

· 口腔医学研究 ·

3种冠修复材料与牙釉质磨损性能的体外研究

许琛^{1,2}, 章非敏^{1*}, 张志臣³, 朱燕茹², 刘梅¹¹南京医科大学附属口腔医院修复科, 江苏 南京 210029; ²南京医科大学附属常州第二人民医院口腔科, 江苏 常州 213000; ³常州大学机械工程学院, 江苏 常州 213000

[摘要] 目的:通过体外实验比较3种冠修复材料及天然牙釉质的摩擦磨损性能,为临床上选择与天然牙磨损性能相近的修复材料提供一定实验依据。方法:选取高度抛光的饰面瓷、爱尔创氧化锆、可切削复合树脂材料 Lava Ultimate 为实验组,对照组为天然牙釉质,以滑石瓷为对磨物,模拟口腔环境,在 CFT- I 型材料表面性能综合测试仪上进行二体摩擦磨损实验,通过检测试样表面粗糙度、表面硬度、磨损量、磨斑形貌,研究天然牙釉质与不同材料之间的摩擦磨损性能。采用单因素方差分析方法进行统计学分析。结果:3种冠修复材料自身磨损量和对磨物磨损量与牙釉质组相比差异均有统计学意义($P < 0.05$),其中 Lava Ultimate 及对磨物与天然牙釉质及对磨物的磨损量最接近。结论:与饰面瓷对比,氧化锆具有更佳的耐磨性及更低的对磨物磨损;与天然牙釉质相比,Lava Ultimate 具有更强的耐磨性及更低的对磨物磨损;与饰面瓷和氧化锆对比,Lava Ultimate 的耐磨性能及对磨物磨损等方面与天然牙釉质更为接近。

[关键词] 摩擦;磨损;饰面瓷;氧化锆;可切削复合树脂**[中图分类号]** R783.1**[文献标志码]** A**[文章编号]** 1007-4368(2019)02-272-06**doi:** 10.7655/NYDXBNS20190226

A comparative study of three crown materials and enamel wearing ability *in vitro*

Xu Chen^{1,2}, Zhang Feimin^{1*}, Zhang Zhichen³, Zhu Yanru², Liu Mei¹¹Department of Prosthodontics, the Affiliated Stomatological Hospital of NMU, Nanjing 210029; ²Department of Stomatology, the Affiliated Changzhou NO.2 People's Hospital of NMU, Changzhou 213000; ³School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213000, China

[Abstract] **Objective:** By comparing with the friction and wear properties of three crown materials and tooth enamel *in vitro* experiment, to provide a certain experiment basis for choosing the repair materials with the wear resistance close to nature tooth in clinical. **Methods:** Choosing the veneering porcelain with highly polishing, aierchuang zirconia and machinable compound resin material Lava Ultimate as the experiment group, the tooth enamel was chosen for the control group. Taking the steatite ceramics as resist ware material, simulating the oral environment to do the friction and wear experiment of the two material on the CFT- I type material surface properties general-purpose tester. By testing the inspection of surface roughness Ra, surface hardness, abrasion loss and rubbed surface to research the friction and wear properties between abrasion loss and different materials. The statistical analysis was conducted by the method of one-way analysis of variance. **Results:** Compared with the enamel group, the self-abrasion loss of the three materials and abrasion loss of the resist ware material have statistic difference ($P < 0.05$), in which the abrasion loss between Lava Ultimate and resist ware material closed to the abrasion loss between tooth enamel and resist ware material most. **Conclusion:** Compared with veneering porcelain, the zirconia had a better abrasive resistance and lower abrasion of resist ware material. Compared with tooth enamel, the Lava Ultimate had a better abrasive resistance and lower abrasion of resist ware material. Compared with the veneering porcelain and zirconia, Lava Ultimate closed to the tooth enamel more on the aspects of wear-resisting property and abrasion of resist wear material.

[Key words] friction; abrasion; veneering porcelain; machinable compound resin

[J Nanjing Med Univ, 2019, 39(02):272-277]

[基金项目] 国家重点研发计划(2016YFA0201704);国家自然科学基金(81701025);江苏省卫生计生委青年科研课题(Q201604);江苏高校优势学科建设工程资助项目(2014-37)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: fmzhang@njmu.edu.cn

随着口腔材料学的发展,越来越多性能优良的修复材料应用于临床。牙科陶瓷材料应用于口腔修复领域历史悠久,其逼真的色泽及透明度、较强的致密度和耐磨性及良好的生物相容性等优点,使之成为最主要的修复材料之一,特别是其独特的半透明的美学性能是其他金属材料和高分子材料所无法比拟的。其中,全瓷材料中性能较佳的氧化锆陶瓷的强度、韧性等机械性能明显优于其他材料,但是氧化锆陶瓷修复体出现饰面瓷崩脱导致修复体失败的情况较多^[1]。随着氧化锆透光性的改善,目前可以通过计算机辅助设计和计算机辅助制造(computer aided design and computer aided manufacturing, CAD/CAM)技术直接设计并制作无饰瓷覆盖的全结构氧化锆冠单层修复体,这种单层修复体不仅显示了优良的力学性能,同时避免了双层结构饰瓷崩脱的风险^[2]。并且,全锆冠仅需少量的牙体预备,当夜磨牙及咬合空间有限时,可作为陶瓷材料被选择。临床上烤瓷修复的远期疗效调查发现,常用烤瓷材料可以对天然牙或其他修复材料产生明显的磨耗^[3]。近期出现了一种新型冠部修复材料——可切削复合树脂 Lava Ultimate,其具有与天然牙体组织相近的弹性模量、良好的生物相容性及机械加工性能,具有广阔的应用前景。本文旨在通过体外实验,比较这3种修复体本身抵抗磨耗和对天然牙磨损的情况,探讨其摩擦磨损机制,为临床选用更加合适的修复材料,更好地保护对颌牙提供一定实验依据。

1 材料和方法

1.1 材料

饰面瓷(VITA, VM9, 德国),氧化锆(UPCERA ST, 深圳爱尔创),可切削复合树脂(Lava Ultimate, 3M公司, 美国),天然牙牙釉质(常州市第二人民医院口腔科),滑石瓷摩擦副(海门市天补高频陶瓷厂),丙烯酸自凝塑料(上海医疗器械股份有限公司齿科材料厂),DMG硅橡胶印模材料,抛光用砂纸,道邦橡胶抛光器套装,抛光用羊毛绒轮及抛光蜡,NTI树脂抛光器套装,人工唾液(品牌:NobleRyder C8029;成分:NaCl:0.4 g;KCl:0.4 g;CaCl₂·2H₂O:0.795 g;NaH₂PO₄·2H₂O:0.78 g;Na₂S·9H₂O:0.005 g;Urea:1 g;Distilled Water:1 000 g),保存在4℃冰箱内备用。

CFT-I型材料表面性能综合测试仪(兰州中科凯华科技开发有限公司),基恩士超景深三维显微

系统(VHX-700FC)、超声波清洗机(KS-500E)(宁波海曙科生超声设备有限公司),维氏硬度计(Wilson, 美国),粗糙度测量仪(MarSurf M300C, Mahr公司, 德国),切削机床(InLabMC X5)、瓷块烧结炉(ZE-NOTEC P1)、上瓷烧结炉(EO3000-G2)、万能工具显微镜(F01C型,上海机床厂),金相试样预磨机(YM-2,上海鹤明测试仪器有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 试样的制备与分组

唾液槽的大小为2.5 cm×2.5 cm×1.5 cm,试样分别为A组:饰面瓷组,B组:氧化锆组,C组:Lava Ultimate组,每组10个,共30个,A、B、C组均为1.5 cm×1.2 cm×1.0 cm的长方体,试样完成后应避免一切表面磨损。对照组天然牙釉质为D组。对照组天然牙釉质试样制备:收集近2周内拔除的未萌出上颌第三磨牙10颗,要求接受拔牙患者年龄在20~30岁之间,上颌第三磨牙与对颌牙无咬合接触,均无龋、无损伤、无脱矿及釉质发育不良。天然牙拔除后立即浸入生理盐水中,试样制备时使用涡轮机磨改牙冠,颊侧面保留至少8 cm×8 mm大小釉质平面,牙釉质厚度不少于2 mm,将待测试样颊面用200#、320#砂纸依次磨平,用NTI树脂抛光器套装抛光,将试样待测面及天然牙釉质抛光面外露2 mm左右,以下部分包埋于唾液槽硅橡胶中,测试面与唾液槽底部保持平行,试样完成后保存在4℃冰箱内。

对磨物为滑石瓷摩擦副,其接触端制作成直径3 mm大小的球形圆柱体,共40个,将所有试样测试前均置于KS-500E超声波清洗机蒸馏水中清洗10 min,用无水乙醇和丙酮交替冲洗3次,冷风吹干后进行实验,实验完成后以同样程序清洗吹干。

1.2.2 硬度测量

用维氏硬度计进行压入实验,分别测量饰面瓷、氧化锆、Lava Ultimate和天然牙釉质的光滑表面,负荷为100 g,测试时间为20 s,在每种材料的表面的中心区域选10个点测量,取10个测量值的平均值作为该材料的硬度值。

1.2.3 粗糙度测量

用粗糙度测量仪测量饰面瓷、氧化锆、Lava Ultimate和天然牙釉质的光滑表面。扫描长度L_t=5.600 mm,截止波长0.800 mm,取样长度n=5。在每个试样表面的中心区域测10次,取其平均值为该试样的表面粗糙度。

1.2.4 摩擦磨损实验

用材料表面性能综合测试仪进行削盘式往复

摩擦实验,正常人咀嚼时牙齿的咀嚼力为3~36 N^[4],上下颌牙的滑动距离约为2~4 mm^[5],设置机器参数:垂直向载荷通过砝码加载实现,为1 000 g,运行时间60 min,转速80 r/min,运行长度4 mm,在室温人工唾液中,以滑石瓷为对磨物,对3种修复材料和天然牙釉质的摩擦磨损性能进行测试。用计算机控制并记录实验过程中表面摩擦力与位移在不同循环次数下的变化,以得到摩擦系数等参数的变化曲线。

1.2.5 试样磨损体积的测量

将所有试样置于KS-500E超声波清洗机蒸馏水中清洗10 min,用无水乙醇和丙酮交替冲洗3次,冷风吹干,进行削盘式往复摩擦,实验完成后以同样的程序清洗吹干,用三维显微系统截取磨痕凹坑的横截面曲线,以此计算磨痕凹坑横截面的面积,再乘以运行长度4 mm,得到磨损体积。取该组10个样本磨损体积的平均值作为该试样的磨损体积。

1.2.6 对磨物磨损高度的测量

按照摩擦磨损试验机要求,将上试样对磨物滑石瓷制作成直径为3 mm,长度为12 mm,接触端为半球形,另一端为平面的圆柱体,所有上试样以同样程序在实验前后进行清洗吹干,用万能工具显微镜测量滑石瓷实验前后的长度,取其差值作为对磨物的磨损高度。取该组10个对磨物磨损高度的平均值作为该对磨物的磨损高度。

1.2.7 磨损表面形貌观察

用三维显微系统观察各组试样及对磨物表面磨斑的形貌。

1.3 统计学方法

使用SPSS24.0统计软件对每组材料表面粗糙度、硬度、试样体积磨损量、对磨物高度磨损量进行单因素方差分析,组间比较使用 q 检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 试样初始表面的粗糙度

经单因素方差分析后,A组试样表面粗糙度最大,B、C两组试样表面粗糙度无统计学差异($P > 0.05$),D组试样表面粗糙度最小。A组与B、C、D组之间均存在显著的统计学差异($P < 0.05$,表1)。

2.2 试样的硬度

试样的硬度由小到大依次为Lava Ultimate、天然牙釉质、饰面瓷、氧化锆。经单因素方差分析后,4组试样的硬度值差异有统计学意义($P < 0.05$,表1)。

表1 各组试样硬度值和试样表面粗糙度Ra值

Table 1 Hardness value and surface roughness Ra value of samples in each group ($\bar{x} \pm s, n=10$)

组别	材料名称	硬度(HV)	粗糙度(Ra/ μm)
A组	饰面瓷	575.580 ± 41.979	0.729 ± 0.183
B组	氧化锆	1 478.000 ± 96.041	0.314 ± 0.075*
C组	Lava Ultimate	105.430 ± 6.895	0.272 ± 0.076*
D组	天然牙釉质	301.310 ± 24.214	0.136 ± 0.009**

与A组比较,* $P < 0.05$;与B组比较,** $P < 0.05$ 。

2.3 磨损性能

2.3.1 摩擦系数

各组试样的摩擦系数由小到大依次排列为Lava Ultimate、氧化锆、饰面瓷、天然牙釉质。各组材料的摩擦系数经OriginPro9.0软件处理(图1)。

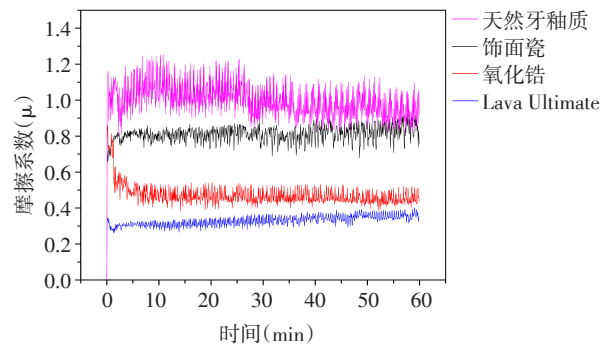


图1 各组材料的摩擦系数

Figure 1 Friction coefficient of materials in each group

2.3.2 各组试样及对磨物磨损量

试样的磨损量由小到大依次排列为氧化锆、Lava Ultimate、天然牙釉质、饰面瓷。各组试样及其对磨物磨损量统计学差异有统计学意义($P < 0.05$)。对磨物滑石瓷的磨损量由小到大依次排列为氧化锆、Lava Ultimate、天然牙釉质、饰面瓷(表2)。各组随机抽取试样中的1个,测得其磨痕横截面曲线(图2)。

2.3.3 磨损表面形貌

在VHX-700FC下可观察到各组试样及对磨物滑石瓷磨损表面的形貌(图3,4)。A组饰面瓷磨斑较大,表面平行犁沟明显;与饰面瓷对磨的滑石瓷磨斑较大,表面粗糙,犁沟明显。B组氧化锆表面仅可见轻微划痕;与氧化锆对磨的滑石瓷磨斑表面光滑。C组Lava Ultimate表面可见清晰平行犁沟;与Lava Ultimate对磨的滑石瓷磨斑表面可见轻微犁沟。D组天然牙釉质可观察到牙釉质磨斑表面犁沟;与牙釉质对磨的滑石瓷磨斑表面可见轻微犁沟。

表2 各组试样磨损体积和对磨物磨损高度

组别	材料名称	试样磨损体积(μm^3)	对磨物磨损高度(μm)
A组	饰面瓷	181 406 484.000 \pm 34 994 905.300	52.610 \pm 11.802
B组	氧化锆	10 840 659.720 \pm 2 913 202.871	0.350 \pm 0.158
C组	Lava Ultimate	88 976 846.560 \pm 26 874 116.570	8.330 \pm 2.200
D组	天然牙釉质	132 665 793.100 \pm 28 167 991.420	14.640 \pm 2.794

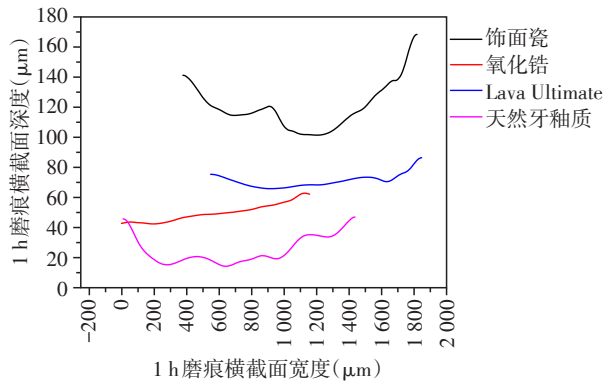


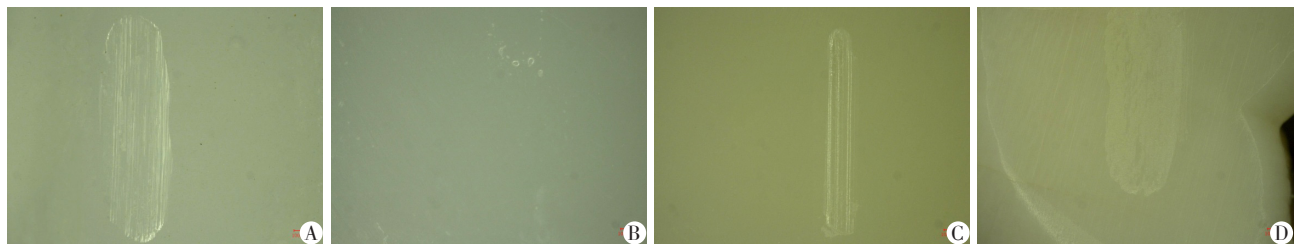
图2 各组材料磨痕横截面曲线

Figure 2 Cross section curves of grinding marks of materials in each group

3 讨论

天然牙在口腔中行使咀嚼功能,均衡而适度的磨耗具有重要的生理意义:①上下颌牙在建骀初期,可能出现少数早接触点,通过磨耗,使咬合面广

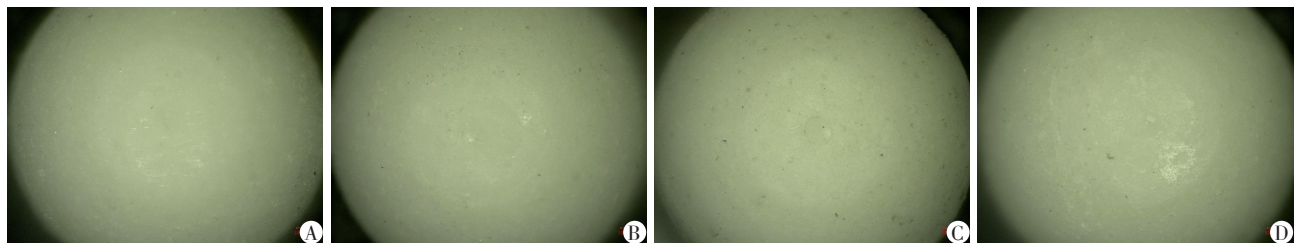
泛接触;②随着年龄增长,磨耗使牙尖形态与牙周组织功能相适应;③高龄者,牙冠磨耗可减少临床牙冠的长度,保持根冠比例协调;④全牙列邻面持续地磨耗,可代偿牙弓连续地向前移动,使前牙不致因后牙的推动而拥挤^[6]。然而,牙齿过快过多或不均匀的磨耗,造成牙齿形态与咬合关系的改变,容易导致各种病理状态。口腔修复材料在口内代替天然牙长期行使咬合功能,不可避免地会产生与天然牙之间的磨损。过度磨损易引起齿间间隙增大、咬合垂直距离减小等问题,甚至会对人体的咀嚼肌造成一定影响^[7]。因此研究天然牙的磨损特性非常有意义。本实验采用试件磨损体积及对磨物磨损高度反映磨损量的大小。结果显示,氧化锆自身的体积磨损量及其对磨物的磨损高度远小于其他3组。说明氧化锆的耐磨性非常好,其对磨物的磨损也相当低,与对照组天然牙釉质的实验结果有显著差异。由此推测,随着年龄增长,口内其他的天然牙均发生了均衡而适度的磨耗,而氧化锆修复



A: 饰面瓷组; B: 氧化锆组; C: Lava Ultimate组; D: 天然牙釉质组。

图3 试样磨斑表面形貌($\times 100$)

Figure 3 Surface topography of grinding plaque of sample ($\times 100$)



A: 饰面瓷组; B: 氧化锆组; C: Lava Ultimate组; D: 天然牙釉质组。

图4 对磨物滑石瓷磨斑表面形貌($\times 125$)

Figure 4 Surface topography of grinding plaque on abrasive talc porcelain ($\times 125$)

体很可能因其良好的耐磨性及低对磨物磨耗渐渐地与对颌牙形成早接触,与口内其他天然牙的咬合关系不相匹配而造成干扰。

材料的硬度表示其抗弹性形变的能力,是耐磨性的重要影响因素。在临床工作中,许多学者对氧化锆存在这样一种误解,认为氧化锆硬度值过大,会造成对颌天然牙的过度磨损,因此在后牙区咬合高度不够时不敢大胆选择氧化锆修复材料而选择了金属全冠或者玻璃陶瓷。氧化锆的美观性优于金属全冠,并且具有良好的生物相容性、化学性能稳定、不导电、X射线透射、不产生CT和MT的伪影。相较于玻璃陶瓷可能由于咬合力过大而出现开裂、崩瓷导致修复失败,高硬度的氧化锆修复体则能很大程度地避免这种情况的发生。本研究结果显示,对比硬度相对较低的饰面瓷,氧化锆并没有造成对磨物更多的磨损,反而其对磨物的磨损量远小于饰面瓷组,并且氧化锆自身也有着非常好的耐磨性。分析原因:除了与材料表面粗糙度有关外,还可能一是与瓷的加工工艺有关;二是与瓷的力学性能及微观结构有关^[8-9]。因此,对于陶瓷而言,硬度不再是评价对磨物磨损的有效指标,而制作工艺与微观结构的不同将影响其摩擦磨损性能。综上所述,临床中在遇到夜磨牙及咬合空间有限时,氧化锆陶瓷材料可以作为首选。

可切削复合树脂材料是一种新型的冠部修复材料,具有与天然牙体组织相近的弹性模量、良好的生物相容性及机械加工性能等。本实验中,Lava Ultimate的硬度略低于天然牙釉质,经1h摩擦循环后,釉质自身的体积损失量及对磨物的磨损均略大于Lava Ultimate。可能是由于离体牙与口内的活髓牙相比,二者仍存在不可避免的差别,失去活性的牙釉质会变脆,深层牙本质弹性减弱,对釉质受力时的缓冲作用降低^[10]。另外,人工唾液的组成与正常分泌的唾液成分并不完全一致,而且间歇磨损与连续磨损的润滑效果也不完全相同。Arsecularatne等^[11]提出,对天然牙平面试件进行制备的过程会导致其结构的表面及亚表面损伤。理想的口腔修复材料应具备与天然牙近似甚至略低于天然牙的磨损率。根据这一标准,体外实验评价与牙釉质相匹配的口腔材料,其自身磨损量和对磨物磨损量均应与牙釉质相接近。与饰面瓷及氧化锆相比,Lava Ultimate自身及对磨物磨损量均略低于牙釉质,且与牙釉质最接近,可以说明二者摩擦磨损性能最相匹配。从磨损角度来说,Lava Ultimate更适合作为口

腔固定义齿修复材料,既有均匀适度的磨耗又不会造成对颌牙釉质过度非生理性磨耗。选取与天然牙摩擦磨损性能相近的牙科修复材料,更好地保护天然牙外层的牙釉质。

本实验仅从耐磨性方面进行了初步研究,关于这3种修复材料的其他机械性能及生物学性能有待进一步深入探讨。由于体外研究条件有限,并不能完全反映真实的口腔内环境及咀嚼生理状态下的磨损情况,该材料能否满足临床需求仍需要大量研究及长期临床观察。

[参考文献]

- [1] Heintze SD, Rousson V. Survival of zirconia- and metal-supported fixed dental prostheses: a systematic review [J]. *Int J Prosthodont*, 2010, 23(6):493-502
- [2] Pang Z, Chughtai A, Sailer I, et al. A fractographic study of clinically retrieved zirconia-ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses [J]. *Dent Mater*, 2015, 31(10):1198-1206
- [3] Choi JW, Bae IH, Noh TH, et al. Wear of primary teeth caused by opposed all-ceramic or stainless steel crowns [J]. *J Adv Prosthodont*, 2016, 8(1):43-52
- [4] Dowson D. History of tribology [M]. 2nd. London: Professional Engineering Pub, 1998:577
- [5] 皮昕. 口腔解剖生理学 [M]. 5版, 北京:人民卫生出版社, 2003:249
- [6] Sato S, Hotta TH, Pedrazzi V. Removable occlusal overlay splint in the management of tooth wear: a clinical report [J]. *J Prosthet Dent*, 2000, 83(4):392-395
- [7] d'Incau E, Couture C, Maureille B. Human tooth wear in the past and the present: tribological mechanisms, scoring systems, dental and skeletal compensations [J]. *Arch Oral Biol*, 2012, 57(3):214-229
- [8] 宋海燕, 曾剑玉, 司文捷. 牙科氧化锆瓷摩擦磨损性能的研究 [J]. *北京口腔医学*, 2014, 22(3):137-140
- [9] Sripetchdanond J, Leevailoj C. Wear of human enamel opposing monolithic zirconia, glass ceramic, and composite resin: an in vitro study [J]. *J Prosthet Dent*, 2014, 112(5):1141-1150
- [10] 张曼曼, 曾剑玉, 李欣, 等. 可切削复合树脂材料磨损性能的研究 [J]. *北京口腔医学*, 2016, 24(5):250-253
- [11] Arsecularatne JA, Hoffman M. On the wear mechanism of human dental enamel [J]. *J Mech Behav of Biomed Mater*, 2010, 3(4):347-356
- [12] 陈曦, 章非敏, 胡建. 两种不同厚度椅旁CAD/CAM全瓷材料断裂强度的实验研究 [J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2015, 35(11):1632-1636
- [13] Lee A, Swain M, He L, et al. Wear behavior of human

- enamel against lithium disilicate glass ceramic and type III gold[J]. J Prosthet Dent. 2014, 112(6):1399-1405
- [14] Zandparsa R, El HR, Hirayama H, et al. Effect of different dental ceramic systems on the wear of human enamel: an *in vitro* study[J]. J Prosthet Dent, 2016, 115(2):230-237
- [15] Min J, Zhang Q, Qiu X, et al. Investigation on the tribological behavior and wear mechanism of five different veneering porcelains[J]. PLoS One, 2015, 10(9):e0137566
- [16] Chong BJ, Thangavel AK, Rolton SB, et al. Clinical and laboratory surface finishing procedures for zirconia on opposing human enamel wear: A laboratory study [J]. J Mech Behav Biomed Mater, 2015, 50(1):93-103
- [17] Amer R, Kürklü D, Kateeb E, et al. Three-body wear potential of dental yttrium-stabilized zirconia ceramic after grinding, polishing, and glazing treatments [J]. J Prosthet Dent, 2014, 112(5):1151-1155
- [18] Mundhe K, Jain V, Pruthi G, et al. Clinical study to evaluate the wear of natural enamel antagonist to zirconia and metal ceramic crowns[J]. J Prosthet Dent, 2015, 114(3):358-363
- [19] Passos SP, Torrealba Y, Major P, et al. *In vitro* wear behavior of zirconia opposing enamel: a systematic review [J]. J Prosthodont, 2014, 23(8):593-601
- [20] Lawson NC, Janyavula S, Syklawer S, et al. Wear of enamel opposing zirconia and lithium disilicate after adjustment, polishing and glazing [J]. J Dent, 2014, 42(12):1586-1591
- [21] Park JH, Park S, Lee K, et al. Antagonist wear of three CAD/CAM anatomic contour zirconia ceramics [J]. J Prosthet Dent, 2014, 111(1):20-29
- [22] Wojda S, Szoka B, Sajewicz E. Tribological characteristics of enamel-dental material contacts investigated *in vitro* [J]. Acta Bioeng Biomech, 2015, 17(1):21-29
- [23] Luanguangrong P, Cook NB, Sabrah AH, et al. Influence of full-contour zirconia surface roughness on wear of glass-ceramics [J]. J Prosthodont, 2014, 23(3):198-205
- [24] Stober T, Bermejo JL, Schwindingling FS, et al. Clinical assessment of enamel wear caused by monolithic zirconia crowns [J]. J Oral Rehabil, 2016, 43(8):621-629
- [收稿日期] 2018-05-13

(上接第263页)

- rial disease: diagnostic performance of low-dose digital tomosynthesis as compared with chest radiography. Radiology, 2010, 257(1):269-277
- [4] 曹风华, 赵琳. CT引导经皮肺穿刺活检诊断肺占位的应用价值[J]. 临床肺科杂志, 2014, 11(8):1432-1434
- [5] Rivera MP, Mehta AC, Wahidi MM. Establishing the diagnosis of lung cancer: diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines [J]. Chest, 2013, 143(5 Suppl):142-165
- [6] Choi SH, Chae EJ, Kim JE, et al. Percutaneous CT-guided aspiration and core biopsy of pulmonary nodules smaller than 1cm: analysis of outcomes of 305 procedures from a tertiary referral center [J]. Am J Roentgenol, 2013, 201(5):964-970
- [7] Rajeev A, Mathai SS, Kulkarni VB. Use of exhaled nitric oxide in children with bronchial asthma [J]. Med J Armed Forces India, 2015, 71(4):337-339
- [8] 孙娴雯, 李庆云. 呼出气一氧化氮测定在非肺部疾病中的应用 [J]. 中国实验诊断学, 2016, 20(9):1600-1602
- [9] Kallianos A, Tsimpoukis S, Zarogoulidis P, et al. Measurement of exhaled alveolar Nitrogen oxide in patients with lung cancer: a friend from the past still precious Today [J]. Onco Targets Ther, 2013, 6:609-613
- [10] 徐恩五, 朱启航, 何哲, 等. 呼出气一氧化氮检测在肺癌诊断中的应用 [J]. 广东医学, 2016, 37(1):83-85
- [11] 刘鹏飞, 赵大辉, 张杜超, 等. 肺癌患者呼出气一氧化氮数值变化的临床意义 [J]. 解放军医学院学报, 2016, 37(2):101-104
- [12] Irina Enache, Georges Noel, M-Young Jeung, et al. Can exhaled NO fraction predict radiotherapy-induced lung toxicity in lung cancer patients [J]. Radiation Oncology, 2012, 7:117
- [13] Ralph AP, Yeo TW, Salome CM, et al. Impaired pulmonary nitric oxide bioavailability in pulmonary tuberculosis: association with disease severity and delayed mycobacterial clearance with treatment [J]. J Infect Dis, 2013, 208:616-626
- [收稿日期] 2018-01-13