

新型深静脉旋切抽吸式取栓器的试制及模拟实验研究

孙立剑, 闫士举, 宋成利
上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093

【摘要】目的:试制旋切抽吸式取栓器并进行体外模拟实验, 研究抽吸流量以及转速对取栓效果的影响, 并对比同类机械取栓器。**材料和方法:**试制取栓器, 设计流体模型并搭建实验平台, 准备6组实验, 每组实验10个血栓样本, 每个样本质量保持无统计学差异($P>0.05$), 设置3组不同抽吸流量200 mL/min(A1), 250 mL/min(B1), 300 mL/min(C1)以及3组不同转速18 000 r/min(A2), 25 000 r/min(B2), 35 000 r/min(C2), 实验过程中记录每一个样本质量, 取栓时间和排出液体体积。**结果:**不同的抽吸流量情况下, 取栓时间3组有显著差异($P<0.05$)且与抽吸流量呈负相关性, 液体排出量3组无明显差异($P>0.05$), 250 mL/min流量下取栓效果最好; 不同的转速情况下3组实验取栓时间以及液体排出量均有显著差异($P<0.05$), 25 000 r/min转速下取栓效果最好。对比同类取栓器, 在取栓时间以及打通速率上均有明显优势。**结论:**新型取栓器体外实验血栓清除率较高, 清除时间以及排除液体量较现有同类取栓器有明显优势, 体外碎栓能力较优。

【关键词】旋切抽吸式; 体外模拟实验; 取栓; 流体模型

【中图分类号】R318.6

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2016)02-0151-06

Trial-production and simulation experimental research of new deep venous rotary-cut suction thrombectomy device

SUN Li-Jian, YAN Shi-Ju, SONG Cheng-li

School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

Abstract: Objective To trial-produce the rotary-cut suction thrombectomy device and conduct simulation experiment *in vitro*; to study on the impacts of suction flow rate and rotation speed on the thrombectomy effect, and the impacts were compared with those of the similar mechanical thrombectomy device. **Methods** Thrombectomy device was trial-produced; fluid model was designed; experimental platform was established. Sixty thrombus samples without any statistical differences were prepared for six groups, each group of ten samples ($P>0.05$). Three groups had different suction flow rates, respectively 200 mL/min (A1), 250 mL/min (B1), 300 mL/min (C1). And the other three groups had different rotation speeds, respectively 18 000 r/min (A2), 25 000 r/min (B2), 35 000 r/min (C2). The sample quality, thrombectomy time, and discharge amount during the experiment were recorded. **Results** With different suction flow rates, significant differences were found in the thrombectomy time among three groups ($P<0.05$), and the thrombectomy time was negatively correlated with the suction flow rate; no significant differences were found in the liquid discharge amount ($P>0.05$); the B1 group with the suction flow rate of 250 mL/min had the best thrombectomy effect. With the different rotation speeds, significant differences were found in the thrombectomy time and the discharge amount ($P<0.05$), and the group with the rotation rate of 25 000 r/min had the best thrombectomy effect. Compared with the similar mechanical thrombectomy device, the proposed device had obvious advantages in the thrombectomy time and thrombectomy rate. **Conclusion** Compared with the similar mechanical thrombectomy device, the new thrombectomy device has a higher thrombus removal rate *in vitro* and better thrombectomy effect *in vitro*, with obvious advantages in the clear time and liquid discharge amount.

Key words: rotary-cut suction; simulation experiment *in vitro*; thrombectomy; fluid model

【收稿日期】2015-11-22

【基金项目】上海市教育委员会科研创新项目(12YZ097)

【作者简介】孙立剑(1989-), 硕士在读, 研究方向: 深静脉血栓去除器。Tel: 15800769673; E-mail: li_jian_sun@163.com。

【通信作者】闫士举(1977-), 博士, 副教授, 研究方向: 锥束CT图像处理方法研究, 微创取栓系统与方法研究。Tel: 13524678682; E-mail: yanshj99@aliyun.com。

前言

急性下肢深静脉血栓形成,是目前临床常见的疾病,发病率高达50%^[1],在周围血管疾病中占40%左右,下肢深静脉血栓形成与肺栓塞(Pulmonary Embolism, PE)有直接关系^[2-5],血栓脱落后往往会随着血流堵塞肺动脉。20世纪30年代以前,主要治疗方法是卧床休息和抬高患肢;60年代,手术取栓、抗凝与溶栓治疗相继用于临床^[6]。导管直接溶栓、球囊导管扩张与支架植入等血管腔内介入技术^[7]于20世纪末用于治疗深静脉血栓^[8]。介入机械取栓是治疗深静脉血栓的有效疗法之一,与抗凝溶栓和导管溶栓相比具有治愈快、治疗时间短、后遗症少等优点。许多学者在积极探索治愈时间短、安全有效的机械血栓切割器治疗血栓^[9]。目前主流机械碎栓器械主要为国外生产。本实验是在体外模拟深静脉血栓,应用实验室设备激光焊接机以及线切割机自制取栓器,根据改进后的流体模型,研究该取栓器体外碎栓效果以及将碎血栓排出体外的能力。

1 材料和方法

1.1 旋切抽吸式取栓器

本取栓器参考Amplatz取栓器模型设计,最高转速可以达到150 000 r/min^[10-12],但是Amplatz取栓器只有碎栓功能,无法将打碎的血栓排出体外,有很大的概率发生肺栓塞。现在市场上大部分的取栓器都只有碎栓功能,没有能将碎栓排出体外的产品。笔者针对现有产品的不足,设计一款既有碎栓功能,又有取栓功能的机械旋切抽吸式取栓器,可以有效减少并发症的发生。

机械旋切抽吸式取栓器主要由3个部分组成:血栓切除导管、Y型阀和电机。血栓切除导管由金属导管和塑料管组成,金属导管为医用不锈钢材料,直径为3 mm,距离其顶端6 mm处用线切割机开一对侧孔^[13],侧孔1长度为4 mm,深度为1 mm,距离侧孔1位置3 mm处再开一对侧孔2,长度同为4 mm,深度为1 mm;侧孔1处裸露叶片,侧孔2为排栓口。金属导管尾端连接医用透明软管,材料为PEBAX,长度100 cm^[14-16]。金属导管一方面起支撑作用,有利于取栓器插入血管中;另外一方面由于侧孔长度较小,能防止叶片切伤血管,保护血管。叶片用激光焊接机焊接在旋转轴上,叶片的位置限位在侧孔1内,能更大程度地切碎血栓。旋转轴和后端的电机相连,可以产生10 000~50 000 r/min的转速。图1为取栓器的实物图。

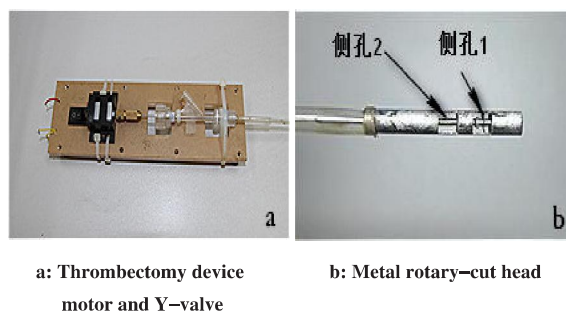


图1 取栓器物理模型图
Fig.1 Physical model of thrombectomy device

1.2 流体模型

本文所用的流体模型参考Müller等^[17]的流体模型,该模型主要用于测试取栓器体外碎栓能力。王晓白等^[18]文献中利用此流体模型评价4种流变式取栓器的体外碎栓能力,模型所用的材料为医用硅胶管。Müller模型模拟血管的狭窄率为87%,但是实际情况中,患者的下肢几乎处于全堵状态,所以改动模型将硅胶管一端完全堵住,使之更加贴近人体实际情况。模型主要分为三个部分:流入部分,血栓段部分和流出部分。流入部分接水泵用于提供持续流动的生理盐水模拟静脉血;血栓段部分末端封堵,用于模拟狭窄堵塞;流出部分连接碎栓导管,量筒2负责测量排出的液体量。泵1的流量设置为人体的静脉流量343 mL/min^[19]。泵1模拟人体静脉血的流动提供动力,泵2负责抽吸碎栓,将碎栓排出体外。考虑抽吸流量对取栓效果的影响,且打碎血栓后静脉流量恢复正常,为了保证足够大的抽吸流量可以将血栓抽出体外,将抽吸流量区间设置为173 mL/min(静脉流量/2)~343 mL/min(静脉流量),分别设置泵2的流量为200 mL/min(A1)、250 mL/min(B1)、300 mL/min(C1),电机转速设置为25 000 r/min。考虑转速对取栓效果影响,分别设置转速为18 000 r/min(A2)、25 000 r/min(B2)、35 000 r/min(C2),该转速为多次模拟实验获得,抽吸流量设置为250 mL/min,所有的实验均采用同一个取栓器。具体模型如图2所示。

1.3 血栓的制备

由于犬具有发达的血液循环系统,适于做实验外科学,因此该实验选择成年犬提供血液。选择体质量为20~30 kg的成年犬,实验犬先麻醉,用心脏取血的方法取新鲜血^[20](来自同一条犬)置入直径为10 mm、长度为100 cm的硅胶管中,待其在空气中自凝后放入4℃冰箱中静置备用。每次试验截取3 g

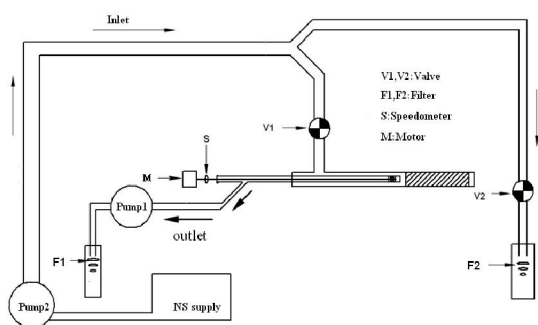


图2 流体模型

Fig.2 Fluid model

左右的血栓,用中性滤纸滚干表面血渍称质量植入图中血栓段硅胶管内。

1.4 血栓清除方法

打开泵1,待全部管道内充满生理盐水时,准备血栓的清除。打开后端电机的开关,叶片旋切血栓,取栓器以缓慢的速度前行,并前后推动,保证取栓器叶片旋切过的血栓段可以完全切除,整个过程在可视下进行。电机开始工作的同时,立即打开泵2,完成碎栓的排出。待硅胶管内无明显血栓时,停止电机,取栓导管内无碎栓时停止泵2。

1.5 结果评定

记录每一个样本的质量,每一个样本的质量精确到0.01 g。从电机启动开始,到硅胶管内无明显残留血栓,记录该时间段为取栓时间。量筒2收集液体排出量,包括碎栓体积和排出的盐水体积,直接读出量筒内液体的体积。

1.6 统计分析

所用数据用SPSS19.0统计软件处理,血栓质量、取栓时间以及排出量采用单因素方差分析, $P<0.05$ 认为差异有统计学意义。

2 结果

图3为取栓前后对比图,取栓前取栓器贴附在血栓表面,取栓过程缓慢移动取栓器,取栓后整个硅胶管内无明显血栓。

实验过程中截取同等长度的血栓,SPSS软件分析血栓质量无统计学差异即视为对结果无影响。采用单因素方差分析表1,用LSD和Dunnnett进行均值的多重比较。对表1不同抽吸流量情况下所得到的参数进行对比,对表中3种不同抽吸流量下的血栓质量进行对比:A1分别与B1、C1比较,均 $P>0.05$,B1与C1对比, $P>0.05$;对3组不同流量情况下的除栓时间进行对比:A1与B1



a: Before experiment

b: After experiment

图3 实验前后对比图

Fig.3 Diagrams before and after experiment

比较, $P<0.05$,A1与C1相比, $P<0.01$,B1与C1相比, $P>0.05$;对3组不同流量下排出量进行对比:A1分别与B1、C1比较,均 $P>0.05$,B1与C1对比, $P>0.05$ 。

表1三组实验血栓质量无明显差异($P>0.05$);整个过程的取栓时间,A1组与B1组差异性最大($P<0.01$),与C1组有明显差异($P<0.05$)。排出量3个参数之间没有明显差异($P>0.05$)。

采用单因素方差分析表2,用LSD和Dunnnett进行均值的多重比较。对表2中不同转速情况下所得到的参数进行对比。对3种不同转速情况下的血栓质量数据进行对比:A2分别与B2、C2比较,均 $P>0.05$,B2与C2对比, $P>0.05$;3种不同转速下的除栓时间相比:A2与B2比较, $P<0.01$,A2与C2比较, $P<0.05$,B2与C2比较, $P>0.05$;对3种不同转速下的排出量进行对比:A2与B2比较, $P<0.05$,A2与C2相比, $P>0.05$,B2与C2相比, $P<0.05$ 。

表2三组实验中血栓质量无明显差异($P>0.05$);整个过程的取栓时间:A2组与B2组差异性最大($P<0.01$),与C2组有显著差异($P<0.05$),B2与C2无明显差异($P>0.05$);排出量方面:A2与B2、C2都有明显差异,B2与C2有显著差异。

从数据表可以看出,不同抽吸流量情况下,3组数据中C1组的整体数据是最好的,取栓时间和排出量相比前两组都是最少的,B1组效果次之。从图4分布图看出,排出时间3组呈现递减趋势,C1组效果最好,排出量方面,3者均值整体差异性不大,但是考虑到实验过程中C1组有两例实验并没有完全清除血栓(样本值取所有实验最大值),剩余血栓直径大于100 μm 没有达到完全碎栓的效果,所以B1组的效果相比于其他两组更好;从图5数据表可以看出,不同转速情况下,B2组取栓时间以及排出量都较其他两组较小,取栓效率明显优于其他两组。

表1 不同抽吸流量数据表

Tab.1 Data of different suction flow rates

Item	Quality (g)			Embolectomy time (s)			Discharge amount (mL)		
	A1	B1	C1	A1	B1	C1	A1	B1	C1
1	3.05	3.00	3.04	15.3	26.4	7.8	25	107	25
2	3.05	3.03	3.02	14.8	11.5	9.2	40	38	40
3	3.08	3.05	3.07	17.7	14.7	12.7	43	50	60
4	3.01	3.01	3.04	18.1	10.4	12.5	43	39	40
5	3.03	3.00	3.05	30.7	15.5	9.5	95	55	40
6	3.06	3.02	3.04	17.9	13.5	+∞	50	35	+∞
7	3.03	3.00	2.90	20.7	10.1	9.8	55	35	40
8	3.03	3.00	3.10	14.6	12.8	10.7	43	46	55
9	3.07	3.02	3.05	15.1	13.6	+∞	46	45	+∞
10	3.01	3.02	3.08	21.0	9.6	8.9	64	35	35
Average	3.04	3.02	3.04	18.6	13.8	12.0	50	49	49

Note: The suction flow rates of A1, B1, C1 groups were respectively 200 mL/min, 250 mL/min, and 300 mL/min.

表2 不同转速数据表

Tab.2 Data of different rotate speeds

Item	Quality (g)			Embolectomy time (s)			Discharge amount (mL)		
	A2	B2	C2	A2	B2	C2	A2	B2	C2
1	3.00	3.00	2.90	21.80	26.4	24.5	65	107	51
2	3.00	3.03	3.10	26.60	11.5	26.8	87	38	83
3	3.10	3.05	3.00	30.50	14.7	30.4	135	50	98
4	3.07	3.01	3.11	28.20	10.4	22.2	100	39	50
5	2.95	3.00	2.90	25.00	15.5	22.0	75	55	70
6	3.15	3.02	2.99	35.90	13.5	20.9	80	35	80
7	2.90	3.00	3.10	38.00	10.1	26.5	80	35	84
8	3.02	3.00	2.93	22.00	12.8	20.2	48	46	56
9	3.10	3.02	2.94	28.00	13.6	25.9	85	45	96
10	3.00	3.02	2.86	34.10	9.6	21.8	83	35	61
Average	3.03	3.02	2.98	29.00	13.8	24.3	89	49	73

Note: The rotation speeds of A2, B2, C2 groups were respectively 18 000 r/min, 25000 r/min, and 35 000 r/min.

3 讨论

目前治疗血栓的方法主要有药物治疗、Fogarty球囊导管外科血栓清除术、经皮抽吸清除术、Amplatz血栓消融术和超声溶栓术等,但是每一种方法都有各自的禁忌证,由于管径限制,血管损伤以及操作的不便等原因,各种取栓器在临床上都受到一定的限

制。机械取栓相比于其他治疗方法具有创伤小、治愈快、治疗时间短、并发症后遗症少等优点,但是机械取栓可能会由于取栓导管在血管内的移动而破坏血管壁,目前的机械取栓结构只负责将血栓打碎留在体内,只有将血栓打碎成100 μm以下才不会发生肺栓塞,而现在的市场上的机械取栓即使血栓清除率

可以达到95%以上还是有可能发生肺栓塞。本文设计的取栓器,一方面将血栓打碎成碎栓,一方面为了防止碎栓粒进入肺动脉发生栓塞,直接将碎栓抽吸排出体外,望有效减少栓塞的发生率。

3.1 血栓打通率

血栓打通率是指取栓器打碎血栓的速率,每1 min打通的血栓长度。Biederer^[21]研究了3种流变式的血栓打通率,Angioet取栓器标准化下的打通率为1.75 cm/0.5 min;8F Oasis取栓导管的打通率为1.05 cm/0.5 min。6F Oasis导管的打通率为0.25 cm/0.5 min,本文设计的取栓器,200 mL/min抽吸流量情况下,平均碎栓时间为18.59 s,血栓的长度约为6 cm,其打通率为9.68 cm/0.5 min;250 mL/min抽吸流量下,平均的碎栓时间为13.81 s,其打通率为13.03 cm/0.5 min;300 mL/min的抽吸流量下,平均的碎栓时间为11.95 s,其打通率为15.00 cm/0.5 min。本文设计的取栓器,18 000 r/min转速下,平均的取栓时间为29.001 s,血栓长度约为6 cm,其打通率为6.21 cm/0.5 min;25 000 r/min转速下,平均的取栓时间为13.81 s,其打通率为13.03 cm/0.5 min;35 000 r/min转速下,平均取栓时间为24.32 s,其打通率为7.40 cm/0.5 min。二者差距较大的原因一方面是因为前者是临床实验,人体内和体外环境因素相差较大,阻力等其他因素导致打通率较低;还有一方面是因为前者的静脉直径比后者模拟静脉的硅胶管直径较小,也可能该因素导致打通率两者差距较大;不同的取栓原理也是导致差距较大的重要因素,流变式利用文氏效应碎栓,抽吸式利用叶片碎栓,前者依靠高压的冲刷,后者利用机械的旋切,也会导致两者差距较大。

3.2 排出液体量

该器械采用泵抽吸式排栓碎栓,与水力流变切除术一样会有贫血症状,在临床上主要表现为有红细胞和血红蛋白的下降^[22-23],贫血主要是因为操作的原因导致血液的过多流失,在该器械中主要与抽吸流量参数有关。在本试验中,无论是200 mL/min的抽吸流量还是300 mL/min的抽吸流量,其排出量没有显著差异,均接近于50 mL左右;不同转速下虽然排出量之间有部分差异,但均低于100 mL,显著低于人体危险排出量。王晓白^[13]关于4种水力流变除栓装置体外除栓效果的研究,三种不同型号的取栓器回收液体量不尽相同,6F Oasis的回收液体量为(445±131) mL,8F Oasis的回收液体量为(220±69)

mL,6F Hydrolyser取栓器的回收液体量为(542±234) mL,7F Hydrolyser取栓器的液体回收量为(155±43) mL,旋切抽吸式取栓器的液体回收量均值接近于70 mL,且6个参数的液体排出量基本无明显差异,较于前者,液体的回收量也就是血液的损失量很少,能够很大程度地减少贫血症状的发生。流变式取栓器利用高低压产生的文氏作用达到碎栓效果,整个模拟过程中高速的水流会带着一部分生理盐水排出体外,这可能是流变式取栓器液体排出量如此之多的原因。相比于流变式,该取栓器只有抽吸的动力,抽吸的流量也较小,所以整个过程的液体排出量会较少。

4 结 论

从6组实验对比看出,不同流量下取栓时间在300 mL/min抽吸流量下最短,250 mL/min次之,200 mL/min相比于其他较长。300 mL/min该组中有两例出现不完全打碎现象,可能原因是抽吸流量太大,血栓被直接吸附在排出口处,叶片无法及时打碎。250 mL/min的抽吸流量从整体趋势而言最优;不同转速情况下,25 000 r/min转速情况下取栓效果优于其他两种情况。6组实验比较,排出量基本相差不大,均值都保持在60 mL左右,偶尔有几例出现排出量增加,其对应的时间也较长,排出量整体低于人体安全损失血量。对比现有3种流变式取栓器,血栓打通率本器械占有明显优势,体外碎栓能力有很大程度的提高。对比现有取栓器,排出量方面本器械能很大程度地减少液体排出量,减少贫血症状的发生。在本实验中,主要模拟该取栓器的体外碎栓能力,实验过程当中模拟地血栓的形状、质量、长度虽然基本相同,但是和人体体内各种因素不尽相同,另外模拟血管的硅胶管与人体血管尺寸和物理性能不尽相同,本实验只是起到参考作用,与现实数据的对比可以大致判断该器械的可行性,后续还需要动物实验或者临床试验进行进一步验证。

【参考文献】

- [1] 颜新, 千英信, 卫洪昌, 等. 下肢深静脉血栓形成的中医药治疗进展[J]. 上海中医药杂志, 2003, 37(3): 57-59.
YAN X, QIAN Y X, WEI H C, et al. Progress in treatment of deep vein thrombosis [J]. Shanghai Journal of Traditional Chinese Medicine, 2003, 37(3): 57-59.
- [2] BAUERSACHS R M. Clinical presentation of deep vein thrombosis and pulmonary embolism[J]. Best Pract Res Clin Haemat, 2012, 25 (3): 243-251.

- [3] TZORAN I, SAHAROV G, BRENNER B, et al. Silent pulmonary embolism in patients with proximal deep vein thrombosis in the lower limbs[J]. J Thromb Haemost, 2012, 10(4): 564-571.
- [4] GALSON S K. Prevention of deep vein thrombosis and pulmonary embolism [J]. Public Health Rep, 2008, 123(4): 420-425.
- [5] BAGLIN T. What happens after venous thromboembolism? [J]. J Thromb Haemost, 2009, 7(Suppl 1): 287-290.
- [6] LABROPOULOS N, WAGGONER T, SAMMIS W, et al. The effect of venous thrombus location and extent on the development of post-thrombotic signs and symptoms [J]. J Vasc Surg, 2008, 48(2): 407-412.
- [7] ALESH I, KAYALI F, STEIN P D. Catheter-directed thrombolysis (intrathrombus injection) in treatment of deep venous thrombosis: a systematic review [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2007, 70(1): 143-148.
- [8] 张柏根. 下肢深静脉血栓形成治疗和预后的几个问题[J]. 中华普通外科杂志, 2006, 21(2): 81-83.
ZHANG B G. Several issues of deep venous thrombosis treatment and prognosis[J]. Chinese Journal of General Surgery, 2006, 21(2): 81-83.
- [9] 徐海波, ZHONG Q, DARREN P, 等. Amplatz 血栓切割器的研究[J]. 放射学实践, 1999, 14(2): 132-134.
XU H B, ZHONG Q, DARREN P, et al. A research on the amplatz thrombectomy device [J]. Radiologic Practice, 1999, 14(2): 132-134.
- [10] HOURY D, SOUTHALL J, MANNING M, et al. Use of the Amplatz thrombectomy device for severe deep venous thrombosis [J]. South Med J, 1999, 92(9): 915-917.
- [11] MÜLLER-HÜLSBECK S, BROSSMANN J, JAHNKE T, et al. Mechanical thrombectomy of major and massive pulmonary embolism with use of the Amplatz thrombectomy device[J]. Invest Radiol, 2001, 36(6): 317-322.
- [12] DELOMEZ M, BEREGI J P, WILLOTEAUX S, et al. Mechanical thrombectomy in patients with deep venous thrombosis [J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2001, 24(1): 42-48.
- [13] 李麟荪, 施海彬, 姜志良, 等. 一种新的血栓旋切器—Straub Rotarex System 及其临床应用介绍[J]. 介入放射学杂志, 2004, 13(6): 502-505.
LI L S, SHI H B, JIANG Z L, et al. The clinical application of a new mechanical thrombectomy instrument- Straub Rotarex System [J]. Journal of Interventional Radiology, 2004, 13(6): 502-505.
- [14] ROCEK M, PEREGRIN J, VELIMSKY T. Mechanical thrombectomy of massive pulmonary embolism using an arrow-trerotola percutaneous thrombolytic device[J]. Eur Radiol, 1998, 8(9): 1683-1685.
- [15] LIU S, SHI H B, GU J P, et al. Massive pulmonary embolism: treatment with the rotarex thrombectomy system [J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2011, 34(1): 106-113.
- [16] MASAMI SAKURADA Y I, ISSHIKI T. Improved performance of a new thrombus aspiration catheter: outcomes from *in vitro* experiments and a case presentation [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2004, 63(3): 299-306.
- [17] MÜLLER-HÜLSBECK S, BANGARD C, SCHWARZENBERG H, et al. *In vitro* effectiveness study of three hydrodynamic thrombectomy devices[J]. Radiology, 1999, 211(2): 433-439.
- [18] 王晓白, 申刚, 乔宏宇, 等. 四种水力流变除栓装置体外除栓效果比较[J]. 暨南大学学报, 2002, 23(4): 79-83.
WANG X B, SHEN G, QIAO H Y, et al. Comparative *in vitro* effectiveness study of four hydrodynamic thrombectomy devices [J]. Journal of Jinan University, 2002, 23(4): 79-83.
- [19] 韩胜斌, 陈明清, 董坚. 下肢深静脉血栓形成在不同自然病程中的血流动力学观察[J]. 中国普通外科杂志, 2012, 21(4): 451-455.
HAN S B, CHEN M Q, DONG J. Hemodynamic observation of lower extremity deep venous thrombosis in different natural stages [J]. Chinese Journal of General Surgery, 2012, 21(4): 451-455.
- [20] 路军良, 杨宁, 赵士军, 等. 自制机械祛栓器械治疗急性大块肺动脉栓塞的实验研究[J]. 介入放射学杂志, 2008, 17(4): 262-265.
LU J L, YANG N, ZHAO S J, et al. The primary experimental study of self-made percutaneous catheterized thrombectomy devices for acute massive pulmonary embolism [J]. Journal of Interventional Radiology, 2008, 17(4): 262-265.
- [21] BIEDERER J, CHARALAMBOUS N, PAULSEN F, et al. Treatment of acute pulmonary embolism: local effects of three hydrodynamic thrombectomy devices in an *ex vivo* porcine model [J]. J Endovasc Ther, 2006, 13(4): 549-560.
- [22] MÜLLER-HÜLSBECK S, KALINOWSKI M, HELLER M, et al. Rheolytic hydrodynamic thrombectomy for percutaneous treatment of acutely occluded infra-aortic native arteries and bypass grafts: midterm follow-up results[J]. Invest Radiol, 2000, 35(2): 131-140.
- [23] VAN OMMEN V G, VAN DEN BOS A A, PIEPER M, et al. Removal of thrombus from aortocoronary bypass grafts and coronary arteries using the 6 Fr Hydmylser [J]. Am J Cardiol, 1997, 15(8): 1012-1016.