

Stanford A 型主动脉夹层患者孙氏手术后 早期截瘫原因分析

陈司奇¹ 魏翔¹ 陈太强¹

[摘要] **目的:**回顾性分析 Stanford A 型主动脉夹层患者接受孙氏手术后出现早期截瘫的围术期危险因素。**方法:**收集 2021 年 1 月—12 月因 Stanford A 型主动脉夹层收治于华中科技大学同济医学院附属同济医院心脏大血管外科并行孙氏手术的 178 例患者的临床资料,其中男性 140 例、女性 38 例,平均年龄为(51.5±10.7)岁,术后截瘫患者 7 例(3.9%)。统计分析截瘫组与非截瘫组患者围术期临床数据。测量并记录患者术后 CTA 影像肋间动脉开口位置以及开放程度,探究术后截瘫的原因以及危险因素。**结果:**非截瘫组和截瘫组患者性别、身高、体重、心血管病史、主动脉阻断时间、中低温停循环时间以及肛温差异均无统计学意义。两组患者术前低血压事件与年龄均差异有统计学意义(均 $P < 0.05$),截瘫组患者 CTA 影像 Th7~Th11 肋间动脉的起始处与肺动脉分叉水平主动脉 CT 值比值(Hounsfield ratio, HUR)显著低于非截瘫组患者($P < 0.05$)。多因素 logistic 回归分析提示,术前低血压事件($OR = 33.80, P < 0.05$)、支架覆盖的肋间动脉数量 ≥ 8 支($OR = 35.00, P < 0.05$)与假腔供血肋间动脉数量 ≥ 10 支($OR = 36.71, P < 0.05$)均增加术后截瘫风险。**结论:**Stanford A 型主动脉夹层术前低血压事件、支架覆盖肋间动脉 ≥ 8 支和假腔供血肋间动脉 ≥ 10 支是术后截瘫的危险因素;HUR 有望对残余肋间动脉供血状况进行评估,有一定的临床指导价值。

[关键词] Stanford A 型主动脉夹层;截瘫;脊髓缺血;亨氏单位比值

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2024.09.007

[中图分类号] R654.3 **[文献标志码]** A

Causes of early paraplegia following Sun's procedure in patients with stanford type A aortic dissection

CHEN Siqi WEI Xiang CHEN Taiqiang

(Department of Cardiovascular Surgery, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, 430030, China)

Corresponding author: CHEN Taiqiang, E-mail:sostrongchen@126.com

Abstract Objective: To retrospectively analyse perioperative risk factors of early paraplegia in patients with Stanford type A aortic dissection undergoing Sun's procedure. **Methods:** All patients who underwent Sun's procedure from January to December 2021 in Tongji Hospital were retrospectively analysed. There were 178 patients with 140 males and 38 females at a mean age of (51.5±10.7) years, and 7 patients(3.9%) of them developed postoperative paraplegia. We performed a statistical analysis of perioperative clinical data between the paraplegia and non-paraplegia groups. The locations of the Th7-Th12 intercostal arteries'origin and blood supply were also recorded to investigate the cause of early paraplegia. **Results:** Among the 178 patients, there were no statistical differences in gender, height, weight, history, aortic crossclamping time, moderate hypothermic circulatory arrest time(antegrade cerebral perfusion) and anal temperature between the paraplegia group and non-paraplegia group. Preoperative hypotension events and age had statistically significant differences between the two groups (both $P < 0.05$). Hounsfield ratio(HUR) from Th7 to Th11 showed statistical differences between the two groups($P < 0.05$). Logistic regression analysis suggested that preoperative hypotension($OR = 33.80, P < 0.05$), the number of stent-covered intercostal arteries ≥ 8 ($OR = 35.00, P < 0.05$), and the number of intercostal arteries from false lumen ≥ 10 ($OR = 36.71, P < 0.05$) increased the risk of postoperative paraplegia. **Conclusion:** Preoperative hypotension, covered intercostal artery ≥ 8 , and intercostal arteries from false lumen ≥ 10 may be risk factors for postoperative paraplegia in Stanford type A aortic dissection. HUR has a certain guiding significance in

¹华中科技大学同济医学院附属同济医院心脏大血管外科(武汉,430030)

通信作者:陈太强,E-mail:sostrongchen@126.com

evaluating the blood supply of the residual intercostal artery.

Key words Stanford type A aortic dissection; paraplegia; spinal cord ischemia; Hounsfield ratio

主动脉夹层属于心血管系统的急危重症,因起病急、病死率高、救治难度大等特点被认为是威胁人类生命的重要杀手。每年夹层的发病率为3/10万~4/10万,并呈现年轻化、发病率上升的趋势^[1-2]。Stanford A型夹层最重要的治疗手段为外科血管置换手术。以主动脉弓置换与冰冻象鼻支架植入为特点的孙氏手术是我国最常用于处理主动脉弓降部的术式^[3-4]。在原理上,冰冻象鼻支架技术能够降低假腔压力,诱导假腔血栓的形成,促进主动脉重塑,可大幅度改善主动脉夹层患者的长期预后^[5]。然而,有报道称冰冻象鼻支架术后截瘫率可能高于传统主动脉弓修复术式(3.8% vs 1.4%, $P < 0.01$)^[6]。有研究显示,冰冻象鼻支架植入术后的截瘫率一般在4.3%左右^[7]。术后截瘫大多难以逆转,严重降低患者的生活质量。截至目前,孙氏手术后患者出现截瘫的原因和特点仍处于探索阶段。本文回顾性分析Stanford A型主动脉夹层患者围术期临床资料,探究孙氏手术术后截瘫的危险因素,尝试建立病因评估方法。

1 对象与方法

1.1 对象

收集2021年1月—12月诊断为主动脉夹层A型并于我院行升主动脉置换+主动脉弓置换+远端冰冻象鼻支架植入手术的患者,共180例。排除术前截瘫患者2例,合计纳入178例。部分患者在术后30d内行胸腹主动脉CTA复查。

患者的围术期临床数据与术后影像资料均来自于医院病案系统,所有纳入的患者CTA检查基于统一造影剂注射标准。本研究已通过华中科技大学同济医学院附属同济医院伦理委员会批准(No: TJ-IRB202404055)。

1.2 手术过程

本研究患者均接受标准流程升主动脉置换+孙氏手术治疗^[8-11]。正中开胸后经过腋动脉、股动脉与右心房插管建立体外循环,冰冻停搏液灌注实现心脏停搏。以人造血管更换升主动脉以及主动脉弓部,同时根据主动脉窦部与主动脉瓣受累情况选择Bentall、David、Wheat、Cabrol等术式。出现冠状动脉夹层以及术前患有严重冠心病患者实施冠状动脉旁路移植(CABG)手术。待肛温降低至25~30℃时以8.0~15.0 mL/kg/min流速经右侧腋动脉单侧脑灌注(必要时同时在左侧颈总动脉插管行双侧脑灌注),使用管径测量器测量并选择冰冻象鼻支架尺寸,处理后插入降主动脉真腔中,与四分支血管端端吻合。经四分支人工血管与股动脉插管恢复全身灌注。复温并重建剩余分支血管,术后送入ICU严密监测相关指标,诊断为术后截

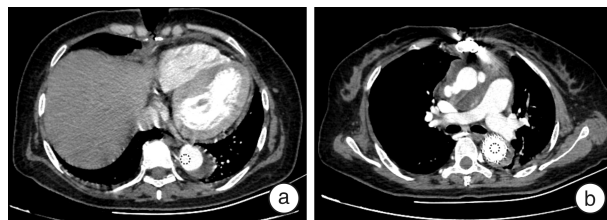
瘫后立即评估是否可行脑脊液引流。

1.3 研究定义

术前心力衰竭标准:射血分数小于50%或氨基末端脑钠肽前体(NT-proBNP) > 300 pg/mL^[12];低血压事件:平均动脉压 < 70 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa)或出现休克^[13-14];下肢灌注不良:发病后双侧或者单侧下肢出现活动障碍、发绀、剧烈疼痛等缺血症状;术后出血:术后24h内因血红蛋白进行性下降、引流持续大于100 mL/h;术后肾功能不全:肌酐持续性高于术前基础值的2倍或者需要肾脏替代治疗。

以术后CTA中Th7~Th12肋间动脉的起始处在主动脉内与肺动脉分叉水平主动脉真腔内的亨氏单位(CT值)的比值作为本研究的HUR(图1)。记录冰冻象鼻支架末端椎体定位、支架覆盖的肋间动脉数量、肋间动脉真假腔供血情况以及假腔血栓形成范围。支架远端假腔内无造影剂增强表现即视为假腔完全血栓形成。

截瘫定义为下肢和躯干下部运动功能严重或完全丧失,伴或不伴有感觉功能障碍。



a: 于Th8右侧肋间动脉起始处主动脉内选取感兴趣区(region of interest, ROI); b: 于肺动脉分叉水平处主动脉内选取ROI。

图1 HUR的测量方法示例

Figure 1 The method of HUR measurement

1.4 统计学处理

使用Kolmogorov-Smirnov检验评估数据的正态性,符合正态分布的计量数据以 $\bar{X} \pm S$ 表示,通过非配对 t 检验进行分析;非正态分布的计量数据以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,通过Mann-Whitney U 检验进行分析。分类变量以例(%)表示,采用连续校正的 χ^2 检验或Fisher精确检验。应用logistic回归进行多因素危险因素分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料

纳入的178例急性A型主动脉夹层患者中,男140例(78.7%),女38例(21.3%);年龄21~80岁,平均为(51.5 ± 10.7)岁;全部成功接受主动脉

弓置换以及冰冻象鼻支架植入手术。

根据主动脉窦部受累情况,实施 Bentall 手术 55 例(30.9%)、单纯升主动脉置换手术 121 例(67.4%)、Cabrol 手术 2 例(1.1%)。另外,有 9 例(5.1%)患者实施了 CABG 手术。

术后出血 12 例(6.7%)、恶性心律失常 15 例(8.4%)、脑卒中 20 例(11.2%)、肾功能不全 78 例(43.8%)、截瘫 7 例(3.9%)。术后截瘫患者中,1 例患者进入手术室时出现心搏骤停,1 例患者术前出现低血压导致全身灌注不良综合征以及术后 3 d 内发生严重低血压事件,1 例患者术后出现脑卒中。截瘫患者均为严重的持续性截瘫,后期康复治疗

疗功能恢复欠佳。

2.2 术前资料分析

根据术后是否发生截瘫,将所纳入的 178 例急性 A 型主动脉夹层患者分为截瘫组(7 例)与非截瘫组(171 例)。两组患者年龄与术前低血压事件均差异有统计学意义(均 $P < 0.05$),其他基线资料、术前检验指标和术前不良事件差异无统计学意义。见表 1。

2.3 术中资料分析

术中体外循环(CPB)时间、主动脉阻断时间、停循环时间、最低肛温以及术中输血情况均差异无统计学意义。见表 2。

表 1 非截瘫组和截瘫组患者术前临床资料比较

项目	非截瘫组(171 例)	截瘫组(7 例)	P
年龄	51.81±10.50	42.71±12.11	0.027
男性	133(77.8)	7(100.0)	0.350
身高/cm	170.00(165.00,175.00)	169.50(167.25,170.00)	0.649
体重/kg	74.00(65.00,80.00)	80.00(72.50,90.00)	0.211
高血压	118(69.0)	3(42.9)	0.300
糖尿病	5(2.9)	1(14.3)	0.220
高血脂	29(17.0)	1(14.3)	1.000
冠心病	6(3.5)	0	1.000
吸烟	66(38.6)	3(42.9)	1.000
既往卒中/TIA	7(4.1)	1(14.3)	0.280
术前检验			
肾小球滤过率/(mL/min)	83.93±22.69	76.77±38.88	0.645
肌酐/(μmol/L)	85.00(70.00,105.00)	137.00(66.00,153.00)	0.205
血红蛋白/(g/L)	132.00(122.00,143.00)	139.00(130.00,143.00)	0.257
术前不良事件			
心力衰竭	71(41.5)	3(42.9)	1.000
下肢灌注不良	13(7.6)	1(14.3)	0.420
低血压/休克	2(1.2)	2(28.6)	0.008

TIA:短暂时性脑缺血发作。

表 2 非截瘫组和截瘫组患者术中临床资料比较

项目	非截瘫组(171 例)	截瘫组(7 例)	P
更换主动脉瓣膜	54(31.6)	3(42.9)	0.830
CABG	9(5.3)	0	1.000
股动脉插管	120(70.2)	4(57.1)	0.751
CPB 时间/min	241.00(210.00,294.00)	274.00(227.00,336.00)	0.197
主动脉阻断时间/min	120.00(101.00,143.50)	117.00(98.00,140.00)	0.988
停循环时间/min	25.35±13.71	22.43±13.50	0.581
肛温/°C	25.0(24.0,26.0)	21.0(12.0,35.0)	0.734
术中输血			
红细胞/U	4.5(0.0,8.0)	8.0(4.0,8.0)	0.197
血浆/mL	800.0(525.0,1 000.0)	900.0(700.0,1 300.0)	0.368
血小板/U	3.0(3.0,3.0)	3.0(3.0,3.0)	0.891

2.4 术后资料分析

截瘫组与非截瘫组术后并发出血、恶性心律失常、肺部感染、脑卒中以及肾功能不全差异无统计学意义;截瘫组术后重症监护时间、术后再次通气比例以及住院天数显著高于非截瘫组(均 $P < 0.05$)。见表 3。

表 3 非截瘫组和截瘫组患者术后资料比较

Table 3 Postoperative clinical data

例(%), $M(P_{25}, P_{75})$

项目	非截瘫组 (171 例)	截瘫组 (7 例)	P
术后出血	10(5.8)	2(28.6)	0.070
恶性心律失常	14(8.2)	1(14.3)	0.471
肺部感染	36(21.1)	3(42.9)	0.368
脑卒中	19(11.1)	1(14.3)	0.571
肾功能不全	73(42.9)	5(71.4)	0.271
术后 3 d 内低血压/休克	6(3.5)	1(14.3)	0.251
重症监护时间/d	8(5,14)	22(14,30)	0.001
再次通气	49(28.7)	6(85.7)	0.004
住院天数/d	21(15,28)	32(23,38)	0.030

2.5 多因素 logistic 回归

在多因素 logistic 回归分析中,术前休克/严重低血压事件是孙氏手术术后截瘫的危险因素,年龄是孙氏手术术后截瘫的保护因素。见表 4。

表 4 非截瘫组和截瘫组患者多因素 logistic 回归分析

Table 4 Multivariable logistic regression analysis

变量	OR	95%CI	P
年龄	0.88	0.801~0.972	0.011
术前休克/严重低血压	33.80	3.928~290.842	0.003
阻断时间	1.00	0.968~1.024	0.768
停循环时间	0.98	0.911~1.060	0.651
肛温	0.90	0.581~1.400	0.645
术后 3 d 内低血压	0.10	0.001~6.865	0.277

2.6 影像学资料分析

收集术后 CTA 资料共 89 例,统计分析两组冰冻象鼻支架末端所在胸椎位置、假腔血栓形成的范围以及假腔供血的肋间动脉数量与术后截瘫的关系,均无统计学意义。两组中支架覆盖肋间动脉数量(Th2 以下)差异具有统计学意义。见表 5。

根据以往研究报道,夹层假腔无造影剂增强表现超过 2 个椎体可以视为假腔血栓形成^[14]。本研究将血栓形成范围超过 2 个椎体、假腔供血肋间动脉数量 ≥ 10 以及冰冻象鼻支架覆盖的肋间动脉数量 ≥ 8 支作为可能的危险因素纳入 logistic 回归模型进行分析。结果显示,假腔供血的肋间动脉数量 ≥ 10 支与支架覆盖的肋间动脉数量 ≥ 8 是术后截

瘫的独立危险因素。见表 6。

表 5 非截瘫组和截瘫组患者 CTA 资料比较

Table 5 CT angiography data

$M(P_{25}, P_{75})$

变量	非截瘫组 (82 例)	截瘫组 (7 例)	P
支架末端锚定位置(椎体)	7(6,7)	7(7,8)	0.150
血栓形成范围(椎体)	9(8,11)	10(8,11)	0.720
假腔供血的肋间动脉数量	4(2,8)	10(6,12)	0.090
支架覆盖肋间动脉数量	6(6,8)	8(8,10)	0.020

表 6 CTA 影像资料 logistic 回归分析

Table 6 Logistic regression analysis of CTA data

变量	OR	95%CI	P
血栓形成范围超过 2 个椎体	0.78	0.094~6.407	0.813
假腔供血肋间动脉 ≥ 10 支	36.71	4.177~322.568	0.001
支架覆盖肋间动脉 ≥ 8 支	35.00	2.189~558.985	0.012

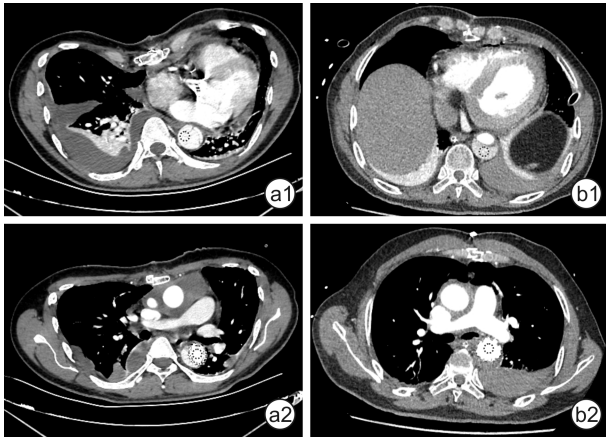
据报道,在胸腹主动脉瘤手术中,行 Th8~Th12 肋间动脉结扎的患者截瘫风险高于未结扎患者,说明 Th7 节段以下肋间动脉供血不足可能是造成截瘫的重要原因^[15]。本研究拟应用主肺动脉 CT 值观察孙氏手术后肋间动脉供血改变与截瘫发生的关系。如图 2 所示,术后截瘫患者残余夹层假腔 CT 值明显偏低,并且两组间 Th7~Th11 的肋间动脉 HUR 差异具有统计学意义,Th12 的两侧肋间动脉 HUR 差异无统计学意义。截瘫患者肋间动脉 HUR 值中位数接近 0.50,非截瘫患者中位数接近 0.90,见表 7。

表 7 非截瘫组和截瘫组患者术后 HUR 的资料比较

Table 7 Comparison of HUR

$M(P_{25}, P_{75})$

变量	非截瘫组(82 例)	截瘫组(7 例)	P
Th7 左侧	0.92(0.69,0.99)	0.50(0.35,0.60)	0.002
Th7 右侧	0.95(0.89,0.99)	0.57(0.36,0.90)	0.002
Th8 左侧	0.90(0.72,0.95)	0.44(0.26,0.49)	0.001
Th8 右侧	0.92(0.88,0.97)	0.49(0.40,0.66)	0.001
Th9 左侧	0.95(0.79,1.00)	0.51(0.37,0.55)	0.001
Th9 右侧	0.94(0.82,0.99)	0.51(0.37,0.55)	0.001
Th10 左侧	0.93(0.76,0.99)	0.45(0.42,0.60)	0.001
Th10 右侧	0.94(0.86,1.01)	0.49(0.44,0.60)	0.001
Th11 左侧	0.94(0.75,0.99)	0.55(0.50,0.76)	0.002
Th11 右侧	0.95(0.84,1.00)	0.71(0.54,0.89)	0.015
Th12 左侧	0.90(0.76,0.98)	0.81(0.65,0.88)	0.161
Th12 右侧	0.90(0.80,0.98)	0.85(0.76,0.98)	0.293



a1~2:非截瘫患者 HUR 计算: Th8 右侧肋间动脉 ROI 219.26 HU(a1)/肺动脉分叉处 ROI 253.67 HU(a2)=0.864; b1~b2:截瘫患者 HUR 计算:左侧肋间动脉 ROI 173.69 HU(b1)/肺动脉分叉处 ROI 274.27 HU(b2)=0.633。

图2 非截瘫与截瘫患者术后 CTA 检查 HUR 比较
Figure 2 HUR comparison between paraplegic and non-paraplegic patients

3 讨论

在脊髓供血网络中,胸腰段的供血较为单一。起源于主动脉的节段性分支如肋间动脉后支参与滋养髓内神经。因此,肋间动脉微血管的基础状况是影响脊髓供血的重要因素。在过去的研究中,A型主动脉夹层术后截瘫的术前危险因素包括糖尿病、高脂血症、既往脑卒中事件、吸烟、心脏疾病、术前肾功能不全等^[13,16]。究其原因,可能是脊髓供血基线水平较低,在夹层发病、体外循环手术及停循环等打击后,肋间动脉后支血流量下降,造成脊髓急性缺血,进而导致截瘫发生。

本研究中4例患者术前出现了低血压事件,其中2例术后出现了截瘫症状。统计学分析也证实,术前低血压/休克很有可能是术后截瘫的危险因素,这与术前低血压造成脊髓缺血及手术进一步创伤有关。据以往研究报道,患者术后低血压事件也可能导致截瘫的发生^[13]。可见围术期血流动力学不稳定很有可能与术后截瘫相关。此外,本研究还发现术后截瘫的患者年龄较低,这可能是由于年轻患者没有心血管疾病基础,侧支循环网络代偿能力有限,对手术打击耐受性较差。

在主动脉修复和置换的相关手术中,肋间动脉或腰动脉灌注缺失与脊髓延迟灌注或再灌注不足是引起截瘫的重要病理生理过程^[17]。冰冻象鼻支架在治疗血管的同时会牺牲部分肋间动脉供血,增加术后截瘫的风险。在 Cuellar 等^[18]的研究中,冰冻象鼻支架术后通畅肋间动脉的减少与术后截瘫相关。除此之外,支架末端锚定位置(包括支架长度)与术后截瘫的发生也存在联系。Katayama

等^[13]的研究提示,支架末端低于 Th9 为术后截瘫的独立危险因素。而 Preventza 等^[19]在汇总了35项研究后指出,支架末端定位应避免低于 Th8 或者支架长度避免大于 15 cm。然而本研究中大多数患者支架末端定位高于 Th8 水平,两组差异并无统计学意义。这可能与肋间动脉的生理结构有关:肋间动脉从主动脉发出后一般向上继而向两侧走行,开口位置与椎体并无严格的平行关系。另外,椎体长度的生理差异与肋间动脉的共干起源,造成椎体与肋间动脉实际开口位置不能严格一致。因此本研究纳入肋间动脉被覆盖数量为统计指标,结果发现相对于非截瘫患者,截瘫患者支架覆盖的肋间动脉数量不少于 8 支,logistic 回归分析也得出支架覆盖的肋间动脉数量 ≥ 8 支是术后截瘫的独立危险因素。综上所述,通过 CTA 制定手术策略时,应选择合适规格的支架避免覆盖过多肋间动脉,减少脊髓缺血的累积效应。

以往多项研究证实,残余的肋间动脉灌注不足导致脊髓缺血的发生。一项术后 CTA 研究结果报道,撕脱的血管内膜“截断”主动脉血流导致“截断”部位以下的肋间动脉供血减少,增加截瘫的风险^[14]。另一项单中心研究则直接指出,夹层假腔血栓形成到 5 区以下与术后截瘫有相关性^[18]。通过观察 CTA 发现,在未被支架覆盖的肋间动脉中,供血较差者多起源于背侧夹层假腔,背侧夹层假腔与真腔血管沟通差会严重影响假腔供血的肋间动脉。在本研究中,大多数截瘫患者假腔供血肋间动脉数量不少于 10 支。经统计分析发现,假腔供血数量 ≥ 10 支为术后截瘫的独立危险因素,这种源于假腔的肋间动脉过多很可能就是术后截瘫的前提。因此,当术前通过 CTA 发现大量背侧假腔供血肋间动脉时,可以实施预防性脑脊液引流。目前已有研究报道该措施具有保护作用^[20]。

同时,本文以 HUR 来评估肋间动脉血流可以更准确地判断血管供血质量。在既往研究中,HUR 作为两个感兴趣区的 CT 值比常应用于心血管领域,如用于心房内血栓的诊断与评估^[21]。也有学者利用 HUR 评估慢性主动脉壁间血肿的进展以及预测 TEVAR 术后的截瘫风险^[22-23]。经 HUR 对比发现,术后截瘫患者与非截瘫患者 Th7~Th11 的 HUR 值有显著差异。此外,HUR 值在 0.50 左右甚至更低时,对肋间动脉供血不足的提示意义更强。由此可见,HUR 可以量化评估肋间动脉供血状态,有一定的临床应用潜力。

本研究存在一定不足:单中心样本量有限,结果存在一定程度偏倚;HUR 测量存在主观性,需要建立更标准的测算策略;通过 CTA 影像对血流动力学进行估测,尚缺乏更直观的测算方法,有待动物实验验证。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] LeMaire SA, Russell L. Epidemiology of thoracic aortic dissection[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2011, 8:103-113.
- [2] Mészáros I, Mórocz J, Szlávi J, et al. Epidemiology and clinicopathology of aortic dissection[J]. *Chest*, 2000, 117(5):1271-1278.
- [3] Ma WG, Zhu JM, Zheng J, et al. Sun's procedure for complex aortic arch repair: total arch replacement using a tetrafurcate graft with stented elephant trunk implantation[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2013, 2(5):642-648.
- [4] Shrestha M, Kaufeld T, Beckmann E, et al. Total aortic arch replacement with a novel 4-branched frozen elephant trunk prosthesis: Single-center results of the first 100 patients[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 152(1):148-159. e1.
- [5] Dohle DS, Tsagakis K, Janosi RA, et al. Aortic remodeling in aortic dissection after frozen elephant trunk[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2016, 49(1):111-117.
- [6] Celmeta B, Harky A, Miceli A. Editorial: Frozen elephant trunk surgery in aortic dissection[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10:1154375.
- [7] Chakos A, Jbara D, Yan TD, et al. Long-term survival and related outcomes for hybrid versus traditional arch repair-a meta-analysis[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2018, 7(3):319-327.
- [8] Sun LZ, Qi RD, Chang Q, et al. Surgery for acute type A dissection using total arch replacement combined with stented elephant trunk implantation; experience with 107 patients[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2009, 138(6):1358-1362.
- [9] Sun LZ, Qi RD, Zhu JM, et al. Repair of acute type A dissection: our experiences and results[J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 91(4):1147-1152.
- [10] Li J, Zhao CY, Li BH, et al. Aortic root reinforcement combined with vascular grafts eversion and built-in procedure(XJ-procedure) for acute type A aortic dissection surgery[J]. *Adv Ther*, 2023, 40(12):5354-5365.
- [11] 余明寰, 刘志刚, 刘晓程. 中/浅低温停循环在主动脉手术中的应用进展[J]. *临床心血管病杂志*, 2022, 38(9):699-705.
- [12] 唐婷婷, 廖玉华. 2023 ESC 急性和慢性心力衰竭诊断和治疗指南更新要点解读[J]. *临床心血管病杂志*, 2023, 39(10):749-752.
- [13] Katayama K, Uchida N, Katayama A, et al. Multiple factors predict the risk of spinal cord injury after the frozen elephant trunk technique for extended thoracic aortic disease[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2015, 47(4):616-620.
- [14] Tan L, Xiao J, Zhou XM, et al. Untreated distal intimal tears may be associated with paraplegia after total arch replacement and frozen elephant trunk treatment of acute Stanford type A aortic dissection[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 158(2):343-350. e1.
- [15] Afifi RO, Sandhu HK, Zaidi ST, et al. Intercostal artery management in thoracoabdominal aortic surgery: To reattach or not to reattach? [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, 155(4):1372-1378. e1.
- [16] Spanos K, Kölbl T, Kubitz JC, et al. Risk of spinal cord ischemia after fenestrated or branched endovascular repair of complex aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 69(2):357-366.
- [17] Svensson LG. Commentary: Three reasons for paralysis after elephant trunk procedures[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 158(2):351-352.
- [18] Cuellar FL, Oberhuber A, Martens S, et al. Analysis of spinal ischemia after frozen elephant trunk for acute aortic dissection; an observational, single-center study[J]. *Diagnostics(Basel)*, 2022, 12(11):2781.
- [19] Preventza O, Liao JL, Olive JK, et al. Neurologic complications after the frozen elephant trunk procedure: a meta-analysis of more than 3000 patients[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 160(1):20-33. e4.
- [20] 周宏艳, 王冀, 袁素, 等. 规范化综合性脊髓保护措施能够降低主动脉手术患者围手术期脊髓损伤发生率: 8年回顾性分析[J]. *中华危重病急救医学*, 2019, 31(5):633-636.
- [21] Hur J, Kim YJ, Lee HJ, et al. Left atrial appendage thrombi in stroke patients: detection with two-phase cardiac CT angiography versus transesophageal echocardiography[J]. *Radiology*, 2009, 251(3):683-690.
- [22] DeCarlo C, Feldman Z, Sumpio B, et al. Differences in aortic intramural hematoma contrast attenuation on multi-phase CTA predict long-term aortic morphologic change[J]. *Ann Vasc Surg*, 2022, 87:87-94.
- [23] Banno H, Kawai Y, Sato T, et al. Low-density vulnerable thrombus/plaque volume on preoperative computed tomography predicts for spinal cord ischemia after endovascular repair for thoracic aortic aneurysm[J]. *J Vasc Surg*, 2021, 73(5):1557-1565. e1.

(收稿日期:2024-03-26)