

氧化锆种植体表面处理方法及生物活性相关研究进展

徐炜华

江苏柯润玺医疗科技发展有限公司 江苏南京 210000

摘要:近年来,在牙齿修复的相关治疗中,种植牙的应用广泛,实施价值高。其中,氧化锆(Zr/ZrO₂)种植体效果显著,具有美观度、生物相容性以及高强度等优势。在牙种植中,骨结合是其最重要的环节,通过对氧化锆种植体骨-种植体结合率进行研究,表示其与钛种植体存在较大相似性。近年来,临床逐渐对氧化锆种植体生物活性、形态学进行优化及更新,旨在更好的满足临床需求。本文主要是对氧化锆种植体表面处理方法及生物活性相关研究进展进行分析,进而更好的提升氧化锆的稳定性。

关键词:氧化锆种植体;生物活性;表面处理

牙齿缺失在临床上确实是一个常见的问题,它不仅影响患者的口腔健康,还可能对他们的美观、咀嚼功能、发音以及整体生活质量产生负面影响。近年来,种植牙技术的发展确实为牙齿缺失患者带来了福音,这一技术在牙齿修复领域有着积极的意义^[1]。目前,临床上对氧化锆种植体的关注度较高,具有较好的生物相容性,且可以满足患者对牙齿美观的需求,应用价值高^[2]。在实际应用中,通过实施表面处理方案,对种植体的生物活性以及稳定性均具促进作用,应用价值高。到目前为止,在氧化锆种植体的表面特性研究中,临床相关改善措施较多,包括机械加工、紫外光、激光、生物活性涂层处理、喷砂酸蚀等^[3]。本文主要是对上述不同措施的实施情况进行分析,包括激光蚀刻、紫外光处理的氧化锆、机械加工的氧化锆种植体、氧化锆涂层、喷砂和酸蚀氧化锆表面处理,现具体综述内容如下:

1 机械加工的氧化锆种植体

在口腔种植领域,钛合金种植体因其优异的生物相容性和机械性能而长期占据主导地位。然而,随着材料科学的进步,氧化锆作为一种新型种植体材料,因其独特的物理和化学特性,逐渐受到研究者和临床医生的关注。

机械加工的氧化锆种植体在制造过程中,通过精密的机械加工技术,如数控加工(CNC)和磨削,能够精确控制种植体的尺寸和形状,确保其与口腔结构的精确匹配。这种加工方式不仅提高了种植体的精度和表面质量,还增强了其机械强度和耐磨性。临床研究表明,机械加工的氧化锆种植体在抗菌活性和骨结合方面表现出色。其表面不易形成生物

膜,从而减少了细菌的附着和感染的风险。此外,种植体周围炎性指标水平较低,表明其具有良好的生物相容性和较低的炎症反应,这对于种植体的长期成功至关重要。尽管非改性氧化锆种植体在负载半年后可能会出现较高的断裂率,但与钛种植体相比,其在组织学特征和骨结合率方面表现相近。这表明,通过适当的材料改性和表面处理,可以进一步提高氧化锆种植体的机械性能和长期稳定性。考虑到氧化锆种植体的抗菌效应,其表面生物膜的厚度明显少于钛加工表面,这为预防种植体周围炎提供了潜在的优势。因此,氧化锆种植体在口腔种植学中的应用前景广阔,尤其是在需要高度抗菌性能和良好生物相容性的临床场景中。未来的研究应继续探索氧化锆种植体的优化加工技术,以及通过表面改性等方法提高其机械性能和生物学效应,从而推动氧化锆种植体在口腔种植领域的广泛应用。

2 喷砂和酸蚀的氧化锆表面处理

喷砂和酸蚀(SLA)的实施可在一定程度上促进骨整合,增加氧化锆植入物的表面积。喷砂氧化锆种植体表面与加工的钛合金表面相比,其效果优于后者,可以显著提升骨整合效果,且种植体周围成骨效果好。除此之外,有研究显示,为促进成骨细胞的分化,可以在陶瓷表面添加氟化物,进而更好的帮助界面骨的形成。酸蚀法在ZrO₂种植体中的实施效果好,且应用较为广泛,在增强骨整合方面发挥了显著优势。关达荣等^[5]在研究中,对热酸蚀的实施价值进行评估,分析该措施在氧化锆基底、饰瓷剪切强度中的效果。在实际研究中,选取基底为氧化锆陶瓷,制备20个试件,观察组、

对照组各 10 个, 上述分别为表面喷砂 + 热酸蚀、表面喷砂处理。通过对上述方案的效果进行对比, 表明通过电子显微镜扫描, 上述均表现为“山峰状”结构, 对照组、观察组剪切强度分别为 (21.09 ± 2.58) MPa、 (24.74 ± 3.02) MPa; 单斜向氧化锆相对含量分别为 16.22%、15.16%; 。由此分析可以看出, 在氧化锆基底与饰瓷的剪切强度的分析中, 热酸蚀结合喷砂处理的实施价值高。种植体理化特性的任何差异都会对宿主病原体、细胞的生物反应产生显著影响。蚀刻条件对氧化锆机械行为的影响还有待进一步研究。

3 紫外光处理的氧化锆

紫外光处理对钛 (Ti) 表面处理具有积极意义, 可以帮助有效改善其生物活性。基于此, 可以将其应用至氧化锆表面中, 可发挥其相同价值。紫外光处理对增殖、附着、分化等均具促进作用, 且其效果的发挥可以在不影响氧化锆机械性能的基础上实现。紫外光可以诱导电子激发, 进而帮助提升成骨细胞的活性, 增加氧化锆的表面亲水性、润湿性、能量, 促进骨结合, 使得种植体更加牢固。廖宇等^[6]在不同表面处理对氧化锆与树脂水门汀粘接强度的影响研究中, 将 40 个氧化锆试件作为分析样本, 通过对比, 紫外光处理组、对照组 (无处理)。结果显示紫外光处理实施后氧化锆试件表面形态无明显改变, 氧化锆试件表面接触角为 $27.1^\circ \pm 3.6^\circ$, 较对照组 ($64.1^\circ \pm 2.0^\circ$) 减小 ($P < 0.05$)。氧化锆试件剪切粘接强度组间差异显示, 对照组、紫外光处理组分别为 (9.41 ± 1.07) MPa、 (10.02 ± 0.64) MPa ($P > 0.05$)。通过进行 X 射线光电子能谱分析, 提示紫外光处理实施后使氧化锆试件表面碳 / 氧比值减小、碳元素含量减少, 氧元素含量增加。由此分析可以看出, 紫外光处理的实施可以显著改善氧化锆表面形态的亲水性。尽管紫外光表面处理的可行性较高, 但后临床仍进行深入分析, 进而更好的应用至临床。

4 激光蚀刻

近年来, 随着临床医学的发展, 氧化锆表面粗化处理的方法也逐渐进步, 激光蚀刻的应用价值逐渐显现。在以往的临床研究中, 氧化锆类型较高, 其中较为常用的包括四方多晶氧化锆 (Y-TZP), 氧化锆表面通过实施激光处理, 可以发挥局部温热效果, 提升其微观力学性能。除此之外, 有研究显示, 通过激光修饰, 可以提升成骨细胞的润湿性, 促进其在种植体表面的附着。润湿性高提示存在较低的水接触角, 亲水性表示水接触角 $< 90^\circ$, 进而更好的促进成骨细

胞增加、骨整合。此外, 激光处理对氧化锆植入物的性能的改善效果好, 还可以促进碱性蛋清的合成, 增强细胞与材料之间的作用, 降低氧化锆的磨损率, 进而发挥促进成骨细胞增殖的效果, 改变植入物周围的胶原纤维组织。姜晓丹等^[7]在 Er:YAG 激光蚀刻牙本质联合氧化锆陶瓷不同表面处理对树脂粘接强度的影响研究中, 将 56 个氧化锆片、56 个牙本质块作为研究样本, 结果显示, Er:YAG 激光处理组 (B 组) 粘接强度 (11.17 ± 1.28 MPa) 高于未处理的陶瓷片与 35% 磷酸处理牙本质粘接组 (A 组) (8.91 ± 1.38 MPa)。由此分析可以看出, Er:YAG 激光处理的实施价值高, 可以提升牙体组织间、氧化锆陶瓷粘接强度。尽管该措施在临床应用中实施价值高, 但后续临床仍需进一步分析及验证。

5 氧化锆涂层

5.1 硅涂层

二氧化硅涂层的不同表面形态可以减少细菌的粘附。由于增强了蛋白质吸附和细胞迁移, 微结构生物活性涂层的实施对促进纤维蛋白网络形成具有积极意义, 利于细胞生长、改善软组织附着。此外, 氧化锆涂层及其体外生物活性可以促进体外生物活性显著增强, 与氧化锆基体形成良好的粘附性。当与体液接触时, 它可以促进羟基磷灰石的形成。刺激植入物表面成骨细胞的增殖。在一项关于硅锆浆料涂层的研究中, 杜桥等^[8]表示, 其对氧化锆陶瓷与树脂水门汀粘接强度有积极意义。结果表明, 涂层组 1 : 1 的粘接强度在冷循环前最高 [41.69 ± 6.28 MPa]。由此可以看出, 硅锆浆料涂层的实施价值高, 特别是硅锆配比为 1 : 1 的浆料, 可显著提升粘接强度, 且具有较高的稳定性。

5.2 镁、氮和碳涂层

在氧化锆基材料表面应用镁、氮和碳涂层, 不仅能够提升其生物活性, 还能增强其机械性能和抗菌能力, 从而在生物医学领域展现出广泛的应用前景^[9]。镁涂层的引入, 通过提供额外的生物活性位点, 促进了成骨细胞的粘附、增殖和分化, 这对于骨组织的再生和修复具有重要意义^[9]。此外, 镁元素的加入还能够调节材料的表面电荷, 进一步增强其与周围组织的相容性。氮掺杂的氢化无定形碳 (a-C:H:N) 层的应用, 则为氧化锆材料带来了更高的亲水性和抗菌潜力。氮的掺杂不仅改善了涂层的化学稳定性, 还增加了表面的极性, 从而提高了材料的亲水性, 这对于细胞的粘附和生长至关重要。同时, a-C:H:N 层的高抗菌性能可以有效减少细菌

在材料表面的附着,降低了感染的风险,这对于植入物的长期成功率具有积极影响。综合来看,镁、氮和碳涂层的结合使用,为氧化锆材料在骨科和牙科植入领域的应用提供了新的可能性。这些涂层不仅能够提升材料的生物活性,还能增强其机械性能和抗菌能力,从而在促进骨整合、减少并发症方面发挥重要作用。未来的研究可以进一步探索这些涂层的优化组合,以及它们在不同临床应用中的最佳实践,以期为患者提供更安全、更有效的植入解决方案。

5.3 羟基磷灰石和磷酸钙基涂层

羟基磷灰石(HA)对骨结合有促进走样,其生物活性高,与骨组织的矿物成分相似。研究显示,HA涂层可以促进骨整合,将氧化锆表面转化为生物活性表面。将羟基磷灰石(Zn/HA)涂层(掺杂锌(Zn))进行热处理,对骨潜力的提升有积极意义,可以改善骨祖细胞的增殖和扩散,稳定涂层。气溶胶沉积的HA涂层可以促进成骨基因的表达、骨祖细胞的生长,促进成骨作用的增强。涂有HA的多孔氧化锆支架可以增强骨反应,已被用作药物递送系统,对确保适当的骨整合有积极意义。磷酸钙(CaP)与骨的矿物成分的化学相似性,可刺激骨修复,也被认为具有生物活性。CaP涂层可以提高表面生物活性,增强钙在锆基植入物上的粘附[10-11]。然而,其稳定性较差,在一定程度上限制其应用。四方氧化锆含量高的涂层具有良好的生物活性潜力、机械强度、界面结合力,还发现涂层具有骨传导、可吸收的特性。

5.4 多巴胺和聚多巴胺(PDA)涂层

多巴胺和PDA在Zr/ZrO₂种植体中应用较为广泛,可以提升其表面的生物活性,促进细胞在材料表面的黏附。多巴胺涂层对改善细胞的黏附性有积极意义,其作用主要是通过增强蛋白吸附力、影响细胞丝状结构来实现的。经研究中,多巴胺涂层实施后的分布效果更佳,与CaP、HA相比效果显著,可以实现盐酸多巴胺溶液的物理沉积。在实际应用中需要注意的是,保持盐酸多巴胺溶液温度,最佳控制为37-50°C。PDA涂层对生物骨整合效果及速度的提升有促进作用,可以加快细胞黏附,促进蛋白质吸附,进而更好的发挥其抗菌效果,对细菌活性的抑制有积极意义。除此之外,PDA涂层可促进氧化锆种植体周围软组织整合,增强牙龈成纤维细胞增殖,利于骨整合,应用价值高。肖楠等^[11]在PDA对氧化锆陶瓷粘接强度影响的研究中,将36片氧化锆瓷片随机分为6组,分别实施表面喷砂、喷砂+聚多巴胺

复合涂层处理。结果显示,上述措施实施后的粘接强度均得到有效提升,但PDA涂层的实施效果更加显著。由此分析可以看出,PDA涂层的应用价值高,可加以推广及应用。

5.5 石墨烯涂层

石墨烯在种植体的摩擦特性改善方面发挥了显著优势,作为一种新型多功能材料,具有较高的生物相容性。墨烯涂层对增强成骨细胞的附着和扩散具有促进作用,可以增加氧化锆表面粗糙度。石墨烯涂层的应用不仅仅局限于提高氧化锆种植体的表面粗糙度和生物相容性,它还能够多个层面上优化种植体的整体性能。首先,石墨烯的高导热性和导电性为种植体提供了一种新的功能,即通过热传导和电刺激来促进骨细胞的生长和分化^[12]。这种物理刺激可以模拟自然骨组织中的微环境,从而加速骨整合过程。其次,石墨烯涂层的高耐磨性和化学稳定性使得种植体能够在复杂的生理环境中长期保持其性能不变,这对于种植体的长期成功至关重要。石墨烯的这些特性还可以减少种植体表面的磨损和腐蚀,延长其使用寿命。此外,石墨烯涂层的制备技术也在不断进步,从传统的化学气相沉积(CVD)到更为精细的物理方法,如原子层沉积(ALD),这些技术的进步使得墨烯涂层可以更加均匀、致密地覆盖在种植体表面,提高了涂层的质量和稳定性。在临床应用方面,石墨烯涂层的种植体需要经过严格的生物相容性和生物安全性测试,以确保其在人体内的长期安全性。同时,临床研究还需要评估墨烯涂层对种植体周围组织的影响,包括对骨细胞、软组织和免疫细胞的影响,以及其在不同临床条件下的表现。

6 小结

氧化锆种植体作为一种新兴的种植体材料,其在口腔种植领域的应用潜力正逐渐被发掘。通过对氧化锆种植体表面进行精细处理,不仅可以改善其生物活性,还能显著提升其与周围骨组织的结合能力。表面处理技术,如激光刻蚀、紫外光照射等,已被证明能够有效增加种植体表面的粗糙度,从而促进成骨细胞的黏附和骨整合过程。然而,尽管表面处理技术在提高骨结合率和速度方面显示出显著效果,但在氧化锆种植体的力学性能和生物学效应方面,仍需进行更深入的研究和临床验证。例如,需要评估不同表面处理方法对种植体长期稳定性的影响,以及它们在不同生理环境下的表现。未来的研究方向应包括对氧化锆种植体仿生结构设计的探索,以及对表面处理技术的优化。通过模拟自然骨组织

的微观结构,可以设计出更符合生物力学要求的种植体,从而提高其与骨组织的整合效果。同时,研究者还应关注表面处理技术对种植体整体性能的综合影响,包括其对种植体耐磨性、抗腐蚀性和生物相容性的影响。总之,氧化锆种植体的表面处理是一个多方面的研究领域,涉及材料科学、生物学和临床医学等多个学科。通过跨学科的合作和创新,可以进一步提升氧化锆种植体的性能,增加其在口腔种植领域的成功率,为患者提供更安全、更有效的种植解决方案。

参考文献:

[1] 丁茜,李文锦,孙丰博,等.表面处理对氧化钇和氧化镁稳定的氧化锆种植体晶相及断裂强度的影响[J].北京大学学报(医学版),2023,55(4):721-728.

[2] 倪王成,胡琳驰,张维丹,等.3D打印和CAD/CAM氧化锆种植体骨结合性能的动物实验评价[J].口腔医学,2021,41(2):144-148.

[3] 张婷婷,刘娟,张旭.相转移溶菌酶用于氧化锆全瓷种植材料表面改性后介导羟基磷灰石涂层的生物活性[J].中国组织工程研究,2023,27(7):1043-1049.

[4] 李雪菁,庞鸿娟,邱小亥,等.种植基台背景色及粘接剂颜色对不同厚度高透氧化锆修复体颜色的影响研究[J].中国实用口腔科杂志,2020,13(12):726-729,737.

[5] 关达荣,邹康元,陈觉清,等.热酸蚀对氧化锆基底与饰瓷剪切强度的影响[J].口腔疾病防治,2019,27(8):496-499.

[6] 廖宇,刘晓强,陈立,等.不同表面处理方法对氧化锆与树脂水门汀粘接强度的影响[J].北京大学学报(医学版),2018,50(1):53-57.

[7] 姜晓丹,侯玉一,侯玉泽,等.Er:YAG激光蚀刻牙本质联合氧化锆陶瓷不同表面处理对树脂粘接强度的影响[J].中国体视学与图像分析,2017,22(4):410-414.

[8] 杜桥,牛光良.硅锆浆料涂层对氧化锆陶瓷与树脂水门汀粘接强度的影响[J].中华口腔医学杂志,2022,57(9):932-937.

[9] 王天瑜,牛一龙,周健邦,等.氧化锆口腔种植体的动态植入过程分析与设计[J].力学学报,2022,54(1):220-231.

[10] 韩建涛.二氧化锆修复体对口腔修复治疗者龈沟液中炎症因子、牙龈指标及咀嚼功能的影响[J].反射疗法与康复医学,2023,4(14):152-154,158.

[11] 肖楠,侯玉泽,侯玉一.聚多巴胺对氧化锆陶瓷粘接强度影响的研究[J].北京口腔医学,2018,26(6):323-326.

[12] 洪高英,陈晨,谢海峰.亲水末端硅烷接枝促进氧化锆表面骨结合的初步证据[J].南京医科大学学报(自然科学版),2021,41(11):1579-1584.

作者简介:

徐炜华(1979—),女,汉族,江苏泰州人,硕士,江苏柯润玺医疗科技发展有限公司,中级,研究方向为高端医疗器械。