111/iej.13308.
- 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.
- 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.
- 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.
- Adl A, Javanmardi S, Abbaszadegan A. Assessment of tooth discoloration induced by biodentine and white mineral trioxide aggregate in the presence of blood[J]. *J Conserv Dent*, 2019, 22(2): 164-168. doi: 10.4103/JCD.JCD\_466\_18.
- Madani Z, Alvandifar S, Bizhani A. Evaluation of tooth discoloration after treatment with mineral trioxide aggregate, calcium-enriched mixture, and Biodentine® in the presence and absence of blood[J]. *Dent Res J (Isfahan)*, 2019, 16(6): 377-383.
- Palma PJ, Marques JA, Falacho RI, et al. Six-Month color stability assessment of two Calcium Silicate-Based cements used in regenerative endodontic procedures[J]. *J Funct Biomater*, 2019, 10(1): 14. doi: 10.3390/jfb10010014.
- Marin PD, Bartold PM, Heithersay GS. Tooth discoloration by blood: an *in vitro* histochemical study[J]. *Endod Dent Traumatol*, 1997, 13(3): 132-138. doi: 10.1111/j.1600-9657.1997.tb00026.x.
- 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.
- Yang WC, Tsai LY, Hsu YH, et al. Tooth discoloration and the effects of internal bleaching on the novel endodontic filling material SavDen® MTA[J]. *J Formos Med Assoc*, 2021, 120(1 Pt 2): 476-482. doi: 10.1016/j.jfma.2020.06.016.
- Abuelniel GM, Duggal MS, Kabel N. A comparison of MTA and Biodentine as medicaments for pulpotomy in traumatized anterior immature permanent teeth: a randomized clinical trial[J]. *Dent Traumatol*, 2020, 36(4): 400-410. doi: 10.1111/edt.12553.
- Bastawala DS, Kapoor S, Nathani P. A comparison of coronal tooth discoloration elicited by various endodontic reparative materials MTA plus, Bio MTA+, and biodentine: an *Ex vivo* study[J]. *Int J Clin Pediatr Dent*, 2020, 13(5): 463-467. doi: 10.5005/jp-journals-10005-1812.
- Zhao IS, Yin IX, Mei ML, et al. Remineralising dentine caries using Sodium fluoride with Silver nanoparticles: an *in vitro* study[J]. *Int J Nanomedicine*, 2020, 15(15): 2829-2839. doi: 10.2147/IJN.S247550.
- Chen SJ, Karabucak B, Steffen JJ, et al. Spectrophotometric analysis of coronal tooth discoloration induced by tricalcium silicate cements in the presence of blood[J]. *J Endod*, 2020, 46(12): 1913-1919. doi: 10.1016/j.joen.2020.09.009.
- Ochoa-Rodríguez VM, Tanomaru-Filho M, Rodrigues EM, et al. Addition of zirconium oxide to Biodentine increases radiopacity and does not alter its physicochemical and biological properties[J]. *J Appl Oral Sci*, 2019, 27:e20180429. doi: 10.1590/1678-7757-2018-0429.

(编辑 罗燕鸿)



官网



公众号