

3D 打印辅助的个体化组合支架在 A 型 主动脉夹层手术中的应用*

张靓¹ 严中亚¹ 申运华¹ 卢中¹

[摘要] 目的:探讨 3D 打印技术辅助的个体化组合支架在 Stanford A 型主动脉夹层外科治疗中的效果,并与传统孙氏手术进行对比分析。方法:选取 2017 年 9 月—2021 年 7 月安徽医科大学第二附属医院收治住院的 37 例 Stanford A 型主动脉夹层患者资料,按手术方式分为 3D 打印技术辅助的个体化支架手术组(观察组)17 例和孙氏手术组(对照组)20 例。术前患者均进行心脏超声、主动脉 CT 血管造影(CTA)、肝肾功能、血电解质、血常规等检查。统计并分析患者手术及体外循环相关数据,术后统计住院时间、ICU 监护时间等指标。患者术后 1 个月进行临床随访,复查超声心动图及主动脉 CTA。结果:2 组患者手术顺利,术中无死亡。对照组和观察组手术时间[(377.70±80.35) min vs(311.18±74.53) min, $P<0.05$]、体外循环时间[(168.80±24.28) min vs(147.71±24.77) min, $P<0.05$]、术中停循环时间[(18.70±4.04) min vs(9.12±4.90) min, $P<0.05$]、ICU 监护治疗时间[(7.61±1.79) d vs(6.25±1.29) d, $P<0.05$]、呼吸机使用时间[(4.46±1.52) d vs(3.03±0.77) d, $P<0.05$]、术后住院时间[(19.06±5.71) d vs(15.69±1.96) d, $P<0.05$]比较,差异均有统计学意义。观察组与对照组均全部一次关胸,无二次手术。术后对照组死亡 2 例,治愈出院 18 例,观察组自动出院 1 例,治愈出院 16 例。出院患者术后 1 个月随访无死亡病例,所有患者均复查主动脉 CTA 及心脏超声,结果提示主动脉弓、降主动脉血流通畅,支架血管位置正常,扩张良好,无位移、狭窄,支架周围无造影剂外渗,心功能良好。结论:3D 打印技术辅助的个体化组合支架治疗 Stanford A 型主动脉夹层效果较好,可减少手术时间、体外循环时间及术中停循环时间。在降低手术难度的同时,减少了术后并发症的发生,有助于降低患者死亡率,术后早期复查效果满意。

[关键词] 主动脉夹层;Stanford A 型;个体化组合支架;3D 打印;停循环时间

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2022.06.004

[中图分类号] R615 [文献标志码] A

Application of 3D printing technology-assisted individualized combined stent in type A aortic dissection surgery

ZHANG Liang YAN Zhongya SHEN Yunhua LU Zhong

(Department of Cardiovascular Surgery, The Second Hospital of Anhui Medical University, Hefei, 230601, China)

Corresponding author: LU Zhong, E-mail: luzhongys@163.com

Abstract Objective: To discuss the effect of 3D printing technology-assisted individualized combined stent in the surgical treatment of Stanford A-type aortic dissection, and compare it with traditional Sun's surgery. **Methods:** The data of 37 patients with Stanford type A aortic dissection admitted to the hospital from September 2017 to July 2021 were selected. According to the operation method, they were divided into 3D printing technology-assisted individualized combined stent surgery group (observation group) with 17 cases and Sun's surgery group (control group) with 20 cases. Before surgery, all patients underwent cardiac ultrasound, aortic angiography, liver and kidney function, blood electrolyte, blood routine, and other inspections and tests. Observation data related to patients' surgery and cardiopulmonary bypass, as well as postoperative hospitalization time, ICU monitoring time, and other observation indicators were counted and analyzed. The patient underwent clinical follow-up 1 month after surgery and rechecked echocardiography and aortic CTA. **Results:** The operation of patients in two groups was successful, and there was no death during the operation. In the control group and observation group, operation time[(377.70±80.35) min vs(311.18±74.53) min, $P<0.05$], cardiopulmonary bypass time[(168.80±24.28) min vs(147.71±24.77) min, $P<0.05$], intraoperative circulatory arrest time[(18.70±4.04) min vs(9.12±4.90) min, $P<0.05$], ICU monitoring and treatment time[(7.61±1.79) d vs(6.25±

*基金项目:安徽省科技攻关项目(No:1301042198)

¹安徽医科大学第二附属医院心脏大血管外科(合肥,230601)

通信作者:卢中, E-mail: luzhongys@163.com

引用本文:张靓,严中亚,申运华,等.3D 打印辅助的个体化组合支架在 A 型主动脉夹层手术中的应用[J].临床心血管病杂志,2022,38(6):444-448. DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2022.06.004.

1.29) d, $P < 0.05$], respiration machine usage time[(4.46 ± 1.52) d vs(3.03 ± 0.77) d, $P < 0.05$], postoperative hospital stay[(19.06 ± 5.71) d vs(15.69 ± 1.96) d, $P < 0.05$] were different significantly. Both the observation group and the control group had their chests closed at one time without secondary surgery. After the operation, 2 cases died and 18 cases were cured and discharged in the control group. One case was discharged automatically and 16 cases were cured and discharged in the observation group. The discharged patients were followed up for 1 month after the operation, and there was no death. All patients were rechecked with aortic CTA and echocardiography. The results suggested that the blood flow of the aortic arch and descending aorta were smooth. The position of the stent was normal. The expansion was good. There was no displacement and stenosis. There was no extravasation of contrast agent around the stent, and the heart function was good. **Conclusion:** The personalized combined stent assisted by 3D printing technology is effective in treating Stanford A-type aortic dissection, and the operation time, extracorporeal circulation time, and intraoperative circulatory arrest time are short. While reducing the difficulty of surgery, it also reduces the probability of postoperative complications. The results of early postoperative reexamination are satisfactory.

Key words aortic dissection; stanford Type A; individualized combination stent; 3D printing; circulatory stop time

Stanford A型主动脉夹层是心血管外科较常见的一种急症,具有致死率高、发病急、手术并发症多等特点^[1],发病14 d内死亡率可达80%^[2]。该疾病一经确诊,应及时行手术治疗。传统孙氏手术是治疗A型夹层的经典术式^[3],在临床上已取得较好疗效,但其总体创伤大,术中操作较复杂、手术时间长、并发症较多,且往往只能在大型心脏中心独立完成,对术者的血管缝合技术要求极高。另外,主动脉弓上分支血管个体差异性较大,每例患者的分支血管内径、开口间距及角度都不相同。鉴于这些原因,我们在临床上探索个体化的主动脉弓腔内分支支架技术,期望达到简化手术而又兼具个体化的目的,而3D打印技术恰好能满足这种需求。在3D打印技术的辅助下,可以精确了解弓上分支血管的直径与位置,进而制作出贴合每例患者血管的个体化支架,最大程度地保留患者自身组织,利用个体化组合支架替代四分支血管重建主动脉弓治疗Stanford A型主动脉夹层,可减少数个血管吻合口,明显缩短体外循环时间及术中停循环时间,操作简单可行,并发症少。

1 对象与方法

1.1 对象

本文为回顾性研究,选取2017年9月—2021年7月安徽医科大学第二附属医院收治的Stanford A型主动脉夹层患者37例,按手术方式分为孙氏手术组(对照组)与个体化支架手术组(观察组),其中对照组20例,男18例,女2例,年龄(53.60 ± 9.07)岁,有高血压病史18例,合并主动脉瓣病变14例,合并肾功能不全2例,合并糖尿病3例,左室射血分数(58.60 ± 5.22)%;观察组17例,男13例,女4例,年龄(50.41 ± 11.42)岁,有高血压病史15例,合并主动脉瓣病变11例,合并肾功能不全2例,糖尿病1例,左室射血分数(58.65 ± 6.21)%。纳入标准:患者入院完善主动脉CT

血管造影(CTA)检查,诊断为Stanford A型主动脉夹层。排除标准:夹层仅累及升主动脉或部分主动脉弓,通过升主动脉置换和(或)半弓置换或开窗支架即可达到治疗目的的患者。符合以上标准的患者,主动脉弓部及降主动脉进一步的处理方式,则在孙氏手术与个体化组合支架方式间随机选择。2组一般资料比较差异无统计学意义,具有可比性($P > 0.05$)。

1.2 3D打印技术辅助个体化组合支架制备

采集患者的主动脉CTA数据(图1a),将其导入Mimics21.0医学图像处理软件,进行主动脉弓部及弓上分支三维重建。将制作好的数字模型(图1b)导入Materialise 3-matic图像处理软件再次进行表面修饰(图1c),将修饰后的模型数据输入Meditool软件进行加支撑处理(图1d),并导入SLA3D打印机(盘古4.2)进行模型打印。

手术开始后,一组手术人员进行开胸,另一组人员同时缝制主动脉弓及弓部分支的个体化组合支架。首先将无菌薄膜覆盖在制备好的主动脉弓模型上,标记出弓上分支的位置(图1e),再将做好标记的薄膜覆盖在主动脉弓主支架上,并依据薄膜上标记的位置,用电灼笔在主动脉弓主支架上烧灼出对应的侧孔(图1f),根据测量的分支血管内径选择不同型号的分支小覆膜支架,以prolene线将分支小支架与主动脉弓主支架行端-侧吻合(图1g),将缝制好的组合支架依次捆绑收拢(图1h),等待释放。

1.3 手术方法

1.3.1 观察组 常规麻醉消毒后,一组人员根据术前制作的3D打印模型选取合适的主动脉弓主支架及分支小支架制备个体化组合支架。另一组人员取胸部正中切口进胸后,充分游离出无名动脉。充分暴露心脏后,经无名动脉及插腔管建立体外循环,降温,经右肺上静脉置入左心引流管。近无

名动脉开口处阻断升主动脉,打开升主动脉,经左右冠脉开口灌注HTK停搏液。探查升主动脉近端,观察夹层破口情况,清除夹层血凝块,根据升主动脉及主动脉瓣病变情况选择行升主动脉置换或Bentall、David术等。降温至肛温25℃,阻断无名动脉,停循环,经无名动脉选择性脑灌注。切开升主动脉至弓起始部,将制备好的个体化组合支架分别置入降主动脉及左锁骨下动脉、左颈总动脉、无

名动脉,确认无误后依次释放各个支架,温盐水浸泡后扩张满意。排气后阻断主动脉弓起始部,恢复全身循环。复温,4-0 prolene线主动脉腔内连续缝合人工血管与支架近端及主动脉。检查无漏血,排气后开放,恢复心脏循环,心脏复跳,复温至直肠温度35℃,减流量,逐步停机、拔管、止血、放置引流管,逐层关胸。

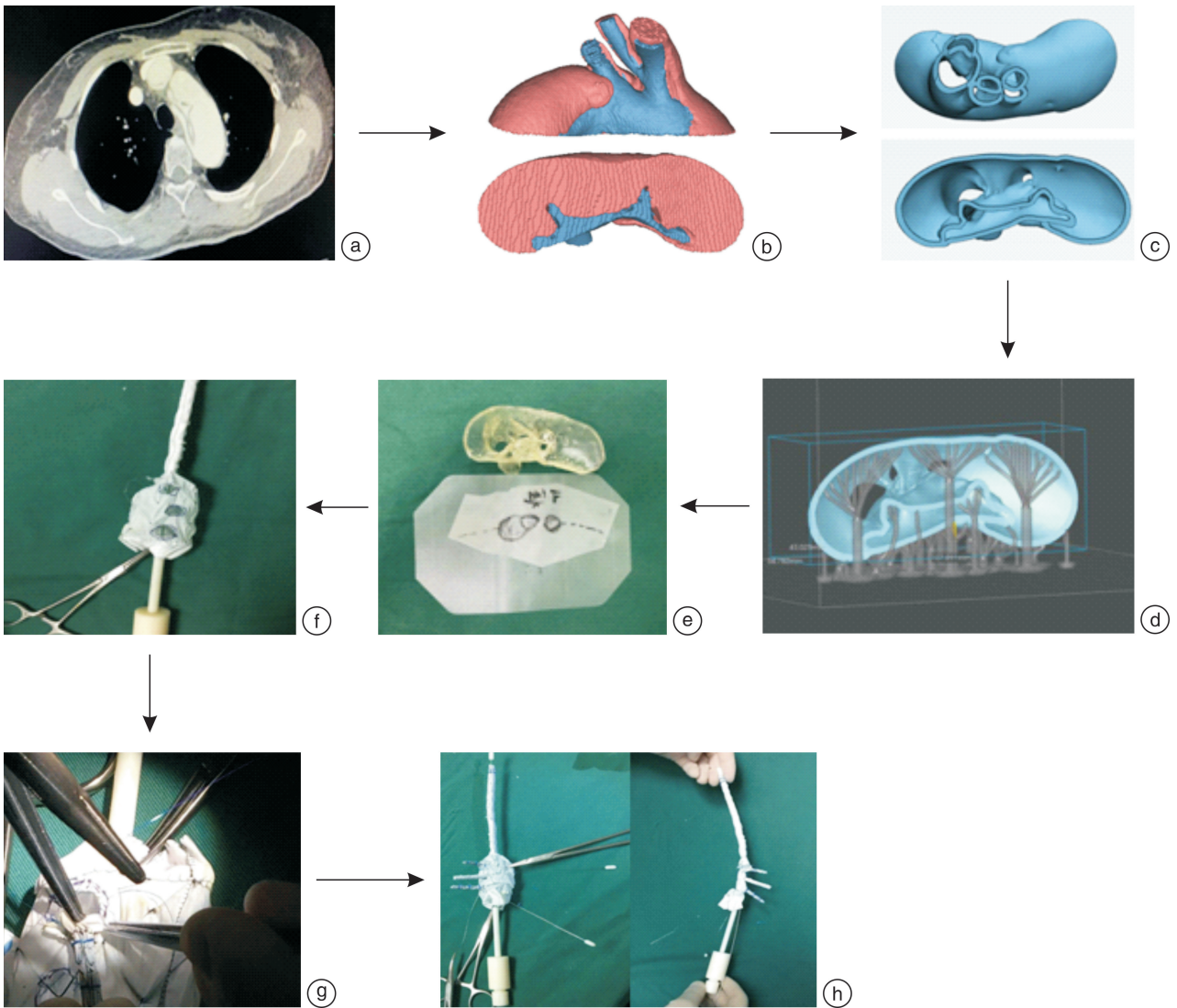


图1 个体化组合支架的制备

Figure 1 Preparation of individualized combination stent

1.3.2 对照组 常规麻醉消毒后,于右锁骨下切开皮肤,充分游离右侧腋动脉,近远端分别套带备用,取胸部正中切口进胸后,充分游离出无名动脉、左颈总动脉及左锁骨下动脉。置入左心引流管至左室,右侧腋动脉插管,右房插腔房管建立体外循环。降温,于近无名动脉开口处对升主动脉进行阻断,经左右冠脉开口灌注HTK停跳液。心脏停跳

满意后,探查升主动脉近心端,根据患者主动脉根部及主动脉瓣情况,选择行升主动脉置换或Bentall、David术等。降温至直肠温度25℃,头低位,停循环,分别阻断无名动脉、左颈总动脉及左锁骨下动脉,经右腋动脉选择性脑灌注,左锁骨下动脉近端进行封闭。于降主动脉真腔内置入合适直径的象鼻支架,并将象鼻支架近端与四分支人工血管

远端进行吻合,插入动脉供血血管,恢复下半身循环。将左颈总动脉与对应的四分支人工血管分支进行吻合,排气后开放。复温,将升主动脉与人工血管近端进行吻合,排气后开放,恢复心脏循环,将左锁骨下动脉和无名动脉与对应的人工血管分支进行吻合,排气后开放。复温至直肠温度 35℃,逐步停机、拔管、止血、放置引流管,逐层关胸。

1.4 统计学处理

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行数据分析。计量资料使用 $\bar{X} \pm S$ 表示,比较采用独立样本 t 检验;计数资料以 % 表示,比较采用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

观察组与对照组均全部一次关胸,无患者行二次手术。观察组手术时间、体外循环时间及术中停循环时间均占优势,且呼吸机使用时间、ICU 监护时间及住院时间均小于对照组,差异均有统计学意义($P < 0.05$),见表 1、2。

表 1 观察组与对照组术中情况比较

Table 1 Comparison of intraoperative conditions between the observation group and the control group 例(%), $\bar{X} \pm S$

项目	对照组(20例)	观察组(17例)	P
手术时间/min	377.70±80.35	311.18±74.53	0.014
体外循环时间/min	168.80±24.28	147.71±24.77	0.013
术中停循环时间/min	18.70±4.04	9.12±4.90	<0.001
主动脉瓣置换	13(65.00)	11(64.71)	0.627

表 2 观察组与对照组患者术后一般情况及并发症情况比较

Table 2 Comparison of postoperative general condition and complications between the observation group and the control group 例(%), $\bar{X} \pm S$

项目	对照组(20例)	观察组(17例)	P
术后 ICU 监护时间/d	7.61±1.79	6.25±1.29	0.017
呼吸机使用时间/d	4.46±1.52	3.03±0.77	0.002
术后住院时间/d	19.06±5.71	15.69±1.96	0.032
肺部感染	4(20.00)	3(17.65)	0.596
急性肾衰竭	4(20.00)	2(11.76)	0.413
苏醒延迟	2(10.00)	1(5.88)	0.562
急性呼吸衰竭	1(5.00)	0(0)	0.541
截瘫	0(0)	0(0)	
二次开胸	0(0)	0(0)	
死亡或自动出院	2(10.00)	1(5.88)	0.562

注:肺部感染:血象持续升高,痰细菌培养呈阳性;急性肾衰竭:术后因少尿、血肌酐升高和高钾血症等原因使用肾脏替代治疗;苏醒延迟:患者苏醒时间术后超过 12 h,且 Ramsay 评分 ≥ 5 ;急性呼吸衰竭:出现呼吸困难、呼吸急促等表现,且动脉血氧分压 < 60 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)。

患者术后一般情况及并发症情况见表 2。术后对照组患者有 4 例出现肺部感染,1 例出现急性呼吸衰竭,通过抗感染、呼吸机辅助呼吸等治疗后恢复正常,4 例患者出现急性肾衰竭,其中 2 例患者通过透析治疗恢复正常肾功能,2 例患者合并多脏器功能衰竭死亡,2 例患者出现苏醒延迟,通过脱水降颅压、促醒等处理,后恢复神志,未出现截瘫或偏瘫;观察组 3 例患者出现肺部感染,经抗感染治疗后恢复正常,2 例患者出现急性肾衰竭,1 例经床旁透析治疗后肾功能恢复正常,1 例患者因肾功能衰竭后循环衰竭自动出院,未出现截瘫或偏瘫患者。治愈出院患者于术后 1 个月进行随访,无患者死亡,所有患者均复查主动脉 CTA 及超声心动图,结果示主动脉弓及降主动脉血流通畅,支架血管位置正常,扩张良好,未见移位及狭窄,支架周围未见造影剂外渗(图 2),心功能良好。所有患者恢复正常生活自理能力。



图 2 术后 CTA 重建

Figure 2 Postoperative CTA reconstruction

3 讨论

Stanford A 型主动脉夹层是心外科较多见的一种急症,病情极为危重、迅猛。据研究,患者发病后的死亡率每过 1 小时会增加 1%~2%^[4],及时的手术干预是影响其预后的重要因素之一^[5]。

目前临床上治疗该疾病应用最多、最广泛的弓部重建术式,便是孙氏手术^[6],即全弓置换+象鼻支架植入术。该术式通过人工血管置换患者主动脉弓部,加之降主动脉植入象鼻支架的方式进而达到治疗的目的,可广泛应用于不同类型的主动脉弓部病变。其次,若是后期患者出现降主动脉瘤样病变,需再次行手术治疗,象鼻支架的存在也可使手术方式简单化。随着临床医生的研究发现,该术式也存在着一定的缺陷:①手术过程中需要暴露术区至左锁骨下动脉,手术范围大,暴露困难,且容易累及喉返神经;②体外循环时间长,长时间的肝素化,使得出血概率增加,止血难度上升^[7],有研究表明,过长的体外循环时间及停循环时间会提高术后肾

功能损伤、低氧血症、谵妄及感染等并发症的发生率^[8-12],进而增加患者术后的死亡率^[13];③手术过程中,吻合口众多,且对术者缝合技术要求高,不利于基层医院的推广。因此,如何简化手术操作的步骤,缩短手术时长,从而降低患者术后死亡率及并发症的发生,始终是心外科医生及众多学者的研究热点。

3D打印技术有着可将数字模型转化为三维模型的特点,在先天性心脏病、瓣膜疾病等心血管疾病治疗中有很高的利用价值^[14]。我们将3D打印技术和覆膜支架技术结合起来,通过个体化的测量和缝制,将个体化组合支架应用于主动脉弓的重建,达到很好的手术效果。该方法有如下优点:①术中仅需游离无名动脉,需要剥离暴露的术野面积大幅减少,减少了术中操作,降低了创面渗血概率;②个体化组合支架的缝合制备由另一组手术人员在开胸时就完成,节省了手术时间;另外个体化组合支架的制备也减少了术中数个吻合口,不需要离断左锁骨下动脉、左颈总动脉、无名动脉,不需要做相应的分支血管及人工血管端-端吻合,极大地减少了缝合时间,降低了出血风险,同时对术中缝合技术要求也大大降低。随着操作人员的日渐熟练,后期通过CT室制作的主动脉三维重建图像,即可清楚地了解弓上分支的位置分布,从而对分支血管开口位置进行定位,再结合主动脉CTA,测量出分支血管的直径,进而进行人工分支血管的选择,可省去制作主动脉弓部3D模型的时间,大大缩短前期的准备时间,进一步降低推广难度;③以3D打印模型为基础制备的个体化组合支架是一体化的,且分支支架相对应位置、相对应大小都是绝对个体化的,使释放支架更加简单,且避免了支架移位、内漏的风险;④术中停循环期间,术者仅需做一件事情,就是找到并确定主动脉弓及分支血管的真腔,然后把捆绑好的支架依次释放。在这之后就可以阻断组合支架及主动脉弓近端,开放全身循环,这相对于传统孙氏手术来说,是一个质的飞跃,可大大缩短停循环时间,本组病例中,最短的停循环时间仅4 min,取得了极好的效果;⑤手术时间、体外循环时间及停循环时间的减少,出血概率的减少,最终可减少手术并发症的发生,降低围术期死亡率。本研究中,观察组的手术时间、体外循环时间、术中停循环时间及ICU监护时间均明显低于对照组,取得较好的临床疗效。

总之,3D打印技术辅助的个体化组合支架技术应用于Stanford A型主动脉夹层的外科手术治疗,能明显缩短手术时间、体外循环及术中停循环时间,有助于进一步减少手术并发症发生,从而达

到降低死亡率的目的,值得推广,但其远期效果还需更多样本进行观察与研究。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Wu Y, Jiang R, Xu P, et al. Perioperative Results and Risk Factors for In-Hospital Mortality In Patients With Stanford Type A Aortic Dissection Undergoing Sun's Procedure-A Single Center Study[J]. Heart Surg Forum, 2018, 21(6): E432-E437.
- [2] Pitt MP, Bonser RS. The natural history of thoracic aortic aneurysm disease; an overview[J]. J Card Surg, 1997, 12(2 Suppl): 270-278.
- [3] 孙立忠, 李建荣. 我国Stanford A型主动脉夹层诊疗进展与挑战[J]. 中华外科杂志, 2017, 55(4): 241-244.
- [4] Hagan PG, Nienaber CA, Isselbacher EM, et al. The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD): new insights into an old disease[J]. JAMA, 2000, 283(7): 897-903.
- [5] Elsayed RS, Cohen RG, Fleischman F, et al. Acute Type A Aortic Dissection[J]. Cardiol Clin, 2017, 35(3): 331-345.
- [6] Luo J, Fu X, Zhou Y, et al. Aortic Remodeling Following Sun's Procedure for Acute Type A Aortic Dissection[J]. Med Sci Monit, 2017, 23: 2143-2150.
- [7] Ghazy T, Mahlmann A, Fajfrova Z, et al. Anastomotic leak after surgical repair of type A aortic dissection-prevalence and consequences in midterm follow-up[J]. Vasa, 2017, 46(5): 377-382.
- [8] 焦瑞, 刘楠. 急性Stanford A型主动脉夹层术后急性肾损伤患者连续性肾脏替代治疗后的死亡预后因素分析[J]. 中华外科杂志, 2017, 55(4): 270-273.
- [9] 弓华, 张海燕, 靳津鸽. 急性Stanford A型主动脉夹层围手术期患者发生低血氧症的危险因素及其预测价值[J]. 中国现代医学杂志, 2020, 30(2): 44-49.
- [10] 喻雪飞, 董柱, 张本, 等. 急性Stanford A型主动脉夹层术后感染的危险因素分析及预防策略[J]. 临床心血管病杂志, 2021, 37(8): 758-763.
- [11] 刘艳, 石晓卉, 肖东. 急性Stanford A型主动脉夹层患者主动脉弓部手术后脑部并发症发病情况及危险因素分析[J]. 中国现代医学杂志, 2016, 26(11): 98-101.
- [12] 朱悦倩, 杨菁, 孙煦, 等. 急性Stanford A型夹层术后谵妄的危险因素分析[J]. 实用医学杂志, 2020, 36(7): 940-943.
- [13] Olsson C, Hillebrant CG, Liska J, et al. Mortality in acute type A aortic dissection: validation of the Penn classification[J]. Ann Thorac Surg, 2011, 92(4): 1376-1382.
- [14] Hadeed K, Acar P, Dulac Y, et al. Cardiac 3D printing for better understanding of congenital heart disease[J]. Arch Cardiovasc Dis, 2018, 111(1): 1-4.

(收稿日期: 2021-11-15)