

牙种植体表面喷砂酸蚀工艺的优化^{*}

庞骏德, 王 杨, 蔺 增

(东北大学 机械工程与自动化学院, 沈阳 110819)

摘 要: 对钛表面喷砂酸蚀工艺进行优化研究, 以用于牙种植体表面改性。采用喷砂酸蚀法对钛片表面进行粗化处理, 以粗化的钛片表面中 $0.5\sim 2\ \mu\text{m}$ 孔洞所占比例和表面平均接触角作为正交试验的参考指标, 对喷砂酸蚀工艺进行优化。在试验范围内, 表面处理的最优参数为: 喷砂材料 TiO_2 , 酸蚀温度 $100\ ^\circ\text{C}$, 酸蚀时间 $20\ \text{min}$, 混酸 $60\%\ \text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $10\%\ \text{HCl}$ 和去离子水的体积比 $1:1:2$ 。将得到的最优参数应用于钛片和牙种植体, 利用扫描电镜、接触角测量仪及能谱仪对其形貌、接触角、成骨细胞粘附及成分进行分析。结果表明: 优化工艺处理后, 钛片表面平均接触角达 67° , 且均匀性较好, 利于细胞吸附生长; 钛片和牙种植体表面都获得了均匀的微米级孔洞结构, 但种植体螺纹不同部分的表面形貌不一样。

关键词: 牙种植体; 喷砂酸蚀; 钛片; 正交试验; 多孔结构

中图分类号: TG146.23; R783.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9289(2014)02-0102-08

Sandblasted and Acid-etched Process Optimization of the Dental Implant

PANG Jun-de, WANG Yang, LIN Zeng

(School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819)

Abstract: In this paper, sandblasting and acid-etching (SLA) process on titanium surface was investigated to improve the surface properties of dental implant. Firstly, the titanium surface was roughened by SLA. The proportion of $0.5\sim 2\ \mu\text{m}$ pores and the average contact angle of titanium surface were analyzed by the orthogonal experiment method, which was able to obtain the optimized process of SLA. The optimum parameters are selected within the test range, that is: materials of sandblasting (TiO_2), etching temperature ($100\ ^\circ\text{C}$), etching time (20 minutes) and acid concentration ($60\%\ \text{H}_2\text{SO}_4:10\%\ \text{HCl}:\text{H}_2\text{O}=1:1:2$). Secondly, the optimum parameters were applied to titanium and real dental implants. The surface morphology, contact angle, adhesion of osteoblast and chemical composition of titanium and dental implants were analyzed by means of scanning electron microscope (SEM), contact angle meter and energy dispersive spectrometer (EDS). The results show that the contact angle of titanium surface is uniform and its value is up to 67° , which is good for cells to attach and survive. Micro-sized porous structure is obtained both on the titanium and on the real dental implant surface; while the surface morphology varies in different parts of the dental implant.

Key words: dental implant; sandblasting and acid-etching (SLA); titanium sheet; orthogonal experiment; porous structure

0 引 言

种植体的表面形貌是影响骨整合的因素之一^[1]。研究发现粗糙表面的钛种植体与骨组织的

结合面积及结合强度均大于光滑表面的钛种植体^[2], 而且体外细胞培养也显示成骨细胞更易于粘附到粗糙的表面^[3]。与光滑表面相比, 粗糙度 $Ra <$

收稿日期: 2013-12-07; 修回日期: 2014-03-10; 基金项目: * 中央高校基本科研业务费专项(N130403002); 沈阳市科技基金(F13-295-1-00)

作者简介: 庞骏德(1987—), 男(汉), 广西玉林人, 硕士生; 研究方向: 真空表面工程

网络出版日期: 2014-03-10 17:02; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20140310.1702.008.html>

引文格式: 庞骏德, 王杨, 蔺增. 牙种植体表面喷砂酸蚀工艺的优化[J]. 中国表面工程, 2014, 27(2): 102-109.

50 μm 的表面能显著降低种植体—骨组织界面的炎症反应程度,减少软组织包绕层的厚度^[4]。亚微米及纳米结构可以引导细胞粘附和定向迁移生长,有利于形成良好的种植体周骨性结合^[5]。

钛种植体的生物相容性与其表面润湿性有着直接的关系^[6],而接触角是衡量材料润湿性的一个重要标志,接触角越小,表明润湿性越好。喷砂酸蚀处理(Sandblasting and acid-etching, SLA)是目前商业应用最为广泛的种植体表面处理方法之一^[7-8]。酸蚀后的纯钛表面具有更高的表面能,大分子更容易吸附、弯曲和变形,使得附着点增加^[9]。因此为了改善种植体在骨整合时的主动性,缩短骨整合时间,促进种植体与周围组织形成良好的骨性愈合,应对其表面形貌进行改进。

酸蚀常用的酸有硫酸、盐酸、氢氟酸以及硝酸等^[10],且多采用混合酸处理种植体表面。酸溶液的浓度、酸蚀时间以及温度是化学腐蚀产生微观结构的决定因素^[11-12]。Diniz 等^[13]对喷砂后的钛片试样先采用 4% HF 处理 60 s,再用 4% HF 和 8% H_2O_2 混合处理 15 s 获得了均匀的微观形貌,促进了骨髓细胞的粘附增殖。容明灯^[14]则采用 18% HCl 和 49% H_2SO_4 的混酸处理种植体,出现了二级粗糙表面,动物试验表明处理后的表面具有良好的生物相容性和骨组织引导性。然而,喷砂酸蚀的工艺参数并没有统一的数值,不同工艺得到的结果也不相同。

文中采用喷砂酸蚀工艺对钛片试样表面进行改性处理,选择喷砂酸蚀的不同工艺参数进行试验,在试验范围内,得出最优的工艺参数,并将其用于牙种植体试样表面的处理。同时,比较分析钛片试样和牙种植体试样的表面形貌、成分、成骨细胞粘附以及接触角。

1 材料与方法

1.1 钛片试样和牙种植体试样的制备

试验用钛片试样尺寸为 14 mm $\times$ 14 mm $\times$ 3 mm,材料为 TA2(宝钛股份有限公司);所用牙种植体试样(如图 1 所示)总长 7 mm,外径 3.6 mm,其中螺纹段长 5 mm,螺距 1 mm,螺纹为直角梯形螺纹,材料为 TA2。将加工好的钛片和种植体试样用清洗剂进行手工清洗去除加工碎屑和残留机械油污。钛片试样分别经 58 μm (250 目)、13 μm (1 000 目)和 6.5 μm (2 000 目)SiC 砂纸逐级

打磨至表面呈现白色金属光泽,然后依次在洗洁精、去离子水和无水乙醇中各超声清洗 5 min,置于加热箱中烘干,冷却后装入自封袋密封保存。

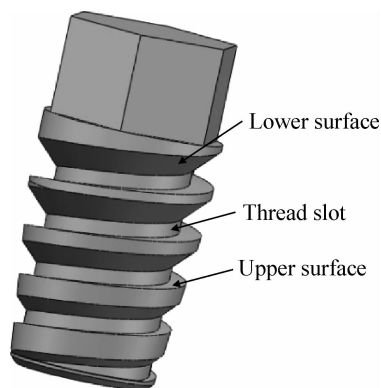


图 1 牙种植体示意图

Fig. 1 Schematic of the dental implant

1.2 喷砂酸蚀处理工艺

喷砂设备由 VW-0.25/0.8 型活塞式空气压缩机(沈阳远赫机械设备有限公司)和一个喷嘴直径为 1 mm 小型喷砂机组成,通过 8 mm 橡胶管相连接。将空压机输出压力调整至 0.8 MPa,采用 250 μm (60 目)硅砂或钛砂,喷嘴与试样的距离保持在 3 cm 左右,喷射方向与被处理试样表面为 80° 夹角,喷砂处理时间为 60 s。喷砂时,将钛片试样固定,牙种植体试样由可以旋转的夹具夹住两端,夹具按 20 r/min 旋转。待空气压缩机达到工作压力为 0.8 MPa 时,开启输出阀门至最大位置。喷砂处理后试样表面由银白色金属光泽变为暗灰色。

酸蚀前,配置 60% H_2SO_4 与 10% HCl 按体积比 1:1 的混酸(不添加去离子水,文中称作高浓度酸)和 60% H_2SO_4 、10% HCl 与去离子水按体积比 1:1:2 的混酸(文中称作低浓度酸)。酸蚀时,将盛放混合酸的烧杯放入油浴锅内保温,温度调至试验所需要的温度(75 $^{\circ}\text{C}$ 和 100 $^{\circ}\text{C}$)。待烧杯内混合酸达到所需温度时,将试样慢慢放入烧杯中(同时要求试样不能重叠),并开始计时。试样酸蚀完成后,分别经去离子水超声清洗 3 min,反复 3 次,再用无水乙醇超声清洗 3 min,反复两次以彻底去除酸残留;最后烘干装袋以备用。

1.3 试验方案

由于牙种植体试样与钛片试样材料均为 TA2 医用纯钛,且在钛片试样表面上进行试验和分析更

加方便。因此为了获得喷砂酸蚀工艺应用于牙种植体表面改性的最优参数,将钛片试样作为被处理试样。将喷砂材料、酸蚀温度、时间以及酸蚀浓度作为试验的影响因素,它们分别取 2、2、4 和 2 个水平,采用正交表 $L_8(4 \times 2^4)$ 进行试验^[15-16]。所有试验严格按照设定好的工艺重复两次。

1.4 表面接触角以及孔径测量

使用接触角测量仪(SL200B,科诺工业有限公司)对试样表面进行接触角测量,采用 $\theta/2$ 法,测量范围: $0^\circ \sim 180^\circ$,分辨率 0.01° ,测试精度 $\pm 1^\circ$ 。在试样完全烘干且充分冷却后 1 h 内进行测量,一个试样表面测量 5 个不同点。使用粒径分布统计软件 Nano Measure 1.2 测量试样表面孔径,测量时采用同一标准,每个试样重复两次,取平均值。

1.5 表面形貌表征及成分分析

试样表面的形貌、细胞粘附用 JSM-6500F 型场发射电子扫描电镜(SEM)进行表征。采用 EDS 分析试样表面成分。

1.6 表面成骨细胞培养

将试样分别放入到孔板中,将状态良好的人

成骨肉瘤 MG-63 细胞以 3×10^4 个/mL 的浓度接种于试样表面。在 50%CO₂、95%湿度和 37 ℃ 的环境下细胞培养 24 h。每次取出试样后用磷酸盐缓冲液(Phosphate buffered saline, PBS)冲洗 3 次,并且要吸净液体。然后用 2.5%的戊二醛固定 2 h。经过清洗、烘干以及喷金处理后,用 SEM 观察成骨细胞的生长形态。

2 结果与讨论

2.1 SLA 法因素优化分析

混合正交试验的因素与水平如表 1 所示,混合正交试验结果如表 2 所示。混合正交极差缺乏可比性^[16],这里直接采用方差分析法,各个试验因素对试验结果的影响程度以及显著性见表 3。

现有商用种植体表面孔径多数为 $0.5 \sim 3 \mu\text{m}$ ^[17],因此文中选择 $0.5 \sim 2 \mu\text{m}$ 作为一个参考指标。在分析各因素水平对试验结果的影响时,引入各因素水平与试验指标的趋势图,如图 2 所示。图 2 横坐标是各因素水平,纵坐标为 $0.5 \sim 2 \mu\text{m}$ 孔洞所占比例和平均接触角。

表 1 混合正交试验的因素与水平
Table 1 Factors and levels of the mix orthogonal experiment

Levels	A-etching time/min	B-acid concentration	C-materials of sandblasting	D-etching temperature/℃
1	15	High	TiO ₂	75
2	20	Low	SiO ₂	100
3	25			
4	30			

表 2 正交试验结果
Table 2 Results of the orthogonal experiment

No.	A	B	C	D	Indexes	
	1	2	3	4	Proportion of the 0.5-2 μm pores/%	Average contact angle/ (°)
1	1	1	1	1	12.8	91.37
2	1	2	2	2	65.0	71.23
3	2	1	1	2	44.0	80.59
4	2	2	2	1	84.5	60.87
5	3	1	2	1	56.0	77.18
6	3	2	1	2	64.5	71.82
7	4	1	2	2	66.0	77.10
8	4	2	1	1	60.0	82.59

表 3 正交试验的结果分析

Table 3 Analysis of the orthogonal experiment

Indexes		Factors			
		A	B	C	D
Proportion of the 0.5~2 μm pores/%	I	38.90	44.70	45.32	53.33
	II	64.25	68.50	67.87	59.88
	III	60.25			
	IV	63.00			
	R	25.35	23.80	22.55	6.55
	SS	852.19	1 132.88	1 017.01	85.81
	MS	284.06	1 132.88	1 017.01	85.81
	DF	3	1	1	1
	F-value	289.86	1 156	1 037.76	87.56
	Significance	Significance	Significance	Significance	Non-significance
Average contact angle/(°)	I	81.30	81.56	81.59	78.00
	II	70.73	71.63	71.60	75.19
	III	74.50			
	IV	79.84			
	R	10.57	9.93	10.01	2.82
	SS	142.97	197.31	199.90	15.88
	MS	47.66	197.31	199.90	15.88
	DF	3	1	1	1
	F-value	3.50	14.51	14.70	1.17
	Significance	Non-significance	Non-significance	Non-significance	Non-significance

(1) A-酸蚀时间对喷砂酸蚀的影响:由方差分析知,酸蚀时间对 0.5~2 μm 孔洞比例有显著性影响,对平均接触角不具有显著性影响。如图2(a)所示,酸蚀时间为 20 min 时,试样表面 0.5~2 μm 孔洞所占比例出现了峰值,比例达 64%,而此时对应的平均接触角也达到最小值 71°,因此酸蚀时间 20 min 可作为优化的参数。

(2) B-酸的浓度对喷砂酸蚀的影响:如图 2(b)所示,酸浓度的不同,对 0.5~2 μm 孔洞比例和平均接触角的影响也不一样,它们的变化趋势相反。低浓度下,0.5~2 μm 孔洞比例最大,比例达到 67.5%,而接触角也达到最小值 71.8°。由表 3 方差分析知,酸的浓度对 0.5~2 μm 孔洞比例有显著性影响,故低浓度可作为优化参数。

(3) C-喷砂材料对喷砂酸蚀的影响:由表 3 方差分析知,喷砂材料对 0.5~2 μm 孔洞比例有显著性影响,对平均接触角不具有显著性影响。如图 2(c)所示,喷砂材料为 SiO₂ 时,0.5~2 μm 孔洞比例达最大,平均接触角也达到最小,但对试样表面成分作 EDS 分析发现,SiO₂ 处理后,酸蚀不能完全除去试样表面残留的 Si 杂质。因此选择 TiO₂ 作为优化的参数。

(4) D-酸蚀温度对喷砂酸蚀的影响:由方差分析知,酸蚀温度对 0.5~2 μm 孔洞比例和平均接触角均无显著性影响。如图 2(d)所示,75 ℃和 100 ℃对参考指标影响变化均不大,但 100 ℃下,0.5~2 μm 孔洞比例最大,平均接触角也最小,故 100 ℃作为优化的参数。

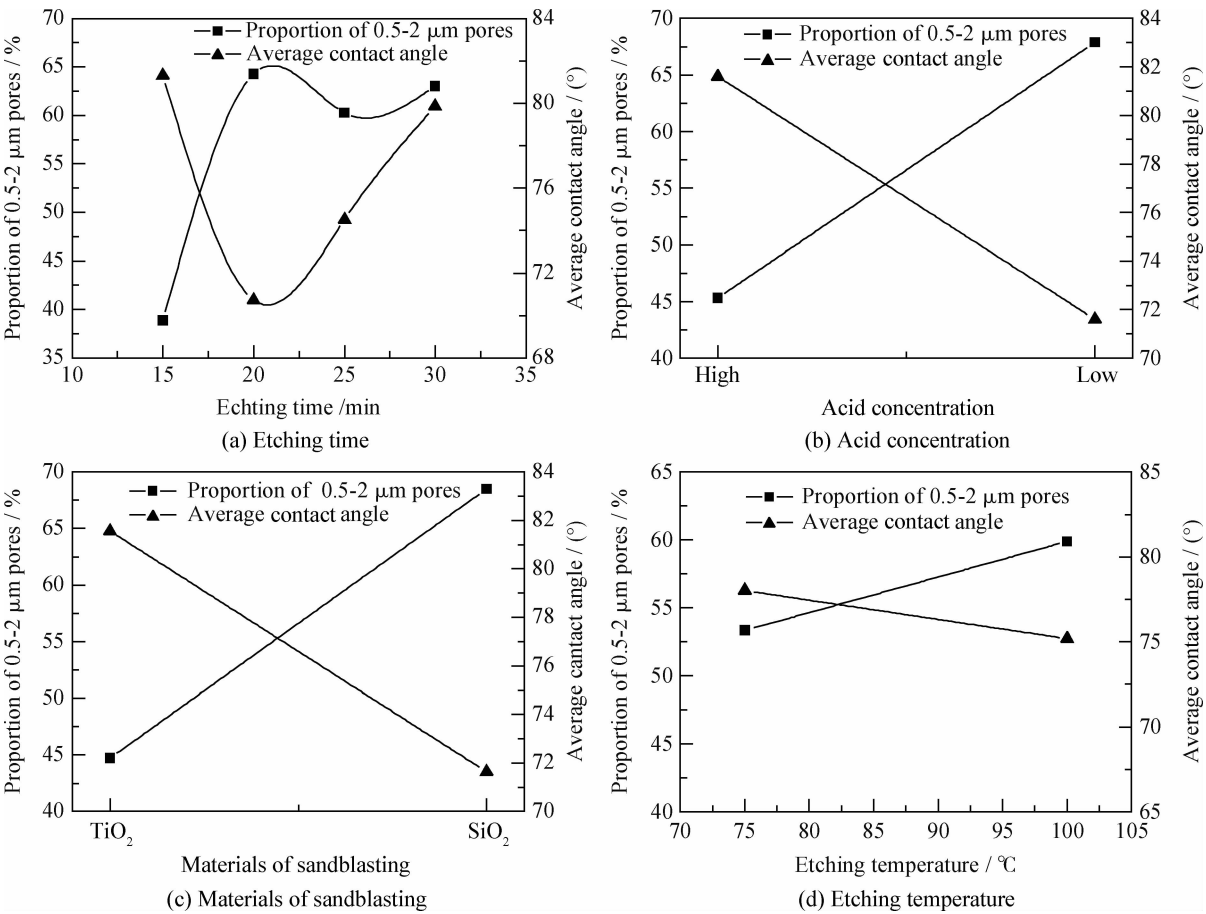


图2 各因素水平对喷砂酸蚀指标的影响
Fig. 2 Effect of different factors on SLA indexes

综合分析,喷砂酸蚀工艺应用于牙种植体表面改性的最优参数为:酸蚀时间 20 min,低浓度酸,喷砂材料 TiO₂,酸蚀温度 100 ℃。

2.2 最优参数应用于钛片试样的分析

2.2.1 钛片试样的表面形貌

图 3 是 SLA 工艺的最优参数应用于钛片试样得到的表面形貌。SEM 表明钛片试样表面出现大量 0.5~2 μm 的孔洞,形成了明显的蜂窝状多级孔洞结构,孔洞均匀性较好、结构整洁、边缘平滑,并且未出现尖锐的峰。这是因为混酸在喷砂形成的一级孔洞的基础上进一步酸蚀。由于该工艺下混酸浓度低,酸蚀比较平缓,且酸蚀时间较长,所以一级孔洞形成的尖锐峰在酸的作用下被酸蚀掉,但又不会大面积的酸蚀掉一级孔洞,所以容易出现分布均匀的二级孔洞。而且多次试验证明低浓度下其可重复性、可控性较好。因此优化的参数不但可以得到预期的多孔结构,还可以实现试验的可控性以及降低酸的使用。

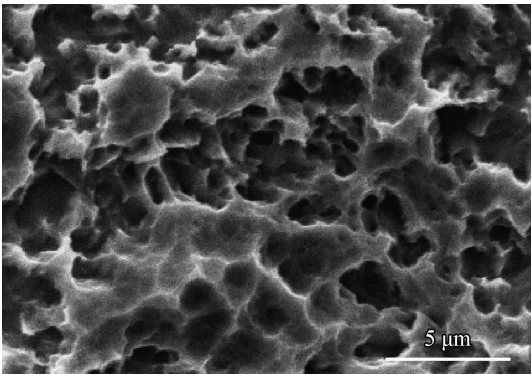


图3 优化后钛片的表面形貌
Fig. 3 Surface morphology of the titanium after optimizing

2.2.2 钛片试样的表面成分

图 4 是最优参数下钛片试样表面的 EDS。结果表明喷砂不会对钛片试样表面成分产生影响。而钛砂和硅砂处理的钛片试样表面均有 O 元素,极有可能是钛片试样取出烘干时,表层部分被氧化了。而经 SiO₂ 喷砂酸蚀处理后钛片试

样表面仍有 Si 元素残留,说明在此处理温度、浓度及时间下,钛片试样喷砂后,砂粒易残留在钛片试样表面,经超声清洗以及酸蚀过程仍无法清除砂粒残留物^[18-21]。因此采用 TiO₂ 作为喷砂材料可以保证被处理钛片试样材料的一致性。

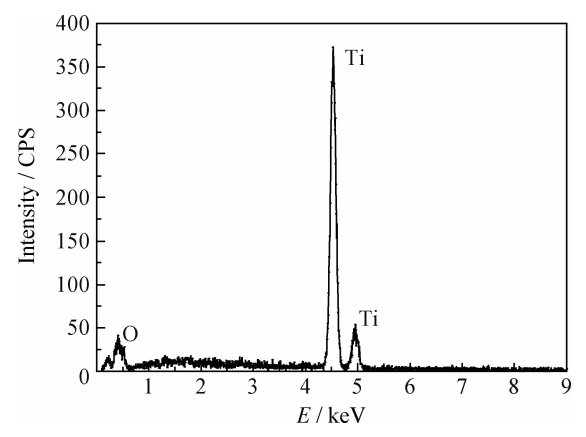


图 4 优化后钛片表面的化学成分
Fig. 4 Chemical composition of the titanium after optimizing

2.2.3 钛片试样的表面接触角以及细胞培养

图 5 是最优参数作用下,钛片试样表面 5 个不同位置的接触角。由图知优化处理后的钛片试样表面的接触角较小,平均值达 67°,为亲水性表面^[22],具有良好的润湿性,且其均匀性也较好。这是因为在该工艺下钛片试样获得的表面形貌均匀,其粗糙表面增加了液滴与固体表面的接触面积,增强了亲水性^[23-24]。

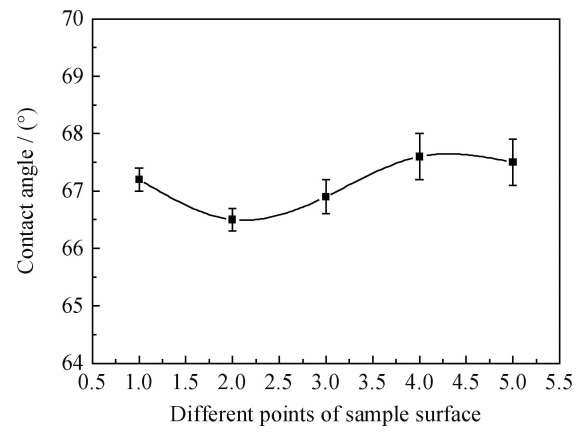


图 5 优化后钛片表面的接触角
Fig. 5 Contact angle of the titanium after optimizing

图 6 是钛片表面细胞培养后的表面形貌。结果表明:优化后的钛片试样表面粘附的细胞数量较大,分布也比较均匀,说明其亲水性和粗糙

度更易于成骨细胞的粘附生长^[3,6]。

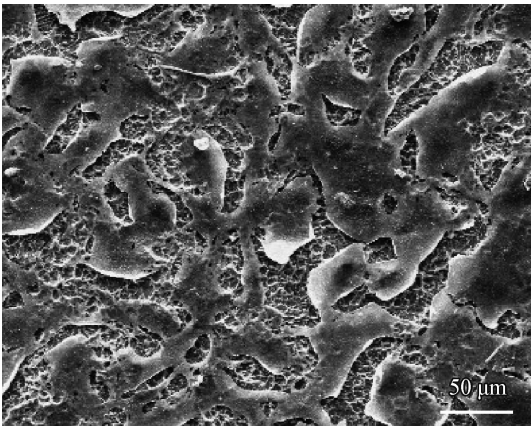


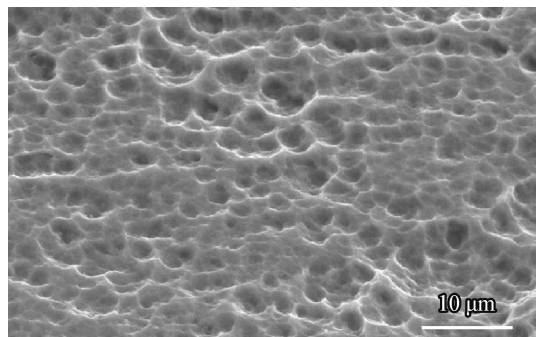
图 6 细胞培养后钛片的表面形貌
Fig. 6 Morphology of the titanium after osteoblast cultivating

2.3 最优参数应用于牙种植体试样的处理结果及分析

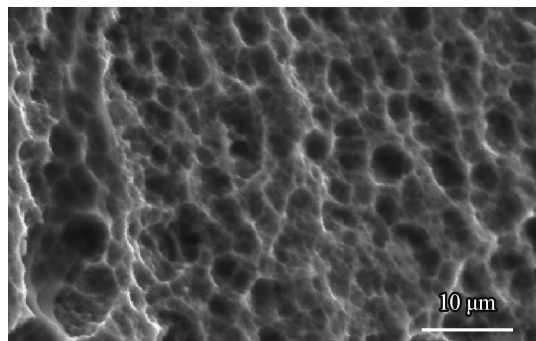
图 7 是 SLA 法工艺的最优参数应用于牙种植体试样的形貌。如图 7 所示,(a)、(b)和(c)分别对应牙种植体试样螺纹结构(图 1)的上表面、螺纹槽和下表面。结果表明:牙种植体试样螺纹上、下表面以及螺纹槽表面均形成了均匀、平整的微米级微观结构,牙种植体试样表面未出现裂缝结构,喷砂残留表面的砂粒已被清除。牙种植体试样螺纹不同部位的微观结构存在差异,其中螺纹的下表面和螺纹槽表面的微观孔洞深度比较明显,但孔洞边沿比较锋利,而上表面孔洞边沿无明显锋利的凸起。因为螺纹为直角梯形结构导致喷砂不均匀,螺纹槽表面和下表面受砂粒作用面积大,而螺纹上表面则次之,使得螺纹槽表面和下表面的一级孔洞在数量和尺寸上均大于螺纹上表面,酸蚀后则出现不同的表面形貌。

3 结 论

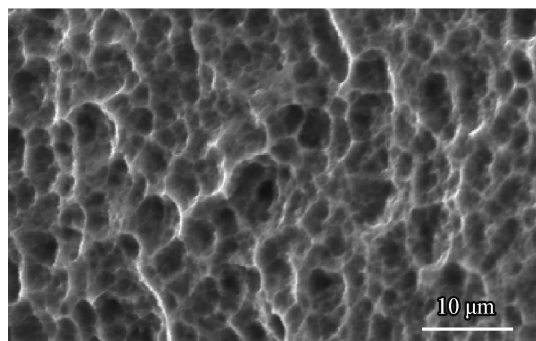
- (1) 酸蚀时间、酸的浓度以及喷砂材料对 0.5~2 μm 孔洞比例具有显著性影响,对平均接触角皆无显著性影响,而酸蚀温度不是 0.5~2 μm 孔洞比例和平均接触角的显著性因素。
- (2) 在试验范围内,得到喷砂酸蚀工艺应用于牙种植体表面改性的最优参数为:酸蚀时间 20 min,低浓度酸(即 60% H₂SO₄、10% HCl 与去离子水按体积比 1 : 1 : 2 的混酸),喷砂材料为 TiO₂,酸蚀温度为 100 ℃。



(a) Upper surface of thread



(b) Thread slot



(c) Lower surface of thread

图 7 优化后牙种植体的表面形貌

Fig. 7 Surface morphologies of the dental implant after optimizing

(3) 参数优化后, 钛片表面可获得均匀的微米级多孔结构, 其平均接触角达 67° , 均匀性较好, 利于细胞粘附生长。该工艺应用于真实钛种植体表面同样可以获得均匀、平整的微米级多孔结构, 但直角梯形螺纹结构导致喷砂的不均匀, 螺纹不同部位酸蚀形貌稍有不同。

参考文献

- [1] 刘同军, 程祥荣. 钛金属种植体表面生物化学改性 [J]. 国外医学口腔医学分册, 2006, 33(3): 210-212.
- [2] Marques M R, da Silva M A, Manzi F R, et al. Effect of intermittent PTH administration in the periodontitis-associated bone loss in ovariectomized rats [J]. Archives of Oral Biology, 2005, 50(4): 421-429.
- [3] Keller J C, Sneider G B, Stanford C M, et al. Effects of implant microtopography on osteoblast cell attachment [J]. Implant Dentistry, 2003, 12(2): 175-181.
- [4] 施育才, 严洪海. 不同粗糙表面的纯钛种植体的组织相容性评价 [J]. 中国口腔种植学, 2010, 15(2): 68-71.
- [5] Kirchhoff H, Borinski M, Lenhart S, et al. Transversal and lateral exciton energy transfer in grana thylakoids of spinach [J]. Biochemistry, 2004, 43(45): 14508-16.
- [6] Chaelton J K, Mayfield R L, Towse R W. Implant surface with increased hydrophilicity [P]. United State Patent, 2009, 0191507A1.
- [7] Cochran D L, Buser D, Christian M, et al. The use of reduced healing times on ITI implants with a sandblasted and acid-etched (SLA) surface: early results from clinical trials on ITI SLA implants [J]. Clinical Oral Implants Research, 2002, 13(2): 144-153.
- [8] Bornstein M M, Valderrama P, Jones A A, et al. Bone apposition around two different sandblasted and acid-etched titanium implant surfaces: a histomorphometric study in canine mandibles [J]. Clinical Oral Implants Research, 2008, 19(3): 233-241.
- [9] 邓飞龙. 纯钛表面喷砂酸蚀复合 MAO 处理的研究 [D]. 广州: 中山大学, 2008.
- [10] Juodzbalsys G, Sapragoniene M, Wennerberg A. New acid-etched titanium dental implant surface [J]. Stomatologija, Baltic Dental and Maxillofacial Journal, 2003(5): 101-105.
- [11] Mustafa K, Rubinstein J, Lopez B S, et al. Production of transforming growth factor β_1 and prostaglandin E_2 by osteoblast-like cells cultured on titanium surfaces blasted with TiO_2 particles [J]. Clinical Oral Implants Research, 2003, 14(1): 50-56.
- [12] Postiglione L, Di Domenico G, Ramaglia L, et al. Different titanium surfaces modulate the bone Phenotype of SaOS-2 osteoblast-like cells [J]. European Journal of Histochemistry, 2004, 48(3): 213-222.
- [13] Diniz M G, Soares G A, Coelho M J, et al. Surface topography modulates the osteogenesis in human bone marrow cell cultures grown on titanium samples prepared by a combination of mechanical and acid treatments [J]. Journal of Materials Science - Materials in Medicine, 2002, 13(4): 421-432.
- [14] 容明灯. 激光酸蚀与喷砂酸蚀的纯钛种植体表面生物效能的对比性研究 [D]. 广州: 南方医科大学, 2013.
- [15] 孙荣恒. 应用数理统计 [M]. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2003, 184-185.
- [16] 刘文卿. 试验设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005, 65-84.
- [17] Sammons R L, Lumbikanonda N, Gross M, et al. Comparison of osteoblast spreading on microstructured dental implant surfaces and cell behaviour in an explant model of osseointegration [J]. Clinical Oral Implants Research,

2005, 16(6): 657-666.

[18] Klein M O, Bijelic A, Ziebart T, et al. Submicron scale-structured hydrophilic titanium surfaces promote early osteogenic gene response for cell adhesion and cell differentiation [J]. Clinical Implant Dentistry and Related Research, 2013, 15(2): 166-175.

[19] Rupp F, Scheideler L, Olshanska N, et al. Enhancing surface free energy and hydrophilicity through chemical modification of micro-structured titanium implant surfaces [J]. Journal of Biomedical Materials Research Part A, 2006, 76A (2): 323-334.

[20] Ismail F S, Rohanizadeh R, Atwa S, et al. The influence of surface chemistry and topography on the contact guidance of MG63 osteoblast cells [J]. Journal of Materials Science-Materials in Medicine, 2007, 18(5): 705-714.

[21] 杨振晓,刘敏,邓春明,等. 热喷涂基体表面前处理技术的研究进展 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(2): 9-10.

[22] Bhushan B, Jung Y C. Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion and drag reduction [J]. Progress in Materials Science, 2011, 56(1): 1-108.

[23] Wenzel R N. Surface roughness and contact angle [J]. Journal of Physical & Colloid Chemistry, 1949, 53(9): 1466-7.

[24] Wenzel R N. Resistance of solid surfaces to wetting by water [J]. Industrial Engineering Chemistry, 1936, 28(8): 988-994.

作者地址: 辽宁省沈阳市和平区文化路 3 号巷 110819
东北大学机电馆 326
Tel: (024) 8367 6945
E-mail: 747361941@qq.com

(责任编辑:黄艳斐)

• 本刊副理事长单位介绍 •

武汉材料保护研究所

武汉材料保护研究所始建于 1953 年,原为机械工业部直属大型骨干研究所,随着我国科技体制改革的发展,转制为科技型企业,现隶属于国务院国有资产管理委员会管理的机械科学研究总院。经过 50 余年的发展,武汉材料保护研究所已成为表面处理工艺、材料、设备的研发与生产,表面覆盖层性能测试,产品质量检测,表面保护工程设计与施工的高新技术企业。

研究所占地 130 亩,其中科技成果产业化基地 80 亩。拥有一批表面工程领域的精英人才,其中研究员 40 余人,高级工程师 80 余人,享受各级政府津贴专家 15 人。具有博士、硕士学位授予权。

研究所设有电沉积、化学沉积、等离子体表面技术、涂料涂装、防锈封装、表面化学转化、化学热处理、热喷涂(焊)、激光表面改性、缓蚀技术、摩擦磨损、环境腐蚀及表面保护工程等专业,从事表面工程领域的共性技术研究、产品开发与生产、性能与质量检测及防腐蚀工程设计与施工。先后承担一大批国家、省、市重大科研项目,包括科技部“973”、“863”计划及国防军工科研项目等。建所以来,已取得科技成果 600 多项,大部分成果达到国际或国内先进水平,得到市场推广应用,并获得各级政府奖励和国家专利。研究所具有规范、高效的管理与运行机制,通过 ISO9001 质量管理体系认证。

武汉材料保护研究所成立以来,一直是表面工程行业的骨干单位,目前挂靠在研究所的中介机构和行业组织有:中国表面工程协会、国家电镀技术生产力促进中心、机械工业表面工程技术研究中心、湖北省表面工程技术研究中心、机械工业表面覆盖层产品质量监督检测中心、中国机械工程学会表面工程分会、中国机械工程学会摩擦学分会、中国腐蚀与防护学会涂料涂装及表面保护技术委员会、中国表面工程协会转化膜专业委员会、全国金属与非金属覆盖层标准化技术委员会及湖北省腐蚀与防护学会等。