

氧化锆陶瓷在口腔医学中应用的研究进展

朱书娴

南京医科大学，江苏南京，210029；

摘要：氧化锆(ZrO₂)陶瓷材料有优异的美学性能及生物相容性，与其他陶瓷材料相比又有高强度和高韧性的特点，是目前口腔材料科学研究的热点和关注方向之一。氧化锆陶瓷材料因其优良的性能被广泛应用于口腔种植、修复、正畸等领域。本文综述了氧化锆陶瓷的基本性能及其在口腔医学中的应用，并进一步探讨了氧化锆陶瓷的发展前景及面临的挑战。

关键词：氧化锆；氧化锆陶瓷；口腔修复；口腔材料

DOI:10.69979/3029-2808.24.6.040

《第四次全国口腔健康流行病学调查报告》(2018)中指出，我国35岁以上成人平均失牙4.7颗。牙体缺损、牙列缺损或缺失不仅影响人们的咀嚼与发音功能，还会对容貌美观造成极大影响。随着生活水平的提高，人们对口腔缺失牙美学修复的要求也日益增加。

从1774年首次被用与制作义齿至今，陶瓷作为口腔修复材料已有200多年历史。陶瓷具有良好的生物相容性与美学性能、耐腐蚀、导热率低、色泽稳定等优点，被广泛应用于口腔种植、修复等领域^[1]。相较于传统的金属材料，陶瓷材料卓越的化学稳定性和无毒性能够与口腔组织良好地兼容，不会触发过敏反应或引发组织炎症，对牙周组织展现出了更好的生物相容性^[2]。另外，因其色彩和形态与天然牙齿相近，陶瓷材料可以更好的提升口腔修复体或种植体的美观性。

近年来，氧化锆陶瓷成为了口腔材料界关注的热点。氧化锆陶瓷由于具有高的断裂韧性、强度和耐磨性等优良性能，成为最有发展前景的新型结构材料，在冠修复材料、种植材料、桩核材料等方面都有广泛的运用^[3]。

1 氧化锆的基本性能

德国化学家Klaproth最早在加热宝石后的反应物中发现了氧化锆(ZrO₂)。在20世纪60年代，氧化锆陶瓷被广泛应用于关节假体的关节头制作。氧化锆陶瓷由于具有良好的生物相容性，可以与人体组织紧密结合，有效减少植入物引起的免疫反应和排斥反应，从而降低术后并发症的发生率。此外，由于氧化锆有优越的机械性能，如高强度和高耐磨性，它被广泛应用于生产人造关节和骨修复材料等骨科植入物。

氧化锆在常压下共有3种晶态：单斜相氧化锆(m-ZrO₂)、四方相氧化锆(t-ZrO₂)和立方相氧化锆(c-

ZrO₂)。四方相在冷却到室温的过程中会自发的转变为单斜相，并伴随有约3%-4.5%的体积膨胀，属氧化锆的马氏体相变。纯氧化锆制品在生产过程中常伴随着体积变化而产生裂纹，甚至碎裂。但当加入适当的稳定剂，例如二价氧化物氧化钙、氧化镁、氧化铈，或是稀土氧化物，如氧化钇、氧化铈等，可以降低相变温度，使高温稳定的立方氧化锆和四方氧化锆相也能在室温下稳定或亚稳定存在，当氧化锆材料在外力作用下产生裂纹时，裂纹尖端的四方氧化锆晶体在应力诱导下转变为更稳定的单斜氧化锆。过程中伴随的体积膨胀和由此引起的形状变化改变了裂纹尖端的应力场，可以有效防止裂纹的扩展。这被称为氧化锆的应力诱导相变增韧机制。氧化锆陶瓷因拥有马氏相变和应力诱导相变增韧机制而显著提高了机械性能。

1.1 机械性能

氧化锆陶瓷有优越的机械性能。经检测，氧化锆陶瓷抗弯强度大于900MPa，断裂韧性是氧化铝陶瓷的2~3倍，约为7 MPa·m^{1/2}。此外，氧化锆陶瓷的极限承载能力强，有数种氧化锆陶瓷的强度可超过1000 Mpa。临床研究表明^[4]，应用于单冠、多单位固定桥的氧化锆陶瓷修复体，可保持5年稳定的保存率，5年内未发生折裂情况，且修复体色泽变化不大。

1.2 美学性能

口腔修复除了恢复患者正常咀嚼运动功能外，也要兼顾修复体的美学效果以提高患者的满意程度。一些学者认为用烤瓷熔附金属全冠修复前牙时，龈染色是容易出现修复后并发症，修复体冠状边缘会出现带状或是线形的发暗带，影响了修复后的美观度^[5]。虽然氧化锆在现有人造材料中可以最大限度地模拟天然牙的形态

和色泽,但是氧化锆冠的美观性受多种因素影响,包括氧化锆的颜色、半透性、基牙颜色、冠的厚度和表明抛光程度等等^[6]。

纯氧化锆通常呈白垩色。氧化锆修复体在经历致密烧结前通常需要着色,以获得更接近牙本质的颜色和半透性。将不同颜色的金属氧化物掺入氧化锆粉末中可以使获得均匀且稳定的着色。

1.3 化学稳定性

氧化锆陶瓷不与空气、水及其他电解质发生化学、生物反应,常温下绝缘。其对 X 射线无阻挡,故在头颅 X 射线、CT、核磁共振检查中无需撤掉假牙。临床实践中常用的烤瓷材料在口腔环境中会析出金属离子,实验表明,钴铬、镍铬合金会抑制细胞增殖同时降低细胞的生长代谢。氧化锆陶瓷的化学稳定性主要体现在其可以在口腔中稳定存在,不会释放有害杂质。苏俭生等^[7]在对钴铬合金铸造冠周围组织的钴和铬离子浓度的测定中,发现冠周组织中离子浓度会逐渐增加,戴冠 2 周、1 个月及 2 个月各阶段离子浓度的差异均有统计学意义。

1.4 生物相容性

氧化锆是一种生物惰性材料。其具有细胞粘附性好、对机体不良反应小、组织反应性好等特点。氧化锆植体周围炎症细胞浸润少,与周围骨及软组织生物相容性高。实验室及临床研究证明,氧化锆不易引发机体的过敏反应,对成骨、成纤维细胞或是其他细胞都没有细胞毒性作用,也不会引起溶血反应。王玉玮等^[8]从修复体的完整性、边缘密合度、牙敏感症状、过敏反应、修复体固位、继发龋齿、邻面接触点等方面比较二氧化锆全瓷冠与贵金属烤瓷冠修复体生物相容性,结果二氧化锆全瓷冠组牙龈状况、齿缘着色、临牙颜色匹配合格率均明显高于贵金属烤瓷冠组。孙蕾等^[9]的研究通过即四氮唑盐比色法体外细胞毒性试验和急性溶血试验证实了氧化锆陶瓷材料并无细胞毒性作用,且无明显的溶血反应存在。

2 氧化锆在口腔医学中的应用

氧化锆陶瓷在口腔医学中主要用于以下几个方面。

2.1 冠桥修复材料

氧化锆修复体具有色泽稳定自然,修复效果好,不会导致牙龈黑线,生物相容性好,对牙体保护效果好等优点,制作方法在结合计算机辅助技术后更为快捷且精准,修复效果更好,故逐渐成为口腔临床首选材料。氧

化锆修复体可以满足多种修复要求,如单冠修复、连冠固定桥修复等。郭培云等^[10]比较氧化锆修复体治疗组和钴铬合金修复治疗组修复成功率、牙周指标、GCF 炎症因子水平及牙齿功能等,结果显示氧化锆修复体对口腔修复患者牙周组织刺激较钴铬合金修复体小,且 GCF 中炎症因子水平较低,对牙槽骨骨质吸收程度影响较轻,牙齿功能更强,修复成功率更高。谢鹏等^[11]选取 132 例口腔修复患者作为研究对象,比较镍铬合金烤瓷冠和二氧化锆全瓷冠修复体、牙本质敏感及恢复咀嚼功能情况,实验结果证明了二氧化锆全瓷技术在口腔修复中的临床疗效确切,口腔修复体 A 级率较高,可显著改善患者的咀嚼功能,提高牙体质敏感疗效。

2.2 口腔桩核材料

从 1994 年 Sandhaus 首先描述了用氧化锆陶瓷作为根管桩开始,氧化锆被广泛应用于桩核冠修复。孙凤等^[12]为 96 例患者制作了 228 件全瓷桩核修复体,随访 0.5~3 年除一例外均无松动破损。卢杨辉等^[13]为患者制备的 65 个氧化锆桩核冠在 1 年的随访时间里,仅有 2 例出现桩核冠一同脱落,3 例 1 年后出现轻微边缘密合度差,其余病例均效果良好。与传统金属桩相比,氧化锆用作桩核修复时有与之相似的抗折强度,但却比金属桩有更好的生物相容性、更好的美学性能且可与树脂核或陶瓷核相容,又因其对核磁共振无干扰,通过 X 线片还可以观察桩钉与根面的密合度,深度及位置而成为全瓷桩材料的首选。

2.3 口腔种植材料

氧化锆材料在口腔种植中也应用广泛,可被用于种植体,基台和冠部修复。氧化锆材料有优良的理化性能,其耐腐蚀、化学稳定性好、无毒、无过敏性;有足够的强度和韧性;导热系数低,所以可在口内调磨并不对骨组织造成热损伤;对 X 射线阻射比骨组织强,术后观察更容易,同时也不影响患者的核磁共振检查。实验表明,氧化锆具有良好的生物相容性,而且氧化锆表明不利于菌斑附着,这对于种植体及其周围组织的健康起积极作用。Rodriguez 等^[14]通过对 12 例患者氧化锆种植体的随访研究发现,5 年后氧化锆种植体成功率在 92% 左右,可以满足日常需求并达到美学修复效果。

2.4 骨替代材料

研究表明氧化锆陶瓷与骨细胞不发生免疫排斥反应,除此之外,氧化锆对黏膜、皮肤组织也不产生不良

反应,因此氧化锆陶瓷在骨组织替代材料中占有一席之地。朱迎兰等^[15]用氧化锆支架干细胞附着成骨研究,发现氧化锆多孔支架表现出良好的成骨作用,支架与骨组织之间形成紧密的结合。杨洪涛等^[16]将二氧化锆材料直接放入大鼠口腔黏膜中,发现其不对鼠黏膜造成破坏或病理改变的生物学性质。

2.5 口腔正畸材料

在正畸中,氧化锆多用于制作正畸托槽。由于 ZrO₂ 陶瓷有良好的可加工性,不仅可以用滑铸、烧结等方法成型,还适合口腔临床条件下用牙科手机调改,现已开发出成品 ZrO₂ 陶瓷制作正畸托槽乃至个性化牙色的氧化锆托槽^[17]。有学者选取氧化锆陶瓷托槽固定直丝弓正畸治疗患者作为观察组,与同期接受金属结扎型托槽固定直丝弓正畸治疗患者对照,结果表明采用氧化锆陶瓷托槽固定直丝弓正畸治疗粘接强度良好,可改善患者 PAR 指数,患者满意度高^[18]。

3 氧化锆陶瓷发展前景及面临的挑战

氧化锆具有低温时效效应,即四方相氧化锆在低温和潮湿的环境(如口腔环境)下会向单斜相转变。除口腔环境外,氧化锆陶瓷的制作工艺对其抗疲劳性也有显著影响。另外,修复体取得长期、稳定的修复效果的要求之一是修复体和基牙之间有足够的粘结强度,而氧化锆全瓷修复体的粘结效果易受黏接前的表面处理、黏接剂等影响。这些都是目前亟需解决的问题。

近年来已有大量学者将其他材料与复合陶瓷材料通过化学或物理的方法进行了复合改性研究,包括陶瓷基质和无机复合材料等。纳米 ZrO₂ 陶瓷因其室温超塑性、高韧性和机械性能也成为了氧化锆材料基础研究的关注方向。

综上,氧化锆具有光学性能好、化学性能稳定、生物相容性好、机械性能好等优势,相信随着氧化锆陶瓷修复技术的不断发展,如何简化氧化锆陶瓷修复体制作过程,如何使氧化锆陶瓷美学性能更好等问题都会得到答案。

参考文献

[1]程丽,袁霏,and 孙利艳,口腔修复领域中陶瓷材料的应用与发展趋势.陶瓷科学与艺术,2024.58(07):p.92.
[2]周航,二氧化锆修复体与钴铬合金修复体在口腔

修复中的应用效果对比.智慧健康,2023.9(30):p.98-101.

[3]李晨曦,etal.,齿科修复用氧化锆陶瓷的表面结构及力学性能.金属功能材料,2024.31(05):p.94-100.

[4]李智勇,etal.,不同全瓷材料修复种植体支持单冠的应力分析.武汉理工大学学报,2010.32(23):p.27-30.

[5]李英英,王雪峰,and 杨占宝,口腔修复中应用二氧化锆修复体的咀嚼能力的影响及其应用效果观察.河北医学,2020.26(07):p.1100-1104.

[6]王剑 and 杨林新,氧化锆全冠的临床应用原则及新进展.华西口腔医学杂志,2024.42(02):p.135-141.

[7]苏俭生,etal.,三种铸造冠金属离子释放及其对细胞 DNA 损伤的实验研究.中华口腔医学研究杂志(电子版),2008(01):p.36-40.

[8]王玉玮,etal.,二氧化锆全瓷冠与贵金属烤瓷冠修复体生物相容性与美容效果的比较研究.2016.

[9]孙蕾,etal.,二步烧结牙科氧化锆陶瓷细胞毒性评价.口腔颌面修复学杂志,2008(01):p.1-4.

[10]郭培云,王现玲,and 吴晓华,不同修复材料对口腔修复成功率及牙周组织的影响.河南医学研究,2024.33(17):p.3172-3175.

[11]谢鹏 and 廖海英,二氧化锆全瓷技术在口腔修复中的临床疗效及应用价值.吉林医学,2016.37(05):p.1191-1192.

[12]孙凤,钱.,魏克立,黄凌,俞红,Cosmopost 全瓷桩核的临床应用.中华口腔医学杂志,2003(06):p.73-75.

[13]卢杨辉 and 熊必勇,前牙全瓷桩核冠修复的临床应用体会.中国社区医师,2013.15(24):p.61.

[14]Rodriguez,A.E.,et al.,Zirconia dental implants:A clinical and radiographic evaluation.Journal of Esthetic and Restorative Dentistry,2018.30(6):p.538-544.

[15]朱迎兰,纳米氧化锆骨组织工程支架干细胞附着成骨研究.2014.

[16]杨洪涛,氧化锆陶瓷材料生物相容性的实验研究.2012.

[17]李颖慧,个性化牙色氧化锆陶瓷托槽的粘结性能及色度学研究.2013.

[18]姚芬,氧化锆陶瓷托槽的临床应用效果.当代医学,2022.28(10):p.146-148.