

脊髓空洞症的临床诊治进展*

龙浩天¹ 都丁瑜¹ 赵贵鹏¹ 包明彬¹ 综述 刘进平² 彭羽² 审校

(1. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610054; 2. 电子科技大学附属医院·四川省医学科学院·四川省人民医院, 四川 成都 610072)

【摘要】 脊髓空洞症发病与先天性发育异常如 Chiari 畸形、外伤、手术、肿瘤、感染等继而引发脑脊液循环障碍有关。临床根据脊髓空洞症病因分为特发性与继发性两大类;根据影像学表现分为交通性、非交通性、萎缩性及肿瘤性脊髓空洞。针对复发性、特发性脊髓空洞症多采用空洞分流术,针对继发性脊髓空洞症主要纠正病因,如后颅窝减压术、切除脊髓内肿瘤等,近年来,脊髓空洞症的临床和基础研究取得了一系列的进展,本文拟通过对国内外相关文献综述,探讨脊髓空洞的临床分类及诊疗进展。

【关键词】 脊髓空洞症;临床分类;手术治疗;研究进展

【中图分类号】 R744 **【文献标志码】** A **DOI:**10. 3969/j. issn. 1672-3511. 2025. 11. 029

Progress in the clinical diagnosis and treatment of syringomyelia

LONG Haotian¹, DU Dingyu¹, ZHAO Guipeng¹, BAO Mingbin¹ reviewing LIU Jinping², PENG Yu² checking

(1. Medical School of University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054, China;

2. Sichuan Academy of Medical Sciences, Sichuan People's Hospital, The Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610072, China)

【Abstract】 Syringomyelia is associated with congenital developmental abnormalities, such as Chiari malformation, trauma, surgery, tumors, infections, and other factors. Based on the etiology of syringomyelia, it can be classified into two categories: idiopathic and secondary. Secondary syringomyelia can further be categorized into communicating syringomyelia, non-communicating syringomyelia, atrophic syringomyelia, and traumatic syringomyelia based on imaging findings. The management of recurrent and idiopathic cases often involves the use of a syringomyelia shunt. For secondary cases of syringomyelia, treatment primarily focuses on addressing underlying causes such as correcting craniocervical junction malformations, relieving cerebrospinal fluid obstructions, or removing the intraspinal cord tumors. In recent years significant advancements have been made in both clinical and basic research related to the understanding of this condition. This study aims to investigate the progress made in clinical classification, diagnosis techniques and treatment strategies for patients with syringomyelia.

【Key words】 Syringomyelia; clinical classification; Surgical treatment; Research progress

脊髓空洞症(Syringomyelia, SM)是以脑脊液循环障碍导致脊髓实质或中央管内形成充满液体的空腔为特征性疾病,该病发病常与 Chiari 畸形 I 型有关,也可由脊髓肿瘤、创伤或感染性蛛网膜炎等因素引发^[1]。脊髓空洞症起病较隐匿,病情进展缓慢。临床上可表现为颈肩部、上肢疼痛、浅感觉减退、肌无力、肌萎缩、进行性脊柱侧凸等症状^[2-3]。临床上将其分为交通性、非交通性、萎缩性、肿瘤性四类。不同类型的 SM 发病机制和治疗方法不同^[4],临床上最常见的是由 Chiari 畸形导致的脊

髓空洞,多采用后颅窝减压术、后颅窝减压并部分扁桃体切除术进行治疗,而伴有寰枢椎脱位的则需要采用寰枢椎复位固定术,术后大部分患者脊髓空洞得到有效缓解。因室管膜瘤、血管母细胞瘤的髓内肿瘤导致的 SM 切除肿瘤后空洞将自行缓解。因创伤性脊柱后凸畸形所致的脊髓空洞可通过矫正脊柱畸形来治疗^[5-7]。尽管原发性 SM 发病率不高,但临床对其系统性研究较少,因此总结合理的临床分类对于这类疾病的诊治具有十分重要的意义。基于此,笔者将通过对相关文献进行分析,拟从 SM 的发病机制、SM 临床分类、手术治疗 SM 进展等方面进行综述。

1 SM 发病机制

1.1 先天性发育异常 Chiari 畸形即小脑扁桃体下疝畸形,表现为小脑扁桃体异常下降到枕骨大孔以下,甚至部分小脑扁

基金项目:四川省科技厅重点研发项目(2022YFS0144)

通信作者:彭羽, E-mail:369837306@qq.com

引用本文:龙浩天,都丁瑜,赵贵鹏,等.脊髓空洞症的临床诊治进展[J].西部医学,2025,37(11):1400-1404. DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2025.11.029

桃体伸入椎管上段,导致枕大池消失,四脑室流出道梗阻,颅颈交界区脑脊液循环障碍而形成的“水锤效应”会导致脑脊液从蛛网膜下腔向脊髓中央管大量流动,进而引起脊髓空洞^[8]。临床上将 Chiari 畸形通过影像学特征分为 0、0.5、I、1.5、II、III、IV 七个临床亚型。其中 Chiari I 型为最常见的类型。由于先天性扁桃体下疝会出现咳嗽相关型头痛、脑神经牵拉颈部疼痛等症状,导致继发脊髓空洞进而出现肢体乏力、分离性感觉障碍、步态异常等现象^[9]。且随着时间的推移,脊髓空洞逐渐扩大延伸,脑脊液压力增加可能会导致周围神经组织的压迫从而出现进行性疼痛加重等症状^[10]。寰枢椎脱位的患者也常常伴有小脑扁桃体下疝导致脊髓空洞的发生。近年来新型“髓内脉压理论”认为蛛网膜下腔梗阻一侧较低的脑脊液压力通过梯度压差的虹吸作用导致脊髓在每次收缩期扩张,脑脊液通过血管周围小间隙进入脊髓从而形成脊髓空洞^[11]。Dandy-Walker 畸形即第四脑室孔闭塞综合征,以小脑或小脑蚓部发育不全、小脑延髓池增宽、颅后窝囊肿为主要表现,第四脑室出口阻塞,其导致的脊髓中央管扩大,与第四脑室相通,空洞内壁为室管膜,脑脊液直接进入脊髓中央导致交通性脊髓空洞^[12]。见表 1。

1.2 脊髓损伤 脊髓损伤与局部组织缺血缺氧、水肿、炎症反应、氧化应激反应等导致神经元受损的因素有关^[13,14]。脊髓受到创伤导致局部缺血、梗死或自发性脊髓出血,产生脊髓软化、囊变、萎缩性改变,从而使脊髓血管周围间隙增宽,蛛网膜、硬脊膜发生硬化、纤维化、粘连性改变而造成蛛网膜下腔梗阻,蛛网膜下腔局部压力异常升高,导致脑脊液通过脊髓血管周围间隙或四脑室下端进入髓内囊变灶或脊髓中央管从而形成空洞^[15-16]。创伤后亚急性上行性脊髓损伤为脊髓损伤后 1~3 周内出现的脊髓损害症状平面上升的现象,其发病与脊髓血

表 1 Chiari 畸形分类

Table 1 Classification of Chiari malformation

Chiari 畸形	影像学表现
Chiari 0	小脑扁桃体下疝未超过枕骨大孔 3 mm,合并脊髓空洞
Chiari 0.5	延髓 1/2 线 < 小脑扁桃体枕骨大孔水平 < 枕骨大孔 5 mm
Chiari I	小脑扁桃体下疝超过枕骨大孔 5 mm
Chiari 1.5	小脑扁桃体下疝超过枕骨大孔 5 mm,伴脑干和第四脑室延长
Chiari II	小脑扁桃体下疝超过枕骨大孔 5 mm,小脑扁桃体、蚓部、第四脑室、脑干经枕骨大孔突出,伴脊髓脊膜突出
Chiari III	Chiari II 型基础上合并枕部或颈部脑膨出
Chiari IV	小脑发育不全

管损伤、脑脊液流动动力学异常、感染性和自身免疫性脊髓炎、脊髓前动脉血栓形成等有关,外伤或手术损伤后髓内出血、水肿和组织碎片可能会改变正常的脑脊液流动,随着时间的推移阻塞中央管引流,导致脊髓空洞症的发生^[17]。

1.3 脊髓肿瘤 脊髓髓外与髓内肿瘤如室管膜瘤、血管母细胞瘤等压迫脊髓导致脊髓蛛网膜下腔均可导致脑脊液循环障碍、脊髓中央管扩大而形成空洞。

1.4 感染性疾病 中枢神经系统化脓性感染及结核感染等导致蛛网膜出现广泛的炎症,蛛网膜下腔粘连造成脑脊液循环障碍,脑脊液由蛛网膜下腔进入受损的脊髓组织间隙形成脊髓实质的空洞^[18-19]。

2 SM 临床分类

临床根据 SM 病因将其分为特发性 SM 与继发性 SM 两大类。继发性脊髓空洞根据影像学表现及病因将其分为交通性、非交通性、萎缩性、肿瘤性四类,根据不同的病因及影像学表现进行对症治疗,往往可取得理想效果,表 2。

表 2 脊髓空洞症的分类

Table 2 Classification of syringomyelia

类型	病因
交通性脊髓空洞	①交通性脑积水(脑出血或脑膜炎后)
	②复杂菱脑畸形(Chiari II 型,脑膨出)
非交通性脊髓空洞	③Dandy Walker 综合征
	④Chiari I 型
	⑤脊髓栓系
	⑥获得性小脑扁桃体下疝(脑积水、颅内占位病变、狭颅症)
萎缩性脊髓空洞	⑦脊髓损伤
	⑧脊髓缺血或梗塞
	⑨脊髓内出血
肿瘤性脊髓空洞	

2.1 特发性脊髓空洞症 患者以不明原因的脊髓空洞症状为主,不伴有外伤、肿瘤及蛛网膜炎等症状,核磁共振影像表现为多位于脊髓中央的空洞,冠、矢状位呈现粗管状、腊肠样或裂隙样,横断面呈现圆形或双圆形,脊髓实质受压变薄,主要累及颈胸段,病变范围较大,可累及数个脊髓节段^[2]。大部分特发性脊髓空洞的节段较短,临床症状较轻。少数患者空洞持续

进展。

2.2 继发性脊髓空洞症

2.2.1 交通性 指由第四脑室出口阻塞导致脑脊液循环障碍造成局部脊髓中央管扩大,且与第四脑室相通,空洞内壁为室管膜,其发病与第四脑室出口阻塞、局部脊髓中央管扩张有关,后脑畸形如 Chiari II、Dandy-Walker 畸形、枕部脑膜膨出、脑

膜炎、蛛网膜下腔出血造成的脑积水均可导致交通性 SM 发生^[20]。治疗上应以改善第四脑室出口堵塞、缩小局部脊髓中央管,行脑室分流手术以解除脑积水,治疗交通性 SM。

2.2.2 非交通性 为枕骨大孔及以下部位蛛网膜下腔脑脊液循环障碍所致局部脊髓中央管扩大,且中央管与第四脑室不相通。其发病与枕骨大孔及以下部位蛛网膜下腔脑脊液循环障碍,动脉搏动波使脑脊液经中央管相连的血管周围间隙进入中央管,中央管局部扩大有关,先天性发育异常如 Chiari I 畸形、颅底凹陷征、椎管狭窄,脊髓蛛网膜炎、栓系综合征均可导致非交通性 SM 发生^[21]。由于非交通性 SM 易造成脊髓实质损伤,减轻颅颈交界区狭窄、解除局部蛛网膜下腔脑脊液循环障碍是提高非交通性 SM 预后的重要手段。

2.2.3 萎缩性 为脊髓萎缩造成脊髓实质内形成小腔隙、局部中央管扩大,发病与脊髓组织减少有关,并无脑脊液进入使空洞逐渐扩大的现象,多为无症状表现,好发于颈胸段或胸腰段脊髓交界处^[22]。由于其发病与脊髓组织萎缩有关,临床治疗可以观察为主,无手术治疗必要。

2.2.4 肿瘤性 脊髓髓内肿瘤如室管膜瘤,血管母细胞瘤等多伴有脊髓空洞。空洞的内壁为胶质组织或肿瘤组织,常位于肿瘤上或下方^[1,23]。治疗这类脊髓空洞,仅需切除肿瘤即可,空洞大多会自行消失。

3 SM 的手术治疗

3.1 后颅窝减压术 由于 Chiari 畸形是脊髓空洞最常见的原因,因此后颅窝减压术是目前治疗脊髓空洞最常用的术式。根据减压范围和程度的不同具体包括:单纯骨性减压、硬膜减张缝合、小脑扁桃体切除、四脑室出口探查松解等。刘博等^[24]采用后颅窝减压及 C1 后弓切除术治疗 Chiari 畸形 I 型患者,其中 63% 的患者合并 SM,临床疗效较高,但 SM 相关症状改善率平均为 69.9% 较低,认为针对小脑扁桃体下疝明显患者应行小脑扁桃体切除术以改善 SM。张明初等^[25]选用后颅窝减压术合并小脑扁桃体切除术治疗 Chiari 畸形 I 型合并 SM 的患者,结果显示临床治愈率 83.72%,脊髓空洞好转率 91.86%,术后发热、枕下积液并发症发生率约 22.1%,相对较低。Heidary 等^[26]发现蛛网膜与周围组织关系与 Chiari I 畸形合并脊髓空洞症患者短期及长期预后具有相关性,因此探查松解蛛网膜粘连,切除小脑扁桃体减压可能比单纯减压及硬膜成形术效果更佳。Lyu 等^[27]报道两例头痛头晕伴进行性双侧视力丧失患者,核磁共振检查均显示其第四脑室增大,后颅窝拥挤,脊髓空洞从 C1 延伸至 C5,采取枕下和 C1 减压和硬膜成形术,治疗后脊髓空洞完全消失,第四脑室明显缩小。Silva 等^[28]发现 Chiari 畸形 I 型伴或不伴 SM 患者经后窝减压术后平均 7 年后需进行翻修,术后出现致密的蛛网膜瘢痕组织阻碍了脑脊液的流动,提示复发性 Chiari 畸形 I 型合并 SM 仍可再次行减压术。Heiss 等^[29]采用神经内镜下寰枕畸形减压术治疗 Chiari 畸形合并 SM,打开了蛛网膜下腔脑脊液通路,减轻脑脊液通路梗阻,且切口创伤较小,利于患者恢复。张宗永等^[7]将 Chiari 畸形合并 SM 患者进行分组治疗,针对影像学检查表现选择枕骨减压及硬膜扩大成形术、枕骨减压及硬膜扩大成形及小脑扁桃体切除并中央管口松解术,对于扁桃体下疝 10~20 mm、空洞

直径>50% 脊髓直径的患者选择后者手术疗效确切,但其损伤较大,临床应用需谨慎。李新军等^[30]采用小骨窗寰枕减压及筋膜切除术结合硬膜外层剥离术及人工硬膜贴敷治疗 Arnold-Chiari 畸形合并 SM 患者,与硬膜外层间断划开减张术及硬膜扩大成形术相比,硬膜外层剥离术脊髓空洞、脊髓背侧脑脊液流速峰值改善更为明显。颅脑减压术适应征较为广泛,常根据病因进行联合术,针对 Chiari 畸形明显者行小脑扁桃体切除术、硬膜成形术,另外为减少切口创伤,可应用神经内镜等新技术。

3.2 枕颈固定融合术 寰枢椎脱位,不稳的患者常常伴发小脑扁桃体下疝及脊髓空洞,对于这类患者通过寰枢或者枕枢固定,矫正寰枢椎脱位即可达到减轻局部压迫,改善脑脊液循环的目的,术中无需打开硬膜。术后患者小脑扁桃体自行上移,脊髓空洞逐渐缩小。近年来,新的观念认为 Chiari I 型畸形相关临床症状也与寰枢椎或寰枕关节不稳定有关,小脑扁桃体下疝是预防机械挤压的生理应对措施,且枕下肌肉为寰枢关节不稳定提供代偿,导致肌膜桥复合体机械负荷过重从而出现颅内压峰值增大,椎管内脑脊液流速增加,导致脑干、小脑等微结构损伤进而出现 SM^[31]。Loe 等^[32]研究发现接受了枕大孔减压及硬膜成形术患者的 C1-C2 关节面对线不良与 Chiari 畸形预后呈现显著负相关,认为寰枢椎融合术可能是改善 Chiari 畸形合并 SM 预后的有效措施。Goel 等^[33]认为寰枢椎不稳定是 Chiari 畸形患者发病的关键因素,发现寰枢椎固定融合术后 86.36% 的患者脊髓空洞明显缩小,患者呼吸、疼痛、运动功能等临床症状显著改善。目前寰枢椎融合术尚无充分理论依据,需进行更多基础实验、动物实验以充实理论基础,并采用大样本多中心随机对照试验以进一步验证。

3.3 空洞分流术 Srikantha 等^[17]采用可固定式微创管牵牵引器进行空洞-蛛网膜下腔分流术治疗外伤或手术后导致的 SM 患者,临床疗效较好,随访 1 年显示没有神经相关并发症,提示微创管牵牵引器可以减小手术创伤,缩短住院时间。黄钢等^[34]采用空洞-胸腔分流术治疗 SM,术后患者临床症状、神经功能得到有效改善,提示该术式适合特发性 SM 及原发病治疗无效且二次手术风险较大的继发性 SM 病例,创伤小且临床效果较好。Serratrice 等^[35]认为 SM 若与第四脑室相通,可采用空洞分流术将第四脑室的脑脊液分流至颈部蛛网膜下腔,研究者采用第四脑室至脊髓蛛网膜下腔分流术治疗 SM,术后 5 年随访脊髓空洞明显缩小,临床症状显著改善。Lou 等^[36]采用第四脑室-蛛网膜下腔分流术治疗复发性 Chiari I 型畸形合并脊髓空洞症,经过治疗脊髓空洞缩小率为 86.67%,术后症状明显改善,且未出现感染、神经损伤、分流失败或梗阻等并发症。徐光华等^[19]采用四脑室-蛛网膜下腔分流术治疗复发性、特发性 SM,发现其能显著改善患者脑脊液循环情况,术后 6 个月神经功能评分明显改善,未出现脑脊液漏、神经损伤、感染等并发症,安全性较高。由此可见空洞分流术针对复发性、特发性 SM 疗效较佳,创伤较小因而安全性较高、预后较好,可作为不明原因的特发性 SM 及原发病治疗无效手术风险较大的复发性 SM 患者的最佳治疗选择。

3.4 其他 此外,由髓内肿瘤导致的 SM 可进行肿瘤切除术,

切除肿瘤后空洞将自行缓解。马木提江·木尔提扎等^[37]在关于长节段脊髓室管膜瘤的显微手术治疗及脊髓功能影响因素的研究中发现,肿瘤切除后患者的脊髓功能得到明显改善,术后随访中观察到患者的空洞自行缓解。而因创伤性脊柱后凸畸形所致的 SM 可通过矫正脊柱畸形的手术来治疗,田小兵等^[38]采用术前牵引一期后路截骨矫形手术治疗重度脊柱侧凸伴 SM,发现脊柱矫形术疗效明确,可改善患者 SM 大小,且安全性好。

4 展望

综上所述,根据 SM 患者的临床分类采用相应的治疗策略,大部分患者可取得良好的疗效。由于术式选择多样,临床上尚缺乏统一的临床诊疗规范。亟待开展大样本多中心的临床研究以获取更多有效临床数据,为临床提供决策依据。内镜等微创术式的应用,可进一步减少手术创伤。对于脊髓空洞的发病机制的深入研究可能为难治性复发性脊髓空洞的治疗提供理论基础。另外,由于 Chiari 畸形合并 SM 具有“家族聚集性”及“遗传易感性”,类似 CRISPR/Cas9 的基因编辑工具为纠正导致 Chiari 畸形合并 SM 的基因突变提供了新的治疗途径^[39-40]。

【参考文献】

- [1] SHENOY V S, MUNAKOMI S, SAMPATH R. Syringomyelia [M]. Treasure Island (FL): StatPearls, 2024.
- [2] 赵继宗. 神经外科学[M]. 4 版. 北京: 人民卫生出版社, 2019.
- [3] 叶维坤. 脊髓空洞症合并颅颈交界区畸形 68 例手术疗效分析[D]. 遵义: 遵义医科大学, 2022.
- [4] MILHORAT T H. Classification of syringomyelia[J]. Neurosurg Focus, 2000, 8(3): E1.
- [5] KLEINDIENST A, LAUT F M, ROECKELEIN V, et al. Treatment of posttraumatic syringomyelia: evidence from a systematic review [J]. Acta Neurochir, 2020, 162(10): 2541-2556.
- [6] 黄南勇, 刘俊, 姚浩群. Chiari 畸形 I 型合并脊髓空洞症的诊断与治疗进展[J]. 实用临床医学, 2023, 24(4): 125-130.
- [7] 张宗永, 谭玉堂, 欧阳陶辉, 等. Chiari 畸形 I 型并脊髓空洞症手术治疗策略[J]. 中华神经外科疾病研究杂志, 2017, 16(1): 69-71.
- [8] TOADER C, PLES H, COVACHE-BUSUIOC R A, et al. Decoding chiari malformation and syringomyelia: from epidemiology and genetics to advanced diagnosis and management strategies [J]. Brain Sci, 2023, 13(12): 1658.
- [9] 黄胜. Chiari 畸形 I 型合并脊髓空洞症的手术疗效及预后分析[D]. 长沙: 中南大学, 2022.
- [10] OLSSON L, ANTEPOHL W, RAVN S L. Active conservative management of primary spinal syringomyelia: a scoping review and perspectives for an activity-based clinical approach[J]. J Rehabil Med, 2022, 54: 2398.
- [11] RUSBRIDGE C, GREITZ D, ISKANDAR B J. Syringomyelia: current concepts in pathogenesis, diagnosis, and treatment[J]. J Vet Intern Med, 2006, 20(3): 469-479.
- [12] 白彦, 李爱华. 胎儿 Dandy-Walker 综合征伴发畸形及产科结局临床分析[J]. 包头医学院学报, 2023, 39(7): 25-28.
- [13] 胡坤, 冉斌, 赵桥, 等. JAK-STAT 信号通路抑制剂在脊髓损伤后的作用机制[J]. 西部医学, 2021, 33(8): 1106-1110.
- [14] 贾祎佳, 陆廷盛, 陈啟鹤, 等. Shh-BMSCs 外泌体调控 miR-133a 对脂多糖诱导脊髓神经元细胞凋亡的影响[J]. 西部医学, 2023, 35(6): 822-829.
- [15] 陈军, 周椿, 黎天尊. 颈胸段髓内神经鞘瘤并长节段脊髓空洞 1 例[J]. 临床神经病学杂志, 2024, 37(2): 106-108.
- [16] GOETZ L L, DE JESUS O, MCAVOY S M. Posttraumatic Syringomyelia[M]. Treasure Island (FL): StatPearls, 2023.
- [17] SRIKANTHA U, HARI A, LOKANATH Y K, et al. Syringo-subarachnoid shunt placement: a minimally invasive technique using fixed tubular retractors—three case reports and literature review[J]. Int J Spine Surg, 2020, 14(2): 133-139.
- [18] GRUBER M D, WEBER M, TOOP N, et al. Treatment of post-traumatic syringomyelia with placement of syringopleural shunt and resection of intrasyringeal hematoma: 2-dimensional operative video[J]. Oper Neurosurg, 2023, 25(6): e376-e377.
- [19] 徐光华, 杨记超, 姬杉峰, 等. 四脑室蛛网膜下腔分流术治疗复发性、特发性脊髓空洞症疗效观察[J]. 新乡医学院学报, 2023, 40(8): 744-748.
- [20] 韩敬哲, 纪叶, 康志雷, 朱建国. 交通性脊髓空洞症误诊为急性脊髓炎一例[C]//2016 河北省神经病学学术年会、河北省中西医结合学会神经内科学专业委员会学术年会暨第二届京津冀脑血管病论坛, 2016.
- [21] FLINT G. Syringomyelia: diagnosis and management[J]. Pract Neurol, 2021, 21(5): 403-411.
- [22] SHANMUGASUNDARAM S, VISWANATHAN V K, SHETTY A P, et al. Type I Arnold chiari malformation with syringomyelia and scoliosis: radiological correlations between tonsillar descent, Syrinx Morphology and curve characteristics: a retrospective study[J]. Asian Spine J, 2023, 17(1): 156-165.
- [23] CIARAMITARO P, GARBOSSA D, PERETTA P, et al. Syringomyelia and Chiari Syndrome Registry: advances in epidemiology, clinical phenotypes and natural history based on a North Western Italy cohort[J]. Ann Ist Super Sanita, 2020, 56(1): 48-58.
- [24] 刘博, 宗永青, 王欣宇, 等. Chiari 畸形 I 型患者后颅窝的解剖学特点及手术疗效分析[J]. 中华神经外科杂志, 2020, 36(1): 64-68.
- [25] 张明初, 段承成, 魏铭坤, 等. 86 例 Chiari 畸形 I 型合并脊髓空洞症患者手术疗效及预后分析[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2023, 50(5): 15-20.
- [26] HEIDARY M, RESPONDEK M, KLEKAMP J. Histological and intraoperative evaluations of the arachnoid in patients with Chiari I malformation [J]. Acta Neurochir, 2021, 163(1): 219-225.
- [27] LYU J, WANG J B, QUAN Y, et al. Disproportionately large communicating fourth ventricle: two case reports[J]. J Med Case Rep, 2019, 13(1): 222.
- [28] SILVA A, THANABALASUNDARAM G, WILKINSON B, et al. Experience with revision craniovertebral decompression in adult patients with Chiari malformation type 1, with or without syringomyelia[J]. Br J Neurosurg, 2022, 36(6): 750-755.

- [29] HEISS J D, JARVIS K, SMITH R K, *et al.* Origin of Syring Fluid in syringomyelia: a physiological study[J]. *Neurosurgery*, 2019, 84(2): 457-468.
- [30] 李新军, 韩杨云, 龙晓东, 等. 硬膜外层剥离联合人工硬膜贴敷治疗成人 Arnold-Chiari 畸形 I 型合并脊髓空洞的初步探讨[J]. *国际神经病学神经外科学杂志*, 2021, 48(2): 163-166.
- [31] LABUDA R, NWOTCHOUANG B S T, IBRAHIMY A, *et al.* A new hypothesis for the pathophysiology of symptomatic adult Chiari malformation Type I[J]. *Med Hypotheses*, 2022, 158. DOI:10.1016/j.mehy.2021.110740.
- [32] LOE M L, VIVAS-BUITRAGO T, DOMINGO R A, *et al.* Prognostic significance of C1 - C2 facet malalignment after surgical decompression in adult Chiari malformation type I: a pilot study based on the Chicago Chiari Outcome Scale[J]. *J Neurosurg Spine*, 2021, 34(2): 171-177.
- [33] GOEL A, JADHAV D, SHAH A, *et al.* Chiari 1 formation redefined-clinical and radiographic observations in 388 surgically treated patients[J]. *World Neurosurg*, 2020, 141: e921-e934.
- [34] 黄钢, 杨双武, 王正君, 等. 空洞-胸腔分流术治疗脊髓空洞症的临床疗效观察[J]. *西安交通大学学报(医学版)*, 2021, 42(3): 349-352, 374.
- [35] SERRATRICE N, FADDOUL J, TARABAY B, *et al.* Case report: a rare case of fourth ventricle to spinal subarachnoid space shunt migration: surgical pearl and literature review[J]. *Front Surg*, 2021, 8: 696457.
- [36] LOU Y L, YANG J C, GU H Y, *et al.* A clinical study on the treatment of recurrent chiari (type I) malformation with syringomyelia based on the dynamics of cerebrospinal fluid[J]. *Biomed Res Int*, 2022, 2022: 9770323.
- [37] 马木提江·木尔提扎, 范雁东, 罗坤, 等. 长节段脊髓室管膜瘤的显微手术治疗及脊髓功能影响因素[J]. *临床神经外科杂志*, 2023, 20(1): 42-47.
- [38] 田小兵, 谢维杰, 解京明, 等. 术前牵引一期后路截骨矫形术治疗重度脊柱侧凸伴脊髓空洞的疗效分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2024, 34(8): 801-811.
- [39] AVŞAR T, ÇALIŞ S, YILMAZ B, *et al.* Genome-wide identification of Chiari malformation type I associated candidate genes and chromosomal variations[J]. *Turk J Biol*, 2020, 44(6): 449-456.
- [40] LI X S, WANG Q S, WANG R. Advantages of CRISPR-Cas9 combined organoid model in the study of congenital nervous system malformations [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2022, 10: 932936.

(收稿日期:2024-11-04; 修回日期:2025-02-05; 编辑:张翰林)

(上接第 1399 页)

- [44] GRAVEY F, CATTOIR V, ETHUIN F, *et al.* ramR Deletion in an Enterobacter hormaechei Isolate as a Consequence of Therapeutic Failure of Key Antibiotics in a Long-Term Hospitalized Patient[J]. *Antimicrob Agents Chemother*, 2020, 64(10): e00962-20.
- [45] BROCKHURST M A, HARRISON E. Ecological and evolutionary solutions to the plasmid paradox[J]. *Trends Microbiol*, 2022, 30(6): 534-543.
- [46] MEHROTRA T, KONAR D, PRAGASAM A K, *et al.* Antimicrobial resistance heterogeneity among multidrug-resistant Gram-negative pathogens; Phenotypic, genotypic, and proteomic analysis[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2023, 120(33): e2305465120.
- [47] WANG R, ZHANG A, SUN S, *et al.* Increase in antioxidant capacity associated with the successful subclone of hypervirulent carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* ST11-KL64 [J]. *Nat Commun*, 2024, 15(1): 67-81.
- [48] ZONGO P D, CABANEL N, ROYER G, *et al.* An antiplasmid system drives antibiotic resistance gene integration in carbapenemase-producing *Escherichia coli* lineages [J]. *Nat Commun*, 2024, 15(1): 4093.
- [49] JENIOR M L, DICKENSON M E, PAPIN J A. Genome-scale metabolic modeling reveals increased reliance on valine catabolism in clinical isolates of *Klebsiella pneumoniae*[J]. *NPJ Syst Biol Appl*, 2022, 8(1): 41-49.
- [50] AL-BAYATI M, SAMARASINGHE S. Biofilm and Gene Expression Characteristics of the Carbapenem-Resistant Enterobacterales, *Escherichia coli* IMP, and *Klebsiella pneumoniae* NDM-1 Associated with Common Bacterial Infections[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(8): 4788-4807.

(收稿日期:2024-06-16; 修回日期:2025-01-25; 编辑:张翰林)