

烧结温度对牙科氧化锆增韧氧化铝陶瓷力学性能及微观结构的影响*

姜燕^{1,2} 强翔^{1,2} 李水根¹

(1. 厦门医学院附属口腔医院种植三科, 福建 厦门 361000; 2. 厦门市口腔疾病诊疗重点实验室, 福建 厦门 361008)

【摘要】 目的 探讨烧结温度对牙科氧化锆增韧氧化铝(ZTA)陶瓷的力学性能及微观结构的影响。方法 在不同烧结温度下(1100℃、1200℃、1350℃、1450℃、1550℃)制备牙科 ZTA 陶瓷,在烧结完成后测定不同烧结温度下 ZTA 陶瓷硬度、脆性、线收缩率,并观察微观结构的变化。结果 随着烧结温度的升高,ZTA 陶瓷的硬度、脆性及线收缩率逐渐升高,且比较各温度间 ZTA 陶瓷的硬度、脆性及线收缩率,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。结论 不同烧结温度对 ZTA 陶瓷脆性、硬度、线收缩率及微观结构的影响不同,当烧结温度在 1350℃ 的条件下时,ZTA 陶瓷的上述性能处于最佳状态。

【关键词】 烧结温度;氧化锆增韧氧化铝陶瓷;脆性;硬度;线收缩率;微观结构

【中图分类号】 R783.1 **【文献标志码】** A **DOI:**10. 3969/j. issn. 1672-3511. 2022. 10. 007

Effect of sintering temperature on the mechanical properties and microstructure of dental zirconia toughened alumina ceramics

JIANG Yan^{1,2}, QIANG Xiang^{1,2}, LI Shuigen¹

(1. Department of Implantology, Stomatological Hospital, Xiamen Medical College, Xiamen 361000, Fujian, China;

2. Xiamen Key Laboratory for Diagnosis and Treatment of Oral Diseases, Xiamen 361008, Fujian, China)

【Abstract】 **Objective** The influence of sintering temperature on the mechanical properties and microstructure of dental zirconia toughened alumina (zirconia toughened alumina, ZTA) ceramics were analyzed. **Methods** The dental ZTA ceramics were prepared at different sintering temperatures (1100℃, 1200℃, 1350℃, 1450℃ and 1550℃). The hardness, brittleness and line shrinkage of the ceramics were measured at different sintering temperatures after sintering. The microstructure changes were observed. **Results** With the increase of sintering temperature, the hardness, brittleness and line shrinkage of ceramics increased gradually, and the hardness, brittleness and line shrinkage of ZTA ceramics were compared at different temperatures, the differences were statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** The effects of different sintering temperatures on the brittleness, hardness, line shrinkage and microstructure of ZTA ceramics are different. When the sintering temperature is at 1350℃, the above properties of ZTA ceramics are in the best condition.

【Key words】 Sinter point; Zirconia toughened alumina ceramics; Brittleness; Hardness; Linear shrinkage; Microstructure

牙科陶瓷具有优良的生物相容性、力学性能、较佳的美学修复效果,复相陶瓷相比于单相陶瓷具有较高的韧性、硬度、抗腐蚀性和耐高温等特点,其中以氧化锆增韧氧化铝(Zirconia toughened alumina, ZTA)

复相陶瓷研究最为广泛^[1-2]。临床研究显示,ZTA 形成的基板为氧化铝,其中部分稳定的氧化锆具有增强韧性的作用,其既能显现出氧化铝的优点,又能显现氧化锆的高强度、高韧性的特性,在牙科中应用价值理想^[3]。但目前随着牙科陶瓷的广泛应用发现陶瓷本身具有硬、脆等特点,其加工难度较大,因此如何精准的制备性能良好的 ZTA 陶瓷仍是目前牙科所面临的问题。本研究探讨烧结温度对牙科 ZTA 陶瓷脆性、硬度、线收缩率、微观结构的影响,以期在最佳的

基金项目:厦门市科技计划指导性项目(3502720179010)

通信作者:李水根, E-mail: jrtep13@163. com

引用本文:姜燕,强翔,李水根. 烧结温度对牙科氧化锆增韧氧化铝陶瓷力学性能及微观结构的影响[J]. 西部医学, 2022, 34(10): 1437-1441. DOI:10. 3969/j. issn. 1672-3511. 2022. 10. 007

烧结温度下获得性能良好的 ZTA 陶瓷,提高修复应用价值。

1 材料与方法

1.1 一般材料 ZTA 粉体[圣戈班陶瓷材料上海办公室/圣戈班(中国)投资有限公司];氧化钇稳定型氧化锆温州精成化工有限公司);亚微米 α -氧化铝[爱必信(上海)生物科技有限公司];单体 AM (MedChemExpress LLC);交联剂 MBAM、催化剂 TEMED、引发剂 APS (北京拜尔迪生物技术有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 牙科 ZTA 陶瓷制备 将 4wt% TiO_2 、1wt% MgO 烧结助剂加入至亚微米 α -氧化铝、3 摩尔氧化钇稳定型氧化锆质量比为 4 : 1 的 ZTA 粉体中,将分散剂、去离子水、24 : 1 质量比的单体 AM、交联剂 MBAM 制备成为预混液,将 pH 值调整至 11.0 之后将预混液与 ZTA 粉体混合均匀后,得到 55vol% 固相含量凝胶体系的陶瓷悬浮液,真空除气完成后将催化剂 TEMED、引发剂 APS 加入超声震荡均匀后,在模具(40 mm×10 mm×4 mm)中灌入上述混合液,在室温下干燥 2 d 后,再放置在温度为 120 °C 下干燥 12 h,修正胚体,在不同烧结温度下烧结,包括 1100°C、1200°C、1350°C、1450°C、1550°C,烧结程序为:室温→每分钟 2.5°C 至 600°C→保温 1 h→每分钟 5°C 至上述设定的烧结温度→保温 2 h。在烧结完成后对 ZTA 陶瓷做研磨、抛光、清洗、烘干处理,最后得到所制备的牙科 ZTA 陶瓷标本样品(30 mm×4 mm×3 mm)。

1.2.2 牙科 ZTA 陶瓷硬度检测 使用 Cratos W50 全自动数显显微硬度计(北京欧波同光学技术有限公司)对不同烧结温度下牙科 ZTA 陶瓷硬度进行测定,其载荷重量为 1 kg,保持 15 s,试件的厚度为 3 mm,在不同的部位重复测定 3 次,取测定的平均值,获得不同烧结温度下的牙科 ZTA 陶瓷维氏硬度值,每个烧结温度下各使用 10 个样本。

1.2.3 牙科 ZTA 陶瓷脆性检测 在不同的烧结温度下采用脆性指数评估牙科 ZTA 陶瓷脆性,脆性指数 $B = \text{维氏硬度(GPa)} / \text{断裂韧性(MPa} \cdot \text{m}^{1/2})$,其中断裂韧性使用单边切口梁法测定,使用 0.15 mm 厚的金刚砂做深度为 W/2 的切口,之后将所检测的 ZTA 陶瓷在万能试验机上以 0.5 mm/min 的加载速度加载至断裂状态,之后计算不同烧结温度下的牙科 ZTA 陶瓷断裂韧性,每个烧结温度下各使用 10 个样本。

1.2.4 牙科 ZTA 陶瓷线收缩率检测 使用三量 IP65 数显千分尺测量烧结前、烧结后长度,在试样中部、两端各重复测量 3 次取均值,之后计算不同温度下牙科 ZTA 陶瓷线收缩率,线收缩率(%)=(烧结前

长度-烧结后长度)/烧结前长度×100%,每个烧结温度下各使用 10 个样本。

1.2.5 牙科 ZTA 陶瓷微观结构分析 将 ZTA 陶瓷折断后取断面,做清洗、烘干、喷膜(镀金膜)后,使用美国 FEI 公司的 Quanta FEG 250 型场发射扫描电镜对不同烧结温度下的牙科 ZTA 陶瓷微观结构进行观察分析。

1.3 统计学分析 采用 SPSS20.0 统计软件进行分析处理。计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)描述,多组间比较采用方差齐性检验,两组间比较采用独立样本 t 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 烧结条件对牙科 ZTA 陶瓷硬度的影响 随着烧结温度的升高 ZTA 陶瓷硬度逐渐升高,比较各温度间 ZTA 陶瓷硬度,差异均有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

表 1 烧结条件对牙科 ZTA 陶瓷硬度的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Effect of sintering conditions on the Hardness of Dental ZTA Ceramics

烧结温度(°C)	样本	硬度(Gpa)
1 100	10	1.50±0.10
1 200	10	2.18±0.15 ^①
1 350	10	3.45±0.24 ^{①②}
1 450	10	5.26±0.63 ^{①②③}
1 550	10	8.12±0.52 ^{①②③④}
F		59.301
P		<0.001

注:与 1100°C 相比,① $P < 0.05$;与 1200°C 相比,② $P < 0.05$;与 1350°C 相比,③ $P < 0.05$;与 1450°C 相比,④ $P < 0.05$

2.2 烧结条件对牙科 ZTA 陶瓷脆性的影响 随着烧结温度的升高 ZTA 陶瓷脆性逐渐升高,且比较各温度间 ZTA 陶瓷脆性,差异均有统计学意义($P < 0.05$),见表 2。

表 2 烧结条件对牙科 ZTA 陶瓷脆性的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Effects of sintering conditions on the brittlement of dental ZTA ceramics

烧结温度(°C)	样本	脆性指数($\mu\text{m}^{-1/2}$)
1100	10	0.65±0.11
1200	10	1.10±0.10 ^①
1350	10	1.24±0.15 ^{①②}
1450	10	1.98±0.10 ^{①②③}
1550	10	2.68±0.12 ^{①②③④}
F		59.151
P		<0.001

注:与 1100°C 相比,① $P < 0.05$;与 1200°C 相比,② $P < 0.05$;与 1350°C 相比,③ $P < 0.05$;与 1450°C 相比,④ $P < 0.05$

2.3 烧结条件对牙科 ZTA 陶瓷线收缩率的影响 随着烧结温度的升高 ZTA 陶瓷线收缩率逐渐升高,且比较各温度间 ZTA 陶瓷脆性,差异均有统计学意义($P < 0.05$),见表 3。

表 3 烧结条件对牙科 ZTA 陶瓷线收缩率的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Effect of sintering conditions on the shrinkage rate of dental ZTA ceramic line

烧结温度(°C)	样本	线收缩率($\times 10^{-2}$)
1100	10	0.15 \pm 0.01
1200	10	0.21 \pm 0.01 ^①
1350	10	0.22 \pm 0.03 ^②
1450	10	0.34 \pm 0.02 ^{①②③}
1550	10	0.39 \pm 0.05 ^{①②③④}
F		22.326
P		<0.001

注:与 1100°C 相比,① $P < 0.05$;与 1200°C 相比,② $P < 0.05$;与 1350°C 相比,③ $P < 0.05$;与 1450°C 相比,④ $P < 0.05$

2.4 烧结条件对牙科 ZTA 陶瓷微观结构的影响

随着烧结温度的不断升高,电镜扫描结果显示 ZTA 陶瓷断面结构,晶粒逐渐形成晶界,彼此连接逐渐变得紧密,1100°C、1200°C 在烧结后 ZTA 陶瓷处于初期阶段,结构疏松,且并未形成较为明显的晶界,但当烧结温度达到 1350°C 以上时晶粒逐渐发育,显得棱角完整,晶界的结合逐渐牢固,导致其中的气孔逐渐排出而缩小,致密化程度增高,未见异常长大的晶粒或结构缺陷,但当烧结温度达到 1450°C、1550°C 时其晶粒发育致密化程度增高,可见有异常晶粒或结构缺陷,穿晶断裂现象,见图 1。

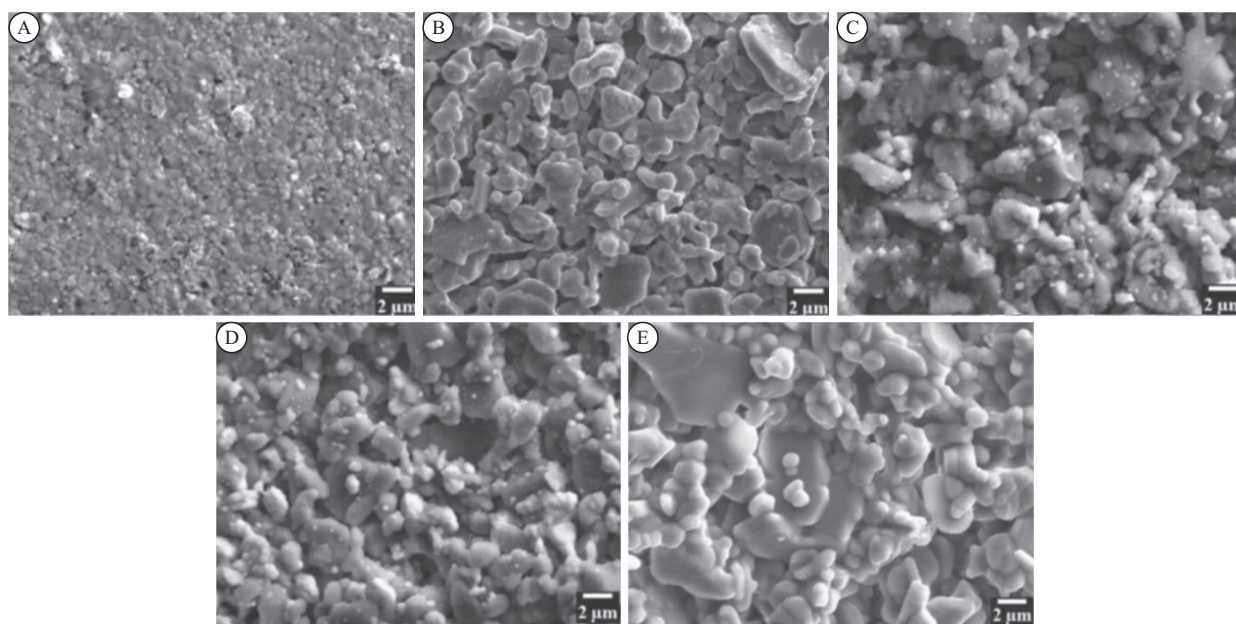


图 1 烧结条件对牙科 ZTA 陶瓷微观结构的影响

Figure 1 Effects of sintering conditions on the microstructure of dental ZTA ceramics

注: A. 1100°C; B. 1200°C; C. 1350°C; D. 1450°C; E. 1550°C

3 讨论

陶瓷材料是目前在工程建设、人类生活中不可或缺的一种材料,其与金属材料、有机高分子材料被称为世界三大固体材料,因其具有硬度高、强度高、耐高温、耐腐蚀等优点已经广泛应用于医疗、电子、器械等领域,已经成为现代科技的重要组成部分^[4-6]。ZTA 陶瓷属于在陶瓷中应用最为广泛的一种,其基质为氧化铝,属于一种精细的陶瓷材料,由氧化铝、氧化锆所组成,而氧化铝、氧化锆均具备较为良好的化学、物理相容性,可经纳米技术制备成为 ZTA 陶瓷,此种陶瓷不仅具有氧化铝的高强度、高硬度的特点,还具有氧化锆的高韧性,两者联合具有优良的综合性能^[7-9]。但目前有研究^[10]显示,ZTA 陶瓷制备的烧结条件对其某些特性具有一定的影响,根据目前已有的研究发现,烧结工艺尤其是烧结温度对 ZTA 陶瓷的多项性能具有一定的影响,在烧结温度为 1150~1450°C 范围

内时,ZTA 陶瓷各项性能明显改变。基于上述背景,加之本文是评价不同烧结温度对 ZTA 陶瓷脆性、硬度、线收缩率、微观结构的影响,因此选择 1150~1450°C 范围上下及此范围内 1100°C、1200°C、1350°C、1450°C、1550°C 5 个温度,以寻找合适的烧结温度,保持 ZTA 陶瓷特性。

ZTA 陶瓷的最佳烧结温度与其性能密切相关,陶瓷在烧结的过程中分为三个阶段,即为初期、中期、末期,为颗粒聚集形成晶粒,晶粒形成晶界,且基体结构从松散发展成为致密的一个过程^[11-13]。临床研究^[14]显示,不同的烧结方法和烧结条件均会影响 ZTA 陶瓷晶粒形成。当烧结温度较低时则会导致颗粒间相互粘结,导致生长驱动力不足,结晶度较差,而气孔较大,在一定程度上影响着 ZTA 陶瓷的使用性能;但过高的烧结温度会导致晶粒过度长大,而当晶粒过度长大后会出现局部熔融现象的发生,导致内部开裂,进

而降低 ZTA 陶瓷的韧性和强度^[15]。本文研究显示,不同烧结温度下的 ZTA 陶瓷均存在一定的孔隙,但不同的温度下孔隙大小不同,其中当烧结温度处于 1100℃、1200℃ 的低温时,ZTA 陶瓷处于初期阶段,其颗粒表现为初步连接的状态,结构疏松且并未形成较为明显的晶界。但当烧结温度高于 1350℃ 以上晶粒不断长大,晶界形成,且其中气孔缩小,致密度升高,此时 ZTA 陶瓷的韧性明显升高,但在 1550℃ 的最高温度下晶粒过度长大,降低了 ZTA 陶瓷的韧性。此结果说明,烧结温度在 1350℃、1450℃ 时 ZTA 陶瓷的韧性最强。

硬度与材料表面局部区域的抗压缩变形的能力有关,而硬度高低与材料使用情况更是有着密切的关系^[16-17]。临床研究显示,随着温度的升高,所烧结的材料硬度值逐渐升高,但人牙釉质的硬度大约在 3.2Gpa 左右,硬度过大会导致在长期使用修复体时磨损自身的牙体组织,导致多种口腔疾病的发生^[18]。目前多采用维氏硬度大小评价牙科陶瓷材料在口腔应用中的性能,其硬度高低代表其表面局部区域抵抗外界表面压痕的能力^[18-19]。本文研究显示,在烧结温度过低时使 ZTA 陶瓷的硬度较低,其硬度值在 1.5 Gpa 以下,当烧结温度逐渐升高后,其硬度也逐渐升高,其中在 1350℃ 的温度下 ZTA 陶瓷硬度在 3.4 Gpa 左右,最接近人牙釉质的硬度,因此,本文认为烧结温度在 1350℃ 时 ZTA 陶瓷硬度最为理想。

临床研究^[20]认为,牙科陶瓷材料需要具备良好的机械性能,断裂韧性属其中一种,脆性越佳才能保证患者在接受陶瓷移植后在口腔长期咀嚼受力过程中保证正常的功能,且材料脆性越高说明此种材料的加工性能越佳。ZTA 陶瓷本质上属于一种脆性材料,而脆性越高其发生断裂的风险越高,而脆性断裂所带来的磨损会出现较多的磨屑,而过多的磨屑堆积会导致 ZTA 陶瓷修复失效,进而导致修复失败^[21-22]。因此综上所述研究发现,ZTA 陶瓷脆性越低说明其性能越强,本文结果发现随着温度的升高 ZTA 陶瓷的脆性逐渐升高,说明烧结温度越高 ZTA 陶瓷脆性越高,其性能就越差,结果显示烧结温度在 1100℃、1200℃、1350℃ 之间 ZTA 陶瓷脆性较低,而在 1100~1350℃ 之间的烧结温度下 ZTA 陶瓷性能较佳。

线收缩率可显示出材料烧结前后长度的变化,线收缩率越高说明烧结所损伤的长度越长。陶瓷坯体烧结后在宏观上的变化是:体积收缩、致密度提高、强度增加,因此,目前多采用线收缩率来衡量烧结程度,理想的线收缩率,可保证使用有效性^[10,23]。本文结果显示随着温度的升高,线收缩率升高,但当线收缩至

一定的程度后会影响到 ZTA 陶瓷密集度。说明温度越高线收缩率越高,但在 1200℃、1350℃ 时线收缩率平稳无明显升高,说明 1200℃、1350℃ 的烧结温度线收缩率处于最佳状态,ZTA 陶瓷性能较优。基于本文上述研究结果综合发现,烧结温度为 1350℃ 时线收缩率最高,ZTA 陶瓷性能最优。

4 结论

不同烧结温度对 ZTA 陶瓷脆性、硬度、线收缩率、微观结构的影响不同。当烧结温度在 1350℃ 时,ZTA 陶瓷的上述性能处于最佳状态,可满足其临床应用。

【参考文献】

- [1] GALI S, K R, MURTHY BVS, *et al.* Zirconia toughened mica glass ceramics for dental restorations[J]. Dent Mater, 2018, 34(3):36-45.
- [2] POBLOTH A M, MERSIOWSKY M J, KLIEMT L, *et al.* Bioactive coating of zirconia toughened alumina ceramic implants improves cancellousosseointegration[J]. Sci Rep, 2019, 9(1):16692.
- [3] NGUYEN T M, WEITZLER L, ESPOSITO C I, *et al.* Zirconia Phase Transformation in Zirconia-Toughened Alumina Ceramic Femoral Heads: An Implant Retrieval Analysis[J]. J Arthroplasty, 2019, 34(12):3094-3098.
- [4] 吴崇隽,贺云鹏,段明新. ZTA 陶瓷基板力学和光学性能的研究[J]. 电子元件与材料, 2020, 39(3):88-93.
- [5] 吴崇隽,贺云鹏,王洋,等. ZTA 陶瓷基板材料设计及电学性能研究[J]. 陶瓷学报, 2020, 41(3):421-428.
- [6] 张颖,张钰,徐梁格,等. ZTA 陶瓷基片表面 ZSM-5 分子筛薄膜的微波-水热合成[J]. 陶瓷学报, 2018, 39(2):143-148.
- [7] 刘侃,徐方伟,涂小慧,等. ZTA 颗粒增强高铬铸铁基复合材料界面研究[J]. 铸造, 2018, 67(5):398-403.
- [8] ROY M E, NOEL O F, WHITESIDE L A. Phase Transformation and Roughening in Artificially Aged and Retrieved Zirconia-Toughened Alumina Femoral Heads[J]. J Arthroplasty, 2019, 34(4):772-780.
- [9] KYOMOTO M, SHOYAMA Y, SAIGA K, *et al.* Reducing fretting-initiated crevice corrosion in hip simulator tests using a zirconia-toughened alumina femoral head[J]. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2018, 106(8):2815-2826.
- [10] 杜若茜,周巧珍,田柳,等. 固相含量和烧结制度对凝胶注模成型牙科 ZTA 陶瓷的影响[J]. 口腔医学研究, 2014, 30(11):1017-1020,1024.
- [11] 樊江源,林婷婷,胡方旋,等. 烧结温度对牙科氧化锆增韧氧化铝陶瓷力学性能的影响[J]. 上海口腔医学, 2017, 26(2):129-133.
- [12] ABBAS S, MALEKSAEEDI S, KOLOS E, *et al.* Processing and Properties of Zirconia-Toughened Alumina Prepared by Gelcasting[J]. Materials (Basel), 2015, 8(7):4344-4362.
- [13] 张冠男,杨潇,李江涛,等. 超重力燃烧合成 ZTA-TiC-Fe 金属陶瓷的高温稳定性[J]. 稀有金属材料与工程, 2020, 49(2):582-588.
- [14] 李双,谢志鹏. 振荡压力烧结法制备高致密度细晶粒氧化锆陶瓷

- [J]. 无机材料学报, 2016(2):207-212.
- [15] 杜继实, 唐兵华, 雷杨俊, 等. 95%氧化铝陶瓷烧结过程中的表面晶粒织构生长及相场法仿真[J]. 人工晶体学报, 2019, 48(2): 240-247.
- [16] ARAB A, SKTANI ZDI, ZHOU Q, *et al.* Effect of MgO Addition on the Mechanical and Dynamic Properties of Zirconia Toughened Alumina (ZTA) Ceramics[J]. Materials (Basel), 2019, 12(15):2440.
- [17] BENALCÁZAR JALKH E B, BERGAMO ETP, MONTEIRO K N, *et al.* Aging resistance of an experimental zirconia-toughened alumina composite for large span dental prostheses; Optical and mechanical characterization[J]. J Mech Behav Biomed Mater, 2020, 104(1):103659.
- [18] 王家梁, 马德军, 白盟亮, 等. 三种裂纹形式对陶瓷材料维氏硬度测试结果的影响[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2015, 32(4): 545-549.
- [19] 郭亚威, 柴建龙, 朱亚滨, 等. $Al_2O_3/ZrO_2/MgAl_2O_4$ 复相陶瓷的 SPS 烧结及性能表征[J]. 陶瓷学报, 2019, 40(3):289-294.
- [20] 陈欢欢, 朱莉, 宋逸婷, 等. 光固化成型 ZTA 全瓷冠的机械性能及精度研究[J]. 口腔医学研究, 2021, 37(6):554-558.
- [21] AKHTAR S S, WAQAR T, HAKEEM A S, *et al.* Design and Development of Hybrid Al_2O_3 Based Composites with Toughening and Self-Lubricating Second-Phase Inclusions[J]. Materials (Basel), 2019, 12(15):2378.
- [22] 赵海涛, 褚亮. 基于声发射的陶瓷材料损伤和增韧特性研究[J]. 中国陶瓷, 2017, 53(12):39-45.
- [23] 杨征宇, 麻健丰, 童亦萍, 等. 凝胶注模固化及真空干燥优化 ZTA 牙科陶瓷的性能[J]. 温州医学院学报, 2012, 42(4): 307-312.
- (收稿日期:2021-05-18;修回日期:2022-06-10;编辑:王小菊)

(上接第 1436 页)

- [24] LI H, CHEN A, YUAN Q, *et al.* NF- κ B/ Twist axis is involved in chysin inhibition of ovarian cancer stem cell features induced by co-treatment of TNF- α and TGF- β [J]. Int J Clin Exp Pathol, 2019, 12(1):101-112.
- [25] WU Y H, HUANG Y F, CHANG T H, *et al.* Activation of TWIST1 by COL11A1 promotes chemoresistance and inhibits apoptosis in ovarian cancer cells by modulating NF- κ B-mediated IKK β expression[J]. Int J Cancer, 2017, 141(11):2305-2317.
- [26] TU S H, CHIOU Y S, KALYANAM N, *et al.* Garcinol sensitizes breast cancer cells to taxol through the suppression of caspase-3/iPLA2 and NF- κ B/ Twist1 signaling pathways in a mouse 4T1 breast tumor model[J]. Food Funct, 2017, 8(3): 1067-1079.
- (投稿日期:2021-10-13;修回日期:2022-01-14;编辑:王小菊)

《西部医学》2023 年各期重点内容安排

期次	重点内容	期次	重点内容	期次	重点内容	期次	重点内容
1	呼吸 感染	4	影像 介入	7	消化 普外	10	内分泌 血液
2	肾内 泌尿	5	妇产 儿科	8	骨科 创伤	11	风湿免疫 全科
3	心内 心外	6	神内 神外	9	肿瘤 血管外	12	急诊 重症

注:请广大作者按各期重点内容提前 6 个月投送符合本刊要求的学术论文

(本刊编辑部)