

平台转换种植体肩台成骨对牙槽骨边缘应力的影响

杨凯文¹, 刘艾芃², 王晓华¹, 赵娅琴¹, 胡晓光², 邓文正²

(1. 右江民族医学院研究生学院, 广西 百色 533000;

2. 广西梧州市红十字会医院口腔科, 广西 梧州 543002)

摘要:目的 研究平台转换种植体肩台成骨宽度对种植体-牙槽骨边缘应力的影响。方法 通过 SolidWorks 软件根据上下颌骨的特点、植入深度(D)和种植体肩台成骨宽度(W)建立模型,使用 ANSYS 软件对各组进行垂直 200N 加载及 45° 100N 倾斜加载有限元分析。记录种植体肩台成骨宽度与种植体-牙槽骨边缘 Von-Mises 力的数据,并分析两者之间的关系。结果 种植体肩台成骨宽度为 0.8 mm 时种植体-牙槽骨边缘 Von-Mises 力最小。结论 平台转换种植体骨下种植时,肩台处合适的成骨量可以有效减少种植体-牙槽骨边缘的应力。

关键词:牙种植体;平台转移;种植体肩台;应力分布;有限元分析

中图分类号:R782.12

文献标识码:A

文章编号:1001-5817(2020)03-0303-05

doi:10.3969/j.issn.1001-5817.2020.03.009

Effect of shoulder osteogenesis on the stress of alveolar bone edge in platform switching implants

Yang Kaiwen¹, Liu Aipeng², Wang Xiaohua¹, Zhao Yaqin¹, Hu Xiaoguang², Deng Wenzheng²

(1. Graduate School, Youjiang Medical University for Nationalities, Baise 533000, Guangxi, China;

2. Department of Stomatology, Wuzhou Red Cross Hospital, Wuzhou 543002, Guangxi, China)

Abstract: **Objective** To study the effect of the shoulder osteogenic width of the platform conversion implant on the stress of the implant-alveolar bone edge. **Methods** The model was established by using SolidWorks software according to the characteristics of upper and lower jawbones, implant depth (D) and implant platform bone formation width (W), and the finite element analysis was conducted for each group after vertical loading of 200N and oblique loading of 45°100N by using ANSYS software. The data of osteogenic width of implant shoulder and the Von-Mises forces on implant-alveolar bone edge were recorded and the relationship between the two was analyzed. **Results** The implant-alveolar bone edge had the least Von-Mises force when the osteogenic width of the implant shoulder was 0.8 mm. **Conclusion** When the implant is transferred from the platform to the implant bone, the appropriate amount of bone formation at the shoulder can effectively reduce the stress of the implant-alveolar bone edge.

Key words: dental implants; platform switching; implant shoulder; stress distribution; finite element analysis

目前使用种植牙修复缺失牙已经发展为成熟、可预期的治疗方案^[1]。种植牙的早期成功主要依赖于种植体与牙槽骨的骨结合,而骨结合成功后种植体周围

软硬组织的长期稳定是种植牙长期成功的重要因素之一^[2]。当种植体植入颌骨内并完成骨结合行使负荷后,种植体边缘牙槽骨将发生改建,导致种植体边缘骨

基金项目:广西医学高层次骨干人才培养“139”计划培养项目资助(G201903057)

第一作者简介:杨凯文(1992-),男,在读硕士研究生,住院医师,研究方向:种植修复,E-mail:234728958@qq.com

通讯作者简介:邓文正(1974-),男,硕士,主任医师,研究方向:种植修复,E-mail:13977416853@139.com

吸收(MBL),在植入后 1 年期间吸收可以达到 1.5 mm。已有研究表明^[3]平台转换的种植体能够降低种植体周围牙槽骨的应力,减少种植体边缘骨吸收。目前对于平台转移种植体的肩台处成骨对种植体边缘骨应力影响的研究较少。本实验通过三维建模软件及有限元分析软件,对平台转移种植体肩台成骨宽度不同时种植体-牙槽骨边缘 Von-Mises 力进行统计分析。

1 资料与方法

1.1 模型的建立 使用 SolidWorks(Dassault Systemes 公司,美国)软件参照 ankylos(Dentsply Sirona 公司,美国)种植体数据建立种植体及基台模型,种植体直径 4.5 mm,长度 11 mm,基台种植体平面处直径 2 mm,穿龈高度 3 mm。全瓷牙冠及上下颌骨使用简化模型,牙冠为长宽高皆 5 mm 的正方体,牙槽骨为长宽皆 10 mm、高 15 mm 的长方体,上颌骨为松质骨的长方体,下颌骨为厚度 2 mm 皮质骨包绕松质骨。将种植体、基台、颌骨和牙冠模型进行装配(见图 1)。模型分为上下颌骨两大组(见图 2),每组颌骨模型根据植入深度(D)分为 0 mm、0.4 mm、0.8 mm、1.2 mm 共 4 组。植入深度 0.4 mm、0.8 mm、1.2 mm 的模型根据肩台处成骨宽度(W)分为 0 mm、0.4 mm、0.8 mm、1.2 mm 共 4 组(见图 3),共建立模型 26 组。



图 1 修复基台、种植体以及装配体渲染图

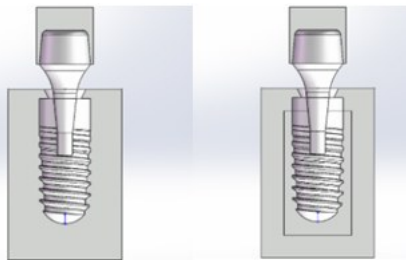


图 2 上颌骨、下颌骨建模示意图

1.2 有限元模型建立和网格划分 将种植体及颌骨模块导入 ANSYS15.0(ANSYS 公司,美国)软件进行网格划分,通过预实验得出应力集中区域,对应力集中处进行局部加密处理(见图 4),以获得更精准的结果。各模型节点及网格数量参照见表 1。

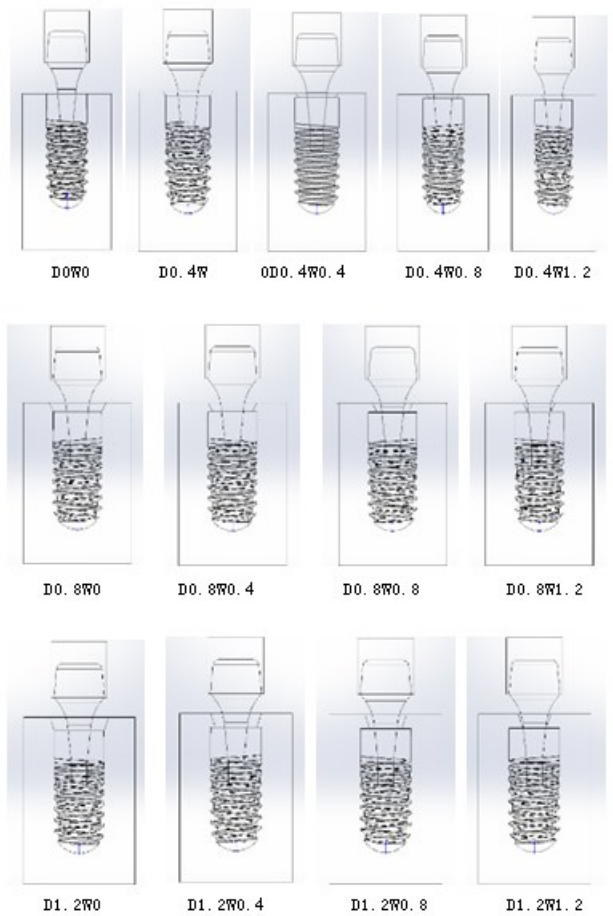


图 3 不同种植深度及肩台成骨宽度建模示意图

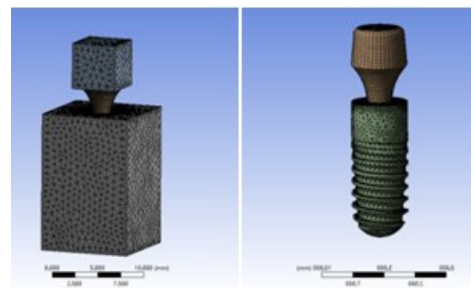


图 4 有限元模型网格划分示意图

表 1 各模型单元数及节点数

上颌骨模型	节点数	单元数	下颌骨模型	节点数	单元数
D0W0	199403	95010	D0W0	291601	147718
D0.4W0	199636	94899	D0.4W0	221308	106059
D0.8W0	206191	98143	D0.8W0	238940	116250
D1.2W0	211119	99404	D1.2W0	253691	123227
D0.4W0.4	203426	97659	D0.4W0.4	218877	105076
D0.8W0.4	208689	100027	D0.8W0.4	232844	113026
D1.2W0.4	216312	103014	D1.2W0.4	245441	118677
D0.4W0.8	204620	98548	D0.4W0.8	220012	105899
D0.8W0.8	209200	100418	D0.8W0.8	232116	112730
D1.2W0.8	216864	103419	D1.2W0.8	244247	118187
D0.4W1.2	204732	98562	D0.4W1.2	219613	105729
D0.8W1.2	209154	100329	D0.8W1.2	230749	111981
D1.2W1.2	217707	103976	D1.2W1.2	241834	116825

1.3 实验条件假设 本研究拟采用的各种材料的力学参数见表 2。假设各材料为连续均值各向同性的线弹性材料^[4],种植体与松质骨、皮质骨形成完全骨结合,各材料间定义绑定,在颌骨的颊舌面及底面行刚性约束。中国人平均咀嚼力大小为 30~300 N^[5],为模拟日常咀嚼食物时牙齿最常受到的轴向力与侧向力,本次实验采用两种方式进行加载:①垂直加载:牙冠颌面予以垂直向下的 200 N 力;②斜向加载:与种植体轴线成 45°角,由颊侧指向舌侧加载 100 N 的力,见图 5。

表 2 各种材料力学参数

材料	弹性模量	泊松比
纯钛	110000	0.35
皮质骨	13700	0.30
松质骨	1370	0.30
全瓷冠	70000	0.19

1.4 有限元计算 使用 ANSYS 15.0 软件对以上 26 组模型进行两种加载后不同部位 Von-Mises 力的运算,记录并统计种植体肩台成骨宽度不同时的种植体-牙槽骨边缘 Von-Mises 力。

2 结果

各组 Von-Mises 力详细数据见表 3。倾斜加载时

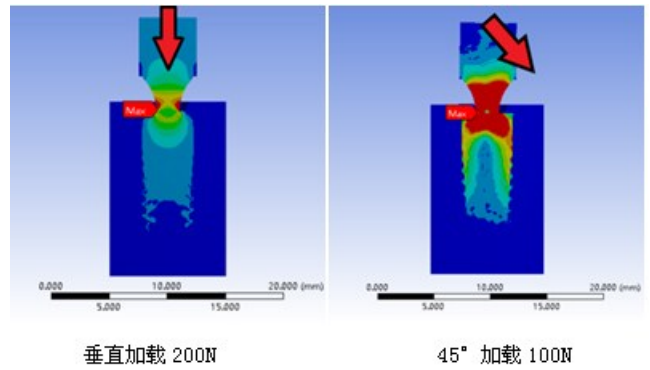


图 5 两种加载方式示意图

种植体、牙槽骨、基台最大应力值均大于垂直加载,下颌骨模型的牙槽骨最大应力值大于上颌骨模型,这是由于皮质骨弹性模量大于松质骨,产生应力遮挡所引起。倾斜加载时,骨平面种植体牙槽骨边缘应力小于骨下种植体。骨下种植体牙槽骨边缘应力值大都随成骨宽度的增加而降低,在成骨宽度为 0.8 mm 时发现最小值,但成骨宽度 > 0.8 mm 时出现应力升高。通过观察下颌骨 D0.8W0.8 和 D0.8W1.2 的应力云图,见图 6,推测应力数值加大是由于种植体基台交接处为应力集中区域,当肩台处皮质骨宽度达到 1.2 mm 时,种植体-牙槽骨边缘过于靠近种植体基台交界应力集中区所引起。

表 3 各组 Von-Mises 力数据

单位: Mpa

组别	上颌骨垂直加载 200 N		上颌骨 45°加载 100 N		下颌骨垂直加载 200 N			下颌骨 45°加载 100 N		
	松质骨	种植体-牙槽骨交界	松质骨	种植体-牙槽骨交界	松质骨	皮质骨	种植体-牙槽骨交界	松质骨	皮质骨	种植体-牙槽骨交界
D0W0	7.017	6.603	21.613	19.975	2.541	17.626	16.673	3.186	32.992	32.992
D0.4W0	9.033	8.844	34.024	34.024	2.503	23.139	23.139	3.482	58.867	58.867
D0.8W0	8.624	6.143	33.045	31.610	2.666	22.236	13.006	3.702	59.200	54.609
D1.2W0	9.174	5.421	34.566	30.310	2.927	28.045	20.203	3.978	74.612	58.357
D0.4W0.4	6.442	1.222	22.777	4.249	2.377	12.633	6.439	3.256	29.478	15.214
D0.8W0.4	6.023	1.779	23.457	8.354	2.689	13.269	6.112	3.756	32.694	21.597
D1.2W0.4	5.613	1.280	23.758	9.438	2.907	15.162	3.567	3.788	36.153	21.852
D0.4W0.8	5.968	0.549	20.573	1.688	2.410	12.552	4.500	3.196	26.391	8.331
D0.8W0.8	5.753	1.283	21.703	4.881	2.662	12.754	5.281	3.521	28.198	12.631
D1.2W0.8	5.617	0.973	21.077	5.771	2.876	14.552	2.391	3.586	30.748	16.357
D0.4W1.2	5.927	0.705	20.528	5.270	2.405	11.431	8.932	3.185	52.873	52.873
D0.8W1.2	5.753	0.820	21.565	6.156	2.643	12.560	7.034	3.459	61.638	61.638
D1.2W1.2	8.047	0.783	21.323	5.666	2.848	14.187	8.623	3.492	74.465	74.465

倾斜加载时种植体、牙槽骨、基台最大应力值均大于垂直加载,下颌骨模型的牙槽骨最大应力值大于上颌骨模型,这是由于皮质骨弹性模量大于松质骨,产生应力遮挡所引起。将种植体-牙槽骨边缘 Von-Mises 力数值导入 SPSS 中,形成多线图进行分析,见图 6,发现倾斜加载时,骨平面种植体牙槽骨边缘应力小于骨下种植体。骨下种植体牙槽骨边缘应力值大都随成骨

宽度的增加而降低,在成骨宽度为 0.8 mm 时发现最小值,但成骨宽度大于 0.8 mm 时出现应力升高。通过观察下颌骨 D0.8W0.8 和 D0.8W1.2 的应力云图,见图 7,推测应力数值加大是由于种植体基台交接处为应力集中区域,当肩台处皮质骨宽度达到 1.2 mm 时,种植体-牙槽骨边缘过于靠近种植体基台交界应力集中区所引起。

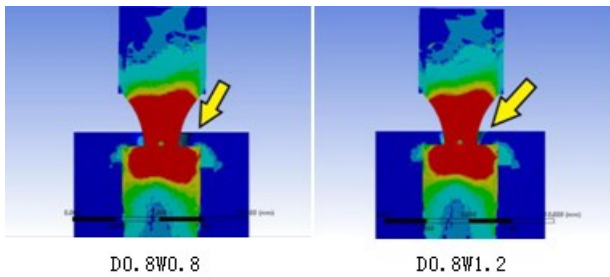


图 6 下颌骨 D0.8W0.8 组和 D0.8W1.2 组应力云图

3 讨论

影响种植体颈部骨组织长期稳定的因素有很多,种植体边缘骨吸收会导致种植体失败^[6]。种植体厂家尝试通过改变种植体设计以及种植体表面处理,以减少种植的边缘骨吸收^[7]。Lazzara RJ 等^[8]于 2006 年报道了一种保留种植体颈部边缘骨的办法,称之为“平台转移”,并将其定义为使用较种植体直径更小的基台,使种植体与基台的交界面位于种植体平台的内侧,这导致种植体与基台的交界处向种植体中轴迁移。这样使得种植体周围的骨组织应力降低,有利于种植体周围软硬组织的健康^[9-10]。尽管平台转移这个概念已经提出十多年,但是对其中的机制仍有争议^[11]。有学者认为生物学宽度的改变是平台转移种植体边缘骨吸收减少的原因,平台转移的种植体不仅存在垂直向的生物学宽度,还存在水平向的生物宽度^[12-13]。也有学者认为种植体与基台之间微间隙的微动及细菌引起种植体边缘骨吸收^[14-15],由于平台转移,使得种植体的微间隙向种植体轴心转移,使得微间隙的微动和细菌远离种植体颈部牙槽骨,对其造成的影响降低。还有一部分学者认为影响平台转移种植体骨吸收减少的原因是种植体周围应力得以分散^[16],当使用平台转移的种植体负载时,更多的应力集中在种植体、基台颈部以及固位螺丝上,虽然这样会增大机械并发症,但是可以有效分散种植体颈部骨组织应力,减少种植体颈部骨组织的吸收^[17]。因此当下主流观点认为平台转移的种植体错配值越大效果越好,即种植体肩台越宽越好。

目前已有学者^[18]研究平台转移种植体入深度和种植体肩台宽度对应力分布的影响,但未见肩台成骨对应力分布影响的研究。本研究通过对比种植体肩台成骨宽度不同情况下的种植体-牙槽骨边缘 Von-Mises 力,可以得出以下结论:同等植入深度及成骨宽度条件下,下颌骨组 Von-Mises 力大于上颌骨组,这是由于皮质骨弹性模量大于松质骨,产生应力遮挡所引起。倾斜加载时,牙槽骨所受 Von-Mises 力均大于垂直加载,说明侧向力比轴向力容易产生应力集中。因此设计植入位置及最终修复体时,应减少种植体所受侧向力,减少牙槽骨所受应力。垂直加载时,种植体肩台成骨组

的边缘牙槽骨 Von-Mises 力小于肩台未成骨,上颌骨在 D0.4W0.8 组发现最小 Von-Mises 力 0.549 Mpa。下颌骨在 D1.2W0.8 组发现最小 Von-Mises 力 2.391 Mpa,表明当种植体受到垂直加载时,肩台成骨可以有效减少种植体边缘骨应力,但并非成骨越宽边缘骨所受应力越小,而是在成骨宽度为 0.8 mm 时获得了最佳的生物力学效果。倾斜加载时,除了下颌骨肩台成骨宽度 1.2 mm 组边缘牙槽骨所受应力值大于肩台未成骨组以外,其余种植体肩台成骨组的边缘牙槽骨 Von-Mises 力亦明显小于肩台未成骨,上颌骨在 D0.4W0.8 组发现最小 Von-Mises 力 1.688 Mpa。下颌骨在 D0.4W0.8 组发现最小 Von-Mises 力 8.331 Mpa,最小应力值亦在成骨宽度为 0.8 mm 时出现。通过本次实验可知,上下颌骨无论是垂直加载或是倾斜加载,牙槽骨边缘最小 Von-Mises 力均出现在肩台成骨宽 0.8 mm 组中,说明种植体肩台成骨宽度并非越宽越好,通过观察应力云图,推测此现象是由于种植体肩台的内径与外径均为应力集中区域,骨边缘过于靠近两侧中的任一侧均导致应力集中,并增大边缘骨吸收的风险。

种植体的光滑表面成骨性能差,而经过粗糙化的种植体表面与骨组织结合面积和强度大大增加^[19-20],但当种植体粗糙表面无骨结合时,将比光滑表面的种植体容易堆积菌斑,因此建议发生骨结合种植体表面设计为粗糙面,非骨结合的种植体表面设计为光滑面。通过本次实验可知,若选择光滑肩台种植体时,平滑面种植可获得良好的应力分布,减少边缘骨吸收。若选择肩台粗糙化种植体则建议骨下种植,因为当种植体植入骨下时,种植体肩台位于有利骨缺损区域,肩台处粗糙面可与新生牙槽骨进行骨结合,使其肩台处成骨,有助于应力分散,减少菌斑堆积。由于种植体肩台成骨过于靠近种植体与基台交界处时将导致种植体-牙槽骨边缘应力再次加大,骨下种植的平台转移种植体设计成肩台外周粗糙,内圈光滑更为合理,见图 7。

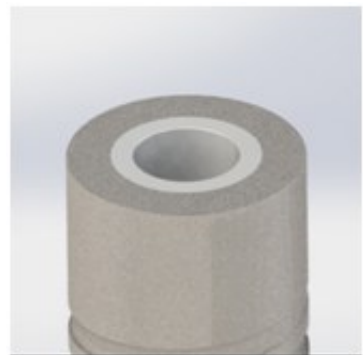


图 7 外周粗糙、内圈光滑的种植体平台

本实验为基础实验,实验为理想条件下完成,仅为临床提供指导,实际情况仍需结合临床实验,以获得更精确的结果。

参考文献:

- [1] Glibert M, Vervaeke S, De Bruyn H, et al. Clinical and Radiographic Comparison between Platform-Shifted and Nonplatform-Shifted Implant: A One-Year Prospective Study[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2016, 18(1): 129-137.
- [2] Papaspyridakos P, Chen CJ, Singh M, et al. Success criteria in implant dentistry: a systematic review[J]. *J Dent Res*, 2012, 91(3): 242-248.
- [3] Del Fabbro M, Bianchessi C, Del Lupo R, et al. Platform switching vs standard implants in partially edentulous patients using the Dental Tech Implant System: clinical and radiological results from a prospective multicenter study [J]. *Clin Oral Investig*, 2015, 19(9): 2233-2244. DOI: 10.1007/s00784-015-1462-z.
- [4] Sadrimanesh R, Siadat H, Sadr-Eshkevari P, et al. Alveolar bone stress around implants with different abutment angulation: an FE-analysis of anterior maxilla[J]. *Implant Dent*, 2012, 21(3): 196-201.
- [5] 李希光, 邹克谦, 高岭, 等. 基于三维有限元评价种植体不同倾斜角度在上颌后牙区骨量不足的应力分析[J]. *口腔医学研究*, 2019, 35(7): 671-675.
- [6] Baqain ZH, Moqbel WY, Sawair FA. Early dental implant failure: risk factors[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2012, 50(3): 239-243.
- [7] Stein AE, McGlimphy EA, Johnston WM, et al. Effects of implant design and surface roughness on crestal bone and soft tissue levels in the esthetic zone[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2009, 24(5): 910-919.
- [8] Lazzara RJ, Porter SS. Platform switching: a new concept in implant dentistry for controlling postrestorative crestal bone levels[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2006, 26(1): 9-17.
- [9] Liu S, Tang C, Yu J, et al. The effect of platform switching on stress distribution in implants and periimplant bone studied by nonlinear finite element analysis[J]. *J Prosthet Dent*, 2014, 112(5): 1111-1118.
- [10] Schrottenboer J, Tsao YP, Kinariwala V, et al. Effect of platform switching on implant crest bone stress: a finite element analysis [J]. *Implant Dent*, 2009, 18(3): 260-269.
- [11] Aslam A, Ahmed B. Platform-Switching to Preserve Peri-Implant Bone: A Meta-Analysis[J]. *J Coll Physicians Surg Pak*, 2016, 26(4): 315-319.
- [12] Starch-Jensen T, Christensen AE, Lorenzen H. Scalloped Implant-Abutment Connection Compared to Conventional Flat Implant-Abutment Connection: a Systematic Review and Meta-Analysis [J]. *J Oral Maxillofac Res*, 2017, 8(1): e2.
- [13] Kim YT, Lim GH, Lee JH, et al. Marginal bone level changes in association with different vertical implant positions: a 3-year retrospective study [J]. *J Periodontal Implant Sci*, 2017, 47(4): 231-239.
- [14] Calcaterra R, Di Girolamo M, Mirisola C, et al. Effects of Repeated Screw Tightening on Implant Abutment Interfaces in Terms of Bacterial and Yeast Leakage in Vitro: One-Time Abutment Versus the Multiscrewing Technique [J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2016, 36(2): 275-280.
- [15] Caram SJ, Huynh-Ba G, Schoolfield JD, et al. Biologic width around different implant-abutment interface configurations. A radiographic evaluation of the effect of horizontal offset and concave abutment profile in the canine mandible [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2014, 29(5): 1114-1122.
- [16] Cochran DL, Mau LP, Higginbottom FL, et al. Soft and hard tissue histologic dimensions around dental implants in the canine restored with smaller-diameter abutments: a paradigm shift in peri-implant biology [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2013, 28(2): 494-502.
- [17] Elemek E, Urgancioglu A, Dincer J, et al. Does Implant-Abutment Interface affect Marginal Bone Levels around Implants [J]. *Eur J Dent*, 2019, 13(1): 47-52.
- [18] 张强, 李英. II类骨质中平台转换种植体植入深度对周围骨应力影响的有限元分析[J]. *国际口腔医学杂志*, 2014, 41(1): 31-35.
- [19] Liddell RS, Liu ZM, Mendes VC, et al. Relative contributions of implant hydrophilicity and nanotopography to implant anchorage in bone at Early Time Points [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2020, 31(1): 49-63.
- [20] 周琳. 种植体表面粗糙度与种植体-骨界面的研究进展 [J]. *右江民族医学院学报*, 2010, 32(6): 938-940.

收稿日期: 2019-12-02; 修回日期: 2020-04-30