

增材制造 Ti-6Al-4V 钛合金种植体在牙缺失种植修复中的临床应用

李芸¹ 乔杓柏² 邓华颀³ 游云华¹

¹中山大学附属第五医院,珠海 519000; ²珠海乔丹科技股份有限公司,珠海 519000;

³广西医科大学附属口腔医院,南宁 530021

通信作者:游云华,Email:yoyunh1963@163.com

【摘要】目的 探讨增材制造 Ti-6Al-4V 钛合金种植体在牙缺失种植修复中的临床治疗效果。**方法** 2020年11月至2022年6月中山大学附属第五医院口腔科和广西医科大学附属口腔医院口腔种植科治疗的后牙缺失患者86例(缺失牙数87颗)。其中研究组43例(缺失牙数44颗),采用自行研制的增材制造 Ti-6Al-4V 钛合金种植体行种植修复;对照组43例(缺失牙数43颗),采用 B & B 种植体(意大利)行种植修复。对两组种植修复术后6个月内种植成功率、种植体周骨组织变化、牙龈状态和咀嚼效能进行比较分析。使用 SPSS 23.0 统计学软件对组间数据进行统计分析。**结果** 87颗种植牙中,研究组44颗,种植术后植体无脱落,牙龈无红肿,修复后咀嚼功能正常,种植上部修复后2例出现边缘崩瓷,种植成功率95.5%;对照组43颗,种植术后2颗植体脱落,1例基台螺丝反复松动而重新修复,种植成功率93%,两组种植成功率比较差异无统计学意义($\chi^2=0.237, P>0.05$);研究组种植义齿修复后无咬合干扰和食物嵌塞,咀嚼功能良好,总有效率100%;对照组1例因螺丝松动导致咀嚼功能不良,总有效率97.7%,两组间咀嚼功能比较差异无统计学意义($\chi^2=0.181, P>0.05$);两组间各随访时间点种植体周围骨吸收值 <0.6 mm,差异无统计学意义($t=1.974, P>0.05$);两组种植牙修复后牙龈形态、牙龈色泽和牙龈乳头高度恢复满意度,按种植牙修复后牙龈形态恢复情况, ≥ 1 分为满意, <1 分为不满意,研究组满意度为93.2%,对照组为95.3%,两组差异无统计学意义($\chi^2=0.236, P>0.05$)。**结论** 增材制造 Ti-6Al-4V 钛合金种植体在后牙缺失修复中成功率、咀嚼功能及美学效果等方面达到满意的近期临床疗效,能够满足临床应用,远期临床效果有待于进一步观察。

【关键词】 增材制造; Ti-6Al-4V; 牙种植; 牙缺失; 牙修复,永久

引用著录格式:李芸,乔杓柏,邓华颀,等.增材制造 Ti-6Al-4V 钛合金种植体在牙缺失种植修复中的临床应用[J/OL].中华口腔医学研究杂志(电子版),2023,17(5):359-364.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2023.05.007

Clinical application of additive manufacturing Ti-6Al-4V titanium alloy implants in dental implant restoration

Li Yun¹, Qiao Xunbai², Deng Huajie³, You Yunhua¹

¹The Fifth Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Zhuhai 519000, China; ²Zhuhai Qiaodan Technology Co., Ltd, Zhuhai 519000, China; ³Dental Hospital Affiliated to Guangxi Medical University, Nanning 530021, China

Corresponding author: You Yunhua, Email:yoyunh1963@163.com

【Abstract】Objective To explore the clinical therapeutic effect of additive manufacturing Ti-6Al-4V titanium alloy implants in dental implant restoration. **Methods** Retrospective analysis was conducted on 86 patients with posterior tooth loss treated in the Department of Stomatology, the Fifth Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, and the Department of Dental Implantation, the Affiliated Hospital of Guangxi Medical University from November 2020 to June 2022, with a total of 87 missing teeth. Among them, there were 43 cases in the test group, with 44 missing teeth, which were restored with Ti-6Al-4V titanium alloy implants made of self-developed additives. In contrast, another 43 cases in the control group, with 43 missing teeth, were restored with B & B implants (Italy). The implant success rate,

changes in bone tissue around the implant, gingival status, and chewing efficiency within six months after implantation were compared between the two groups with SPSS 23.0 at a significance level of 0.05. **Results** In the test group, there was no implant loss, no redness or swelling of the gingiva, and the chewing function was normal after restoration. Two cases showed marginal bone loss, with a success rate of 95.5%. In the control group, two implants failed, and one case had a repeated loose of the abutment screw. The implant success rate was 93%, and there was no statistically significant difference in the success rate between the two groups ($\chi^2 = 0.237, P > 0.05$); The test group had no occlusal interference and food impaction after implant denture restoration, with good chewing function and a total effective rate of 100%. In the control group, one case had poor chewing function due to loose screw, with a total effective rate of 97.7%. There was no statistically significant difference in chewing function ($\chi^2 = 0.181, P > 0.05$). The bone resorption around the implant was less than 0.6 mm at each follow-up time point in both the two groups, with no significant difference between them ($t = 1.974, P > 0.05$). Patient satisfaction with the restoration was 93.2% in the test group and 95.3% in the control group, which was not statistically different ($\chi^2 = 0.236, P > 0.05$). **Conclusions** Additive manufacturing Ti-6Al-4V titanium alloy implant has achieved satisfactory short-term clinical outcomes in terms of success rate, chewing function and aesthetic effect in the restoration of missing posterior teeth, which can be applied clinically. However, its long-term clinical effect needs to be further observed.

【Key words】 Additive manufacturing; Ti-6Al-4V; Dental implantation; Tooth loss; Dental restoration, permanent

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2023.05.007

口腔种植牙因其具备天然牙的舒适度、咀嚼效率高和无须磨削健康牙齿等特性,已成为牙及牙列缺失的首选修复治疗方法,并在临床得到广泛应用。随着种植体材料、制作工艺和表面处理技术的改进,种植体的骨结合性能更强,种植牙成功率也明显提高^[1-3]。因此,我国口腔种植技术在最近几年获得了飞速的发展^[4],但目前国内市场常用的种植系统以进口品牌为主,国产自主研发的种植体品牌占有量相对较少,文献报道不多^[5-6]。增材制造(additive manufacturing, AM)技术是在数字模型引导下通过逐层烧结来构建三维零件,近几年开始应用于牙种植体的制备^[7],它改变了以往传统种植体铸造加工的制备模式,大大降低了成本并推进临床种植义齿向个性化即刻种植方式的转变^[8]。本研究采用自行研制的增材制造 Ti-6Al-4V 钛合金种植体在经过前期大量实验研究^[1-2]的基础上开展的临床应用研究,现将种植修复后半年的临床治疗效果报道如下。

资料与方法

一、临床资料

选择 2020 年 11 月至 2022 年 6 月在中山大学附属第五医院口腔科和广西医科大学附属口腔医院口腔种植科行后牙缺失种植治疗的患者,采用简单随机方法根据首次就诊时间依次分配到研究组和

对照组。共收集 86 例患者,缺失牙数 87 颗。其中采用自行研制的增材制造 Ti-6Al-4V 钛合金种植体行种植修复 43 例,男 15 例、女 28 例,年龄 22~68 岁,平均(41±4)岁,缺失牙数 44 颗,作为研究组;采用 B & B 种植体(3P 型,意大利)行种植修复 43 例,男 18 例、女 25 例,年龄 21~70 岁,平均(43±4)岁,缺失牙数 43 颗,作为对照组。两组患者年龄、性别差异无统计学意义($\chi^2 = 0.443, P = 0.75$, 表 1),具有可比性。本研究根据赫尔辛基宣言进行,治疗方案分别经中山大学附属第五医院医学伦理委员会批准(编号:伦字第 K184-1 号)和广西医科大学附属口腔医院医学伦理委员会批准(编号:复审 2021040 号)。患者同意接受应用增材制造 Ti-6Al-4V 钛合金种植体或 B & B 种植体行缺失牙种植修复治疗,完全了解并同意遵守治疗方案,签署知情同意书。

1. 纳入标准:(1)后牙缺失 3 个月以上;(2)年龄 20~70 岁;(3)修复后可满足邻牙和对颌牙的正常咬合关系;(4)缺失牙周围软组织均未重建;(5)患者知情且自愿参与研究,签署书面知情同意书。

2. 排除标准:(1)患有甲亢、心脏病、肾病、糖尿病和高血压等全身性疾病者;(2)妊娠及哺乳期;(3)骨质疏松症;(4)颌面骨曾受肿瘤累及并接受过放射治疗;(5)自律性差,不能配合后续治疗。

3. 牙缺失部位及数目:上颌双尖牙 8 颗,上颌磨

表1 86例牙缺失患者种植术一般资料

组别	例数	缺失牙数 (颗)	性别(例)		年龄组(例)			平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)
			男	女	20~35岁	36~50岁	>50岁	
研究组	43	44	15	28	18	17	8	41±4
对照组	43	43	18	25	16	20	7	43±4

注: $\chi^2=0.443, P=0.75$ 。

牙15颗;下颌双尖牙17颗,下颌磨牙47颗。单颗牙缺失种植85颗,多颗牙缺失种植2颗(表2)。

表2 86例牙缺失患者种植部位及数目情况

组别	例数	缺失牙数 (颗)	上颌(颗)		下颌(颗)	
			双尖牙	磨牙	双尖牙	磨牙
研究组	43	44	3	4	4	33
对照组	43	43	5	11	13	14
合计	86	87	8	15	17	47

二、治疗方法

1. 种植器械与材料:种植机(WS-75, W & H, 奥地利);自行研制的增材制造Ti-6Al-4V钛合金种植体和自行设计制造的工具盒包括先锋钻、直钻、扩孔钻、延长器、丝口起、机用携带器、手用携带器、测量器和扭力扳手等(图1);B & B种植体和B & B专用工具盒;Bio-Oss人工骨粉与Bio-Gide生物膜(小颗粒0.25~1 mm, Geistlich, 瑞士)。



图1 增材制造Ti-6Al-4V钛合金种植体系统 A:种植体及覆盖帽、愈合基台、转移杆;B:工具盒。

2. 种植术前准备:种植术前行全口牙龈上、龈下洁刮治,拍摄锥形束计算机断层摄影术(cone-beam computed tomography, CBCT)测量缺失牙区牙槽骨高度和宽度,选择合适的种植体备用。

3. 种植方法:种植术前0.15%氯己定溶液10 mL口腔含漱3 min,常规消毒、铺巾,碧兰麻局部浸润麻醉,牙槽嵴顶切开、翻开黏骨膜瓣,清理牙槽嵴顶肉芽组织,使种植体植入后颊舌侧骨板至少有1 mm厚度,用先锋钻制备骨孔至6 mm深即放入平行杆,观察其位置、轴向是否正确,再分别用扩孔钻序列逐级备洞至所需种植体直径和深度,皮质骨成形钻行颈部成形,0.9%氯化钠溶液冲洗种植窝后,植入各型种植体,扭矩20~30 N·cm,采用埋入或穿龈式愈

合,龈瓣减张复位缝合。术后3 d口服抗生素预防性抗感染,嘱受试者勿咬过硬食物,禁烟酒,保持口腔卫生,术后7~10 d拆线。

4. 增材制造Ti-6Al-4V钛合金种植体手术操作要求:植体采用PE袋包装,剪开包装袋露出种植体端口后,在包装袋外部手持植体插接安装(图2A);植体植入窝洞前,0.9%氯化钠溶液浸湿种植体表面更有利于骨结合(图2B);植入后种植体端口平面低于骨平面0.5~1 mm;种植体植入时扭矩应达20~30 N·cm;愈合帽放置前彻底清洁植体内腔,纱布细捻吸干,防止血水残留;从愈合帽端口侧剪开PE袋,用丝口起旋转携带愈合帽轻轻放入种植体端口,反向旋转丝口起至分离(图2C);本种植系统设计的连接方式为插接式,基台或转移杆锥度为3°、插接深度为4.3 mm、插接直径为2.2 mm(图3)。

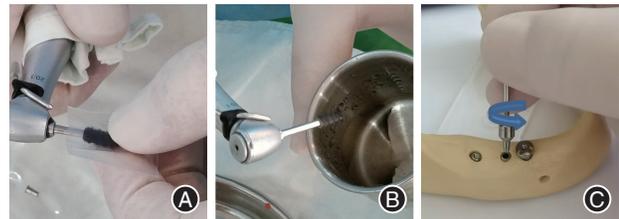


图2 增材制造Ti-6Al-4V钛合金种植体植入术操作 A:植体PE袋包装;B:植体植入前浸湿有利于骨结合;C:插接式连接。



图3 增材制造Ti-6Al-4V钛合金种植体 A:植体与转移杆(基台)插接式连接设计图;B:植体与转移杆插接式连接剖面显微镜下观(低倍放大)。

种植体植入术后3个月二期手术切开,暴露种植体端口,取下愈合帽,安装愈合基台。2~3周后,取下愈合基台,戴入转移杆,确定就位,以硅橡胶采用开窗式或闭窗式方法印膜转移模型,戴入替代体,送

加工厂制作烤瓷冠,根据牙位及后牙咬合关系,选用合适的实心固位基台或解剖基台,冠与基台粘接,种植冠口内就位螺丝固位,调整咬合,封闭螺丝孔。

三、观察指标

1. 影像学指标:种植术前常规拍摄CBCT,测量缺失牙区牙槽骨高度和宽度后选择合适的植体;种植体植入术后即刻拍摄口腔全景曲面体层片,检查植体位置及周围骨情况;术后1周拆线,观察伤口恢复情况;术后1个月复诊,观察种植体稳定性;在种植二期修复后1、3和6个月拍摄X线片,观察种植体周围骨结合及吸收情况,同时观察牙龈乳头形态、色泽,测量牙龈乳头高度等,评价种植体周围软组织健康状况。

2. 种植成功率:种植义齿修复后6个月统计成功率,种植成功评判标准^[9-10]为:(1)临床检查种植体无松动;(2)种植牙功能好、美观,种植后无持续性和(或)不可逆的症状及体征,如麻木、疼痛、感染、感觉异常及神经管损伤等;(3)X线片种植体周围无透射区;(4)修复后美学效果满意。符合上述条件认为种植成功,如果种植体植入术后1个月植体脱落,或种植义齿修复后6个月内松动脱落则认为种植失败。

3. 种植义齿修复后咀嚼功能评价标准^[11]:(1)显效:咀嚼功能正常,修复体无松动;(2)有效:咀嚼功能基本正常,但咀嚼硬物时不适,修复体无松动;(3)无效:不能正常咀嚼,修复体有松动。总有效率计算公式如下

$$\text{总有效率} = (\text{显效} + \text{有效}) / \text{总例数} \times 100\%。$$

4. 种植体周围骨吸收情况:由于本研究为单颗牙缺失种植,采用拍摄X线片测量方式评价种植体周围骨吸收,种植体修复后1、3和6个月,由同一名有经验的放射技师采用平行投照方式拍摄X线片,分别测量种植体近、远中牙槽嵴顶至植体与基台结合处的距离,取近远中平均值,以修复后1个月测量数据为基准值,不同时期两者的高度差即为种植体周围骨吸收值。

5. 种植义齿修复后牙龈形态:牙龈美学形态与

牙槽骨萎缩程度、种植体穿龈高度和牙龈厚度等有关。修复后牙龈美学形态评分标准^[12]:(1)无牙龈乳头形态记0分;(2)牙龈乳头高度小于正常高度的1/2记1分;(3)牙龈乳头高度大于正常高度的1/2记2分;(4)牙龈乳头充满楔状隙并与邻牙龈乳头形态一致记3分。

四、统计学处理方法

统计两组种植系统种植修复术后成功率、咀嚼功能、骨吸收及牙龈形态的情况,计数资料用例(%)表示,行 χ^2 检验,计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,行 t 检验,使用SPSS 23.0统计学软件对组间数据比较, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、两组种植系统种植成功率及咀嚼功能情况

1. 研究组:Ti-6AL-4V钛合金种植体44颗,规格为3.6~5.0 mm/7.0~10.0 mm植体,种植手术中均未植入人工骨粉和生物膜,种植体植入术后6个月植体无脱落,牙龈无红肿,种植上部修复后2例边缘嵴崩瓷,种植成功率95.5%。

2. 对照组:B&B种植体43颗,规格为3.5~4.5 mm/6.0~10.0 mm植体,其中5例因牙槽嵴宽度不足或选用的植体直径偏大而植入Bio-Oss骨粉及Bio-Gide生物膜,但仍有2例术后植体脱落(上颌磨牙1颗、下颌磨牙1颗),修复后6个月,1例基台螺丝反复松动而重新修复,无边缘嵴崩瓷,种植成功率93.0%。

两组种植成功率比较差异无统计学意义($\chi^2 = 0.237, P > 0.05$);两组种植义齿修复后6个月,均未发现咬合干扰及垂直型食物嵌塞,咀嚼功能良好,仅对照组1例因螺丝松动导致咀嚼功能不良。两组咀嚼功能比较差异无统计学意义($\chi^2 = 0.181, P > 0.05$,表3)。

二、两组种植体周围骨吸收值比较

种植体义齿修复后1、3和6个月,研究组与对照组种植体周围骨吸收均不明显(图4)。两组间各随访时间点种植体周围骨吸收值小于0.06 mm,差异无统计学意义($t = 1.974, P > 0.05$,表4)。

表3 两组种植体种植成功率及咀嚼功能比较

组别	例数	种植体 (颗)	成功率 [例(%)]	咀嚼功能[例(%)]			总有效率 [例(%)]
				显效	有效	无效	
研究组	43	44	42(95.5)	41(93.2)	3(6.8)	0(0.0)	44(100.0)
对照组	43	43	40(93.0)	39(90.7)	3(7.0)	1(2.3)	42(97.7)
χ^2 值			0.237	0.181	0.001	1.035	1.035
P 值			0.645	0.713	0.938	0.346	0.346

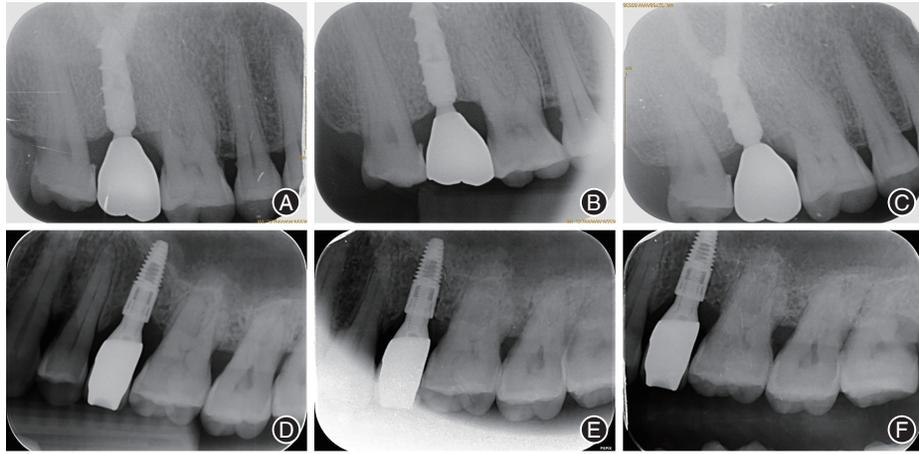


图4 两组种植体修复后不同时间段周围骨吸收情况(X线片) A:研究组修复后1个月;B:研究组修复后3个月;C:研究组修复后6个月;D:对照组修复后1个月;E:对照组修复后3个月;F:对照组修复后6个月。

表4 两组种植义齿修复后周围骨吸收值比较

组别	例数	种植体 (颗)	种植义齿修复后周围骨吸收值(mm, $\bar{x} \pm s$)		
			1个月	3个月	6个月
研究组	43	44	0.39±0.06	0.43±0.09	0.48±0.08
对照组	43	43	0.42±0.08	0.46±0.10	0.51±0.07
t值			1.974	1.470	1.863
P值			0.310	0.376	0.501

三、两组种植义齿修复后牙龈形态恢复情况

两组种植义齿修复后,牙龈形态、色泽恢复满意,牙龈乳头高度恢复良好且充满楔状隙,见图5。按评分标准种植牙修复后牙龈形态恢复情况,≥1分为满意,<1分为不满意,满意度研究组为93.2%,对照组为95.3%,两组修复后牙龈形态恢复比较差异无统计学意义($\chi^2=0.236, P>0.05$,表5)。



图5 两组种植义齿修复后牙龈状态恢复均良好 A:研究组;B:对照组。

表5 两组种植义齿修复后牙龈美学形态比较

组别	例数	种植体 (颗)	牙龈美学形态[颗(%)]			
			3分	2分	1分	0分
研究组	43	44	18(40.9)	16(36.4)	7(15.9)	3(6.8)
对照组	43	43	16(37.2)	19(44.2)	6(14.0)	2(4.7)
χ^2 值			0.055	0.236	0.048	0.168
P值			0.809	0.624	0.802	0.726

讨论

增材制造是一种具备将数字模型快速转换为物理模型的成型技术,近年来在口腔颌面外科、种植、修复及正畸等领域得到了广泛的应用^[8,13-14],3D打印钛合金种植体在即刻种植及获得早期植入稳定性中具有良好的临床效果^[15]。种植修复成功决定性因素是能够长期保持种植体与骨骼的良好结合,而获得稳定骨结合的前提是种植体表面处理后的骨结合性能的提高及种植体的初期稳定性。本研究的种植体前期动物实验表明^[1-2],增材制造Ti-6AL-4V钛合金种植体表面形貌是直径为数十微米的粗球状结构,经阳极氧化表面改性后更有助于加强骨种植体的机械锚固,极具亲水性,使其骨结合性能大大提高;B & B种植体表面是直径2 μm 可控微粗糙度,采用氧化铝喷砂无机酸和双酸处理,能够缩短骨整合时间^[16]。研究组种植体植入术后无脱落,而对照组5例因牙槽嵴宽度不足或选用的植体直径偏大而植入Bio-Oss骨粉及Bio-Gide生物膜出现2例术后植体早期脱落,本研究认为可能与骨量、骨密度、植体选择不当及术中上颌窦黏骨膜穿孔未被发现有关。

种植体植入术后是否出现周围骨吸收与种植体表面处理、亲水性状态、受体骨密度、弹性模量差异及外科手术操作技巧等因素有关。传统的钛基种植体纯钛结构致密,弹性模量远大于人正常骨,在咬合力作用下出现“应力屏蔽”从而影响骨结合过程^[17],增材制造Ti-6AL-4V钛合金种植体是经过逐层叠加制造过程,通过控制材料的孔隙大小和孔

隙率,从而降低材料的弹性模量,其弹性模量与颌骨接近有利于种植体-骨结合^[1]。本研究表明,外科手术操作中增材制造 Ti-6AL-4V 钛合金种植体要求植体平面低于骨平面 0.5 ~ 1 mm 呈完全骨埋植,植体植入时扭力控制在 10 ~ 20 N 轻松植入,减轻对骨组织的挤压损伤等操作均有助于防止种植体周围骨吸收的发生。本研究两组间各随访时间点种植体周围骨吸收值差异无统计学意义($P > 0.05$),说明随着时间延长,研究组(Ti-6AL-4V 钛合金种植体)与对照组(B & B 种植体)周围骨吸收差异不明显,种植术后半年,两组均未发现较严重的周围骨吸收。

随着种植技术的发展,种植牙修复可以同时满足恢复咀嚼功能及兼顾美学效果的目的,而咀嚼功能体现在种植体骨结合的稳定性和种植冠修复的完整性。复合基台是连接植体与修复冠的桥梁,传统的复合基台修复采用的是螺丝固位和粘接固位方式,螺丝固位无粘接剂残留及维护时方便取下的优点,但出现螺丝折断、基台折断,甚至是种植体折断的风险较高;粘接固位远期出现种植体周围炎的发生率相对于螺丝固位的固定义齿较高^[18]。增材制造 Ti-6AL-4V 钛合金种植体采用的是插接式摩擦固位,避免了螺丝固位的应力集中产生的螺丝折断及粘接固位粘接剂残留可能导致的种植体周围炎等问题,体现了其优越性。本研究两组间修复后 6 个月咀嚼功能、牙龈形态恢复满意,但研究组插接式摩擦固位使临床操作更便捷、安全,缩短了戴牙时间,且未出现修复冠基台松动等现象;对照组 1 例因螺丝松动导致咀嚼功能不良。

综上所述,Ti-6AL-4V 钛合金种植体在牙缺失种植修复中成功率、咀嚼功能及美学效果等方面均达到满意的近期临床疗效,能够满足临床应用,远期临床效果还有待于进一步观察。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 李芸:实施研究、数据分析、论文撰写;乔桐柏、邓华颖:实验操作、数据整理、统计学分析;游云华:研究指导、设计实验、论文修改

参 考 文 献

- [1] 李芸,舒天羽,郭四毓,等. 增材制造 Ti-6AL-4V 钛合金种植体骨结合的动物实验研究[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2022, 16(4): 241-247. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2022.04.007.
- [2] Shu T, Zhang Y, Sun G, et al. Enhanced osseointegration by the hierarchical micro-nano topography on selective laser melting Ti-6Al-4V dental implants[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2021, 8: 621601. DOI: 10.3389/FBIOE.2020.621601.
- [3] 王世振. 不同种植系统在牙周炎患者修复中的应用效果分析[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2022, 23(1): 26-45. DOI: 10.19748/j.cn.kqxf.1009-3761.2022.1.004.
- [4] 范祺. 国内口腔种植技术的研究进展[J]. 中国社区医师, 2019, 35(5): 13-14. DOI: 10.3969/j.issn.1007-614x.2019.05.005.
- [5] 林宗建,吕成奇,钱明波,等. 国产种植体用于牙列缺损患者 4 年临床疗效随访研究[J]. 口腔医学, 2022, 42(12): 1086-1090. DOI: 10.13591/j.cnki.kqyx.2022.12.006.
- [6] 周洁,姜蕾,赵云富. 一种国产牙种植体 5 年临床效果评价[J]. 口腔颌面外科杂志, 2018, 28(6): 327-331. DOI: 10.3969/j.issn.1005-4979.2018.06.005.
- [7] 吴振寰,黄昊坤,张万芬,等. 增材制造金属材料在医学生物学的研究新进展[J]. 材料导报, 2022, 36(Z2): 260-273.
- [8] 张玮航,张虎,李英姿,等. 3D 打印激光快速成型牙种植体的制备及其机械性能分析[J]. 吉林大学学报(医学版), 2017, 43(1): 52-56+后插 3. DOI: 10.13481/j.1671-587.20170111.
- [9] 邱蔚六. 口腔颌面外科理论与实践[M]. 北京:人民卫生出版社, 1998:302-347.
- [10] Buser D, Mericseke - Stern R, Bernard JP, et al. Long - term evaluation of non - submerged ITI implants. Part 1: 8 - year Life table analysis of a prospective multi - center study with 2359 implants[J]. Clin Oral Implants Res, 1997, 8(3): 161-172. DOI: 10.1034/j.1600-0501.1997.080302.x.
- [11] 朱兰省,何巍,刘爱群,等. 不同种植系统口腔种植修复牙列缺失的临床疗效观察[J]. 中国口腔种植学杂志, 2019, 24(3): 118-122. DOI: 10.3969/j.issn.1007-3957.2019.03.005.
- [12] 田瑞雪,唐旭炎,徐锦程. 即刻种植和延期种植修复前牙的临床效果研究[J]. 中国现代医学杂志, 2017, 27(4): 121-125. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2017.04.025.
- [13] 张秀琴,刘振华,周俊宏. 3D 打印技术在种植牙患者中的应用价值探究[J]. 中国美容医学, 2020, 29(7): 145-147. DOI: 10.15909/j.cnki.cn61-1347/r.003836.
- [14] 李妍熹,姚洋. 3D 打印技术在口腔修复体直接制作中的应用[J]. 临床口腔医学杂志, 2018, 34(6): 371-375. DOI: 10.3969/j.issn.1003-1634.2018.06.016.
- [15] 桂芳,刘桂红,马赫,等. 即刻种植的牙槽骨吸收程度的 CBCT 观察及种植体稳定性分析[J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(2): 362-366. DOI: 10.7517/issn.1674-0475.210910.
- [16] 罗晨晨,吕楨. BLB 种植系统的临床应用及疗效观察[J]. 北京口腔医学, 2005, 13(1): 47-49. DOI: 10.3969/j.issn.1006-673X.2005.01.016.
- [17] 刘亭松,高荣,魏霆,等. 多孔结构钛种植体对周围骨组织应力分布影响的三维有限元分析[J]. 中华口腔医学杂志, 2019, 54(1): 35-40. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2019.01.007.
- [18] 施斌,吴涛. 种植修复体机械并发症的原因、预防及处理[J]. 口腔疾病防治, 2018, 26(7): 415-421. DOI: 10.12016/j.issn.2096-1456.2018.07.002.

(收稿日期:2023-04-27)

(本文编辑:王曼)