

## · 专题 · 儿童脑血管病的介入治疗 ·

单中心治愈性栓塞儿童脑动静脉畸形的  
血管构筑特征分析

全文二维码

高文龙 于增鹏 唐俊 吴宣莹 梁平

重庆医科大学附属儿童医院神经外科 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心 儿童发育疾病研究教育部重点实验室 儿童神经发育与认知障碍重庆市重点实验室, 重庆 400014

通信作者: 梁平, Email: liangping868@sina.com

**【摘要】 目的** 本研究旨在归纳总结单中心治愈性血管内栓塞治疗儿童脑动静脉畸形(cerebral arteriovenous malformation, cAVM)的血管构筑特征。**方法** 回顾性分析重庆医科大学附属儿童医院神经外科于2018年9月至2023年8月期间诊治的36例治愈性栓塞cAVM患儿临床资料,并与同期诊治的81例非治愈性栓塞患儿临床资料进行对比,总结分析获得治愈性栓塞患儿的临床表现、影像学特征、血管构筑特征以及手术相关资料。**结果** 36例获得治愈性栓塞的cAVM患儿中,男26例、女10例;发病年龄最小4个月,最大15岁;畸形团以幕上(28/36, 77.8%)、小型(23/36, 63.9%)、浅部(23/36, 63.9%)、非功能区(27/36, 75.0%)为主;供血动脉以浅动脉(29/36, 80.5%)、单支供血(27/36, 75.0%)和无扩张及狭窄结构异常(28/36, 77.8%)为主;静脉引流以浅静脉(26/36, 72.2%)、单支引流(31/36, 86.1%)和无扩张及狭窄结构异常(30/36, 83.3%)为主;Spetzler-Martin(SM)分级Ⅰ级18例,Ⅱ级14例,Ⅲ级4例;2例(2/36, 5.6%)发生出血性并发症,1例(1/36, 2.8%)发生缺血性并发症;出院时改良Rankin量表(modified Rankin Scale, mRS)评分为0~2分34例(34/36, 94.4%),≥3分2例(2/36, 5.6%);出院后平均随访35.5个月,末次随访时mRS评分为0~2分35例(35/36, 97.2%),≥3分1例(1/36, 2.8%)。治愈性栓塞与非治愈性栓塞患儿在cAVM大小( $\chi^2 = 7.571, P = 0.014$ )及病变部位深浅( $\chi^2 = 4.263, P = 0.039$ )上比较,差异有统计学意义;在病变部位为幕上或幕下( $\chi^2 = 0.183, P = 0.668$ )、功能区或非功能区( $\chi^2 = 0.145, P = 0.704$ )上比较,差异无统计学意义。**结论** 治愈性栓塞治疗儿童cAVM预后较好。SM分级较低,且血管构筑较简单的患儿容易实现治愈性栓塞。

**【关键词】** 脑动静脉畸形; 血管内治疗; 栓塞, 治疗性; 血管构筑特征; 儿童**基金项目:** 重庆市科卫联合医学项目(2023MSXM136)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202410071-003

**Analysis of vascular structural characteristics in pediatric brain arteriovenous malformations treated with curative embolization: a single-center study**

Gao Wenlong, Yu Zengpeng, Tang Jun, Wu Xuanxuan, Liang Ping

Department of Neurosurgery, Affiliated Children's Hospital, Chongqing Medical University; National Clinical Research Center for Children's Health &amp; Disorders, Ministry of Education Key Laboratory of Children's Development &amp; Disorders, Chongqing Municipal Key Laboratory of Children's Neurodevelopment &amp; Cognitive Disorders, Chongqing 400014, China

Corresponding Author: Liang Ping, Email: liangping868@sina.com

**【Abstract】 Objective** This study aims to summarize the vascular features associated with the curative endovascular embolization treatment of pediatric cerebral arteriovenous malformations (cAVM) in a single-center setting. **Methods** A retrospective collection of clinical data from 36 pediatric cAVM patients who underwent curative embolization treatment at the Department of Neurosurgery, Children's Hospital of Chongqing Medical University, between September 2018 and August 2023 was performed. These were compared with clinical data from 81 non-curative embolization cases treated during the same period. The clinical manifestations, imaging characteristics, vascular features, and surgical data of the curative embolization group were analyzed. **Results** Among the 36 pediatric cAVM patients who underwent curative embolization, 26 were male and 10 were female. The age of

onset ranged from 4 months to 15 years. The AVM nidus was primarily located supratentorial (28/36, 77.8%), small-sized (23/36, 63.9%), superficial (23/36, 63.9%), and in non-functional areas (27/36, 75.0%). The feeding arteries were mostly superficial arteries (29/36, 80.5%), single-feed (27/36, 75.0%), and showed no signs of dilation or stenotic structural abnormalities (28/36, 77.8%). Venous drainage was predominantly superficial veins (26/36, 72.2%), single-drainage (31/36, 86.1%), and no dilation or stenotic structural abnormalities (30/36, 83.3%). The Spetzler-Martin (SM) grades were I in 18 cases, II in 14 cases, and III in 4 cases. Two patients (2/36, 5.6%) experienced hemorrhagic complications, and one patient (1/36, 2.8%) had ischemic complications. At discharge, the modified Rankin scale (mRS) scores were 0–2 in 34 cases (34/36, 94.4%), and  $\geq 3$  in 2 cases (2/36, 5.6%). The average follow-up duration was 35.5 months, and at the final follow-up, 35 patients (35/36, 97.2%) had an mRS score of 0–2, while 1 patient (1/36, 2.8%) had an mRS score of  $\geq 3$ . A significant difference was observed between the curative and non-curative embolization groups regarding the size of the cAVM ( $\chi^2 = 7.571, P = 0.014$ ) and the depth of the lesion ( $\chi^2 = 4.263, P = 0.039$ ). However, no significant difference was found in the location of the lesion (supratentorial vs. infratentorial) ( $\chi^2 = 0.183, P = 0.668$ ) or functional vs. non-functional areas ( $\chi^2 = 0.145, P = 0.704$ ). **Conclusions** Curative embolization treatment yields favorable outcomes for pediatric cAVM patients. Children with lower SM grades and simpler vascular structures are more likely to achieve successful curative embolization.

**【Key words】** Cerebral Arteriovenous Malformation; Endovascular Therapy; Embolization, Therapeutic; Vascular Architectural Features; Child

**Fund program:** Chongqing Municipal Medical Scientific Research Grant (Joint Project of Chongqing Municipal Health Commission and Science & Technology Bureau) (2023MSXM136)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202410071-003

脑动静脉畸形(cerebral arteriovenous malformation, cAVM)是儿童出血性脑卒中的主要病因,具有较高的致死率和致残率<sup>[1-3]</sup>。目前较为成熟的治疗措施主要包括显微外科手术、血管内栓塞治疗和立体定向放射外科治疗<sup>[4]</sup>。近年来,血管内栓塞治疗因创伤较小、恢复周期短、精准且可重复多次治疗等优势而被广泛应用。文献报道非选择性cAVM队列的介入栓塞治愈率不足20%<sup>[4]</sup>。随着血管内栓塞材料和手术技术的进步,血管内栓塞治疗取得了显著进展,部分高度选择病例可获得治愈性栓塞。能否获得治愈性栓塞主要有赖于对独特血管构筑的精确分析与判断<sup>[5]</sup>。本研究总结重庆医科大学附属儿童医院神经外科收治的儿童cAVM中获得治愈性栓塞病例的临床及血管构筑特征,为提高儿童cAVM治愈率提高参考。

## 资料与方法

### 一、一般资料

本研究为回顾性研究。研究对象为重庆医科大学附属儿童医院神经外科自2018年9月至2023年8月期间收治的117例接受血管内治疗的cAVM患儿,其中81例为非治愈性栓塞,36例为治愈性栓塞。36例治愈性栓塞患儿中,男26例、女10例;年

龄( $9.27 \pm 4.09$ )岁。纳入标准:①经全脑血管造影确诊为cAVM;②符合血管内栓塞治疗适应证;③仅接受血管内栓塞治疗,且于术后即刻及术后1年经造影检查确认无畸形血管团和引流静脉显影,为完成cAVM治愈性栓塞。排除标准:①单次、未完成治愈性栓塞;②既往接受过手术切除或立体定向放射治疗;③因并发症未能完成手术;④临床及影像学数据缺失。本研究经重庆医科大学附属儿童医院伦理委员会审批通过(2024215),患儿家属均签署知情同意书。

### 二、手术方法

手术在医用血管造影X射线系统(德国, Siemens公司)的介入手术室内进行。采用全身麻醉气管插管,仰卧位,使用Seldinger技术经股动脉穿刺插管。术中应用造影导管行全脑血管造影,利用三维成像分析血管畸形团的位置、大小及供血动脉和引流静脉的类型、支数,评估是否合并动脉瘤、静脉球等血管构筑异常,并制定栓塞方案。根据手术计划,选择最佳工作角度,置入导引导管,在微导丝引导下将微导管超选入供血动脉分支,尽量靠近血管畸形团,先推注二甲基亚砜(dimethyl sulfoxide, DMSO)冲洗微导管,随后缓慢推注Onyx胶。观察Onyx胶沿畸形团逐渐弥散,待胶体略有反流后停止推注,拔除微导管。术后再次造影确认畸形团栓塞情

况,如仍可见其他供血动脉及畸形团显影,则继续栓塞;直至血管畸形团完全不显影后,行 C 臂锥形束 CT(C-Arm Computed Tomography, Dyna-CT) 确认无明显脑出血,结束手术。

### 三、观察指标及定义

本研究选择以下血管构筑特征作为观察指标:畸形血管团的位置、大小,供血动脉和引流静脉的特征(位置、支数、形态),以及畸形团内是否合并动脉瘤和引流静脉是否合并静脉瘤。根据畸形血管团的主体位置,将其分为深部区(基底节区、丘脑、脑室、胼胝体、脑干、小脑)和浅部区(额叶、颞叶、顶叶、枕叶、岛叶);根据(Spetzler-Martin, SM)分级标准,将畸形血管团的大小分为小( $<3\text{ cm}$ )、中( $3\text{ cm} \sim 6\text{ cm}$ )和大( $>6\text{ cm}$ )3个等级。供血动脉位于大脑前、中、后动脉皮质分支者定义为浅表组,供血动脉为穿支、脉络膜及后颅窝动脉者定义为深部组。根据引流静脉方向分为浅部引流(向上吻合静脉、上矢状窦、横窦引流)和深部引流(向大脑内静脉、基底静脉、小脑前中央静脉引流)。

### 四、术后检查及随访

术后常规行头颅 CT 确认有无新发出血;若有新发症状,CT 检查无出血或出血不能解释,则行头颅 MRI 检查,确认有无缺血并发症。出院后对所有患儿进行临床和影像学随访,术后 3 个月、6 个月行头颅 CTA 或 MRA 复查,术后 1 年行 DSA 检查,后续每年复查 1 次 CTA 或 MRA,术后 5 年复查 DSA;判断血管畸形团闭塞情况。采用改良 Rankin 量表(modified Rankin Scale, mRS)评估患儿神经功能状态, mRS 评分 $\leq 2$ 分为预后良好, $>2$ 分为预后不良。

### 五、统计学处理

采用 SPSS 25.0 进行统计学分析。服从正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示;分类资料以频数、构成比表示,组间比较采用卡方检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、36 例治愈性栓塞患儿临床特征

36 例治愈性栓塞患儿中,男 26 例(72.2%)、女 10 例(27.8%);年龄( $9.27 \pm 4.09$ )岁(4 月龄至 15 岁)。临床症状以颅内出血(50%)和头痛(33.4%)为主。入院时头颅 CT 或 MR 检查显示颅内出血 30 例(83.3%),无颅内出血 6 例(16.7%)。根据多田公式[出血量(mL) = 最大面积长轴(cm) × 最大面

积短轴(cm) × 层面数 × 0.5]计算,出血量为( $13.70 \pm 11.10$ )mL。血肿部位分布在额叶 3 例、颞叶 7 例、顶叶 4 例、枕叶 5 例、颞枕叶 3 例、颞顶叶 3 例、小脑 5 例;合并血肿且破入侧脑室 7 例(23.3%),见表 1。

表 1 36 例治愈性血管内栓塞治疗脑动静脉畸形患儿临床特征

Table 1 Clinical characteristics of 36 cAVM children treated by curative endovascular embolization

特征	例数(n)	占比(%)
临床表现		
颅内出血	18	50.0
头痛	12	33.4
癫痫发作	3	8.3
其他	3	8.3
是否出血		
是	30	83.3
否	6	16.7
是否破入脑室		
是	7	23.3
否	23	76.7

### 二、与非治愈性栓塞患儿血管构筑特征比较

将 36 例治愈性栓塞与 81 例非治愈性栓塞患儿进行分组比较,发现两组在 cAVM 大小、部位(浅部、深部)、供血动脉特征、引流静脉特征以及 SM 分级上的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。36 例治愈性栓塞患儿血管构筑特征如下:①血管畸形团以幕上(28/36, 77.8%)、小型(23/36, 63.9%)、浅部(23/36, 63.9%)、非功能区(27/36, 75.0%)为主,见表 2;②供血动脉:浅动脉 29 例(29/36, 80.5%)、深动脉 6 例(6/36, 16.7%)、混合供血 1 例(1/36, 2.8%),单支供血 27 例(27/36, 75.0%)、双支供血 6 例(6/36, 16.7%)、多支供血 3 例(3/36, 8.3%),无扩张及狭窄结构异常 28 例(28/36, 77.8%)、扩张 4 例(4/36, 11.1%)、狭窄 4 例(4/36, 11.1%);③引流静脉:浅静脉 26 例(26/36, 72.2%)、深静脉 9 例(9/36, 25.0%)、混合引流 1 例(1/36, 2.8%),单支引流 31 例(31/36, 86.1%)、双支引流 3 例(3/36, 8.3%)、多支引流 2 例(2/36, 5.6%),无扩张及狭窄结构异常 30 例(30/36, 83.3%)、扩张 5 例(5/36, 13.9%)、狭窄 1 例(1/36, 2.8%);④无畸形团内动脉瘤 30 例(30/36, 83.3%)、无引流静脉瘤 30 例(30/36, 83.3%)。36 例中,SM 分级 I 级 18 例、II 级 14 例、III 级 4 例,见表 2。术中栓塞畸形团供血动脉数量:1 根 28 例(28/36, 77.8%),2 根 6 例(6/36, 16.7%),3 根及以上 2 例(2/36, 5.5%)。

表 2 36 例治愈性栓塞与 81 例非治愈性栓塞脑动静脉畸形患儿血管构筑特征比较[例(%)]

Table 2 Comparison of vascular architectural features between 36 cAVM children treated by curative embolization and 81 children undergoing non-curative embolization[*n*(%) ]

特征	cAVM 大小			cAVM 部位(分类 1)		cAVM 部位(分类 2)		cAVM 部位(分类 3)	
	大	中	小	幕上	幕下	深部	浅部	功能区	非功能区
治愈性栓塞( <i>n</i> = 36)	23(63.9)	12(33.3)	1(2.8)	28(77.8)	8(22.2)	13(36.1)	23(63.9)	9(25.0)	27(75.0)
非治愈性栓塞( <i>n</i> = 81)	32(39.5)	36(44.4)	13(16.0)	60(74.1)	21(25.9)	46(56.8)	35(43.2)	23(28.4)	58(71.6)
$\chi^2$ 值	7.571			0.183		4.263		0.145	
<i>P</i> 值	0.014			0.668		0.039		0.704	

特征	供血动脉			静脉引流			SM 分级				
	浅动脉	深动脉	混合供血	浅静脉	深静脉	混合引流	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
治愈性栓塞( <i>n</i> = 36)	29 (80.5)	6 (16.7)	1 (2.8)	26 (72.2)	9 (25)	1 (2.8)	18 (50.0)	14 (38.9)	4 (11.1)	0	0
非治愈性栓塞( <i>n</i> = 81)	46 (56.8)	24 (29.6)	11 (13.6)	39 (48.1)	22 (27.2)	20 (24.7)	12 (14.8)	32 (39.5)	29 (35.8)	6 (7.4)	2 (2.5)
$\chi^2$ 值	6.665			9.312			19.532				
<i>P</i> 值	0.036			0.010			0.001				

注 cAVM:脑动静脉畸形;SM 分级:Spetzler – Martin 分级

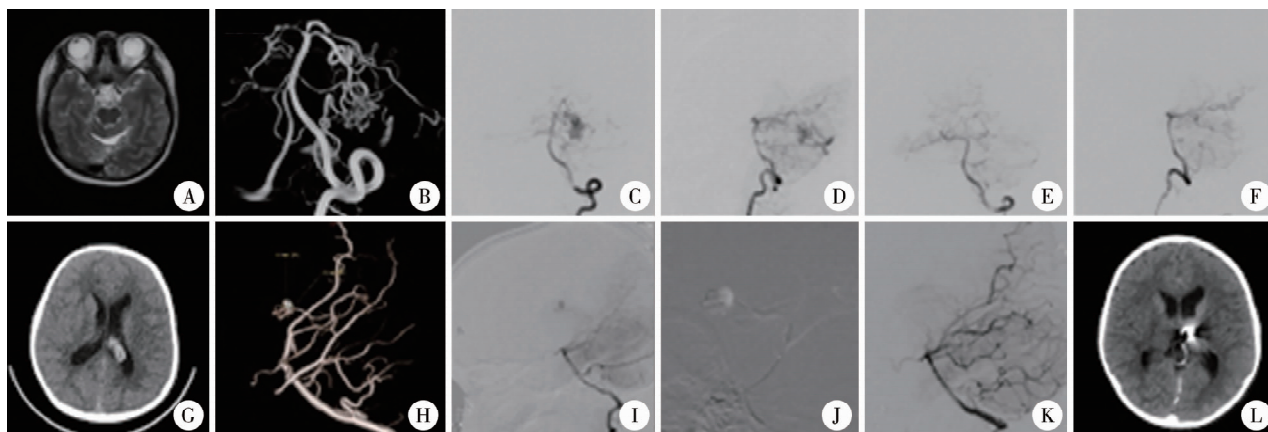
### 三、手术相关并发症及预后

36 例治愈性栓塞患儿中,3 例(8.3%)发生手术相关并发症,其中出血性并发症 2 例,均为术区出血,出血量较少,予保守治疗;缺血性并发症 1 例,为术中血管痉挛所致,予术中推注尼莫地平后缓解;该 3 例患儿出院时及随访期间 mRS 评分均为 0 分,预后良好。36 例患儿出院时 mRS 评分为 0 分 20 例,1 分 9 例,2 分 5 例,3 分 2 例;随访期间无一例新发神经功能缺损症状,其中 mRS 评分为 0 分 27 例,1 分 6 例,2 分 2 例,3 分 1 例。

典型病例照片见图 1。

### 讨 论

儿童 cAVM 通常源于胚胎发育期动静脉分化异常,导致动静脉直接连通,是儿童脑出血的主要原因<sup>[6-7]</sup>。儿童 cAVM 最常见的临床表现是颅内出血,发生率达 57.5%~83.0%<sup>[8-9]</sup>。研究指出,约 50% 的儿童 cAVM 出血为严重出血,约 25% 的患儿于首次或再次出血时死亡,约 24% 的患儿遗留神经功能障碍<sup>[8,10]</sup>。未治疗的 cAVM 患儿将终生面临出血风险,且累积出血风险逐年上升<sup>[4]</sup>。本研究中,50% 的患儿以颅内出血为首发症状,部分伴有头痛



注 病例 1,女,12 岁,因头痛、呕吐 5 天入院。A、B:术前影像显示 cAVM 病灶位于左侧小脑半球,左侧小脑上动脉较对侧增粗,并发出多个分支进入该血管团; C、D:头颅数字减影血管造影显示左侧小脑半球 cAVM 由左侧小脑上动脉的多个远端分支供血,粗大的引流静脉提前显影并汇入直窦;E、F:术后即刻造影 cAVM 完全栓塞。病例 2,男,8 岁,因间断头晕、头痛 1 个月入院。G、H:术前影像显示 cAVM 病灶位于左侧侧脑室旁,伴动脉瘤改变; I:头颅数字减影血管造影显示由大脑后动脉分支供血; J:微导管超选造影后使用 Onyx 栓塞剂对供血动脉及血管畸形团进行栓塞; K:术后即刻造影 cAVM 完全栓塞;L:术后 CT 检查未见明显出血。

图 1 2 例脑动静脉畸形患儿治疗前后影像学资料

Fig. 1 Imaging studies before and after treatment in two cAVM children



或癫痫发作。影像学检查结果显示,约 83.3% 的患儿入院时已出现颅内出血,部分血肿破入侧脑室,增加了治疗的复杂性和治疗风险。

儿童 cAVM 的治疗应以治愈为目标,应积极采取早期诊断与干预措施,以减少并发症,改善预后。目前尚无药物被证实可以闭塞或稳定 cAVM,其治疗主要依赖外科技术,包括显微手术、血管内栓塞以及立体定向放射治疗。

血管内栓塞治疗 cAVM 因具有创伤小、相对风险小、后遗症少、术后恢复较快等优势而被关注及发展<sup>[4,11]</sup>。但既往文献报道非选择性 cAVM 队列的介入治疗治愈率不足 20%,长期以来被作为辅助性治疗手段。近年来,随着血管介入材料及手术技术的发展,部分高度选择性病例治愈性栓塞率可达 50%~90%<sup>[12-13]</sup>。具有幕上、位置表浅、畸形团较小、畸形团呈致密和丛状病灶、较少供血动脉、单支引流静脉等血管构筑特征的 cAVM 有更高的治愈性栓塞比例<sup>[11,14]</sup>。但相关研究集中在成人领域,尚无儿童病例的相关研究结果。本研究中,36 例实现了治愈性栓塞患儿血管构筑特征分析显示,单支浅部供血动脉、单支浅部引流静脉及小型、中型畸形团的治愈性栓塞率较高。根据 SM 评分标准,大多数患儿为 I 级和 II 级,提示低分级血管畸形团更能获得治愈性栓塞。

完美的治愈性栓塞应包括供血动脉末端、畸形团、引流静脉起始的充分铸型。本组栓塞材料为 Onxy 胶,Onxy 胶具有更好的通过性,栓塞后黏管的风险较低<sup>[15]</sup>。但由于儿童畸形团供血动脉细小、流速慢等原因,很难达到栓塞剂完美弥散铸型,且易发生反流导致栓塞提前结束。本组病例栓塞了供血动脉末端及大部分畸形团。关于治愈性栓塞时限目前尚无明确的时间界定。本组病例随访时间 1~5 年不等,以 DSA 复查未见畸形团显影及无引流静脉早期显影为无复发,但患儿随访时间尚短,后续需密切追踪复查结果。

在栓塞路径的选择上,经静脉入路治愈性栓塞近年来逐渐受到重视,其优势在于通过静脉端使 Onyx 胶在畸形团内逆行铸型,可有效闭塞病灶的畸形团、供血动脉和引流静脉,并能有效避免由栓塞导致的深部功能区病变<sup>[15-16]</sup>。近年来文献报道经静脉入路栓塞的治愈率约 90%<sup>[17-18]</sup>。经静脉栓塞治疗必然导致引流静脉完全闭塞,若不能同时将病变供血动脉和瘘口完全闭塞将面临较高的出血风险<sup>[19]</sup>。目前该方法在儿童 cAVM 中应用较少,偶有

个案报道,其安全性和有效性仍需进一步研究。本组均为经动脉入路栓塞,其中 1 例右侧颞叶 cAVM 患儿在完成动脉入路栓塞后,残留部分畸形团,尝试经岩下窦静脉入路栓塞,但由于血管迂曲、细小以及角度不佳,未能成功。

随着技术进步和治疗理念的创新,cAVM 治疗的整体预后不断改善,尽管并发症有所减少,但仍存在较大的风险和治疗效果不完全等问题。血管内栓塞治疗 cAVM 的总体并发症发生率为 7.6%~55.0%,永久性神经功能障碍的发生率为 0~18%<sup>[20]</sup>;预后不良的发生率为 12%~28.7%<sup>[20-21]</sup>。治愈性栓塞不仅要求影像学上 cAVM 得以根治,还要求预后良好、并发症发生率较低以及短时间内无复发及再出血。本研究中,36 例患儿出院时 mRS 评分为 0~2 分 34 例(94.4%),≥3 分 2 例(5.6%);在平均 35.5 个月的随访中,mRS 评分为 0~2 分者 35 例(97.2%),≥3 分 1 例(2.8%);预后不良仅 1 例,整体预后良好。36 例患儿中有 3 例(8.3%)出现手术相关并发症,其中出血性并发症 2 例(5.6%)、缺血性并发症 1 例(2.8%),并发症发生率较低,且并发症预后良好。

总体而言,栓塞材料、影像学技术和手术技术的进步为儿童 cAVM 的治愈性栓塞治疗提供了坚实基础,但其在儿童 cAVM 治疗中的应用仍需更多探索及关注。本研究样本量较小,多中心、大样本量的临床研究将有助于进一步验证其有效性和安全性,特别是针对不同血管构筑类型和 SM 分级的病例,需要深入探讨其与治疗预后的相关性。

综上所述,血管内栓塞治疗是儿童 cAVM 的重要治疗手段之一,部分患儿可实现治愈性栓塞。治愈性栓塞更容易实现于表浅位置、较小畸形团、低 SM 分级以及血管构筑特征简单的病例。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 高文龙、于增鹏负责文献检索,高文龙、于增鹏、吴宣莹负责论文设计,高文龙、于增鹏、唐俊、吴宣莹负责数据收集,高文龙、于增鹏负责研究结果分析与讨论,高文龙、于增鹏负责论文撰写;于增鹏、梁平负责全文知识性内容的审读与修正

## 参 考 文 献

- [1] Oulasvirta E, Koroknay-Pöl P, Hafez A, et al. Characteristics and long-term outcome of 127 children with cerebral arteriovenous malformations[J]. Neurosurgery, 2019, 84(1): 151-159. DOI: 10.1093/neuros/nyy008.
- [2] 向永军,王杭州,杨天权,等. 儿童幕上脑动静脉畸形破裂出血急性期分阶段手术的疗效分析[J]. 临床小儿外科杂志, 2023, 22(9): 881-884. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202207045-016.

- Xiang YJ, Wang HZ, Yang TQ, et al. Staged surgery for supratentorial arteriovenous malformation rupture in children during acute phase[J]. *J Clin Ped Sur*, 2023, 22(9): 881-884. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202207045-016.
- [3] Boulouis G, Stricker S, Benichi S, et al. Etiology of intracerebral hemorrhage in children: cohort study, systematic review, and meta-analysis[J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2021, 27(3): 357-363. DOI: 10.3171/2020.7.PEDS20447.
- [4] 国家神经疾病医学中心, 中国医师协会神经介入专业委员会, 世界华人神经外科医师协会放射神经外科专家委员会. 脑动静脉畸形多学科诊疗专家共识[J]. *中华医学杂志*, 2024, 104(15): 1280-1309. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20240109-00061.
- National Center for Neurological Disorders, Professional Committee of Neurointervention, Chinese Medical Doctor Association, Expert Committee of Radiological Neurosurgery of World Association of Chinese Neurosurgeons. Expert consensus on multidisciplinary diagnosis and treatment of brain arteriovenous malformation[J]. *Natl Med J China*, 2024, 104(15): 1280-1309. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20240109-00061.
- [5] 陈光忠. 颅内动静脉畸形血管构筑的思考和展望[J]. *中国脑血管病杂志*, 2024, 21(1): 3-8. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2024.01.002.
- Chen GZ. Reflections and future prospects on angioarchitecture of intracranial arteriovenous malformations[J]. *Chin J Cerebrovasc Dis*, 2024, 21(1): 3-8. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2024.01.002.
- [6] Solomon RA, Connolly ES Jr. Arteriovenous malformations of the brain[J]. *N Engl J Med*, 2017, 376(19): 1859-1866. DOI: 10.1056/NEJMra1607407.
- [7] 刘雨桐, 金欣, 张春燕, 等. 儿童脑动静脉畸形自然史[J]. *中国脑血管病杂志*, 2022, 19(11): 792-796. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2022.11.012.
- Liu YT, Jin X, Zhang CY, et al. Natural history of pediatric cerebral arteriovenous malformation[J]. *Chin J Cerebrovasc Dis*, 2022, 19(11): 792-796. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2022.11.012.
- [8] Blauwblomme T, Bourgeois M, Meyer P, et al. Long-term outcome of 106 consecutive pediatric ruptured brain arteriovenous malformations after combined treatment[J]. *Stroke*, 2014, 45(6): 1664-1671. DOI: 10.1161/STROKEAHA.113.004292.
- [9] Hasegawa T, Kato T, Naito T, et al. Long-term outcomes for pediatric patients with brain arteriovenous malformations treated with gamma knife radiosurgery, part 1: analysis of nidus obliteration rates and related factors[J]. *World Neurosurg*, 2019, 126: e1518-e1525. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.03.176.
- [10] Ma L, Chen XL, Chen Y, et al. Subsequent haemorrhage in children with untreated brain arteriovenous malformation; higher risk with unbalanced inflow and outflow angioarchitecture[J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(7): 2868-2876. DOI: 10.1007/s00330-016-4645-3.
- [11] 中华医学会神经外科学分会介入学组, 《脑动静脉畸形介入治疗中国专家共识》编写委员会. 脑动静脉畸形介入治疗中国专家共识[J]. *中华神经外科杂志*, 2017, 33(12): 1195-1203. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2017.12.003.
- Chinese Society of Neurosurgery, Chinese Society of Neurosurgery, Interventional Group, Chinese Expert Consensus on Interventional Treatment of Cerebral Arteriovenous Malformations. Chinese expert consensus on interventional treatment of cerebral arteriovenous malformation[J]. *Chin J Neurosurg*, 2017, 33(12): 1195-1203. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2017.12.003.
- [12] Durst CR, Starke RM, Gaughen J, et al. A method for complete angiographic obliteration of a brain arteriovenous malformation in a single session through a single pedicle[J]. *J Clin Neurosci*, 2015, 22(2): 391-395. DOI: 10.1016/j.jocn.2014.07.030.
- [13] Pierot L, Cognard C, Herbreteau D, et al. Endovascular treatment of brain arteriovenous malformations using a liquid embolic agent: results of a prospective, multicentre study (BRAVO)[J]. *Eur Radiol*, 2013, 23(10): 2838-2845. DOI: 10.1007/s00330-013-2870-6.
- [14] Griauzde J, Wilseck ZM, Chaudhary N, et al. Endovascular treatment of arteriovenous malformations of the head and neck: focus on the Yakes classification and outcomes[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2020, 31(11): 1810-1816. DOI: 10.1016/j.jvir.2020.01.036.
- [15] 刘建民, 李强. 治愈性栓塞-血管内治疗颅内动静脉畸形的理念变迁和技术进步[J]. *中华神经外科杂志*, 2022, 38(4): 325-328. DOI: 10.3760/cma.i.cn112050-20220227-00119.
- Liu JM, Li Q. Curative embolisation-conceptual changes and technological advances in endovascular treatment of intracranial arteriovenous malformations[J]. *Chin J Neurosurg*, 2022, 38(4): 325-328. DOI: 10.3760/cma.i.cn112050-20220227-00119.
- [16] 张献礼, 何俊平, 邱德智. 儿童出血型幕上深部脑动静脉畸形的疗效分析[J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2024, 39(7): 499-504. DOI: 10.3760/cma.j.cn101070-20230925-00232.
- Zhang XL, He JP, Qiu DZ. Clinical efficacies of hemorrhagic supratentorial deep brain arteriovenous malformation in children[J]. *Chin J Appl Clin Pediatr*, 2024, 39(7): 499-504. DOI: 10.3760/cma.j.cn101070-20230925-00232.
- [17] 尚成浩, 李强, 唐海双, 等. 经静脉入路治愈性栓塞颅内动静脉畸形的临床疗效观察[J]. *中华神经外科杂志*, 2022, 38(4): 336-341. DOI: 10.3760/cma.j.cn112050-20220127-00059.
- Shang CH, Li Q, Tang HS, et al. Clinical efficacy of transvenous curative embolization of intracranial arteriovenous malformations: a preliminary observation[J]. *Chin J Neurosurg*, 2022, 38(4): 336-341. DOI: 10.3760/cma.j.cn112050-20220127-00059.
- [18] Fang YB, Byun JS, Liu JM, et al. Transvenous embolization of brain arteriovenous malformations: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Neurosurg Sci*, 2019, 63(4): 468-472. DOI: 10.23736/S0390-5616.18.04342-4.
- [19] Iosif C, Mendes GAC, Saleme S, et al. Endovascular transvenous cure for ruptured brain arteriovenous malformations in complex cases with high Spetzler-Martin grades[J]. *J Neurosurg*, 2015, 122(5): 1229-1238. DOI: 10.3171/2014.9.JNS141714.
- [20] Sato K, Matsumoto Y, Tominaga T, et al. Complications of endovascular treatments for brain arteriovenous malformations: a nationwide surveillance[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2020, 41(4): 669-675. DOI: 10.3174/ajnr.A6470.
- [21] Raymond J, Gentric JC, Magro E, et al. Endovascular treatment of brain arteriovenous malformations: clinical outcomes of patients included in the registry of a pragmatic randomized trial[J]. *J Neurosurg*, 2023, 138(5): 1393-1402. DOI: 10.3171/2022.9.JNS22987.

(收稿日期: 2024-10-31)

**本文引用格式:** 高文龙, 于增鹏, 唐俊, 等. 单中心治愈性栓塞儿童脑动静脉畸形的血管构筑特征分析[J]. *临床小儿外科杂志*, 2025, 24(2): 114-119. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202410071-003.

**Citing this article as:** Gao WL, Yu ZP, Tang J, et al. Analysis of vascular structural characteristics in pediatric brain arteriovenous malformations treated with curative embolization: a single-center study[J]. *J Clin Ped Sur*, 2025, 24(2): 114-119. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202410071-003.