

急性缺血性脑卒中治疗中机械取栓术的发展

史宇兵^{1*}, 董静², 付锋³, 杨洪义¹, 邓国荣², 王海芳⁴

¹陕西中医药大学整合医学研究院, 陕西 咸阳

²陕西中医药大学第二附属医院心血管科, 陕西 咸阳

³陕西省核工业二一五医院神经内科, 陕西 咸阳

⁴陕西中医药大学陕西省中西医结合心血管病防治重点实验室, 陕西 咸阳

Email: *yshi@sntcm.edu.cn, mybshi@qq.com

收稿日期: 2020年8月30日; 录用日期: 2020年9月14日; 发布日期: 2020年9月21日

摘要

血栓导致的急性缺血性卒中是一种常见而凶险的脑血管疾病。早期血管开通是其治疗中的重要环节。临床治疗该病的方法包括静脉溶栓、动脉溶栓、血管成形术和机械取栓, 而机械除栓是其中最有效的方法。机械除栓术从第一代发展至第三代, 大幅提高了患者的治疗效果, 但是使用中还存在技术问题包括易造成次级血栓碎块脱落并堵塞下游血管。新一代直接抽吸除栓术可以有效减少次级血栓碎块, 而且不涉及复杂机械结构, 相比于前几代机械除栓术具有除栓效率高、安全性好、花费低等优势。假以时日, 直接抽吸除栓术将发展成为急性缺血性卒中治疗的首选。

关键词

急性缺血性脑卒中, 血栓, 临床治疗, 机械除栓术, 直接抽吸除栓术

Development of Mechanical Thrombectomy in the Treatment of Acute Ischemic Stroke

Yubing Shi^{1*}, Jing Dong², Feng Fu³, Hongyi Yang¹, Guorong Deng², Haifang Wang⁴

¹Institute of Integrative Medicine, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang Shaanxi

²Department of Cardiovascular Medicine, The Second Affiliated Hospital of the Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang Shaanxi

³Department of Neurology, No. 215 Hospital of Shaanxi Nuclear Industry, Xianyang Shaanxi

⁴Key Laboratory in Shaanxi Province for the Prevention and Treatment of Cardiovascular Disease Using Combined Chinese and Western Medicine, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang Shaanxi

Email: *yshi@sntcm.edu.cn, mybshi@qq.com

*通讯作者。

文章引用: 史宇兵, 董静, 付锋, 杨洪义, 邓国荣, 王海芳. 急性缺血性脑卒中治疗中机械取栓术的发展[J]. 临床医学进展, 2020, 10(9): 2029-2037. DOI: 10.12677/acm.2020.109304

Abstract

Acute ischemic stroke is a common and lethal cerebrovascular disease. Early intervention is crucial to the patient treatment and recovery. Clinical treatment options for AIS include intravenous thrombolysis, intraarterial thrombolysis, angioplasty, and mechanical thrombectomy. Currently the most commonly used intervention technique is the mechanical thrombectomy. This treatment has the complication of causing thrombus fragmentation and blockage of distant smaller arteries. In recent years direct aspiration thrombectomy has been proposed as a new thrombus removing technique which can effectively avoid the thrombus fragmentation. Besides, aspiration thrombectomy involves no complex mechanical mechanism, and compared with the mechanical thrombectomy of previous generations, it is more efficient in thrombus elimination, safer, and costs less. Given time for further development, direct aspiration thrombectomy will become the first choice in the treatment of acute ischemic stroke.

Keywords

Acute Ischemic Stroke, Thrombus, Clinical Treatment, Mechanical Thrombectomy, Direct Aspiration Thrombectomy

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

急性脑卒中是一种常见的脑血管疾病。该病往往发病急、发展快、症状重、致残率及死亡率高，属于脑血管临床疾病中的急危重症。脑卒中可分为出血性和缺血性两类，而 80% 以上的脑卒中是由于脑动脉血管血流阻滞造成的缺血性卒中。急性缺血性卒中(Acute Ischemic Stroke, AIS)的发病机制是由于血栓或者从病变的血管壁脱落的动脉硬化斑块造成脑动脉急性闭塞，继而引起远端缺血脑组织激发去极化、炎症反应、凋亡等一系列不可逆的生理病理反应[1]。针对该病的组织细胞层次的相关研究发现，脑血管闭塞造成的血流灌注缺失会导致脑组织的氧和葡萄糖代谢障碍，引起细胞外钙离子和钠离子内流，钾离子外流，激活缺血级联反应(如兴奋性氨基酸、自由基的释放)，短时间内即可造成细胞坏死。受损的脑组织包括核心梗死区和周围缺血半暗带区，其中缺血半暗带区的细胞处于静息状态，如果在短时间内恢复血流灌注，细胞代谢可恢复正常，避免进一步进展为梗死区。目前公认的恢复半暗带区血流灌注的时间窗为 3 小时。所以尽早除栓以开通阻塞脑血管，挽救缺血半暗带，对于提高急性缺血性卒中的治疗效果具有至关重要的作用[2]。

2. 急性缺血性卒中的治疗方法

临床对于急性缺血性卒中的治疗，目前获得美国食品药品监督管理局批准，作为唯一 1 级证据推荐的治疗方法，是对患者在发病 3 小时内(最多不超过 4.5 小时)进行静脉溶栓[3] [4] [5] [6] [7]。当前通常使用重组组织型纤溶酶原激活剂(recombinant tissue plasminogen activator, rt-PA)以进行静脉溶栓治疗，但是该方

法具有严格的时间窗限制(参见上述缺血半暗带区血流灌注的3小时时间窗),而绝大多数患者发病后到送院时,往往已经错过该时间窗,造成溶栓效果严重下降,不能有效开通受阻血管。此外临床上也有应用抗血小板药物、神经保护药物、以及中药等进行药物辅助治疗的情况[8]-[13]。

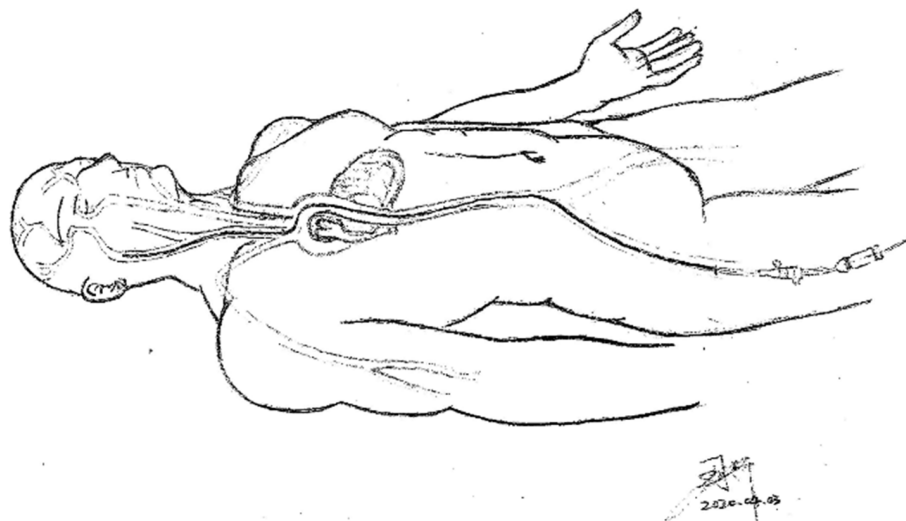


Figure 1. Illustration of the Thrombectomy Operation through the Femoral Artery
图 1. 取栓操作的股动脉入路示意图

近年来介入治疗用于急性缺血性卒中得到了快速的发展。基于一系列的临床随机对照试验研究,相关国际组织包括中国卒中学会、中国卒中学会神经介入分会、美国神经介入协会标准和指南委员会等,都推荐6小时内大血管闭塞的患者应优先考虑经导管的微创介入治疗[1] [3] [4] [5] [6] [7] [14] [15]。经导管的微创介入通常行股动脉入路(如图1所示),具体治疗措施包括动脉溶栓、血管成形术、和机械取栓[1] [3] [4] [5] [6] [7] [16] [17] [18]。动脉溶栓通过介入导管将溶栓药物(如rt-PA)局部高浓度注入发生阻塞的脑动脉处以除栓,相对于静脉溶栓具有药物剂量低、出血风险小的优点,但是该方法属于对溶栓药物的超范围使用,而且花费高,可能带来动脉损伤。血管成形术采用球囊血管成形、球囊扩张支架及球囊成形联合自膨式支架技术,实现闭塞血管的血流重建。该方法主要用于卒中的预防而不是急性期的治疗,但是在以下两种情况下也用于急性卒中治疗:一是脑卒中发生是由于颅外段的颈或椎动脉的血流减少或中断所致,如严重动脉粥样硬化或夹层造成的动脉完全或接近完全的闭塞;二是颅外段的颈动脉严重闭塞妨碍导管进入颅内血管的血栓时,需要在对远端的血栓进行干预前,先行颅外颈动脉血管成形术[1]。

机械取栓通过介入导管,将微型机械夹子、机械钻头、超声探头、激光探头、抽吸导管头、可回收血管支架、毛刷状探头等送至血栓处,用夹子夹住血栓、用钻头或探头粉碎血栓、用抽吸头吸出或吸住血栓、或者用支架或毛刷头兜挂住血栓,然后通过导管操作将血栓移到体外[3] [4] [15] [19]-[25]。此类方法的实现手段各异,彼此各有优缺点。

基于文献中对于相关临床实践的总结[6] [7] [8] [11] [12] [14] [16] [20] [21] [22] [23] [24],表1比较了当前针对急性缺血性卒中的各种治疗方法。近年来世界各地的临床研究者进行了一系列随机对照试验对这些治疗方法进行比较评估[4] [5] [10] [13] [14] [15] [20] [22]-[29]。研究者一致认为,机械取栓具有性价比高、对阻塞血管再通效果好的特点,代表着急性缺血性卒中治疗的主流方向。在这样的情况下,机械取栓日益成为临床治疗的首选方案,其应用研究方面的进展也日新月异。

Table 1. Comparison of Different Clinical Techniques in the Treatment of Acute Ischemic Stroke**表 1.** 急性缺血性卒中治疗方法比较

治疗方法	概述	适用情况	优点	缺点
静脉溶栓	使用重组组织型纤溶酶原激活剂(recombinant tissue plasminogen activator, rt-PA)以进行静脉溶栓治疗	患者在发病 3 小时内	1.方法简便。 2.是获得美国食品药品监督管理局批准,作为唯一 1 级证据推荐的治疗方法。	1.有严格的时间窗限制,而绝大多数患者发病后到送院时,往往已经错过该时间窗。 2.效果不很理想,血运重建率低。 3.经常伴随出血转化。
动脉介入	通过介入导管将溶栓药物(如 rt-PA)局部高浓度溶注入发生阻塞的脑动脉处以除栓	6 小时内大血管闭塞	1.药物剂量低。 2.比静脉溶栓的出血风险小。	1.该方法属于对溶栓药物的超范围使用。 2.花费高。 3.起效慢。 4.可能带来动脉损伤。 5.仍然存在出血转化风险
微创介入治疗	采用球囊血管成形、球囊扩张支架及球囊成形联合自膨式支架技术,实现闭塞血管的血流重建	6 小时内大血管闭塞。主要用于卒中的预防而不是急性期的治疗,但是在以下两种情况下也用于急性卒中治疗:一是卒中发生时由于颅外段的颈或椎动脉的血流减少或中断所致,如严重动脉粥样硬化或夹层造成的动脉完全或接近完全的闭塞;二是颅外段的颈动脉严重闭塞妨碍导管进入颅内血管的血栓时,学院在对远端的血栓进行干预前,先行颅外颈动脉血管成形术。	1.比药物保守治疗有效。 2.血管再通率高。	1.手术操作较复杂。 2.存在分支血管闭塞、血管夹层及血管残余狭窄等并发症的风险。 1.行球囊扩张术时易发生血管痉挛。 2.放置永久支架后需要抗血小板聚集治疗,存在出血转化风险。 3.部分患者术后出现高灌注并发症。
	通过介入导管,将碎栓机或取栓探头送至血栓处,粉碎血栓,吸除血栓,或固定住血栓然后通过导管操作将血栓移到体外。	6 小时内大血管闭塞。近年来也有时间窗扩展到 24 以至 48 小时的临床例子。患者脑部侧枝循环和脑血流储备较好。	1.快速血管再通和血流重建。 2.低出血转化率。 3.延长了治疗的时间窗。近年来有大量卒中 24 小时后治疗成功的临床报道。 4.术后无需抗血小板聚集治疗,降低了出血转化风险	1.手术操作较复杂。 2.术前需进行影像学评估,并非所有患者都可从该方法获益。 3.手术过程中可能损伤血管。 4.部分患者术后出现高灌注并发症。

3. 机械除栓术的发展历程

自美国 Concentric Medical 公司生产的 MERCI 取栓器(全名 Mechanical Embolus Removal in Cerebral Ischemia)于 2000 年首发及 2004 年获得美国食品药品监督管理局批准用于脑卒中的机械除栓以来,各种设计和构造的机械取栓器纷纷面世[20]。这些取栓器的结构设计包括微型机械夹子、机械钻头、超声探头、激光探头、抽吸导管头、可回收血管支架、毛刷状探头等。进行介入治疗时,通常行股动脉入路,机械取栓器被固定在介入导管远端,由医生通过对导管和导丝的操作将其送至血栓处,以实现不同形式的取栓过程,包括用夹子夹住血栓、用钻头或探头粉碎血栓、用抽吸头吸出或吸住血栓、或者用支架或毛刷头兜挂住血栓,然后通过导管操作将血栓移到体外[3][4][15][19]-[25]。这些取栓器设计各有特色,经过过去近二十年的实验室和临床应用检验,其中的一些因为临床表现出色而得到广泛承认,从而成为代表着脑卒中机械除栓器发展里程碑的主流产品,而其它的大部分设计因为费效比及安全性等方面的考虑而很少得到使用。

图 2 示出了这些代表着脑卒中机械除栓器不同发展阶段的里程碑式主流产品[30]。图中第一代的 MERCI 除栓器为螺旋丝开瓶器形状,由美国 Concentric Medical 公司设计和生产,于 2004 年获得美国食品药品监督管理局批准。该取栓器的螺旋丝探头可以在手术中透入并固定住血栓,以便将血栓拖出体外[20][31]。2010 年推出的 DAC 除栓器为其改进型,其中导引导管可以直接伸展到血栓附近以提供辅助抽吸作用和提高血栓撤出血管时的操作稳定性[30]。

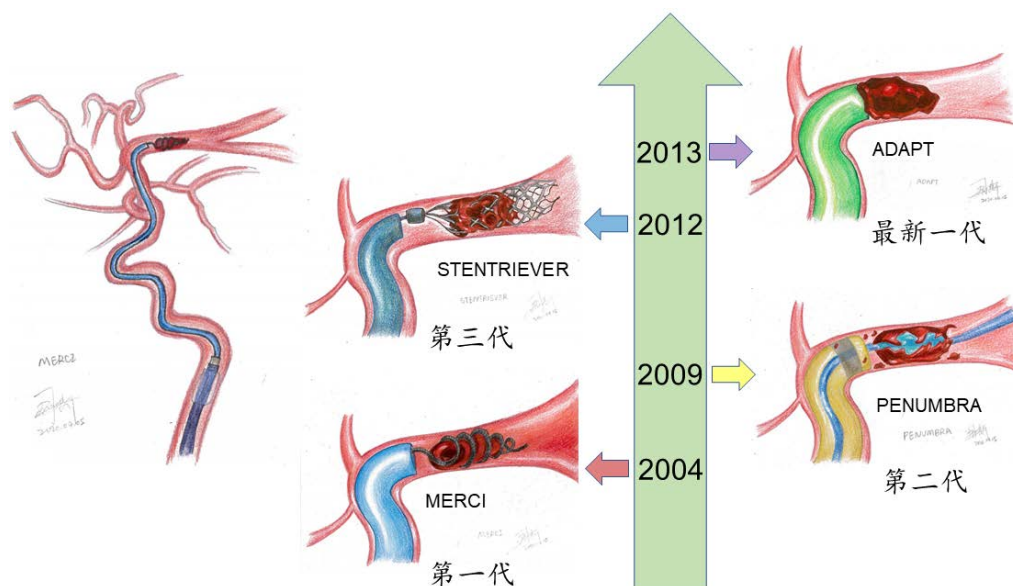


Figure 2. Major Milestones in the Development of the Minimal Invasive Mechanical Thrombectomy
图 2. 微创介入机械取栓术发展的主要里程碑

第二代的 PENUMBRA 负压抽吸除栓器由抽吸导管、圆锥形分离碎栓头，以及外接的负压抽吸泵或者手动抽吸用注射器三部分组成[32] [33] [34]。该产品由美国 Penumbra Inc.公司设计和生产，于 2008 年获得美国食品药品监督管理局批准。使用时，先用圆锥形分离碎栓头来回作用于血栓，使血栓从受阻血管的管壁松解同时将血栓捣碎，然后开通外接的负压抽吸泵，通过导管抽吸作用将血栓碎块吸出体外。

第三代的 STENTRIEVER 支架除栓器其典型产品为 Solitaire 支架除栓器(美国 ev3 公司设计和生产，2012 年获得美国食品药品监督管理局批准)和 Trevor 支架除栓器(美国 Concentric Medical 公司设计和生产，2012 年获得美国食品药品监督管理局批准) [20] [30]。使用时，借助于微导丝，将内嵌支架的微导管穿透血栓或穿过血栓与血管壁的间隙，到达血栓的远端，然后从微导管中释放支架，让支架扩张以将血栓陷入支架并固定，然后回撤导管和支架以实现将血栓移出体外。SOLUMBRA 除栓器为该类型产品的改进型，其中导引导管可以直接伸展到血栓附近以提供辅助抽吸作用和提高血栓撤出血管时的操作稳定性。

上面的第一代到第三代取栓器都直接涉及机械部件与血栓之间的力学挤压和嵌合作用，所以在操作过程中都会不可避免地产生次级血栓碎块脱落。脱落的血栓碎块会被血流冲刷到下游更细的血管中，形成更难手术处理的栓塞情况[20]。使用球囊导管在血栓上游暂时封堵血流，或者如改进型的 DAC 取栓器和 SOLUMBRA 取栓器那样在操作过程中通过导引导管提供辅助抽吸作用，可以部分地减少次级血栓阻塞下游但是不能避免该情况的发生。另外，大多数情况下血栓的硬度不大，第一代到第三代取栓器可以使用。有些情况下遇到硬度大的血栓时，取栓器难以有效地挤压和嵌合血栓，就会造成取栓操作无法完成的情况。

最新一代的 ADAPT (全名为 A Direct Aspiration first Pass Technique)直接抽吸除栓器有针对性地避免了上面的问题[20] [35] [36] [37] [38]。ADAPT 除栓器在第二代 PENUMBRA 除栓器的基础上，去掉了圆锥形分离碎栓头，将新设计的更柔韧的大内径导管直接推送到血栓附近进行抽吸，以此提供了足够的抽吸力从而更快更有效地吸出血栓。在导管头高负压抽吸的作用下，低硬度血栓会直接被吸入导管而排出体外，而高硬度或固体状的血栓会被吸附在导管头，随着导管的撤出操作而被排出体外。整个操作过程

完全基于抽吸作用而不是机械挤压和嵌合,使用中基本不会造成次级血栓脱落。即使操作不慎形成次级血栓碎块,在导管头高负压的抽吸作用下血栓碎块也会被吸入导管而不是被血流冲刷到下游血管。另外,负压抽吸不涉及上面第一代到第三代取栓器中的复杂机械结构,从而避免了机械故障影响手术的可能。因此,直接抽吸除栓器相比于前三代设计具有更安全可靠天然优势。ADAPT 除栓器采用原第二代的PENUMBRA 除栓系统的负压抽吸泵提供抽吸动力源。如果采用手动抽吸用注射器提供抽吸动力源,则该系统又被称为 FST(Forced-Suction Thrombectomy)取栓系统[35]。

4. 直接抽吸除栓术的相关临床应用研究

随着技术发展的不断进步和临床经验的不断积累,当前国际和国内对于急性缺血性卒中的机械取栓治疗基本采用第三代 STENTRIEVER 支架取栓或者最新的 ADAPT 直接抽吸取栓,有时候也两者结合使用(称为 SOLUMBRA) [39]。对于支架取栓和直接抽吸取栓的临床使用效果比较,近年来很多研究组基于自己直接的使用经验或者检索文献进行 meta 分析的结果进行了探讨。这些研究一致认为两种治疗方法的血管再通率没有差别[40]-[46],但有一些研究者认为采用支架取栓的单个操作实现血管再通率优于采用抽吸除栓[43]。对于术后患者神经功能恢复,大部分研究认为两种方法的效果相近[40] [42] [44] [45] [46],也有一些研究者认为采用支架取栓的功能恢复好于采用直接抽吸[41]。从安全性的角度,有研究者认为采用直接抽吸优于采用支架除栓[41],也有人认为两者安全性相当[46]。在急性缺血性卒中这种需要争分夺秒地尽快开通阻塞血管的应用中,评价一种取栓方法还应着重考虑该方法从手术开始到完成血管再通所需要的时间、除栓操作需要重复多少次以实现血管再通、以及手术所能实现的血管再通率(即多少比例的患者通过手术实现了血管再通)等。此外,取栓手术涉及的材料费用以及总的治疗费用,也是影响方案选择的重要因素。表 2 列出了关于这些指标的具体数据。数据比较可知,相比于使用支架取栓,采用直接抽吸除栓可以显著地缩短手术时间[40] [43] [44] [45],获得更高的血管再通率[40] [43] [44],而且每个患者节省约 20,000 美元的治疗费用[40]。

Table 2. Comparison of some clinical effect data between Direct Aspiration Thrombectomy and Stent-based Thrombectomy
表 2. 直接抽吸除栓和支架取栓的一些临床应用效果数据比较

	直接抽吸取栓	支架取栓	数据来源
	37.1 ± 30.4	87.7 ± 36.2	[40]
从股动脉穿刺到血管再通所需时间(分钟)	28.2 (16.2 - 46.2)	43.8(28.8 - 70.2)	[44]
	60 ± 31	65 ± 42	[43]
	25 (21 - 30)	35 (30 - 41)	[45]
单次操作血管再通率(%)	15.4	35.6	[43]
所需操作重复次数	1.9 ± 1.9	1.7 ± 1.0	[44]
	3.0 ± 1.6	2.2 ± 1.6	[43]
最终血管再通率(%)	95	83	[40]
	91.2	87.5	[44]
	80.2	82.1	[43]
每个患者的耗材费(包括导管、造影剂、用药等费用)(美元)	7428.85 ± 5707.75	15,798.05 ± 6521.06	[40]
	10,084 ± 8873	15,158 ± 5223	[45]
每个患者总花费(包括耗材费、设备费、住院费等)(美元)	33,610.75 ± 17,126.66	54,699.94 ± 29,623.93	[40]

5. 展望

综合以上的技术方面和应用方面的考虑,直接抽吸除栓无疑具有比支架取栓更优异的临床使用前景。更重要的是,这些比较是基于直接抽吸除栓作为一种新的方法,出现时间不久,技术上还有待于进一步优化,临床医生对其操作还不如对前几代的取栓技术熟练的背景下进行的。假以时日,当相关的技术发展和使用经验进一步成熟时,直接抽吸除栓必将成为急性缺血性卒中治疗的首要选择。

致 谢

感谢那日斯为本文绘制插画。

参考文献

- [1] 高峰, 陈康宁, 张学蕾, 等. 急性缺血性脑卒中介入治疗[M]//缺血性脑血管病介入治疗进展 2015. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 140-156.
- [2] 胡盛寿, 高润霖, 刘力生, 等. 《中国心血管病报告 2018》概要[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(3): 209-220.
- [3] Yeo, L.L.L. and Sharma, V.K. (2013) The Quest for Arterial Recanalization in Acute Ischemic Stroke—the Past, Present and the Future. *Journal of Clinical Medicine Research*, 5, 251-265. <https://doi.org/10.4021/jocmr1342w>
- [4] Bhaskar, S., Stanwell, P., Cordato, D., et al. (2018) Reperfusion Therapy in Acute Ischemic Stroke: Dawn of a New Era? *BMC Neurology*, 18, 8. <https://doi.org/10.1186/s12883-017-1007-y>
- [5] 中国卒中学会, 中国卒中学会神经介入分会, 中华预防医学会卒中预防与控制专业委员会介入学组. 急性缺血性卒中血管内治疗中国指南 2018 [J]. 中国卒中杂志, 2018, 13(7): 706-729.
- [6] 王拥军. 脑卒中诊疗王拥军 2017 观点[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2017.
- [7] 缪中荣. 缺血性脑血管病介入治疗进展 2015 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015.
- [8] 蒋红燕, 郑绍成, 白菊. 缺血性脑卒中的治疗进展[J]. 医学综述, 2009, 15(18): 2771-2774.
- [9] 邓丽, 刘晓冬, 张拥波, 等. 急性脑梗死的治疗进展[J]. 中国全科医学, 2011, 14(8): 825-829.
- [10] 崔庆宏, 陈慧, 张拥波, 等. 急性缺血性脑卒中治疗新探索[J]. 临床和实验医学杂志, 2011, 10(23): 1879-1881.
- [11] 张强. 缺血性脑血管病的治疗现状以及进展分析[J]. 中西医结合心血管病杂志, 2018, 6(7): 41-43.
- [12] 吴林. 缺血性脑卒中临床治疗研究现状与进展[J]. 医学理论与实践, 2019, 32(19): 3065-3066.
- [13] 马蓉, 徐弘扬, 杨锡彤, 等. 急性脑卒中治疗的研究进展[J]. 重庆医学, 2019, 48(6): 1010-1013+ 017.
- [14] 陈康宁. 急性缺血性脑卒中治疗的新曙光——机械取栓治疗[J]. 第三军医大学学报, 2013, 35(24): 2610-2613.
- [15] Maingard, J., Foo, M., Chandra, R.V., et al. (2019) Endovascular Treatment of Acute Ischemic Stroke. *Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine*, 21, 89. <https://doi.org/10.1007/s11936-019-0781-9>
- [16] 陈左权, 张鸿祺, 高亮, 等. 神经介入技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2017.
- [17] 周华东. 缺血性脑血管病介入治疗进展[J]. 解放军医药杂志, 2014, 26(3): 35-37.
- [18] 曾敏, 龚细礼. 急性缺血性脑血管病血管内介入治疗进展[J]. 现代医药卫生, 2017, 33(2): 243-245.
- [19] Latchaw, R.E. (2007) Mechanical Thrombectomy Devices for Treating Acute Ischemic Stroke. *Endovascular Today*, 6, 68-74.
- [20] Lally, F., Grunwald, I.Q., Sanyal, R., et al. (2013) Mechanical Thrombectomy in Acute Ischaemic Stroke: A Review of the Literature, Clinical Effectiveness and Future Use. *CNS & Neurological Disorders Drug Targets*, 12, 170-190. <https://doi.org/10.2174/18715273112119990054>
- [21] Baker, W.L., Colby, J.A., Tongbram, V., et al. (2011) Neurothrombectomy Devices for the Treatment of Acute Ischemic Stroke: State of the Evidence. *Annals of Internal Medicine*, 154, 243-252. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-154-4-201102150-00306>
- [22] Balasubramanian, A., Mitchell, P., Dowling, R., et al. (2015) Evolution of Endovascular Therapy in Acute Stroke: Implications of Device Development. *Journal of Stroke*, 17, 127-137. <https://doi.org/10.5853/jos.2015.17.2.127>
- [23] Hameed, A., Zafar, H., Mylotte, D., et al. (2017) Recent Trends in Clot Retrieval Devices: A Review. *Cardiology and Therapy*, 6, 193-202. <https://doi.org/10.1007/s40119-017-0098-2>

- [24] Kang, D.-H. and Park, J. (2017) Endovascular Stroke Therapy Focused on Stent Retriever Thrombectomy and Direct Clot Aspiration: Historical Review and Modern Application. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, **60**, 335-347. <https://doi.org/10.3340/jkns.2016.0809.005>
- [25] Hasan, T.F., Todnem, N., Gopal, N., *et al.* (2019) Endovascular Thrombectomy for Acute Ischemic Stroke. *Current Cardiology Reports*, **21**, 112. <https://doi.org/10.1007/s11886-019-1217-6>
- [26] Kang, D.-H. and Hwang, Y.-H. (2019) Frontline Contact Aspiration Treatment for Emergent Large Vessel Occlusion: A Review Focused on Practical Techniques. *Journal of Stroke*, **21**, 10-22. <https://doi.org/10.5853/jos.2018.03076>
- [27] Mokin, M., Khalessi, A.A., Mocco, J., *et al.* (2014) Endovascular Treatment of Acute Ischemic Stroke: The End or Just the Beginning? *Neurosurgical Focus*, **36**, E5. <https://doi.org/10.3171/2013.10.FOCUS13374>
- [28] 刘圣, 施海彬, 李麟荪. 急性缺血性脑卒中的介入治疗进展[J]. 国外医学临床放射学分册, 2005, 28(3): 170-173.
- [29] 姚丹, 包元飞, 朱武生. 机械取栓治疗急性脑梗死的现状和展望[J]. 中国脑血管病杂志, 2013, 10(12): 659-662.
- [30] Spiotta, A.M., Chaudry, M.I., Hui, F.K., *et al.* (2015) Evolution of Thrombectomy Approaches and Devices for Acute Stroke: A Technical Review. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **7**, 2-7. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2013-011022>
- [31] Gobin, Y.P., Starkman, S., Duckwiler, G.R., *et al.* (2004) MERCI 1: A Phase 1 Study of Mechanical Embolus Removal in Cerebral Ischemia. *Stroke*, **35**, 2848-2854. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000147718.12954.60>
- [32] Bose, A., Henkes, H., Alfke, K., *et al.* (2008) The Penumbra System: A Mechanical Device for the Treatment of Acute Stroke Due to Thromboembolism. *AJNR. American Journal of Neuroradiology*, **29**, 1409-1413. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1110>
- [33] Penumbra Pivotal Stroke Trial Investigators (2009) The Penumbra Pivotal Stroke Trial: Safety and Effectiveness of a New Generation of Mechanical Devices for Clot Removal in Intracranial Large Vessel Occlusive Disease. *Stroke*, **40**, 2761-2768. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.108.544957>
- [34] Yoo, A.J., Frei, D., Tateshima, S., *et al.* (2012) The Penumbra Stroke System: A Technical Review. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **4**, 199-205. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2011-010080>
- [35] Kang, D.-H., Hwang, Y.-H., Kim, Y.-S., *et al.* (2011) Direct Thrombus Retrieval Using the Reperfusion Catheter of the Penumbra System: Forced-Suction Thrombectomy in Acute Ischemic Stroke. *AJNR. American Journal of Neuroradiology*, **32**, 283-287. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A2299>
- [36] Kowoll, A., Weber, A., Mpotsaris, A., *et al.* (2016) Direct Aspiration First Pass Technique for the Treatment of Acute Ischemic Stroke: Initial Experience at a European Stroke Center. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **8**, 230-234. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2014-011520>
- [37] Spiotta, A., Fargen, K.M., Chaudry, I., *et al.* (2016) ADAPT: A Direct Aspiration First Pass Technique. *Endovascular Today*, **15**, 68-70.
- [38] Turk, A.S., Frei, D., Fiorella, D., *et al.* (2018) ADAPT FAST Study: A Direct Aspiration First Pass Technique for Acute Stroke Thrombectomy. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **10**, i4-i7. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2014-011125.rep>
- [39] Mokin, M., Ionita, C.N., Nagesh, S.V.S., *et al.* (2015) Primary Stentriever versus Combined Stentriever plus Aspiration Thrombectomy Approaches: *In Vitro* Stroke Model Comparison. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **7**, 453-457. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2014-011148>
- [40] Turk, A.S., Turner, R., Spiotta, A., *et al.* (2015) Comparison of Endovascular Treatment Approaches for Acute Ischemic Stroke: Cost Effectiveness, Technical Success, and Clinical Outcomes. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **7**, 666-670. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2014-011282>
- [41] Saber, H., Rajah, G.B., Kherallah, R.Y., *et al.* (2018) Comparison of the Efficacy and Safety of Thrombectomy Devices in Acute Stroke: A Network Meta-Analysis of Randomized Trials. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **10**, 729-734. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2017-013544>
- [42] Ducroux, C., Piotin, M., Gory, B., *et al.* (2020) First Pass Effect with Contact Aspiration and Stent Retrievers in the Aspiration versus Stent Retriever (ASTER) Trial. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **12**, 386-391. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2019-015215>
- [43] Kang, D.-H., Kim, J.W., Kim, B.M., *et al.* (2019) Need for Rescue Treatment and Its Implication: Stent Retriever versus Contact Aspiration Thrombectomy. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **11**, 979-983. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2018-014696>
- [44] Martini, M., Mocco, J., Turk, A., *et al.* (2019) "Real-World" Comparison of First-Line Direct Aspiration and Stent Retriever Mechanical Thrombectomy for the Treatment of Acute Ischemic Stroke in the Anterior Circulation: A Multi-center International Retrospective Study. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **11**, 957-963. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2018-014624>

-
- [45] Turk, A.S., Siddiqui, A., Fifi, J.T., *et al.* (2019) Aspiration Thrombectomy versus Stent Retriever Thrombectomy as First-Line Approach for Large Vessel Occlusion (COMPASS): A Multicentre, Randomised, Open Label, Blinded Outcome, Non-Inferiority Trial. *The Lancet (London, England)*, **393**, 998-1008. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30297-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30297-1)
- [46] Ye, G., Lu, J., Qi, P., *et al.* (2019) Firstline a Direct Aspiration First Pass Technique versus Firstline Stent Retriever for Acute Basilar Artery Occlusion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, **11**, 740-746. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2018-014573>