

基于形态学的腹主动脉瘤破裂风险评估研究*

张译丹¹ 舒畅^{1,2} 方坤¹ 陈冬¹ 侯志辉¹ 罗明尧^{1,3}

[摘要] 目的:以计算机断层扫描血管造影(CTA)为基础分析除最大直径以外的其他影响腹主动脉瘤破裂的形态学指标。方法:通过性别,年龄(± 3 岁),最大瘤体直径(± 2.5 mm)进行破裂腹主动脉瘤(破裂组)与稳定腹主动脉瘤(稳定组)的1:1匹配,收集2组患者的临床基线资料与腹主动脉瘤解剖形态信息,通过单因素统计检验以及多元回归分析比较二者间的差异,分析影响动脉瘤破裂的危险因素。结果:破裂组(39例)与稳定组(39例)的临床基线情况无差异,破裂组的平均瘤颈长度明显短于稳定组[(25.26 \pm 17.99) mm vs(36.19 \pm 19.40) mm, $P=0.013$],双侧髂总动脉近端直径明显小于稳定组[(右侧:(18.21 \pm 7.84) mm vs(21.73 \pm 8.27) mm, $P=0.030$;左侧:(16.28 \pm 5.23) mm vs(19.00 \pm 5.80) mm, $P=0.048$]。Logistic回归分析结果显示,瘤颈长度 <12 mm($OR=7.28, 95\%CI: 1.47\sim 36.04, P=0.015$)、双侧髂总动脉近端直径之和与腹主动脉瘤最大直径之比 <0.56 ($OR=3.67, 95\%CI: 1.13\sim 11.92, P=0.030$)是腹主动脉破裂的危险因素。结论:与直径相似的稳定腹主动脉瘤相比,破裂腹主动脉瘤的瘤颈长度更短,髂总动脉近端直径更小。短瘤颈与小髂总动脉近端直径是腹主动脉瘤破裂的独立危险因素。

[关键词] 腹主动脉瘤;破裂;形态学;危险因素

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2022.06.003

[中图分类号] R543.1 **[文献标志码]** A

Morphology-based risk assessment of abdominal aortic aneurysm rupture

ZHANG Yidan¹ SHU Chang^{1,2} FANG Kun¹ CHEN Dong¹

HOU Zhihui¹ LUO Mingyao^{1,3}

(¹State Key Laboratory of Cardiovascular Disease, Center of Vascular Surgery, Fuwai Hospital, National Center for Cardiovascular Disease, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing, 100037, China; ²Department of Vascular Surgery, The Second Xiangya Hospital of Central South University; ³Department of Vascular Surgery, Fuwai Yunnan Cardiovascular Hospital)

Corresponding author: SHU Chang, E-mail: changshu@vip.126.com; LUO Mingyao, E-mail: luomingyao@fuwai.com

Abstract Objective: To analyze computed tomography angiography(CTA) based on morphological parameters affecting abdominal aortic aneurysm rupture except for maximum diameter. **Methods:** Ruptured abdominal aortic aneurysms and stable abdominal aortic aneurysms were matched 1:1 by gender, age(± 3 years), and maximum aneurysm diameter(± 2.5 mm). Clinical and morphological information of aneurysms were collected and compared through univariate statistical tests and multiple regression analysis, and the factors affecting aneurysm rupture were analyzed. **Results:** There was no difference in clinical baseline between the ruptured and stable groups (39 cases each), and the mean neck length of ruptured abdominal aortic aneurysms was significantly shorter than that of stable abdominal aortic aneurysms[(25.26 \pm 17.99) mm vs(36.19 \pm 19.40) mm, $P=0.013$]. The proximal diameter of bilateral common iliac arteries in the ruptured abdominal aortic aneurysm group was significantly smaller than that in the stable abdominal aortic aneurysm group[(right: (18.21 \pm 7.84) mm vs(21.73 \pm 8.27) mm, $P=0.030$; left: (16.28 \pm 5.23) mm vs(19.00 \pm 5.80) mm, $P=0.048$]. The results of conditional logistic regression analysis showed that aneurysm neck length <12 mm($OR=7.28, 95\%CI: 1.47\sim 36.04, P=0.015$),

*基金项目:中国医学科学院临床与转化研究基金项目(No:2020-I2M-C&T-A-010);中国医学科学院阜外医院高水平医院临床科研项目(No:2022-GSP-QZ-2)

¹中国医学科学院北京协和医学院 国家心血管病中心 阜外医院 心血管疾病国家重点实验室(北京,100037)

²中南大学湘雅二医院血管外科

³云南省阜外心血管病医院血管外科

通信作者:舒畅, E-mail: changshu@vip.126.com; 罗明尧, E-mail: luomingyao@fuwai.com

the proportion of bilateral common iliac artery proximal diameter with maximum aneurysm diameter < 0.56 ($OR = 3.67, 95\%CI: 1.13 \sim 11.92, P = 0.030$) were risk factors for abdominal aortic aneurysm rupture. **Conclusion:** Compared with stable abdominal aortic aneurysms of similar diameter, ruptured abdominal aortic aneurysms have a shorter neck and a smaller proximal diameter of the common iliac artery. A short aneurysm neck and small proximal diameter of the common iliac artery are independent risk factors for abdominal aortic aneurysm rupture.

Key words abdominal aortic aneurysm; rupture; morphology; risk factors

腹主动脉瘤是一种隐匿而致命的主动脉扩张疾病,破裂后死亡率超过 $60\% \sim 90\%$ ^[1-2]。其患病率随着年龄增长逐渐增加,根据人群健康监测研究,65岁老年男性患病率为 1.7% ^[3],65~74岁男性人群患病率为 3.3% ^[4],吸烟人群的患病率则超过 5% ^[5]。动脉瘤破裂风险随直径扩张而增加,动脉瘤直径超过 5 cm 时,5年破裂风险为 25% ^[6],动脉瘤直径超过 7 cm 时1年内破裂风险为 32.5% ^[7]。腹主动脉瘤的手术指征判断目前主要依靠直径和生长速度^[8-10]。但一些小腹主动脉瘤可能破裂,另一些大腹主动脉瘤却保持稳定,仅依靠单一的直径指标预测效能低。研究除最大直径以外的其他影响腹主动脉瘤破裂的参数,可以更好地进行个体风险分析。本研究以计算机断层扫描血管造影(CTA)为基础分析影响腹主动脉瘤破裂的形态学指标。

1 对象与方法

1.1 对象

本研究回顾性分析了2010年1月—2020年1月在中国医学科学院阜外医院就诊并诊断为破裂腹主动脉瘤患者的临床资料,其中56例患者有破裂时的主动脉CTA。选择同期就诊的稳定腹主动脉瘤患者并以性别、年龄(± 3 岁),最大瘤体直径($\pm 2.5\text{ mm}$)为条件1:1匹配。破裂腹主动脉瘤被定义为真性肾下腹主动脉瘤且CTA证实主动脉周围(肾周或腹膜后)血肿。稳定腹主动脉瘤被定义为无腹痛或腹部不适等症状的完整真性肾下腹主动脉瘤。

从阜外医院电子病例系统中收集破裂组和对照组的临床资料,包括患者的身高、体重、是否吸烟、是否合并高血压、糖尿病、高脂血症、卒中、冠心病、以及超声心动图的射血分数等信息。

1.2 形态学测量

获取术前主动脉CTA影像并使用计算机软件AW Server 2.0(GE healthcare)自动进行主动脉及双侧髂总动脉血流腔三维重建并绘制相应血管中心线,获得垂直于中心线的血流腔横断面,通过手动调整可以精确分割每个横断面血管外壁边界,软件可计算出每个横断面的最大直径、最小直径、面积以及包括血栓在内的动脉瘤总体积。记录腹主动脉及双侧髂总动脉的解剖形态信息:肾下腹主动脉中心线长度(从最下肾动脉平面至腹主动脉分叉

平面中心线长度)、肾下腹主动脉直线长度(从最下肾动脉平面至腹主动脉分叉平面中心点间的直线距离)、肾下腹主动脉扭曲程度(中心线长度除以直线距离)、瘤颈长度(从最下肾动脉平面至动脉瘤起始平面中心线长度)、瘤颈近远端直径及动脉瘤最大直径(垂直于中心线,均为动脉壁外缘-外缘直径)、腹主动脉瘤总体积、腹主动脉瘤血流腔体积、腹主动脉瘤腔内血栓体积以及腔内血栓比例(腔内血栓体积除以腹主动脉瘤总体积)、钙化体积(将亨氏单位(Hounsfield unit, HU)设置为 $600 \sim 2000$, 软件可自动分割此阈值范围内的影像并计算体积,通过手动剪除被错误识别的邻近脊椎骨组织,即可得到主动脉壁钙化体积);双侧髂总动脉中心线长度及直线长度,双侧髂总动脉近端与远端及最小直径,髂外动脉近端直径(垂直于中心线,均为动脉壁内缘-内缘直径),双侧髂总动脉血流腔体积及钙化体积。

1.3 统计学处理

采用SPSS 26.0(IBM Corp, Armonk, NY)进行统计分析,定量资料呈正态分布采用 $\bar{X} \pm S$ 表示,比较采用 t 检验;偏态分布采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,比较采用 Mann-Whitney U 检验。定性资料以频数(%)描述,比较采用 χ^2 检验。将单因素分析中具有统计学意义的变量纳入多元回归模型中分析各因素作用的大小及方向;绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线判断模型拟合效果,采用 Hosmer-Lemeshow 检验模型拟合优度。经多元回归模型检验后,对有统计学意义的因素绘制 ROC 曲线从而找出截断值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

根据匹配条件,纳入研究的破裂腹主动脉瘤患者(破裂组)及稳定腹主动脉瘤患者(稳定组)各39例,平均年龄分别为(68.10 ± 6.67)岁和(67.95 ± 6.23)岁,男性患者均占 92.3% 。2组患者的身高、体重、BMI相近,吸烟、高血压、高血脂、脑卒中及冠心病比例差异无统计学意义。破裂组糖尿病患者比例(5.4%)少于对照组(20.5%),但差异无统计学意义($P = 0.108$)。2组患者的基线资料见表1。

破裂组与稳定组的形态学指标数据以及单因素比较结果见表2。稳定组和破裂组平均腹主动脉瘤最大直径相近[(76.00 ± 13.69) mm vs

(76.34±14.17) mm, $P=0.914$], 动脉瘤总体积、血流腔体积差异无统计学意义; 破裂组腔内血栓体积中位数(103.81 mL)小于稳定组(144.31 mL), 但差异无统计学意义($P=0.140$)。2组在肾下腹主动脉中心线长度、直线长度及扭曲程度方面差异无统计学意义。破裂组的平均瘤颈长度明显短于稳定组[(25.26±17.99) mm vs (36.19±19.40) mm, $P=0.013$], 2组瘤颈直径差异无统计学意义。2组双侧髂总动脉中心线长度、直线长度、血流腔体积、钙化体积差异无统计学意义。破裂组的双侧髂总动脉近端直径明显小于稳定组[右侧:(18.21±7.84) mm vs (21.73±8.27) mm, $P=0.030$; 左侧:(16.28±5.23) mm vs (19.00±5.80) mm, $P=0.048$]。

表1 2组患者基线资料
 Table 1 Baseline demographics

指标	稳定组(39例)	破裂组(39例)	P
年龄/岁	67.95±6.23	68.10±6.67	—
男性	36(92.3)	36(92.3)	—
身高/cm	171.13±6.30	171.00±6.44	0.942
体重/kg	72.00(68.50,78.00)	70.00(69.00,75.50)	0.657
BMI	24.61(23.15,23.68)	23.97(22.87,24.77)	0.179
吸烟	28(71.8)	26(70.3)	0.884
高血压	28(71.8)	30(81.1) ¹⁾	0.341
糖尿病	8(20.5)	2(5.4) ¹⁾	0.108
高脂血症	20(51.3)	17(45.9) ¹⁾	0.642
脑卒中	11(28.2)	7(18.9) ¹⁾	0.341
冠心病	12(30.8)	17(43.6) ¹⁾	0.241
射血分数/%	61(60,65)	60(57,62) ²⁾	0.082

注: ¹⁾ 缺失数据量为2; ²⁾ 缺失数据量为4。

表2 2组形态学指标及单因素检验结果
 Table 2 Morphology parameters and results of statistical tests 例(%), $M(P_{25}, P_{75}), \bar{X} \pm S$

指标	稳定组(39例)	破裂组(39例)	P
肾下腹主动脉			
中心线长度/mm	152.90±21.93	149.88±23.54	0.719
直线长度/mm	129.67±15.34	128.78±18.67	0.229
扭曲程度	1.18±0.13	1.17±0.12	0.545
瘤颈			
长度/mm	36.19±19.40	25.26±17.99	0.013
近端直径/mm	26.54±4.08	26.10±3.88	0.775
远端直径/mm	28.84±4.09	28.42±4.37	0.593
腹主动脉瘤			
最大直径/mm	76.00±13.69	76.34±14.17	0.914
总体积/mL	372.98(218.48,449.45)	357.56(199.78,488.68)	0.730
血流腔体积/mL	157.44(111.06,240.89)	161.63(100.06,301.59)	0.513
腔内血栓体积/mL	144.31(97.57,247.70)	103.81(63.72,214.49)	0.140
腔内血栓比例/%	52.8(26.4,63.7)	44.7(21.2,59.0)	0.149
钙化体积/ μ L	376.7(167.4,837.6)	400.3(83.7,975.2)	0.944
髂动脉			
右髂总动脉			
中心线长度/mm	48.48±16.56	51.15±21.00	0.834
直线长度/mm	44.46±14.05	46.89±17.36	0.657
近端直径/mm	21.73±8.27	18.21±7.84	0.030
远端直径/mm	16.61±5.36	15.73±4.80	0.639
最小直径/mm	15.28±5.63	12.97±3.08	0.094
血流腔体积/mL	11.17(5.49,16.77)	9.69(4.59,14.16)	0.254
钙化体积/ μ L	117.65(53.05,234.55)	156.3(62.40,263.50)	0.791
右髂外动脉近端直径/mm	11.21±2.74	10.61±2.23	0.320
左髂总动脉			
中心线长度/mm	47.95±17.69	52.21±21.41	0.838
直线长度/mm	43.38±15.47	47.41±17.61	0.529
近端直径/mm	19.00±5.80	16.28±5.23	0.048
远端直径/mm	16.68±5.58	14.81±4.48	0.197
最小直径/mm	14.30±4.74	12.22±2.95	0.074
血流腔体积/mL	7.74(5.20,16.31)	9.53(4.34,13.82)	0.738
钙化体积/ μ L	123.20(29.20,340.30)	110.60(57.05,238.90)	0.979
左髂外动脉近端直径/mm	11.28±2.63	10.33±2.48	0.174

单因素分析结果具有统计学意义的变量为瘤颈长度、右侧髂总动脉近端直径及左侧髂总动脉近端直径;考虑到后两者之间的共线性,选取双侧髂总动脉近端直径之和与腹主动脉瘤最大直径之比作为新变量纳入多元回归分析。Logistic 回归分析结果显示,更长的瘤颈($OR = 0.955, 95\%CI: 0.915 \sim 0.996, P = 0.032$)、更大的髂总动脉直径比例(双侧髂总动脉近端直径之和与腹主动脉瘤最大直径之比)($OR = 0.945, 95\%CI: 0.895 \sim 0.998, P = 0.041$)是腹主动脉瘤破裂的保护因素。使用 logistic 回归模型预测概率绘制 ROC 曲线(图 1),曲线下面积为 $0.723, 95\%CI: 0.609 \sim 0.837, P = 0.001$), Hosmer-Lemeshow 检验结果 $P = 0.373$, 说明模型拟合良好。利用 ROC 曲线探寻上述指标的截断值(约登指数最大值)并进行 logistic 多元回归分析,结果表明瘤颈长度 $< 12\text{ mm}$ ($OR = 7.28, 95\%CI: 1.47 \sim 36.04, P = 0.015$), 双侧髂总动脉近端直径之和与腹主动脉瘤最大直径之比 < 0.56 ($OR = 3.67, 95\%CI: 1.13 \sim 11.92, P = 0.030$) 是腹主动脉破裂的危险因素。

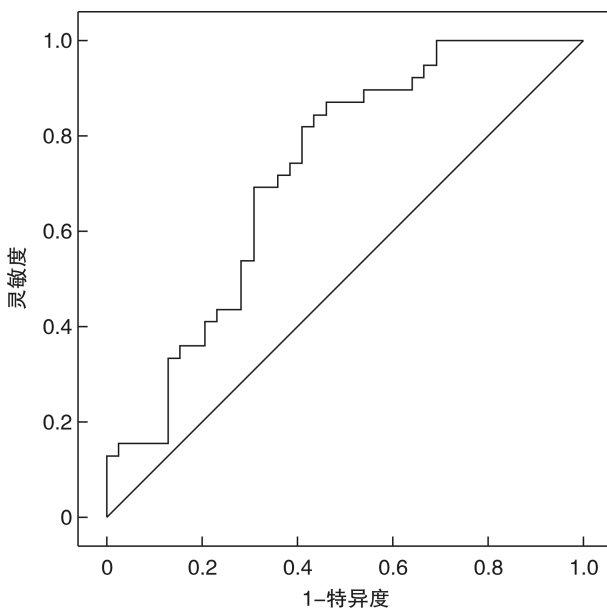


图 1 绘制 ROC 曲线判断 Logistic 回归模型拟合效果

Figure 1 ROC curve of logistic regression model

3 讨论

本研究通过匹配性别、年龄、瘤体最大直径,获得基线情况相似的破裂腹主动脉瘤与完整腹主动脉瘤 2 组样本,从而控制混杂因素,探究除最大直径以外的其他影响腹主动脉瘤破裂的形态学特征。单因素统计检验结果表明,破裂腹主动脉瘤的平均瘤颈长度、平均双侧髂总动脉近端直径小于完整腹主动脉瘤。Logistic 回归分析证实更短的瘤颈长度与更小的髂总动脉近端直径是腹主动脉瘤破裂的

危险因素。瘤颈长度 $< 12\text{ mm}$ 时,腹主动脉瘤破裂风险是瘤颈长度 $> 12\text{ mm}$ 时的 7.28 倍,髂总动脉近端直径与腹主动脉瘤最大直径比例 < 0.56 时,腹主动脉瘤破裂风险增加 3.67 倍。其他研究也证实破裂腹主动脉瘤的平均瘤颈长度更短^[11-13],这一现象对腹主动脉瘤破裂所发挥的作用和具体机制还需进一步研究。既往关注髂动脉形态的研究较少,Spanos 等^[12]的研究发现破裂腹主动脉瘤的髂总动脉近端直径更小,但未进行多因素回归分析验证其作用,髂动脉形态对腹主动脉瘤破裂的影响有待更多研究证实。

腔内血栓在腹主动脉瘤破裂中所起的作用是有争议的。本研究结果显示破裂腹主动脉瘤腔内血栓体积中位数小于稳定腹主动脉瘤,但差异无统计学意义。早期的研究者通过二维指标(血栓厚度、面积)直接比较或估算体积后比较破裂腹主动脉瘤与完整腹主动脉瘤的腔内血栓差别,Finlinger 等^[11]发现 2 组间最大血栓厚度无明显差别,Hans 等^[14]认为破裂腹主动脉瘤腔内血栓体积明显多于完整腹主动脉瘤。近些年来,计算机软件技术高速发展,主动脉三维重建的自动/半自动测量得以实现,研究者从而可以更加精确地测量血栓体积。一篇关于大腹主动脉瘤(最大瘤体直径 $> 80\text{ mm}$)的病例对照研究结果表明破裂腹主动脉瘤血栓体积占总体积的比例明显小于完整腹主动脉瘤^[12],血栓分布也可能影响破裂结局。另一篇研究结果表明血栓体积的增加与小腹主动脉瘤的破裂相关,而与平均壁应力明显负相关,研究者认为血栓增加会削弱主动脉壁强度,从而影响动脉瘤破裂^[15]。Golledge 等^[16]的结论则是 2 组间的血栓体积相似。Barrett 等^[17]生物力学表征研究,血栓的生物力学强度与微观组织结构相关,而血栓的组织结构与血栓体积、动脉瘤直径无关。

既往研究表明钙化与动脉壁的退化有关,因此钙化对腹主动脉瘤破裂的作用值得探究。由于测量软件限制,本研究的钙化体积仅计算了 HU 值 $600 \sim 2000$ 的钙化组织,一些密度较低的钙化斑块并未包括在内,尽管结果显示破裂腹主动脉瘤与稳定腹主动脉瘤的钙化体积无差异,仍不能得出钙化对动脉瘤破裂无影响的结论。Buijs 等^[18]通过半定量钙化分析——AAC-8 评分发现症状腹主动脉瘤与破裂腹主动脉瘤的钙化程度高于稳定腹主动脉瘤。Niklas 等^[19]测量钙化体积,发现三者间破裂腹主动脉瘤钙化体积最小。Barrett 等^[17]通过腹主动脉开放手术获取瘤壁样本进行生物力学实验,发现钙化在腹主动脉瘤壁的退化中起着不可或缺的作用——钙化使得瘤壁强度减低,并且使得周围非钙化组织在面临压力时承受更显著的应变影响,研究者认为这一机制有助于揭示腹主动脉瘤破裂风

险最高的位点。

本研究存在以下不足之处。首先,研究的基础是破裂腹主动脉瘤 CTA 影像资料,一小部分无法进行影像检查的极危重患者未能纳入研究,然而这种选择偏倚无法避免,因此本研究样本所能代表的是到达急诊时生命体征相对稳定的破裂人群;其次,由于匹配条件限制,一部分患者未能纳入研究,不过,本研究最终纳入样本量可以满足单因素统计检验及多元回归建模分析;最后,CTA 影像检查通常在破裂之后,因此动脉瘤形态可能发生轻微改变,然而现实中很难获得腹主动脉瘤患者即将破裂前的 CTA。

综上所述,与直径相似的稳定腹主动脉瘤相比,破裂腹主动脉瘤的瘤颈长度更短,髂总动脉近端直径更小。短瘤颈与小髂总动脉近端直径是腹主动脉瘤破裂的独立危险因素。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Lederle FA, Freischlag JA, Kyriakides TC, et al. Outcomes following endovascular vs open repair of abdominal aortic aneurysm: a randomized trial[J]. JAMA, 2009, 302(14): 1535-1542.
- [2] 李鑫, 舒畅. 破裂性腹主动脉瘤和髂动脉瘤的诊断和治疗新策略[J]. 中华血管外科杂志, 2016, 1(3): 189-192.
- [3] Svensjö S, Björck M, Gürtelschmid M, et al. Low prevalence of abdominal aortic aneurysm among 65-year-old Swedish men indicates a change in the epidemiology of the disease[J]. Circulation, 2011, 124(10): 1118-1123.
- [4] Grøndal N, Søgaard R, Lindholt JS. Baseline prevalence of abdominal aortic aneurysm, peripheral arterial disease and hypertension in men aged 65-74 years from a population screening study(VIVA trial)[J]. Br J Surg, 2015, 102(8): 902-906.
- [5] Lee ES, Pickett E, Hedayati N, et al. Implementation of an aortic screening program in clinical practice: implications for the Screen For Abdominal Aortic Aneurysms Very Efficiently (SAAAVE) Act [J]. J Vasc Surg, 2009, 49(5): 1107-1011.
- [6] Nevitt MP, Ballard DJ, Hallett JW Jr. Prognosis of abdominal aortic aneurysms. A population-based study[J]. N Engl J Med, 1989, 321(15): 1009-1014.
- [7] Lederle FA, Johnson GR, Wilson SE, et al. Rupture rate of large abdominal aortic aneurysms in patients refusing or unfit for elective repair[J]. JAMA, 2002, 287(22): 2968-2972.
- [8] Erbel R, Aboyans V, Boileau C, et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology(ESC)[J]. Eur Heart J, 2014, 35(41): 2873-2926.
- [9] Chaikof EL, Dalman RL, Eskandari MK, et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm[J]. J Vasc Surg, 2018, 67: 2-77 e2.
- [10] Wanhainen A, Verzini F, Van Herzele I, et al. Editor's Choice-European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms [J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2019, 57(1): 8-93.
- [11] Fillinger MF, Racusin J, Baker RK, et al. Anatomic characteristics of ruptured abdominal aortic aneurysm on conventional CT scans: Implications for rupture risk[J]. J Vasc Surg, 2004, 39(6): 1243-1252.
- [12] Spanos K, Nana P, Kouvelos G, et al. Anatomical Differences Between Intact and Ruptured Large Abdominal Aortic Aneurysms [J]. J Endovasc Ther, 2020, 27(1): 117-123.
- [13] Hincliffe RJ, Alric P, Wenham PW, et al. Durability of femorofemoral bypass grafting after aortouniiliac endovascular aneurysm repair[J]. J Vasc Surg, 2003, 38(3): 498-503.
- [14] Hans SS, Jareunpoon O, Balasubramaniam M, et al. Size and location of thrombus in intact and ruptured abdominal aortic aneurysms[J]. J Vasc Surg, 2005, 41(4): 584-588.
- [15] Haller SJ, Crawford JD, Courchaine KM, et al. Intraluminal thrombus is associated with early rupture of abdominal aortic aneurysm[J]. J Vasc Surg, 2018, 67(4): 1051-1058. e1.
- [16] Golledge J, Iyer V, Jenkins J, et al. Thrombus volume is similar in patients with ruptured and intact abdominal aortic aneurysms[J]. J Vasc Surg, 2014, 59(2): 315-320.
- [17] Barrett HE, Cunnane EM, Hidayat H, et al. On the influence of wall calcification and intraluminal thrombus on prediction of abdominal aortic aneurysm rupture [J]. J Vasc Surg, 2018, 67(4): 1234-1246. e2.
- [18] Buijs RV, Willems TP, Tio RA, et al. Calcification as a risk factor for rupture of abdominal aortic aneurysm [J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2013, 46(5): 542-548.
- [19] Niklas N, Gutowski P, Kazimierczak A, et al. Abdominal Aortic Aneurysm Morphology as an Essential Criterion for Stratifying the Risk of Aneurysm Rupture [J]. J Clin Med, 2022, 11(4).

(收稿日期: 2022-05-13)