

• 技术与方法 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2015.09.027

# 基于三维打印技术制作可摘局部义齿支架树脂熔模的适合性研究\*

牛 茂<sup>1,2</sup>, 许在俊<sup>1</sup>, 李 月<sup>1△</sup>

(1. 深圳职业技术学院医护学院, 广东深圳 518055; 2. 南方医科大学, 广州 510515)

**[摘要]** **目的** 应用光学扫描三维测量法评价基于 3DP 技术制作的 可摘局部义齿支架树脂熔模的适合性。**方法** 以标准牙列缺损模型为原始模型, 应用 3DP 技术完成可摘局部义齿支架树脂熔模的制作。将上述支架树脂熔模戴入原始模型, 采用“复模法”得到复制有支架树脂熔模组织面的石膏模型。应用光学扫描三维测量法对基于 3DP 技术制作的 RPD 支架树脂熔模的适合性进行评价。**结果** 支架树脂熔模组织面与原始模型组织面间的偏差情况如下: 腭杆和骀支托部位偏差小于 0.100 mm; 网状连接体部位即模型的缺牙区, 偏差接近 0.500 mm; 部分卡环部位存在一定程度的收缩变形, 偏差大多数介于 -0.100 ~ -0.200 mm, 最大偏差值为 -0.390 mm, 平均偏差为 -0.168 mm, 此外, 其在 X 轴(近远中向)、Y 轴(颊舌向)和 Z 轴(骀龈向)的平均绝对偏差值分别为 0.058 mm、0.125 mm 和 0.030 mm。**结论** 基于 3DP 技术制作的 可摘局部义齿支架树脂熔模在骀支托和连接体部位适合性良好, 在卡环部位的制作精度有待进一步提高。

**[关键词]** 可摘局部义齿支架; 适合性; 树脂熔模; 三维打印技术

**[中图分类号]** R783.2

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-8348(2015)09-1235-04

## The fitness of resin investment casting of removable partial denture framework by three-dimensional printing technology\*

Niu Mao<sup>1,2</sup>, Xu Zaijun<sup>1</sup>, Li Yue<sup>1△</sup>

(1. Medical Technic & Nursing School, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055 China;

2. Southern Medical University, Guangzhou 510515, China)

**[Abstract]** **Objective** To evaluate the fitness of resin investment casting of removable partial denture(RPD) framework by Three-Dimensional Printing(3DP)technology. **Methods** The resin investment casting of RPD framework was designed and fabricated by 3DP technology. The resin investment casting was fixed on the surface of original plaster cast of dentition defect. Using duplicate cast method, another plaster cast duplicated the tissue surface of the resin investment casting of RPD framework was made. The data for original plaster cast and duplicated plaster cast was collected by the optical scanning, respectively. Then the data was automatically compared by Geomagic Qualify 12.0. **Results** The deviations of Palatal bar and occlusal rest were less than 0.100 mm, whereas the deviation of mesh connector was approximately 0.500 mm. Part of crasps showed deformation by shrinkage, the deviations were between -0.100 mm and -0.200 mm (maximum deviation, -0.390 mm; average deviation, -0.168 mm). Furthermore, the average absolute deviations of X-axis (Mesio-distally), Y-axis (Buccolingual), Z-axis (occlus-gum) were 0.058 mm, 0.125 mm and 0.030 mm, respectively. **Conclusion** The Resin Investment Casting of RPD Framework by 3DP technology meet clinical requirement, though the accuracy of crasp needs to be improved.

**[Key words]** removable partial denture framework; fitness; resin investment casting; three-dimensional printing technology

可摘局部义齿(removable partial denture, RPD)用于修复患者的牙列缺损<sup>[1]</sup>, 主要由铸造金属支架、塑料基托和人工牙等构成。其中, 金属支架熔模的制作仍沿用传统的人工制作工艺, 制作工序较繁琐、制作时间较长, 并且对口腔技师的技能要求也较高。快速成型技术(rapid prototyping, RP)是基于离散/堆积原理逐层累加进行成型的高新技术<sup>[2-3]</sup>, 又称为材料添加制造法(material additive manufacturing, MAM), 集 CAD/CAM 技术、激光加工技术、数控技术和新材料等技术领域的最新成果于一体。应用 RP 技术制作 RPD 支架熔模, 可简化制作工序、缩短制作时间<sup>[4-5]</sup>。三维打印(three-dimensional printing, 3DP)技术作为一种新的 RP 技术, 较传统 RP 技术成型件表面质量更好、设备后期维护更简单<sup>[6-8]</sup>。

RPD 金属支架的制作是否准确很大程度上取决于其熔模制作的精度, 其中, 适合性是一个评价的重要指标。由于 RPD 支架熔模的结构复杂, 就位后与口腔组织间在三维空间上都存在间隙, 因此, 对其适合性的评价是一个难题。本文应用“复模法”和光学扫描三维测量法对基于 3DP 技术制作的 RPD 支架

树脂熔模的适合性进行评价, 初步评估了 3DP 技术在 RPD 支架熔模制作方面的前景。

### 1 材料与方法

**1.1 材料与设备** 上颌标准牙列缺损石膏模型 1 个(肯氏 IV 类, 由学院实训室提供)、超硬石膏粉(美国 Whip Mix 公司)、复模用硅橡胶(意大利 Zhermack 公司)、基托蜡(上海医疗器械股份有限公司齿科材料厂)、光学扫描仪(深圳爱尔创科技有限公司)、Geomagic Qualify 12.0 软件(美国 Geomagic 公司)、3DP 快速成型设备(美国 3D SYSTEM 公司)。

### 1.2 实验方法

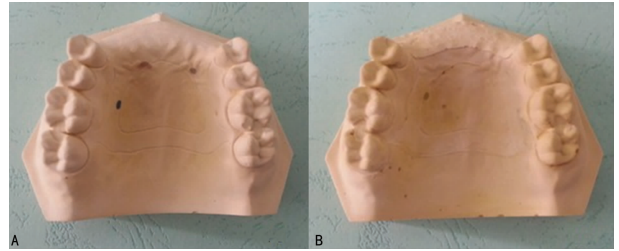
**1.2.1 基于 3DP 技术 RPD 支架树脂熔模的设计与制作** 应用光学扫描仪对上颌标准牙列缺损石膏模型进行扫描, 获得其数字化模型, 在此基础上应用设计软件设计 RPD 支架的 CAD 模型, 并存储为 STL 格式数据。将该数据导入快速成型设备进行离散分层, 3DP 快速成型设备根据 RPD 支架的形态自动优化加工参数, 进行树脂熔模的成型。成型完成后, 手工去除支撑材料, 最终完成 RPD 支架树脂熔模的制作。

\* 基金项目: 2012 年深圳职业技术学院青年创新基金资助项目(2212k3110011)。 作者简介: 牛茂(1982-), 讲师, 在读博士, 主要从事先进制造技术在口腔医学中的应用研究。 △ 通讯作者, Tel: 13714605775; E-mail: liyue2001@szpt.edu.cn。

**1.2.2 “复模法”制作含有 RPD 支架树脂熔模组织面形态的石膏模型** 将制作完成的树脂熔模就位于上颌标准牙列缺损石膏模型(模型 A,图 1A),并将支架边缘进行封蜡密封处理。然后将其放入复模盒中,边振荡边灌入真空调拌完成的硅橡胶材料,待硅橡胶完全凝固后,取出原始石膏模型,得到树脂熔模嵌入石膏模型后的印模。将树脂熔模从石膏模型上取下,复位于所取印模中,为了防止其移位,可用少量强力胶对其进行位置固定。真空调拌超硬石膏,在振荡的同时缓慢将其灌入印模中,待石膏完全凝固后取出,得到复制有 RPD 支架树脂熔模组织面的石膏模型(模型 B,图 1B)。

**1.2.3 RPD 支架树脂熔模的适合性评价** 应用扫描仪分别对模型 A 与模型 B 进行扫描,扫描在同一工作台上完成,参数:相机分辨率 130 万像素,扫描范围 100 mm×100 mm×75 mm,采样点距 0.3 mm。扫描完成后分别得到两者的 STL 格式数据。将两组数据导入 Geomagic Qualify 12.0 软件,将模型 A 的数据作为参考方,将模型 B 的数据作为测试方。采用软件的最佳拟合对齐将两者在同一坐标位置下重合,将误差的最大与最小临界值分别定义为+0.500 mm 和-0.500 mm,最

大与最小名义值分别定义为+0.100 mm 和-0.100 mm,最后进行 3D 比较分析。

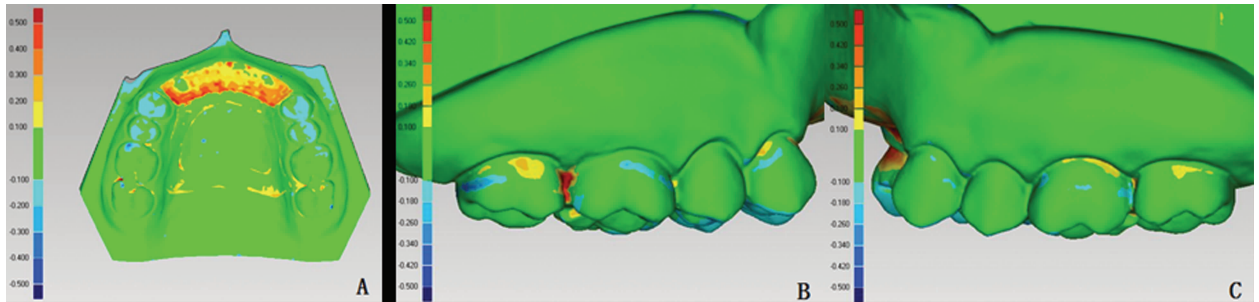


A:原始上颌标准牙列缺损模型;B:复制有 RPD 支架树脂熔模组织面的石膏模型。

图 1 “复模法”复制 RPD 支架树脂熔模组织面形态

**2 结 果**

应用 Geomagic Qualify 12.0 软件,对上述 2 个模型数据进行比对,通过统计 RPD 支架树脂熔模组织面与石膏模型组织面间的偏差情况,最终形成 3D 比较图(图 2)。其中,产生偏差的部分用不同的颜色带来表示,具体说明见表 1。



A:上面观;B:右侧面观;C:左侧面观。

图 2 RPD 支架树脂熔模组织面与石膏模型组织面 3D 比较图

表 1 3D 比较图颜色带说明

| 色带名称  | 意义                    | 偏差范围(mm)       |
|-------|-----------------------|----------------|
| 深红色   | 模型 B 表面高于模型 A 的部分(间隙) | >0.500         |
| 红色到绿色 |                       | >0.100, ≤0.500 |
| 绿色    | 模型 B 表面与模型 A 近似的部分    | ≤0.100         |
| 绿色到蓝色 | 模型 B 表面低于模型 A 的部分(凹陷) | >0.100, ≤0.500 |
| 深蓝色   |                       | >0.500         |

从 3D 比较结果图中可知,在连接体部位,腭杆的绝大部分区域为绿色,说明两者的偏差小于 0.100 mm,而网状连接体部位即模型的缺牙区,主要为红色区域,说明间隙大小接近 0.500 mm,在骀支托部位,同样以绿色为主,两者偏差小于 0.100 mm。

在卡环部位,卡环臂与基牙接触牙面中有 9 个牙面存在蓝色区域,说明部分卡环臂发生了一定程度的回弹变形。应用 Geomagic Qualify 12.0 软件的注释功能,在这 9 个蓝色区域分别随机取样 5 个点,共 45 个点,用于分析卡环臂的偏差情况,取样半径为 0.100 mm,具体数据见表 2。通过统计得出,卡环部位的偏差大多数介于-0.100 mm~-0.200 mm,平均偏差为-0.168 mm,偏差较大处位于右上第 2 磨牙颊、舌侧卡环臂尖处,测得的最大偏差值为-0.390 mm。此外,卡环在 X 轴(近远中向)、Y 轴(颊舌向)和 Z 轴(骀龈向)的平均绝对偏差值

分别为 0.058 mm、0.125 mm 和 0.030 mm。

表 2 RPD 支架树脂熔模卡环部位偏差情况

| 牙位   | 牙面 | 序号     | 偏差 D (mm) | 各轴向绝对偏差值(mm) |          |          |
|------|----|--------|-----------|--------------|----------|----------|
|      |    |        |           | Dx (近远中向)    | Dy (颊舌向) | Dz (骀龈向) |
| 右上 4 | 颊面 | 1      | -0.159    | 0.034        | 0.148    | 0.048    |
|      |    | 2      | -0.139    | 0.003        | 0.135    | 0.034    |
|      |    | 3      | -0.142    | 0.014        | 0.138    | 0.031    |
|      |    | 4      | -0.122    | 0.048        | 0.111    | 0.014    |
|      |    | 5      | -0.115    | 0.048        | 0.102    | 0.022    |
| 右上 6 | 颊面 | 1      | -0.166    | 0.150        | 0.058    | 0.039    |
|      |    | 2      | -0.139    | 0.114        | 0.071    | 0.033    |
|      |    | 3      | -0.321    | 0.058        | 0.115    | 0.028    |
|      |    | 4      | -0.143    | 0.030        | 0.138    | 0.016    |
|      |    | 5      | -0.193    | 0.032        | 0.190    | 0.002    |
| 舌面   | 1  | -0.129 | 0.055     | 0.107        | 0.046    |          |

续表 2 RPD 支架树脂熔模卡环部位偏差情况

| 牙位   | 牙面 | 序号  | 偏差 D<br>(mm) | 各轴向绝对偏差值(mm) |       |       |
|------|----|-----|--------------|--------------|-------|-------|
|      |    |     |              | Dx           | Dy    | Dz    |
|      |    |     |              | (近远中向)       | (颊舌向) | (殆龈向) |
| 右上 7 | 颊面 | 2   | -0.130       | 0.020        | 0.116 | 0.055 |
|      |    | 3   | -0.124       | 0.047        | 0.105 | 0.047 |
|      |    | 4   | -0.124       | 0.017        | 0.109 | 0.058 |
|      |    | 5   | -0.135       | 0.001        | 0.129 | 0.037 |
|      |    | 1   | -0.188       | 0.047        | 0.182 | 0.006 |
|      | 舌面 | 2   | -0.275       | 0.197        | 0.191 | 0.010 |
|      |    | 3   | -0.290       | 0.250        | 0.145 | 0.020 |
|      |    | 4   | -0.390       | 0.360        | 0.146 | 0.032 |
|      |    | 5   | -0.358       | 0.388        | 0.111 | 0.041 |
|      |    | 1   | -0.135       | 0.014        | 0.126 | 0.046 |
| 左上 6 | 颊面 | 2   | -0.145       | 0.093        | 0.098 | 0.052 |
|      |    | 3   | -0.201       | 0.187        | 0.062 | 0.039 |
|      |    | 4   | -0.304       | 0.302        | 0.017 | 0.024 |
|      |    | 5   | -0.286       | 0.282        | 0.046 | 0.003 |
|      |    | 1   | -0.129       | 0.095        | 0.085 | 0.021 |
|      | 舌面 | 2   | -0.112       | 0.068        | 0.089 | 0.003 |
|      |    | 3   | -0.101       | 0.056        | 0.084 | 0.005 |
|      |    | 4   | -0.121       | 0.011        | 0.119 | 0.019 |
|      |    | 5   | -0.131       | 0.005        | 0.126 | 0.035 |
|      |    | 1   | -0.131       | 0.025        | 0.126 | 0.025 |
| 左上 4 | 颊面 | 2   | -0.113       | 0.037        | 0.105 | 0.019 |
|      |    | 3   | -0.121       | 0.065        | 0.102 | 0.002 |
|      |    | 4   | -0.145       | 0.088        | 0.116 | 0.001 |
|      |    | 5   | -0.160       | 0.086        | 0.135 | 0.007 |
|      |    | 1   | -0.161       | 0.137        | 0.043 | 0.071 |
|      | 舌面 | 2   | -0.149       | 0.141        | 0.035 | 0.033 |
|      |    | 3   | -0.112       | 0.092        | 0.060 | 0.024 |
|      |    | 4   | -0.121       | 0.084        | 0.086 | 0.017 |
|      |    | 5   | -0.112       | 0.049        | 0.100 | 0.005 |
|      |    | 平均值 |              | -0.168       | 0.058 | 0.125 |

3 讨 论

3.1 光学扫描三维测量法在可摘局部义齿支架适合性评价中的应用 可摘局部义齿支架适合性的传统评价方法是将支架就位石膏模型后,将支架与模型在同一部位横向切开,在显微镜下对两者间的间隙进行测量<sup>[9]</sup>。这种方法对支架具有破坏性,切开过程中可能造成支架的变形影响测量准确性,且只能对局部进行评价,以偏概全。

光学扫描三维测量法目前已有学者用于固定义齿、全口义齿基托、种植义齿、牙列模型等的适合性及加工的精度评价中<sup>[10-13]</sup>,而在 RPD 支架适合性评价方面国内外鲜有文献报道。具体过程:通过应用光学扫描仪分别获取 RPD 支架与石膏模型组织面三维数据,在逆向校核软件中将二者在同一坐标系下

对齐,测量支架组织面每一点到模型组织面相应点的距离,进而实现对 RPD 支架适合性的自动化评价,具有快速、客观、全面、准确、可重复等优点。该方法的技术难点在于支架组织面与相应模型组织面的对齐过程。赵鹏<sup>[14]</sup>通过在模型和支架上建立空间位置重合的两两对应的 3 个标记点(共 6 个点),并应用三坐标测量机测量 6 个标记点的三维坐标值,最终通过坐标转化,实现了支架组织面与相应模型组织面的对齐。该方法操作繁琐,且增大了产生误差的可能。

本实验采用“复模法”,将支架熔模组织面形态复制到石膏模型表面,复制模型与原始模型轮廓外形基本一致。应用 Geomagic Qualify 12.0 软件的最佳拟合对齐功能,只需将两者图像重合,即可在不变换坐标的情况下快速完成对齐。该方法实现了对齐的自动化,减少了人为因素的干扰,提高了测量的准确性。

3.2 基于 3DP 技术制作的 RPD 支架树脂熔模的适合性评价 关于传统手工制作的局部义齿支架和基托适合性评价方面,徐君伍<sup>[15]</sup>通过显微镜观察,认为铸造基托与模型间的间隙在 100 μm 左右适合性良好;Shanley 等<sup>[16]</sup>采用取模法得出 RPD 金属支架适合性范围在 292.1~393.7 μm;Consani 等<sup>[17]</sup>采用切开法,测量了可摘义齿塑料基托与模型间的间隙为 0.129~0.286 mm;赵鹏<sup>[14]</sup>采用三坐标测量机对纯钛制作的 RPD 整铸支架基托与模型间的间隙进行测量,所测得间隙大部分介于 100~200 μm。

本实验结果显示,基于 3DP 技术制作的 RPD 支架树脂熔模在腭杆和殆支托部位与石膏模型的间隙小于 0.1mm,适合性良好。在网状连接体部位,熔模与模型间的间隙大约为 0.5 mm,为后续树脂基托将其包埋提供了足够空间,符合 RPD 支架熔模制作要求。

而在卡环部位则发生了一定程度的收缩变形,尤其是右上颌第 2 磨牙的颊、舌侧卡环臂尖处,变形量近 0.4 mm。由于 RPD 支架是一个整体,各部件间相互制约,若后期完成铸造,即使只有一处卡环变形,也必将造成 RPD 支架戴入困难。通过随机取样对卡环部位在各轴向的偏差情况进行统计可发现,在颊舌方向卡环变形量最大,即同一卡环的颊、舌侧臂的水平间距变小,卡环发生了回弹。其原因主要是在 3DP 技术成型过程中,光敏树脂材料在紫外光照射固化时会发生体积收缩,这种收缩最易发生在成型件细、薄的部位,在 RPD 支架树脂熔模上,卡环正是这样的结构。因此,为防止卡环变形,可考虑在卡环的颊、舌侧臂间增加水平向的加强杆,来提高其成型的准确性,加强杆的具体数目和位置有待进一步研究。此外,卡环部位在近远中向和殆龈向也发生了少量变形,这可能与卡环形状复杂,且为悬臂结构,成型时缺乏有效支撑、或手工去除卡环部位的支撑材料时操作粗暴有关。所以,合理设计支撑位置、改良支撑材料去除方法也是下一步的研究内容。

参考文献

[1] 赵敏民.口腔修复学[M].北京:人民卫生出版社,2012:105-107.  
 [2] 周焯,赵华福,周霞.高精度快速成型模型的制作精度及其体外细胞毒性[J].中国组织工程研究与临床康复,2011,15(9):1570-1574.

- [3] Peltola SM, Melchels FP, Grijpma DW, et al. A review of rapid prototyping techniques for tissue engineering purposes[J]. *Ann Med*, 2008, 40(4): 268-280.
- [4] Wu J, Wang XB, Zhao XH, et al. A study on the fabrication method of removable partial denture framework by computer-aided design and rapid prototyping[J]. *Rapid Protot J*, 2012, 18(4): 318-323.
- [5] Budak I, Kosec B, Sokovic M. Application of contemporary engineering techniques and technologies in the field of dental prosthesis[J]. *J Achiv Mater Manufact Engineer*, 2012, 54: 233-241.
- [6] Gerstle TL, Ibrahim AM, Kim PS, et al. A plastic surgery application in evolution: three-dimensional printing [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2014, 133(2): 446-451.
- [7] Hazeveld A, Huddleston Slater JJ, Ren YJ. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2014, 145(1): 108-115.
- [8] Lima JM, Anami LC, Araujo RM, et al. Removable partial dentures: use of rapid prototyping [J]. *J Prosthodont*, 2014, 23(7): 588-591.
- [9] 王雪, 张小红, 牟建刚, 等. 不同抛光方法对钴铬合金铸造义齿表面粗糙度及精度的影响[J]. *上海口腔医学*, 2006, 15(6): 641-644.
- [10] 陈志宇, 李雅, 卫绪懿, 等. 基于牙齿根桩印模三维扫描重建的根桩模型精度分析[J]. *中国科技论文*, 2013, 8(4): 350-354.
- [11] 王远勤, 鲜苏琴, 巢永烈, 等. 整铸种植固定桥支架适合性的实验研究——种植基桩部位对支架适合性的影响[J]. *华西医科大学学报*, 1996, 27(4): 392-394.
- [12] 吴江, 赵湘辉, 沈丽娟, 等. 应用激光扫描法测量激光快速成形技术制作全口义齿钛基托的适合性研究[J]. *实用口腔医学杂志*, 2011, 27(3): 293-297.
- [13] Kim JH, Kim KB, Kim WC, et al. Accuracy and precision of polyurethane dental arch models fabricated using a three-dimensional subtractive rapid prototyping method with an intraoral scanning technique[J]. *Korean J Orthod*, 2014, 44(2): 69-76.
- [14] 赵鹏. 自制铸钛包埋材料铸造工艺与铸钛修复体铸造精度的研究[D]. 成都: 四川大学, 2004.
- [15] 徐君伍. 口腔修复理论与临床[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1999: 468.
- [16] Shanley JJ, Ancowitz SJ, Fenster RK, et al. A comparative study of the centrifugal and vacuum-pressure techniques of casting removable partial denture frameworks [J]. *J Prosthet Dent*, 1981, 45(1): 18-23.
- [17] Consani RL, Domitti SS, Consani S. Effect of a new tension system, used in acrylic resin flasking, on the dimensional stability of denture bases [J]. *J Prosthet Dent*, 2002, 88(3): 285-289.

(收稿日期: 2014-10-15 修回日期: 2014-12-22)

(上接第 1234 页)

- coronary artery bypass graft surgery[J]. *Circ J*, 2012, 76(1): 96-101.
- [8] Taghaddomi RJ, Mirzaee A, Attar AS, et al. Tranexamic acid reduces blood loss in off-pump coronary artery bypass surgery[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2009, 23(3): 312-315.
- [9] Mehr-Aein AS, Sadeghi M, Madani-Civi M. Does tranexamic acid reduce blood loss in off-pump coronary artery bypass[J]. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*, 2007, 15(4): 285-289.
- [10] Murphy GJ, Mango E, Lucchetti V, et al. A randomized trial of tranexamic acid in combination with cell salvage plus a meta-analysis of randomized trials evaluating tranexamic acid in off-pump coronary artery bypass grafting[J]. *J Thorac Cardiovasc Sur*, 2006, 132(3): 475-480.
- [11] Wei M, Jian K, Guo Z, et al. Tranexamic acid reduces postoperative bleeding in off-pump coronary artery bypass grafting[J]. *Scand Cardiovasc J*, 2006, 40(2): 105-109.
- [12] Vanek T, Jares M, Fajt R, et al. Fibrinolytic inhibitors in off-pump coronary surgery: a prospective, randomized, double-blind TAP study (tranexamic acid, aprotinin, placebo)[J]. *Eur J Cardio-Thoracic Sur*, 2005, 28(4): 563-568.
- [13] Casati V, Della Valle P, Benussi S, et al. Effects of tranexamic acid on postoperative bleeding and related hematological variables in coronary surgery: comparison between on-pump and off-pump techniques [J]. *J Thorac Cardiovasc Sur*, 2004, 128(1): 83-91.
- [14] Jares M, Vanek T, Straka Z, et al. Tranexamic acid reduces bleeding after off-pump coronary artery bypass grafting[J]. *J Cardiovasc Sur*, 2003, 44(2): 205-208.
- [15] Casati V, Gerli C, Franco A, et al. Tranexamic acid in off-pump coronary surgery: a preliminary, randomized, double-blind, placebo-controlled study [J]. *Ann Thorac Sur*, 2001, 72(2): 470-475.
- [16] Murkin JM, Falter F, Granton J, et al. High-dose tranexamic acid is associated with nonischemic clinical seizures in cardiac surgical patients[J]. *Anesth Analg*, 2010, 110(2): 350-353.

(收稿日期: 2014-10-03 修回日期: 2014-12-03)