

3D 打印辅助微导管塑形在颅内动脉瘤栓塞术中应用

徐超, 王波, 韩建一, 李珍珠, 史怀璋, 李泽福

【摘要】 目的 探讨 3D 打印辅助微导管精准塑形技术在颅内动脉瘤栓塞术中应用的可行性。**方法** 2015 年 11 月至 2016 年 4 月采用介入栓塞术治疗 13 例颅内动脉瘤患者, 术中均以 3D 打印技术辅助微导管精准塑形, 并结合微导管到位情况及动脉瘤栓塞过程中微导管稳定性判断塑形效果。**结果** 13 例颅内动脉瘤患者介入栓塞治疗中微导管均精确到位, 导管头端稳定, 动脉瘤栓塞致密。10 例术中未发生动脉瘤破裂等并发症, 术后恢复良好。1 例 Hunt-Hess 分级 V 级患者术后死亡; 1 例术中动脉瘤破裂, 考虑可能为麻醉诱导过程中破裂; 1 例术前再破裂出血。**结论** 3D 打印辅助精准塑形微导管, 可在颅内动脉瘤栓塞术中顺利到位且保持稳定, 有利于手术顺利进行, 减少微导管操作相关并发症发生。

【关键词】 3D 打印; 微导管塑形; 颅内动脉瘤; 动脉瘤介入栓塞术

中图分类号: R543.2 文献标识码: A 文章编号: 1008-794X(2017)-01-0001-05

The application of 3D printing-assisted microcatheter shaping in the embolization of intracranial aneurysms XU Chao, WANG Bo, HAN Jian-yi, LI Zhen-zhu, SHI Huai-zhang, LI Ze-fu. Department of Neurosurgery, Affiliated Hospital of Binzhou Medical College, Binzhou, Shandong Province 256603, China.

Corresponding author: LI Ze-fu, E-mail: lizefu163@163.com

【Abstract】 Objective To discuss the feasibility of using 3D printing-assisted precise microcatheter shaping technology in the embolization of intracranial aneurysms. **Methods** From November 2015 to April 2016, a total of 13 patients with intracranial aneurysm were treated with interventional embolization therapy. During the performance of the procedure, 3D printing-assisted precise microcatheter shaping technology was employed. The accuracy of microcatheter position and the stability of the microcatheter were used to evaluate the shaping effect. **Results** During the performance of interventional embolization, the microcatheter was precisely placed to the right site in all 13 patients with intracranial aneurysm, the catheter tip position remained stable and the aneurysm was densely obstructed. In ten patients, no complications such as rupture of aneurysm occurred, and postoperative recovery was fine. One patient, whose Hunt-Hess classification was grade V, died after the treatment. One patient developed rupture of aneurysm during the procedure, which was considered to occur probably during the anesthesia induction process. One patient developed bleeding due to re-rupture of the aneurysm before the procedure. **Conclusion** With the help of 3D printing-assisted precise microcatheter shaping technology, the precisely shaped microcatheter can be smoothly inserted to, and can keep stable in, the right site, which is helpful for successfully accomplishing the operation and effectively reducing the occurrence of procedure-related complications. (J Intervent Radiol, 2017, 26: 1-5)

【Key words】 3D printing; microcatheter shaping; intracranial aneurysm; interventional embolization of aneurysm

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2017.01.001

基金项目: 国家自然科学基金(81171119)

作者单位: 256603 山东 滨州医学院附属医院神经外科(山东省滨州市人民医院)(徐超、王波、韩建一、李珍珠、李泽福); 哈尔滨医科大学附属第一医院神经外科(史怀璋)

通信作者: 李泽福 E-mail: lizefu163@163.com

随着材料科学不断进步,颅内动脉瘤介入栓塞治疗,尤其是用于开颅手术难以显露部位的优势十分明显,而良好的微导管塑形则是关键步骤之一^[1-2]。动脉瘤栓塞技术难点,一是微导管精准到位动脉瘤囊内,二是栓塞过程中微导管头端保持良好稳定性,防止其脱出^[3]。我们近期采用 3D 打印技术重建动脉瘤复合体,并分析动脉瘤与载瘤动脉成角、空间位置变化,模拟微导管在血管内走行变化,设计出贴合患者自身动脉瘤解剖的微导管形态模型,用

以指导微导管塑形,提高手术成功率。现将前期 13 例手术作一总结,报道如下。

1 材料与方法

1.1 临床资料

2015 年 11 月至 2016 年 4 月山东滨州医学院附属医院神经外科在介入栓塞术中采用 3D 打印技术辅助微导管精准塑形,用于治疗颅内动脉瘤患者 13 例(中位年龄 57.6 岁)。患者基本情况见表 1。

表 1 13 例颅内动脉瘤患者基本情况

患者	年龄/性别	动脉瘤位置	大小(瘤颈)/mm×mm	栓塞方式	Hunt-Hess 分级	GOS 评分
1	53/女	右侧颈内床突上(血泡样)动脉瘤	3.0×4.0(2.0)	双支架辅助	II	4 分 ^a
2	65/女	右侧后交通动脉瘤	6.0×7.0(3.0)	单纯栓塞	I	5 分 ^b
3	54/女	左侧椎动脉夹层动脉瘤	4.0×6.0(4.0)	双支架辅助	II	1 分
4	67/女	右侧后交通动脉瘤	5.0×5.0(3.0)	单纯栓塞	III	5 分
5	58/女	右侧颈内床突上(血泡样)动脉瘤	5.0×5.0(3.0)	支架辅助	III	1 分 ^c
6	60/女	右侧前交通动脉瘤	2.0×4.0(1.0)	单纯栓塞	II	5 分
7	46/男	右侧颈内-眼动脉对侧动脉瘤	2.5×3.0(2.0)	支架辅助	II	5 分
8	61/女	右侧颈内床突上(血泡样)动脉瘤	2.5×2.5(2.2)	支架辅助	V	1 分
9	49/男	右侧后交通动脉瘤	2.0×5.0(1.0)	单纯栓塞	II	5 分
10	67/女	左侧椎小动脉脑后下起始部动脉瘤	3.5×4.5(2.0)	单纯栓塞	II	5 分
11	62/女	左侧后交通动脉瘤	4.3×4.1(2.3)	单纯栓塞	II	5 分
12	53/女	左侧颈内眼动脉段内侧壁动脉瘤	3.5×3.6(3.3)	支架辅助	I	5 分 ^c
13	54/女	右侧颈内-眼动脉对侧动脉瘤	2.9×2.6(2.5)	支架辅助	II	5 分

注: GOS: Glasgow 预后量表评分; ^a2 周复查瘤体变大,再行支架栓塞; ^b未破裂; ^c等待手术时破裂

1.2 术前微导管形态模型制作

术前将患者 DSA 三维重建影像断层数据(德国 Siemens 公司,分辨率 512×512, Dicom 格式)输入 Mimics 16.0 图像处理软件,进行动脉瘤复合体三维重建;重建模型内依据微导管在血管内贴壁及受力特点,设计出贴合载瘤动脉弯曲及动脉瘤形状的微导管模型;模型文件导入 Nobel 1.0 型 3D 打印机(XYZprinting, 中国台湾三纬国际立体打印科技公司),打印出直径 1 mm 微导管形态模型(图 1)。

1.3 术中微导管塑形

术中 Headway17 微导管(美国 MicroVention 公司)对照微导管形态模型作 1:1 精准蒸汽熏蒸塑形。塑形技术要点:微导管头端塑形长度、角度,取决于动脉瘤中心至载瘤动脉对侧血管壁距离,关键角为载瘤血管长轴与近心段血管之间的夹角。操作要点:塑形针芯插入微导管头端,依照塑形模型弯折出微导管预塑形状,然后用蒸汽熏蒸 50 s, 0.9% 氯化钠溶液冷却;撤出针芯,完成微导管塑形,并及时应用于术中。微导管塑形与微导管形态模型对比情况见图 2。

2 结果

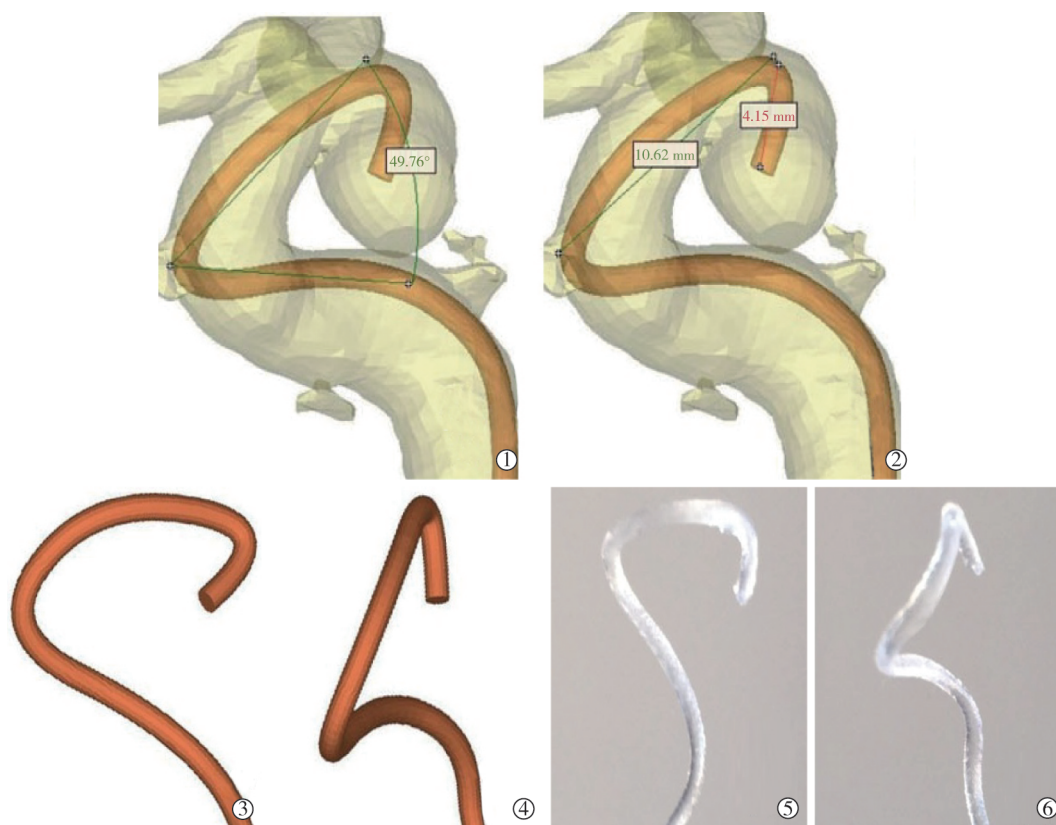
13 例颅内动脉瘤患者介入栓塞治疗中微导管

均精确到位,导管头端稳定,动脉瘤栓塞致密。10 例术中未发生动脉瘤破裂、血栓形成等并发症,术后恢复良好。1 例 Hunt-Hess 分级 V 级患者术后死亡;1 例术中动脉瘤破裂,考虑可能为麻醉诱导过程中破裂,因为导引导管造影时已见破裂;1 例术前再破裂出血。

3 讨论

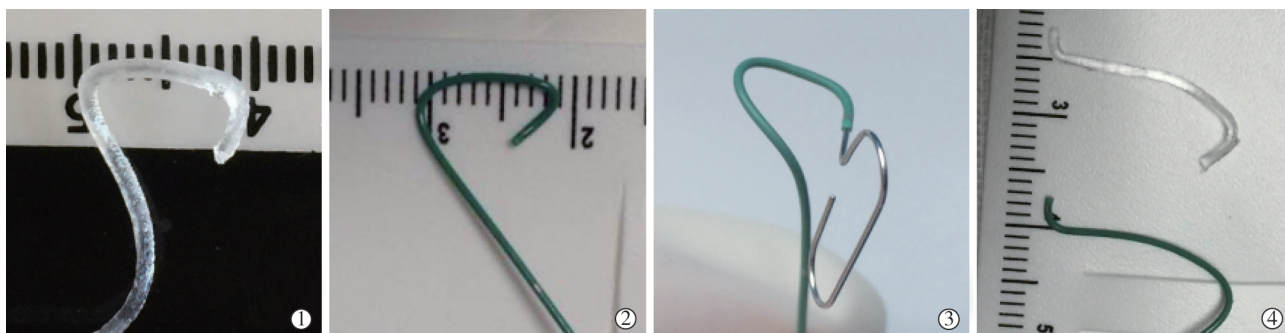
颅内动脉瘤要成功栓塞,微导管塑形贴合血管形状十分重要。每例患者动脉瘤形状、大小、位置各异,给动脉瘤栓塞带来不小挑战^[1-4],因此研究载瘤动脉和动脉瘤三维空间解剖十分必要。目前普遍的解决方案是应用 DSA 三维重建软件的立体图像,观察其血管分支解剖关系。但这种技术有两个限制,其一是三维成像技术本身是一虚拟模仿,无法对目标血管进行精确处理^[5];其二是无法模拟微导管在血管内走行情况及微导管在血管腔内实际长度。

目前微导管塑形仅凭术者经验,弯折出大致形状以适应载瘤动脉弯曲及动脉瘤位置,如后交通动脉瘤 C 形指向上方的前交通动脉瘤 S 形,此外还有微导管成攀技术,以帮助微导管更好到位^[1-3,6]。但是个体化差异、动脉与动脉瘤位置变化复杂、微导管塑形后弹性回缩等^[7-8],使得微导管塑形完全精确匹



①②在 Mimics 16.0 图像处理软件中完成血管三维重建并模拟微导管在血管腔内走行及导管头端到位, 模型中眼动脉近端与远端微导管之间夹角(关键角)为 49.76° , 眼动脉段至动脉瘤段(第 2 段)微导管长度为 10.62 mm, 进入动脉瘤内微导管头端(第 2 段)距离为 4.15 mm; ③④微导管形状模型导入 3D 打印机; ⑤⑥打印出直径 1 mm 微导管形态模型

图 1 模拟 1 例微导管形态模型图示



①②微导管形态模型与塑形后微导管眼动脉段至动脉瘤段(第 2 段)对比; ③塑形针插入微导管弯折后效果; ④前交通动脉瘤手术时塑形对比

图 2 微导管形状模型与微导管塑形对比

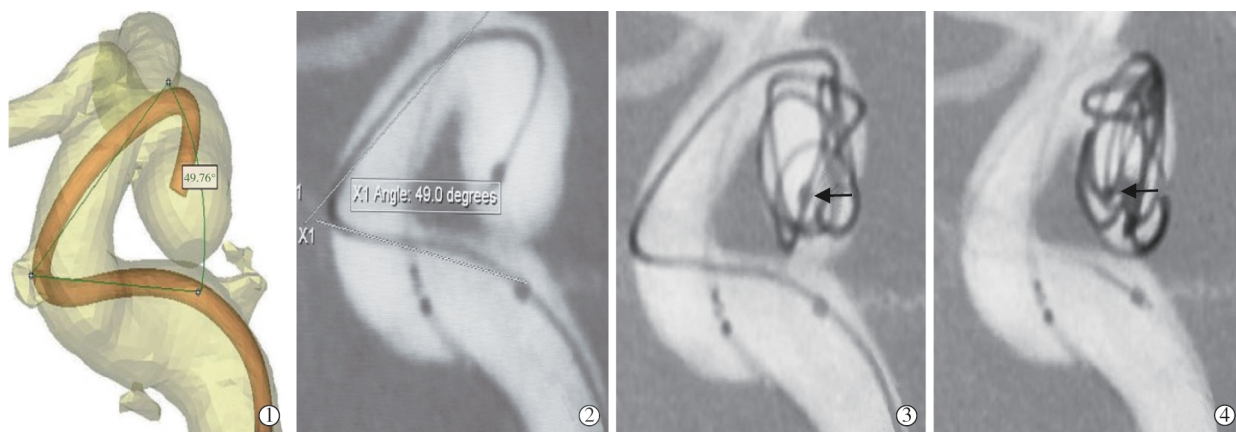
配困难,而对微导管到位困难的动脉瘤,需要术中反复尝试、微导丝辅助,甚至重新塑形,以致血管内操作延长,微导管操控性差,甚至造成灾难后果。

目前 3D 打印技术在神经介入领域的主要研究,涉及打印血管及动脉瘤形状、管腔,然后对照打印的动脉瘤模型指导手术^[9-11],如 Namba 等^[11]报道提出的对比模型微导管塑形。3D 打印技术在颅内动脉瘤介入治疗、血流动力分析、动脉狭窄方面已取得一定经验,但受图像空间分辨率及打印材料限制,模型与实际情况尚有差异^[12]。鉴于以上情况并

结合本中心动脉瘤栓塞经验,我们首次提出 3D 打印微导管模型辅助塑形技术,即通过术前模拟微导管在血管及动脉瘤内部走行,设计出适合患者自身血管解剖的个体化微导管形态模型,并经蒸汽塑形使微导管精准贴合血管弯曲及动脉瘤形状^[13-14],以缩短操作时间,降低手术风险。微导管塑形的准确性可用微导管到位动脉瘤内情况判断。其分级如下,优:无论微导管顺行或逆行插管均可成功进入动脉瘤;中度:需要微导丝引导;差:导入失败,需要重新塑形^[11,13]。我们认为单纯推送微导管,会出现弹

跳,导致动脉瘤破裂。尤其是复杂形状塑形,更需微导丝辅助以拉直其弯曲,便于推送^[6,13]。本组所有患者均以微导丝导引辅助到位,微导管稳定性在手术中及结束时进行评估。如果栓塞过程中微导管头端未从瘤囊脱出,即评价为稳定。尤其是填塞弹簧圈过程中微导管头端呈“笔刷”样摆动,表明微导管稳定。后交通动脉瘤栓塞术中常出现微导管塑形不佳所致微导管从动脉瘤内脱出,一种情况是刚填塞弹簧圈,微导管即脱出,此时需重新塑形、微导丝导

入;另一种情况是弹簧圈呈篮较满意,在填塞期、收尾期弹出,此时不宜完全撤除弹簧圈,但其较软,微导管再到位困难。而编织支架辅助栓塞时,支架释放后微导管脱出,则再穿支架网孔往往费时费力,易出现并发症。根据 3D 模拟分析,我们认为后交通动脉瘤微导管塑形的关键,在于微导管近端较好地贴合颈内动脉眼动脉段弯曲,头端弯曲贴合动脉瘤对侧血管壁,这样微导管头端才能在栓塞过程中保持稳定不脱出(图 3)。

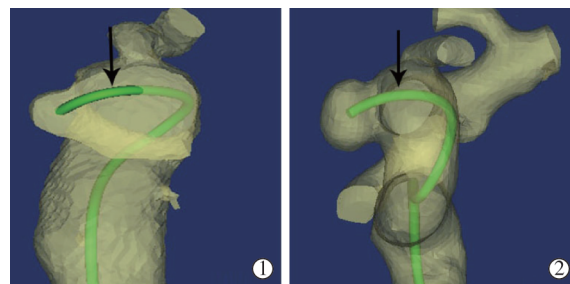


①Mimics 16.0 软件模拟夹角为 49.76°;②术中实际微导管到位后测量眼动脉近端与远端夹角为 49°,与模拟基本一致;③④微导管头端塑形时通过适度增加角度克服微导管回弹;微导管到位过程顺利,栓塞过程中微导管头端(箭头)稳定

图 3 微导管模拟与术中实际对比

特殊位置动脉瘤,如颈内动脉床突上壁、侧壁动脉瘤^[4,13,15]、颈内动脉瘤末端位于 M1、A1 交界处的动脉瘤^[3],对微导管塑形要求较高。以往文献报道对颈内动脉床突段侧壁动脉瘤,微导管塑形采用“猪尾塑形”,并根据动脉瘤在颈内动脉内侧壁、外侧壁,调整微导管头端方向^[4],目的是克服虹吸段弯曲。但此处虹吸段弯曲与动脉瘤成角变化较大,也是微导管到位困难的重要因素^[1]。经 3D 打印辅助塑形后,微导管头端第一弯曲及长度准确贴合动脉瘤长轴至对侧颈内动脉壁长度、动脉瘤长轴与载瘤动脉长轴夹角^[1,13-14]。本组 3 例颈内动脉侧壁动脉瘤,经 3D 打印辅助塑形后的栓塞结果均较满意。需要提出的是,由于此处动脉瘤均需支架辅助,应注意支架微导管在瘤颈处阻挡栓塞微导管进入动脉瘤;支架释放会将微导管挤压在动脉壁上。因此,设计微导管模型时需考虑支架对微导管的挤压变形;对内、外侧壁动脉瘤,微导管头端第一弯曲需尽量贴合动脉上壁,以减少支架打开后对微导管形状及移位的影响(图 4)。本组所有患者微导管在支架释放后均未出现移位、从瘤囊脱出现象。

本中心采用 3D 打印模型技术指导微导管塑



①颈内动脉外侧壁动脉瘤;②颈内动脉内侧壁动脉瘤,微导管头端第一弯曲(箭头)均需尽量贴合动脉上壁,以减少支架打开后对微导管形状及移位的影响

图 4 术中微导管操作示意图

形,已成功用于颅内动脉瘤介入手术治疗。该模型成型速度快,可于术前半小时内完成。相比于传统塑形过程,提高了微导管塑形的精准性。微导管模型提供了更加直观的空间形态,且微导管塑形长度为导管在动脉内实际长度,可直接对比,在软件工作站还能直接测量精确长度。模型材料为光敏树脂,柔软可弯曲,利于解决微导管塑形后回弹问题。本研究所用微导管为直型 Headway17、Excelsior SL-10 微导管,由金属编织而成,大多需要塑形 2 个弯曲^[14],蒸汽熏蒸时间预定 50 s,以加强塑形效果^[7-8,13-14];考虑

微导丝导入对塑形的影响,故仅在输送微导管时才导入微导丝^[7-8]。

本研究样本量较小,缺乏大样本综合分析,微导管塑形仅用于直型微导管,尚无辅助塑形其它微导管的经验,对复杂位置动脉瘤也缺乏应用经验,有待进一步深入研究,分析 3D 打印技术用于微导管塑形的优缺点等。

总之,3D 打印辅助精准塑形微导管,可在颅内动脉瘤栓塞术中顺利到位且保持稳定,有利于手术顺利进行,减少微导管操作相关并发症发生。

[参 考 文 献]

- [1] Kiyosue H, Matsumoto S, Hori Y, et al. Turn-back technique with use of a shaped microcatheter for superselective catheterization of arteries originating at acute angles[J]. J Vasc Interv Radiol, 2004, 15: 641-643.
- [2] Abe T, Hirohata M, Tanaka N, et al. Distal-tip shape-consistency testing of steam-shaped microcatheters suitable for cerebral aneurysm coil placement[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2004, 25: 1058-1061.
- [3] Lee HY, Ahn JS, Suh DC, et al. Z-shaped microcatheter tip shaping for embolization of aneurysms at the proximal A1 segment of the anterior cerebral artery: a technical note[J]. Neurointervention, 2011, 6: 95-99.
- [4] Kwon BJ, Im SH, Park JC, et al. Shaping and navigating methods of microcatheters for endovascular treatment of paraclinoid aneurysms[J]. Neurosurgery, 2010, 67: 34-40.
- [5] Spottiswoode BS, van den Heever DJ, Chang Y, et al. Preoperative three-dimensional model creation of magnetic resonance brain images as a tool to assist neurosurgical planning[J]. Stereotact Funct Neurosurg, 2013, 91: 162-169.
- [6] Oran I, Cinar C, Bozkaya H, et al. The rapid pull-back technique for navigation across a wide-necked aneurysm: a report of four cases[J]. Interv Neuroradiol, 2013, 19: 16-20.
- [7] Kiyosue H, Hori Y, Matsumoto S, et al. Shapability, memory, and luminal changes in microcatheters after steam shaping: a comparison of 11 different microcatheters[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2005, 26: 2610-2616.
- [8] Abe T, Hirohata M, Tanaka N, et al. Stability of microcatheter for cerebral aneurysm embolization after steam shaping[J]. Interv Neuroradiol, 2004, 10: 117-120.
- [9] Anderson JR, Thompson WL, Alkattan AK, et al. Three-dimensional printing of anatomically accurate, patient specific intracranial aneurysm models[J]. J Neurointerv Surg, 2015, 8: 517-520.
- [10] Sodian R, Schmauss D, Schmitz C, et al. 3-dimensional printing of models to create custom-made devices for coil embolization of an anastomotic leak after aortic arch replacement[J]. Ann Thorac Surg, 2009, 88: 974-978.
- [11] Namba K, Higaki A, Kaneko N, et al. Microcatheter shaping for intracranial aneurysm coiling using the 3-dimensional printing rapid prototyping technology: preliminary result in the first 10 consecutive cases[J]. World Neurosurg, 2015, 84: 178-186.
- [12] 陈 川, 周 耕, 卢 川, 等. 三维打印快速仿形技术在介入医学领域的应用价值[J]. 介入放射学杂志, 2016, 25: 734-737.
- [13] Toyota S, Fujimoto Y, Iwamoto F, et al. Technique for shaping microcatheter tips in coil embolization of paraclinoid aneurysms using full-scale volume rendering images of 3D rotational angiography[J]. Minim Invasive Neurosurg, 2009, 52: 201-203.
- [14] Pakbaz RS, Kerber CW. Complex curve microcatheters for berry aneurysm endovascular therapy[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2007, 28: 179-180.
- [15] Cho YD, Rhim JK, Park JJ, et al. Microcatheter looping to facilitate aneurysm selection in coil embolization of paraclinoid aneurysms[J]. Korean J Radiol, 2015, 16: 899-905.

(收稿日期:2016-07-07)

(本文编辑:边 皓)