

# 颅内富血管肿瘤术前栓塞的研究进展

董灵根, 吕明

首都医科大学, 北京市神经外科研究所, 首都医科大学附属北京天坛医院神经外科, 北京 100071

通信作者: 吕明, E-mail: dragontiger@163.com

**【摘要】** 颅内富血管肿瘤的血运极其丰富, 单纯手术切除可能会引起术中大出血。近年来, 颅内富血管肿瘤的术前栓塞逐渐受到神经外科医生的关注。成功的术前栓塞可以减少肿瘤血供, 引起肿瘤坏死, 同时能够减少术中出血, 对颅内富血管肿瘤的治疗起到关键的辅助作用。在本文中, 我们总结了颅内富血管肿瘤术前栓塞的研究进展。

**【关键词】** 栓塞; 肿瘤; 神经介入

**【文章编号】** 2095-834X (2024)07-54-06

**本文著录格式:** 董灵根, 吕明. 颅内富血管肿瘤术前栓塞的研究进展[J]. 当代介入医学电子杂志, 2024, 1(7): 54-59.

颅内富血管肿瘤包括脑膜瘤、血管母细胞瘤、副神经节瘤(颈静脉球瘤和颈动脉体瘤)、神经鞘瘤等, 临床上常用术前栓塞治疗的肿瘤主要是前三种<sup>[1,2]</sup>。这些富血管肿瘤的血运极其丰富, 单纯手术切除往往会发生严重出血, 导致视野模糊, 对术者造成了极大困扰<sup>[3,4]</sup>。自上世纪 70 年代起就有关于肿瘤术前栓塞的报道<sup>[5]</sup>, 近年来, 随着神经介入栓塞材料的更新迭代, 肿瘤术前栓塞逐渐受到神经外科医生的关注, 成功的术前栓塞能够让术者取得事半功倍的效果, 不仅可以减少肿瘤血供, 引起肿瘤坏死, 还可以降低术中出血, 使神经外科医生能够从容、彻底地切除肿瘤, 降低围手术期并发症, 最终改善患者预后<sup>[6]</sup>。

## 1 栓塞原则

肿瘤术前栓塞的原则是阻断肿瘤的血供, 减少术中出血。术前栓塞所致的肿瘤缺血能够使其软化, 减少其对周围正常脑组织结构的压迫, 有利于肿瘤的后续切除。此外, 清晰的术野也使肿瘤切除更加安全、彻底, 缩短了手术时间, 也降低了肿瘤复发的风险。

术前必须了解肿瘤供血动脉的直径、数量和走行, 是否存在肿瘤和正常脑组织的共同血供、颅内-颅外血管的危险吻合以及栓塞材料反流入载瘤动脉的可能性等情况, 而这些信息需要通过数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)获得。在 DSA 过程中, 需要对供应颅脑的 6 支动脉, 即双侧颈内动

脉、颈外动脉以及椎动脉分别造影, 这样才能充分了解每支血管所供应的肿瘤区域; 必要时加做双侧锁骨下动脉造影, 以明确甲状腺干或肋颈干对肿瘤的供血。此外, 对于颈内动脉和颈外动脉联合供血的肿瘤要尤为注意, 因为一旦栓塞了颈外动脉的主要供血分支, 则颈内动脉系统可能会对肿瘤开放, 所以在完成术前栓塞后, 必须重新造影, 明确肿瘤的血运是否完全根除。

目前肿瘤术前栓塞的方式主要包括经股动脉栓塞和经皮直接肿瘤穿刺栓塞。有学者对这两种栓塞方法进行了比较, 结果表明如果肿瘤的血管解剖入路较复杂, 超选不易到位, 则难以达到减少术中出血的目的, 此时应果断采取经皮直接肿瘤穿刺栓塞, 以最大程度保证肿瘤术前栓塞的效果<sup>[7]</sup>。肿瘤术前栓塞可一期完成, 也可分期处理。肿瘤术前栓塞可以在全身麻醉或局部麻醉下进行。术者可以对局部麻醉的患者实施颈动脉球囊闭塞试验, 在术前准确判断颈动脉阻断后颅内侧支循环代偿功能, 同时局部麻醉还可以规避气管插管和全身麻醉剂的潜在风险。全身麻醉可以避免栓塞过程中患者因不适产生体动而造成的不良后果, 同时, 对于分泌儿茶酚胺的副神经节瘤的患者, 全身麻醉更有利于术中监测血压波动<sup>[8]</sup>。因此, 应根据患者肿瘤的具体特点来选择合适的麻醉方式。

关于肿瘤术前栓塞的时间尚存争议, 有学者认为栓塞术后早期手术(<24 h)不能给予肿瘤供血动脉充分的时间发生缺血、坏死, 术中出血量较多<sup>[9]</sup>。一项使用聚乙烯醇进行术前栓塞的组织学研究表明, 栓塞 7 d 内会有血栓形成和多核巨噬细胞的增生; 栓塞 7 d 后,

30% 的栓塞血管中能够观察到血管内再通和血管再生<sup>[10]</sup>。有学者使用纤维素多孔微球对 42 例脑膜瘤患者进行了术前栓塞,结果表明栓塞后 7~9 d 的脑膜瘤软化程度最高,手术切除效果最好,是栓塞术后手术的最佳时期<sup>[11]</sup>。如果手术延迟超过 9 d,被栓塞的供血动脉可能会再通或形成新的侧支循环。也有研究报道,栓塞术后至手术治疗的平均时间是 1.9~6.3 d<sup>[12,13]</sup>。

## 2 栓塞材料

目前栓塞材料各式各样,每种栓塞材料都有优势和局限,应该根据肿瘤解剖学特点以及术者的经验和偏好进行选择<sup>[14-16]</sup>。理想的栓塞材料应具有以下特征:(1)无毒、无抗原性,具有良好的生物相容性;(2)能够按照需求迅速闭塞不同口径的供血血管;(3)易经导管输送,易释放且不粘管,并且不影响肿瘤的手术切除。目前常用的栓塞材料包括:固体栓塞材料、液体栓塞材料以及其他材料。

### 2.1 固体栓塞材料

**2.1.1 聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)** 由聚乙烯醇泡沫与甲醛组成,是最常用的固体栓塞材料。PVA 颗粒可在水溶液中膨胀并产生炎症反应,导致血管内血栓形成<sup>[17]</sup>。根据需要,PVA 被制作成不同精确尺寸的颗粒。一项回顾性研究表明,相比于小颗粒栓塞材料,大颗粒栓塞材料具有更可靠的安全性,并且引起的并发症也更少见,作者推测小颗粒 PVA 会渗透到肿瘤深部的血管床,阻断静脉回流,导致出血风险<sup>[18]</sup>。此外,PVA 的颗粒大小和形态各异,容易引起颗粒聚集,导致大血管闭塞和毛细血管床再通。其高摩擦系数还往往会导致导管堵塞,给进一步栓塞带来困难。尽管存在上述弊端和风险,但 PVA 仍被普遍认为是一种安全、有效的术前栓塞材料。

**2.1.2 微球** 是指药物分散或被吸附在聚合物基质中而形成的微小球状实体,其粒径一般在 100~300  $\mu\text{m}$ ,具有统一的大小和形状,与血液的比重相近,同时还带正电荷,能够防止聚集,此外,微球还拥有良好的生物力学特性,体积可被暂时压缩至 33%,保证导管的顺利输送,输送后可恢复到原来的直径,保证止血栓塞效果,已被广泛用于富血管肿瘤和脑血管畸形的栓塞中。微球的主要缺点是不能在 X 线下直视,术者须通过造影剂注射间接确定肿瘤栓塞程度。此外,高昂的价格也阻碍了其在肿瘤术前栓塞中的应用。

**2.1.3 明胶海绵颗粒** 大小约为 150~350  $\mu\text{m}$ ,能够通过微导管渗透到肿瘤组织的内部,导致肿瘤缺血坏死。然而,明胶海绵是短期栓塞剂,7~15 d 内可被蛋白水解酶快速分解,导致血管再通,因此在栓塞过程

中,如果周围正常血管分支被栓塞,短期内可再通,一般不会导致周围组织缺血坏死。此外,较小的明胶海绵颗粒易通过颈内-颈外血管的危险吻合,造成脑缺血和颅神经损伤等并发症。

**2.1.4 真丝线段** 一般选用 5-0 手术用真丝线,剪成长度为 0.5 cm 左右的线段,借助 1 ml 注射器逐根经微导管注射到供血动脉,随时注射造影剂监测栓塞效果。真丝线段价廉易得,对患者刺激较小,可与其他栓塞材料联合应用。然而,其临床应用逐渐减少,主要是因为其存在以下缺陷:栓塞操作时间长;线段在 X 射线下不显影,有造成误栓正常动脉风险;无法进入肿瘤血管床,栓塞持久性欠佳。因此,真丝线段目前已被作为主流的栓塞材料<sup>[19]</sup>。

### 2.2 液体栓塞材料

**2.2.1 氰基丙烯酸正丁酯(n-butyl-2-cyanoacrylate, NBCA)** 是一种稳定的、非吸收性的液态聚合栓塞材料,常用于脑血管畸形和动静脉瘘的治疗,在肿瘤的术前栓塞中应用较少。NBCA 与造影剂碘化油按比例(通常为 1:2~1:4)混合使用,只要其与血液接触,就会立即聚合,不仅能够通过供血动脉弥散至瘤床起到栓塞作用,也可以通过瘤内直接注射的方式进行栓塞<sup>[20]</sup>。有研究已经证明,与颗粒栓塞材料相比,NBCA 具有更低的出血和缺血并发症发生率<sup>[21-23]</sup>。NBCA 在使用过程中,也会有以下风险:NBCA 可能会阻塞供血动脉近端,导致其反流入危险吻合血管,造成脑卒中;在手术时间较长的情况下,NBCA 可能会黏住甚至折断微导管,撤管时有撕脱血管的风险。NBCA 在使用时对操作技术要求高,限制了其临床应用。

**2.2.2 Onyx 胶** 是由乙烯-乙醇共聚物、二甲基亚砷和钽粉混合而成的一种的非粘附性液体栓塞剂<sup>[24]</sup>。Onyx 胶接触血液时,二甲基亚砷可迅速从混合物中逸出,弥散入血液中,而乙烯-乙醇共聚物则析出,在血管中凝固成海绵状铸型,起到栓塞作用。与其他栓塞材料相比,Onyx 胶的优势在于:(1)作为非粘附性液体栓塞剂,在控制反流距离和注射时间的前提下,栓塞微导管被粘附于血管内的风险极低,允许术者从容注胶;(2)具有沉淀缓慢和非粘附性的特点,有推力存在时,可向阻力较低处缓慢渗透,在 Onyx 胶固化前可在肿瘤床内充分弥散,从而减少肿瘤供血<sup>[25]</sup>;(3) Onyx 胶在注射过程中能够准确到达靶向部位,但因 Onyx 胶价格高昂,要求配套使用特殊的微导管,技术门槛较高,医生必须经过严格培训才能获得使用资质等原因,目前尚不能在我国广大基层医院广泛应用。

**2.2.3 EVAL 胶** 是一种仿制 Onyx 胶的新型国产非粘附性液体栓塞剂,除乙烯-乙醇共聚物、二甲基亚砷和作为显影剂的钽粉以外,添加了无水乙醇以降低二甲基亚砷毒性<sup>[26]</sup>。EVAL 胶与 Onyx 胶用法相似,目

前,使用二者栓塞颅内富血管肿瘤的研究较少,需要进一步研究来评估其有效性和安全性。

### 2.3 其他栓塞材料

**2.3.1 弹簧圈** 主要用于辅助其他栓塞材料。如颗粒或液体栓塞材料可能在栓塞过程中反流入正常血管或危险吻合血管,此时弹簧圈能起到一定的控制反流的作用。

## 3 颅内富血管肿瘤的术前栓塞注意事项

在胚胎时期,神经结构的血液供应主要来自原始背主动脉和腹主动脉的轴向节段血管提供。随着胚胎的发育,这些节段血管之间的纵向连接形成并成熟,最终成为构成成人循环的大血管,尤其是颈内动脉、颈外动脉和椎动脉。随着时间的推移,这些纵向血管之间原始的节段连接会有不同程度地退化,但即使在具有正常解剖结构的患者中,这些连接也始终存在,尽管它们在 DSA 中难以发现。颅内循环之间存在丰富的吻合支,这些吻合支是脑循环丰富的侧支网络的基础,在慢性或急性血管闭塞的情况下具有一定的代偿能力。然而,在栓塞颈外动脉时,栓塞剂可能通过这些吻合支异位栓塞颅内的重要动脉,导致颅神经麻痹甚至脑梗死,故称为“危险吻合”。因此栓塞前行 DSA 是极为重要的,除全面了解肿瘤的供血情况,还可发现“危险吻合”及颅内外侧支交通。在此,我们将回顾已知的颅内-颅外吻合支的解剖结构。

### 3.1 眼眶区域

**3.1.1 眼动脉 (ophthalmic artery, OA)** 多数起源于颈内动脉床突上段内上壁,并与视网膜中央动脉相通。

**3.1.2 颞上动脉至眼动脉** 眶上动脉和滑车上动脉是 OA 的终末分支,主要供应头皮前部的结构。眶上动脉通常与眶上神经一起通过眶上孔从眼眶发出,而滑车上动脉与滑车上神经一起从更内侧的眼眶发出。颞浅动脉是颈外动脉的终末分支,与上颌内动脉一起分为额支和顶支,额支与眶上动脉和滑车上动脉吻合。

**3.1.3 脑膜中动脉至眼动脉** 脑膜中动脉 (middle meningeal artery, MMA) 是神经外科脑血管疾病的常见供血动脉,因此也是神经介入手术的常见入路。MMA 与 OA 之间存在吻合支,可导致颅内循环或视网膜中央动脉异位栓塞。OA 与 MMA 之间通过脑膜返动脉相通,脑膜返动脉从泪腺动脉起源后,向眶尖方向走行,从外侧眶上裂隙发出,最终与 MMA 相通。OA 与颈外动脉也可通过颞眶动脉相通,颞眶动脉通过颞颥孔离开眼眶,到达颞窝,并与源自颌内动脉的颞深动脉相连。

### 3.2 岩骨-海绵窦区域

**3.2.1 岩部** 岩部颈内动脉发出的分支相对较少,主要包括颈鼓动脉、下颌动脉和翼管动脉。当翼管动脉

从岩部颈内动脉发出后,通过破裂孔离开颅骨,向翼腭窝走行,与远端颌内动脉的分支相通。此外,翼管动脉沿其走向向鼻咽粘膜和口咽粘膜供血,进而与咽升动脉的粘膜分支和副脑膜动脉相通。最后,通过圆孔和卵圆孔的动脉,翼管动脉可以与海绵窦颈内动脉的下外侧干吻合。颈鼓动脉起源于岩部颈内动脉,进入中耳后与咽升动脉的下鼓室分支吻合;这种吻合构成了罕见的颈动脉异常变异的基础,在颈内动脉发育不全的情况下,咽升动脉基本上代替了颈内动脉。下颌动脉可与翼管动脉共同起源于主干,从颞骨下方走行,为咽部结构提供营养,并与粘膜咽升动脉分支相连。

**3.2.2 岩骨斜坡区** 斜坡附近的颅内-颅外吻合通过下外侧干和脑膜垂体干的下行斜坡支与咽升动脉神经脑膜干的上行支相连。

**3.2.3 海绵窦** 海绵窦附近的颅内-颅外吻合支较多,常通过下外侧干和脑膜垂体干相连。下外侧干前支向前延伸至眶上裂,为颅神经提供血供,并与脑膜返动脉和 MMA 相连。后支分别通过圆孔动脉和卵圆孔动脉为三叉神经的第二和第三支供血,尽管圆孔动脉通常起源于前支。此外,下外侧干的上支为海绵窦顶部供血,并与 MMA 的海绵窦分支相连。脑膜返动脉的分支包括沿小脑幕切迹走行的脑幕边缘动脉可沿此路径与 MMA 的岩鳞支吻合。

### 3.3 枕颈区域

**3.3.1 咽升动脉至椎动脉** 咽升动脉通常起源于颈总动脉分叉部后的颈外动脉后壁,分为咽干和神经脑膜干。咽干向前上方走向咽部结构供血,神经脑膜干向后上方走行,分为颈静脉和舌下支,为各自神经孔的硬脑膜和脑神经提供营养。在此分叉前,神经脑膜干发出一个或两个肌脊支,为相邻的颈部肌肉提供营养,这些肌肉与椎动脉形成广泛的吻合。此外,咽升动脉与椎动脉也可通过椎前支相连,椎前支从舌下干发出,穿过枕骨大孔与齿状突弓连接,这些连接较稳定,因此在栓塞咽升动脉时应格外小心,以避免误栓颅内后循环血管。

**3.3.2 枕动脉至椎动脉** 枕动脉从颈外动脉发出后,沿颅底下外侧向后延伸,为颈椎后上部和枕下区域的肌肉提供营养。它在寰椎乳突和横突之间延伸时大致呈水平方向,并沿着这条路径通过 C1 和 C2 节段动脉与椎动脉相连。另一条吻合途径是通过枕动脉的镫骨支,进入镫骨孔并与源自椎动脉的脑膜后动脉分支相连。

**3.3.3 颈升动脉和颈深动脉至椎动脉** 颈升动脉和颈深动脉是颈部的纵向血管,分别起源于甲状颈干和肋颈干。由于它们与椎动脉平行走行,这些血管之间形成许多吻合,具有重要的临床意义。因此,应谨慎栓塞颈升动脉或颈深动脉,因为存在意外栓塞椎动脉的

风险。值得注意的是,脊髓前动脉与椎动脉、颈升动脉和颈深动脉纵向延伸,也是同一节段吻合网络的一部分。在神经介入手术中识别脊髓前动脉充盈对于避免栓塞过程中发生灾难性的脊髓梗塞来说至关重要。

**3.4 术前栓塞注意事项** 根据肿瘤血供的特点,确定出血管部位,选用合适的栓塞材料,小于 100  $\mu\text{m}$  的材料容易通过“危险吻合”,直径大的又无法到达血管床,故应根据患者肿瘤的具体供血特点来选择合适的栓塞材料。注射栓塞材料应遵循低压、缓慢、少量、多次的原则,随时复查<sup>[27]</sup>。

术前栓塞的主要作用是阻断肿瘤供血的动脉,减少术中的出血量,进而降低手术的致残率和病死率,不需要追求完全严密栓塞肿瘤的血供,因为过度栓塞会导致正常灌注压突破综合征,增大肿瘤的出血风险<sup>[28,29]</sup>。

栓塞中尽量保留颈外动脉主干分支,尤其是栓塞双侧颈外动脉时,应注意头皮坏死或通过“危险吻合”造成的神经麻痹<sup>[27]</sup>。

颈内动脉分支、眼动脉分支及椎动脉分支参与肿瘤供血在术前栓塞时应尤为慎重,或代之以经皮直接肿瘤穿刺栓塞<sup>[27]</sup>。

#### 4 各种颅内外富血管肿瘤的术前栓塞

**4.1 脑膜瘤** 脑膜瘤是生长于软脑膜的高度血管化的肿瘤,起源于蛛网膜细胞,是最常见的原发性脑肿瘤之一<sup>[30]</sup>。众所周知,神经外科开颅切除是治疗脑膜瘤的首选方式,但是对于大型、巨型脑膜瘤以及位于颅底深部的脑膜瘤,因其血供丰富,术中易出现大出血引起术野模糊,最终导致肿瘤切除不全,术后复发。因此,多数学者认为对于此类富血管肿瘤,术前应先行栓塞<sup>[3,12,31]</sup>。关于栓塞材料的选择,目前既往文献中推荐采用PVA颗粒、栓塞微球作为富血管脑膜瘤的首选栓塞材料<sup>[32,33]</sup>。

**4.2 细胞瘤** 血管母细胞瘤(hemangioblastoma, HB)又称血管网状细胞瘤,是后颅窝常见的血管源性良性肿瘤,约占颅内肿瘤的1.5%~2.0%<sup>[34]</sup>。HB多毗邻脑干,血供极其丰富,单纯手术切除往往会出现难以控制的出血,甚至会被迫终止手术<sup>[35]</sup>。

PVA作为一种性质稳定的永久性栓塞材料,主要用于栓塞血流量较高的供血动脉,但是PVA容易进入瘤床,堵塞静脉回流,引起肿瘤卒中,导致栓塞后的并发症发生率较高,限制了其临床使用<sup>[36]</sup>。Onyx胶和NBCA作为新型液体栓塞剂,具有弥散性佳、无黏着力、不易粘连微导管等优点,可以轻松达到肿瘤供血动脉的远端,能够更大程度地栓塞肿瘤<sup>[29,37]</sup>。

**4.3 颈静脉球瘤** 颈静脉球瘤(glomerus jugulare tumor,

GJT)是一种血运极其丰富的神经内分泌肿瘤<sup>[38]</sup>,目前,手术切除是GJT的主要治疗方式,但由于毗邻重要的血管和神经,肿瘤边缘不清从而增加了手术切除的困难<sup>[39]</sup>。有研究者主张在手术切除GJT前48 h内进行栓塞治疗能有效减少肿瘤的血供,能够降低术后并发症发生率<sup>[40,41]</sup>。有学者<sup>[42]</sup>认为使用PVA栓塞GJT的效果较为理想,通过选择不同直径的栓塞颗粒,限制其进入颅神经滋养血管,从而降低颅神经损伤发生率<sup>[43]</sup>。有研究报道Onyx胶对GJT有更强的渗透能力,能够明显减少肿瘤血供<sup>[44]</sup>,但也有研究认为使用Onyx胶栓塞GJT可能会增加颅神经损伤发生率<sup>[45]</sup>。

**4.4 颈动脉体瘤** 颈动脉体瘤(carotid body tumor, CBT)是一种罕见的伴有潜在恶性风险的肿瘤,占头颈部副神经节肿瘤的65%<sup>[45]</sup>。手术切除是CBT治疗的金标准,但是CBT极富血供且周围有大量大血管和神经伴行,导致其手术难度较大<sup>[46]</sup>。有研究者认为术前栓塞可以明显减少CBT的血供,降低术中出血、缩短手术时间<sup>[47]</sup>。目前应用的栓塞颗粒的主要弊端是缺乏透光性,这无疑会增加异位栓塞的风险。因此,孔祥国等<sup>[48]</sup>研究者在栓塞过程中应用碘帕醇混悬栓塞颗粒,不仅可以实时监测栓塞材料的渗透方向,还能直接评估CBT的栓塞程度。此外,栓塞颗粒直径也与肿瘤的并发症发生率相关<sup>[49]</sup>。小直径的栓塞颗粒能够栓塞CBT远端微血管,但容易残留在微导管管内,同时较小的栓塞颗粒也会通过供血动脉到达正常血管,导致异位栓塞。在一项大样本的回顾性研究中,使用直径>300  $\mu\text{m}$  的微球栓塞的CBT患者均未出现严重并发症,而使用直径100~300  $\mu\text{m}$  的微球栓塞的1例CBT患者,术中出现了同侧偏盲,研究者考虑这是由于小颗粒误入同侧眼动脉末梢分支所致<sup>[48]</sup>。因此,在栓塞CBT时,应尽量选择直径较大的栓塞材料(直径>300  $\mu\text{m}$ )。

综上所述,术前栓塞在颅内外富血管肿瘤的治疗中起着重要作用。近年来,血管内治疗以及栓塞材料的发展,术前栓塞的安全性得到了明显改善。术前栓塞已经成为治疗颅内外富血管肿瘤的重要辅助手段。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] Ashour R, Aziz-Sultan A. Preoperative tumor embolization[J]. Neurosurg Clin N Am, 2014, 25(3): 607-617.
- [2] 高超,倪伟,江汉强,等. 颅内富血供肿瘤的术前介入栓塞治疗[J]. 中华神经医学杂志, 2023, 22(2): 135-141.
- [3] Yoon N, Shah A, Couldwell WT, et al. Preoperative embolization of skull base meningiomas: current

- indications, techniques, and pearls for complication avoidance[J]. *Neurosurg Focus*, 2018, 44(4): E5.
- [ 4 ] Yang F, Chen Y, Chen C, et al. Longitudinal imaging of tumor perfusion after preoperative endovascular embolization in meningiomas: surgical time window selecting, clinical consideration, and outcomes[J]. *World Neurosurg*, 2024, 187: e722–e730.
- [ 5 ] Latchaw RE, Gold LH. Polyvinyl foam embolization of vascular and neoplastic lesions of the head, neck, and spine[J]. *Radiology*, 1979, 131(3): 669–679.
- [ 6 ] Duffis EJ, Gandhi CD, Prestigiacomo CJ, et al. Head, neck, and brain tumor embolization guidelines[J]. *J Neurointerv Surg*, 2012, 4(4): 251–255.
- [ 7 ] Elhammady MS, Wolfe SQ, Ashour R, et al. Safety and efficacy of vascular tumor embolization using onyx: is angiographic devascularization sufficient? [J]. *J Neurosurg*, 2010, 112(5): 1039–1045.
- [ 8 ] Colen TY, Mihm FG, Mason TP, et al. Catecholamine-secreting paragangliomas: recent progress in diagnosis and perioperative management[J]. *Skull Base*, 2009, 19(6): 377–385.
- [ 9 ] Chun JY, McDermott MW, Lamborn KR, et al. Delayed surgical resection reduces intraoperative blood loss for embolized meningiomas[J]. *Neurosurgery*, 2002, 50(6): 1231–1235.
- [ 10 ] Pauw BK, Makek MS, Fisch U, et al. Preoperative embolization of paragangliomas (glomus tumors) of the head and neck: histopathologic and clinical features[J]. *Skull Base Surg*, 1993, 3(1): 37–44.
- [ 11 ] Kai Y, Hamada J-i, Morioka M, et al. Appropriate interval between embolization and surgery in patients with meningioma[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2002, 23(1): 139–142.
- [ 12 ] Shah AH, Patel N, Raper DMS, et al. The role of preoperative embolization for intracranial meningiomas [J]. *J Neurosurg*, 2013, 119(2): 364–372.
- [ 13 ] Singla A, Deshaies EM, Melnyk V, et al. Controversies in the role of preoperative embolization in meningioma management[J]. *Neurosurg Focus*, 2013, 35(6): E17.
- [ 14 ] Hu J, Albadawi H, Chong BW, et al. Advances in biomaterials and technologies for vascular embolization [J]. *Adv Mater*, 2019, 31(33): e1901071.
- [ 15 ] Ko G, Choi JW, Lee N, et al. Recent progress in liquid embolic agents[J]. *Biomaterials*, 2022, 287: 121634.
- [ 16 ] Fan L, Duan M, Xie Z, et al. Injectable and radiopaque liquid metal/calcium alginate hydrogels for endovascular embolization and tumor embolotherapy[J]. *Small*, 2020, 16(2): e1903421.
- [ 17 ] Sadasivan C, Dashti N, Marfoglio S, et al. In vitro comparison of middle meningeal artery embolization with squid liquid embolic agent and contour polyvinyl alcohol particles[J]. *J Neurointerv Surg*, 2024, 16(3): 280–284.
- [ 18 ] Sluzewski M, van Rooij WJ, Lohle PN, et al. Embolization of meningiomas: comparison of safety between calibrated microspheres and polyvinyl-alcohol particles as embolic agents[J]. *AJNR*, 2013, 34(4): 727–729.
- [ 19 ] 尹绍成, 石文健, 王姿, 等. 丝线在脑动静脉畸形栓塞治疗中的应用[J]. *中国综合临床*, 2008, 24(12): 1270–1272.
- [ 20 ] Dossani RH, Waqas M, Rai HH, et al. Use of n-butyl 2-cyanoacrylate (nBCA) for preoperative tumor embolization[J]. *J Neurointerv Surg*, 2022, 14(1): neurintsurg-2021-017400.
- [ 21 ] Aihara M, Naito I, Shimizu T, et al. Preoperative embolization of intracranial meningiomas using n-butyl cyanoacrylate[J]. *Neuroradiology*, 2015, 57(7): 713–719.
- [ 22 ] Lum MA, Martin AJ, Alexander MD, et al. Intra-arterial mr perfusion imaging of meningiomas: comparison to digital subtraction angiography and intravenous mr perfusion imaging[J]. *PLoS One*, 2016, 11(11): e0163554.
- [ 23 ] Yamamoto T, Ohshima T, Nishihori M, et al. Preoperative embolization of meningiomas with low-concentration n-butyl cyanoacrylate[J]. *Nagoya J Med Sci*, 2015, 77(3): 347–353.
- [ 24 ] Perri P, Sena G, Piro P, et al. Onyx™gel or coil versus hydrogel as embolic agents in endovascular applications: review of the literature and case series[J]. *Gels*, 2024, 10(5): 312.
- [ 25 ] Batista S, Andreão FF, Palavani LB, et al. Enhancing meningioma resection: a comprehensive study on the safety and effectiveness of onyx™ presurgical embolization[J]. *Neurosurg Rev*, 2023, 46(1): 299.
- [ 26 ] 贺红卫, 梁传声, 吴中学, 等. 国产非黏附性栓塞材料 eval 胶栓塞治疗脑和脊髓动静脉畸形[J]. *中华神经外科杂志*, 2009, 25(1): 23–26.
- [ 27 ] 唐军, 张磊, 李继军, 等. 头颈部富血供肿瘤的术前栓塞治疗[J]. *中华介入放射学电子杂志*, 2014, 2(1): 5–7.
- [ 28 ] Lee CY, Chen SJ. Supratentorial leptomeningeal hemangioblastoma resection after tumor embolization[J]. *Formos J surg*, 2016, 49(2): 78–81.
- [ 29 ] Shin GW, Jeong HW, Seo JH, et al. Preoperative embolization of cerebellar hemangioblastoma with onyx: report of three cases[J]. *Neurointervention*, 2014, 9(1):

- 45–49.
- [ 30 ] Ostrom QT, Price M, Neff C, et al. Cbtrus statistical report: primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the united states in 2016–2020[J]. *Neuro Oncol*, 2023, 25(12 Suppl 2): iv 1–iv 99.
- [ 31 ] Waldron JS, Sughrue ME, Hets SW, et al. Embolization of skull base meningiomas and feeding vessels arising from the internal carotid circulation[J]. *Neurosurgery*, 2011, 68(1): 162–169.
- [ 32 ] Wang H–H, Luo C–B, Guo W–Y, et al. Preoperative embolization of hypervascular pediatric brain tumors: evaluation of technical safety and outcome[J]. *Childs Nerv Syst*, 2013, 29(11): 2043–2049.
- [ 33 ] Melo–Guzmán G, Escobar–de la Garma VH, Padilla–Vázquez F, et al. Preoperative embolization with microspheres of giant supratentorial meningiomas: 5–year experience[J]. *Cir Cir*, 2014, 82(4): 372–380.
- [ 34 ] Kuharic M, Jankovic D, Splavski B, et al. Hemangioblastomas of the posterior cranial fossa in adults: demographics, clinical, morphologic, pathologic, surgical features, and outcomes. A systematic review[J]. *World Neurosurg*, 2018, 110: e1049–e1062.
- [ 35 ] 黄成, 马廉亭, 秦尚振, 等. 术前栓塞联合手术切除颅后窝实质性血管母细胞瘤的疗效分析[J]. *中国临床神经外科杂志*, 2022, 27(10): 801–804.
- [ 36 ] Cornelius JF, Saint–Maurice JP, Bresson D, et al. Hemorrhage after particle embolization of hemangioblastomas: comparison of outcomes in spinal and cerebellar lesions[J]. *J Neurosurg*, 2007, 106(6): 994–998.
- [ 37 ] Palavani LB, Andreão FF, de Abreu LV, et al. Assessing the efficacy and safety of hemangioblastoma embolization: a comprehensive systematic review and meta–analysis[J]. *J Clin Neurosci*, 2023, 117: 104–113.
- [ 38 ] Smith JD, Harvey RN, Darr OA, et al. Head and neck paragangliomas: a two–decade institutional experience and algorithm for management[J]. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*, 2017, 2(6): 380–389.
- [ 39 ] Aftahy AK, Groll M, Barz M, et al. Surgical management of jugular foramen schwannomas[J]. *Cancers (Basel)*, 2021, 13(16): 4218.
- [ 40 ] Catapano JS, Almefty RO, Ding D, et al. Onyx embolization of skull base paragangliomas: a single–center experience[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2020, 162(4): 821–829.
- [ 41 ] Gaynor BG, Elhammady MS, Jethanamest D, et al. Incidence of cranial nerve palsy after preoperative embolization of glomus jugulare tumors using onyx[J]. *J Neurosurg*, 2014, 120(2): 377–381.
- [ 42 ] Helal A, Vakharia K, Brinjikji W, et al. Preoperative embolization of jugular paraganglioma tumors using particles is safe and effective[J]. *Interv Neuroradiol*, 2022, 28(2): 145–151.
- [ 43 ] 刘昭邦, 郭祺锬, 谭国胜, 等. 术前经导管动脉栓塞对颈静脉球瘤切除术的影响[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2022, 31(2): 115–120.
- [ 44 ] Wanke I, Jäckel MC, Goericke S, et al. Percutaneous embolization of carotid paragangliomas using solely onyx[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009, 30(8): 1594–1597.
- [ 45 ] Melachuri S, Valappil B, Snyderman C. Variations in surgical outcomes of carotid body tumors by surgical specialty[J]. *Laryngoscope*, 2021, 131(1): E190–E195.
- [ 46 ] Law Y, Chan YC, Cheng SW. Surgical management of carotid body tumor – is shamblin classification sufficient to predict surgical outcome?[J]. *Vascular*. 2017, 25(2): 184–189.
- [ 47 ] Liu J, Li Y, Yang L, et al. Surgical resection of carotid body tumors with versus without preoperative embolization: retrospective case–control study[J]. *Head Neck*, 2018, 40(12): 2590–2595.
- [ 48 ] 孔祥国, 李楠, 杨建勇, 等. 术前经导管动脉栓塞对 shamblinII/III型颈动脉体瘤切除术的影响[J]. *中山大学学报 (医学科学版)*, 2021, 42(2): 287–293.
- [ 49 ] Raoul J–L, Forner A, Bolondi L, et al. Updated use of tace for hepatocellular carcinoma treatment: how and when to use it based on clinical evidence[J]. *Cancer Treat Rev*, 2019, 72: 28–36.

(本文编辑: 马萌萌, 许守超)