

张明达, 陈胜利, 屈一晨, 等. 相位对比电影 MRI 及术中超声在 Chiari 畸形 1 型手术方式选择中的临床应用进展[J]. 中南医学科学杂志, 2024, 52(1): 146-149.

· 文献综述 ·

DOI:10.15972/j.cnki.43-1509/r.2024.01.036

相位对比电影 MRI 及术中超声在 Chiari 畸形 1 型手术方式选择中的临床应用进展

张明达^{1,2}, 陈胜利¹, 屈一晨^{1,2}, 齐泽迪^{1,2}

1. 山西省人民医院神经外科, 山西太原 030012; 2. 山西医科大学, 山西太原 030000

[摘要] 枕大孔减压术是治疗 Chiari 畸形 1 型(CM1)患者的通用手术,但减压范围、临床疗效存在争议,没有单一、明确的治疗方法。脑脊液流体动力学的改善可能与临床症状的缓解有关,相位对比电影 MRI(PC-MRI)联合术中超声(IOUS)可以准确评估颅颈交界区的脑脊液流体动力学改变,两者结合可以为损害程度评估提供有效信息,指导手术方式的选择,预测临床改善效果,减少再手术的发生。本文对 PC-MRI 联合 IOUS 在 CM1 术式选择中的临床应用进行综述。

[关键词] 术中超声; 相位对比; MRI; 枕大孔减压术; Chiari 畸形

[中图分类号] R742.8⁺²

[文献标识码] A

Clinical application progress of phase contrast cine magnetic resonance imaging and intraoperative ultrasound in the selection of surgical methods for Chiari malformation type 1

ZHANG Mingda^{1,2}, CHEN Shengli¹, QU Yichen^{1,2}, QI Zedi^{1,2}

1. Department of Neurosurgery, Shanxi Provincial People's Hospital, Taiyuan 030012, Shanxi, China; 2. Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, Shanxi, China

[ABSTRACT] Foramen magnum decompression is the shared procedure for Chiari type 1 malformation (CM1). There is no single and clear treatment method, and the scope of decompression and clinical efficacy are controversial. The improvement of cerebrospinal fluid hydrodynamics may be related with the relief of clinical symptoms. The combination of cine phase-contrast magnetic resonance imaging (PC-MRI) and intraoperative ultrasound (IOUS) can accurately assess the cerebrospinal fluid hydrodynamics changes at the cranio-vertebral junction. The combination of these two can provide useful information for the assessment of the degree of damage, guide the selection of surgical methods, predict clinical improvement effect, and reduce reoperation rate. This article reviews the clinical application of PC-MRI combined with IOUS in the selection of CM1 surgical procedures.

[KEY WORDS] intraoperative ultrasound; phase-contrast; magnetic resonance imaging; decompression of foramen magnum; Chiari malformation

Chiari 畸形 (Chiari malformation, CM) 是颅颈交界区解剖异常伴小脑结构下移的先天性疾病,常合并脊髓空洞形成。Chiari 畸形传统分型有 4 种^[1],随着对 CM 进一步研究深入,在传统分型基础上延伸出更细致的分型,2019 年米兰 Chiari 畸形国际共识研讨会上,就成人 CM 和脊髓空洞症的分型、诊断和治疗等争议问题达成了初步共识^[2]。CM1 是一种神经轴中胚层异常发育性疾病,伴有后颅窝异常,小脑扁桃体经枕骨大孔疝入脊髓区域,导致部

分大脑和脊髓受压,破坏脑脊液正常流动,常伴随不同程度的脑干受压和脊髓空洞症。目前确切的发病机制尚不清楚,CM1 的临床表现被认为与颅颈交界区的脑脊液紊乱或神经结构受压有关^[3-4],后颅窝体积较小的患者更可能出现枕大孔脑脊液流动异常。

通过后颅窝减压建立正常的脑脊液循环,减轻中枢神经系统压迫是 CM1 患者的首选治疗目的。枕大孔减压术(foramen magnum decompression, FMD)

[收稿日期] 2023-02-06

[修回日期] 2023-06-18

[基金项目] 山西省应用基础研究项目(201601D011103)

[作者简介] 张明达, 硕士, 研究方向为脊柱脊髓神经外科学, E-mail 为 1765379174@qq.com。通信作者陈胜利, 博士, 主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向为脊柱脊髓神经外科学, E-mail 为 shenglic@163.com。

是目前 CM1 的通用手术^[2,5-7],但本病临床症状复杂,减压范围、临床疗效存在争议,没有单一、明确的治疗方法,不同患者手术方法的选择非常复杂。为了选择成本最低、获益最大的手术方法,对患者术前、术中的相关评估就显得非常重要,相位对比电影 MRI(cine phase-contrast magnetic resonance imaging, PC-MRI)、术中超声(intraoperative ultrasound, IOUS)等技术被应用于临床,评估 CM1 颅颈交界区的脑脊液流体动力学改变,两者结合可以为损害程度评估提供有用信息,指导手术方式的选择。

1 PC-MRI 的原理及应用

1.1 PC-MRI 的原理

PC-MRI 通过敏化运动速度横向磁化相位,使动态和静止原子核产生不同信号对比,采集反相位和同相位数据,再进行剪影而获得流动原子核影像。脑脊液电影成像机制基于湍流理论,一个心动周期内,随着心脏收缩、舒张,脑组织体积膨胀、回缩,脑脊液随之流动变化,中脑导水管处脑脊液流速随时间变化呈正弦曲线波动,可产生脑脊液流动相位图、幅度图、曲线图 3 类图像,收缩期向下峰速、舒张期向上峰速、净流量、向上流量、向下流量 5 项参数。

1.2 PC-MRI 在神经外科的应用

PC-MRI 最早应用于心血管循环系统的研究,具有无创性、多平面成像、慢速流体的高敏感性等优势特点,在神经外科领域,被逐渐应用于 Chiari 畸形、脑积水、蛛网膜囊肿等与脑脊液循环障碍相关疾病的研究中,是研究脑和颅颈交界处脑脊液循环的一种非侵入性方法,有助于了解 Chiari 畸形的病理生理学。

1.3 PC-MRI 在 Chiari 畸形的应用

目前一些学者认为后颅窝和颅颈交界区的形态学变化导致了病理性脑脊液流动状态,脑脊液流动障碍与 Chiari 畸形患者的临床症状相关^[3-4]。研究表明,CM1 患者枕大孔区脑脊液收缩峰值速度明显升高,平均收缩期峰值流速 CM1 患者及平均舒张期峰值流速 CM1 患者高于健康志愿者组^[8],不均匀的脑脊液流动模式是 CM1 的特征。通过 PC-MRI 对脑脊液流体力学进行定性及定量测量,直观反映脑脊液流动信息,明确 CM1 患者在小脑扁桃体后间隙、第四脑室间隙及脑干腹侧间隙的脑脊液动力学异常,判断梗阻程度^[9-13],根据脑脊液流速及脑脊液速度曲线的改变,以及脑脊液周边的解剖结构关

系,分别选择有针对性的减压方式,探究 CM1 脊髓空洞发生发展的因素,为患者提供个体化治疗方案,预测临床结果,降低并发症发生率^[12-16]。

2 IOUS 的特点及应用价值

2.1 IOUS 的特点

IOUS 是以彩色多普勒血流成像技术为基础,辅助术者客观评判,满足术中需要而发展起来的影像技术,IOUS 在外科领域属于一项相对较新的术中影像技术^[17],从 1960 年开始应用于外科领域,随着超声技术的发展和设备的改进,IOUS 能够为术者提供更加精细分辨率的图像,通过超声图像,可以评估术中患者组织形态、受压状况,实时反馈治疗信息,有助于提高外科手术精确度和安全性,缩短手术时间。

2.2 IOUS 在神经外科的应用

20 世纪 80 年代 IOUS 开始应用于神经外科手术中,是一项成熟的非侵入性现代成像技术,操作简单,具有无创、即时等优点,对组织器官具有良好的成像作用意义,比传统视觉辨认更精准,有助于神经外科髓内外手术中的精确定位,在脑肿瘤、脊髓脊柱等神经外科手术中应用越来越广泛,IOUS 通过脑脊液流速定量分析脑脊液循环通畅情况,指导术中决策操作细节,保证治疗更加安全、有效。

2.3 IOUS 在 Chiari 畸形术中的应用

在 Chiari 畸形手术中,枕大孔去除骨质后,IOUS 可以透过骨窗硬膜观察小脑扁桃体搏动状态以及有无足够脑脊液空间,观察脑脊液流动情况,记录脑脊液循环信息,判断颅颈交界区脑脊液循环的恢复。相关研究分析,测量脑脊液双向流速峰值,正常流速峰值^[18-19]介于 3.0 ~ 5.0 cm/s,表明脑脊液循环通畅,若双向峰速小于 2 cm/s,则考虑减压不充分,以此指导 CM1 减压范围,为术中是否剪开硬膜提供依据,减少不必要的创伤,辅助决定是否进行硬膜成形术或小脑扁桃体切除术^[20],为手术方案选择提供参考,预估手术效果^[18-19,21-22],减少不必要的创伤^[23]。

3 CM1 的手术术式

FMD 是治疗 CM1 的一种通用手术术式,可以单独进行后颅窝骨性减压术(posterior fossa decompression, PFD),或联合硬膜成形术(posterior fossa decompression with duraplasty, PFDD)和/或扁桃体

部分切除术 (tonsil resection, PFDRT)^[2,5-7,24]。PFD 和 PFDD 是目前常见的临床一线手术干预措施,而 PFDRT^[2,7,25] 的选择比较谨慎,是否切除小脑扁桃体尚存争议,手术创伤较大,一般适用于极低位小脑扁桃体下疝及或脊髓空洞症术后复发或不缓解的情况。

为了评估 3 种手术术式的有效性和安全性,国内外专家学者对 PFD、PFDD 和 PFDRT 3 种术式的临床结果和并发症进行了对比分析,一些学者认为,硬脑膜开放不是成人 CM1 患者枕大孔减压术的先决条件,减压程度取决于术中发现^[20],PFD 虽没有开放硬膜,也可以获得满意的减压效果;PFD 与缩短手术时间、减少失血量、缩短住院时间以及减少术后 6 个月内的并发症相关;一些学者则认为单纯 PFD 减压效果有限,枕大池重建困难,硬膜下减压是必要的^[26],PFDD 与更好的症状改善和减少空洞大小以及更低的翻修减压率相关^[5,27];PFDD 和 PFDRT 两组在症状改善和空洞缩小比例方面没有统计学差异^[6,28-30],而切除扁桃体的并发症风险率高,后遗症存在未知性,需要考虑进去。

4 PC-MRI 联合 IOUS 的优缺点及在 CM1 手术术式选择的作用

对于 CM1 患者而言,手术治疗是首选方式,PFD 手术范围局限于硬膜外,比 PFDD 和 PFDRT 具有较小侵入性,再手术率较高;PFDD、PFDRT 硬脑膜下减压效果更彻底,枕大孔区重建能够提供足够空间,临床症状改善更明显,平均住院成本更高,脑脊液相关并发症风险增加。为了更好地选择对手术敏感的患者人群,并针对不同患者进行符合个人情况的个体化治疗,加强对 Chiari 畸形的术前多维度评估和个体化的手术策略^[24]至关重要,PC-MRI 联合 IOUS 可以从脑脊液生理学角度为术者提供有价值的分析,更符合现代神经外科微创手术理念,但也存在一些局限性。

4.1 PC-MRI 指导手术方案设计

相较于普通静态 MRI,纳入 PC-MRI 序列,为术者从生理学角度提供了有价值的分析,更准确、更灵敏地评估脑脊液循环及脑脊液流速、流量动态变化,获得的脑脊液流体力学参数与正常人群对比,判断脑脊液循环梗阻部位,对脑脊液循环及周围解剖结构、毗邻关系(挤压、粘连)进行全面评估,精准诊断,更好地选择对手术最敏感的患者,合理设计手术方案,并且结合术中超声探查结果,实现脑脊

液流动状态可视化,比较术前、术中的脑脊液空间及流速、流量变化情况,实时指导手术进行。而且术后脑脊液流速曲线图的变化可以预测临床改善效果。

4.2 IOUS 优化术式选择

术中依靠超声监测,动态观察术中变化,通过脑脊液流速、流量变化辅助判断脑脊液循环是否恢复,评估减压是否充分,实时超声图像比传统的目测更可靠、科学,能够及时调整治疗策略,比如在超声指引下选择硬脑膜的打开、第四脑室中脑导水管的探查松解,在体现微创个性化同时,促进了减压的最佳化,保证手术效果基础上,最大限度减少了手术创伤及术后并发症的出现。

4.3 两者存在的局限性

PC-MRI 可以提供有价值的脑脊液流体动力学评估,提供流量、流速等客观参数,但参数可变性强,受呼吸、血压、心率等多种因素影响,暂时缺乏标准化参数范围,参数变化的意义尚不明确,还不能作为临床患者的常规诊断标准技术。超声影像与标准的 MR/CT 层面不同,图像扭曲,术中小脑扁桃体搏动等脑脊液流体动力学指标的判断存在主观性,超声影像分析需要足够的临床实践和经验。当前判断枕大孔减压和脑脊液循环改善的最佳方法是术中 PC-MRI,客观、定量的参数用来判断脑脊液通路的恢复,但术中 PC-MRI 临床使用条件苛刻,全身麻醉状态下血流、脑脊液动力学参数是否改变,脑脊液成像不确定是否符合要求,术中磁共振脑脊液成像设备昂贵,操作复杂,提高了医疗费用,延长了手术时间。

5 展 望

对于大部分 CM1 患者,PFDD 可以取得较好的临床疗效,但不适用于全部 CM1 患者,FMD 的手术适应证有待于细分,减压范围标准仍有待于量化,PC-MRI、IOUS 等技术被应用于临床,术前、术中、术后评估 CM1 颅颈交界区的脑脊液流体动力学改变,为损害程度、预后评估提供有用信息,有助于选择合适的患者人群、手术术式,以最小的损伤,获得最大的收益。目前随着 Chiari 畸形的研究深入,影像学手段日益精进,新技术不断更新,多种术式联合、多种监测技术相互配合,可以满足不同解剖部位和不同手术需求,手术方式由原先的单一手术方式开始转换成多模态形式,更符合现代神经外科微创手术理念,其进一步的推广,需要进行前瞻、随机、对

照的大样本研究来证实 PC-MRI 联合 IOUS 在 CM1 手术术式选择中的作用。

[参考文献]

- [1] 韩诗远, 李永宁. Chiari 畸形的解剖学特点与分型[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2020, 30: 372-378.
- [2] CIARAMITARO P, MASSIMI L, BERTUCCIO A, et al. Diagnosis and treatment of Chiari malformation and syringomyelia in adults: international consensus document[J]. *Neurol Sci*, 2022, 43(2): 1327-1342.
- [3] SHUMAN W H, DIRISIO A, CARRASQUILLA A, et al. Is there a morphometric cause of Chiari malformation type I? Analysis of existing literature[J]. *Neurosurg Rev*, 2022, 45(1): 263-273.
- [4] OHNISHI Y, FUJIWARA S, TAKENAKA T, et al. An increase in the posterior subarachnoid space accelerates the timing of syrinx resolution after foramen magnum decompression of type I Chiari malformation[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 19152.
- [5] AKBARI S H A, YAHANDA A T, ACKERMAN L L, et al. Complications and outcomes of posterior fossa decompression with duraplasty versus without duraplasty for pediatric patients with Chiari malformation type I and syringomyelia: a study from the Park-Reeves Syringomyelia Research Consortium [J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2022, 30(1): 39-51.
- [6] ANTKOWIAK L, TABAKOW P. Comparative assessment of three posterior fossa decompression techniques and evaluation of the evidence supporting the efficacy of syrinx shunting and filum terminale sectioning in chiari malformation type I. A systematic review and network Meta-Analysis[J]. *World Neurosurg*, 2021, 152: 31-43.
- [7] 王蒙, 胡岩, 左玉超, 等. 成人 Chiari 畸形和脊髓空洞症的诊断及治疗: 国际专家共识(2021) 解读[J]. 中华神经医学杂志, 2022, 21(9): 865-869.
- [8] HAUGHTON V M, KOROSCEK F R, MEDOW J E, et al. Peak systolic and diastolic CSF velocity in the foramen magnum in adult patients with Chiari I malformations and in normal control participants [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2003, 24(2): 169-176.
- [9] 袁昌巍, 王盈进. 磁共振相位对比电影成像检测 Chiari 畸形 I 型脑脊液流体力学的研究进展[J]. 中国微创外科杂志, 2020, 20(2): 160-163.
- [10] 程诚, 陶本章, 尚爱加, 等. 相位对比电影-磁共振成像技术对 Chiari 畸形 I 型脑脊液流体力学的分析研究[J]. 中国医学装备, 2018, 15(6): 53-57.
- [11] 包长顺, 陈明生, 杨福兵, 等. 枕大池成形术对 Chiari 畸形 I 型伴脊髓空洞症患者疗效及脑脊液动力学的影响[J]. 中华神经医学杂志, 2015, 14(7): 735-739.
- [12] GOH C H, HAMZAH M R, KANDASAMY R, et al. The use of magnetic resonance phase-contrast cine in Chiari malformation with syringomyelia[J]. *Med J Malaysia*, 2020, 75(6): 666-671.
- [13] 范涛, 吴锬, 赵新岗, 等. Chiari 畸形 I 型的颅颈交界区脑脊液流体力学分型及其手术策略[J]. 中华神经外科杂志, 2019, 35(8): 823-828.
- [14] DELAVARI N, WANG A C, BAPURAJ J R, et al. Intraoperative phase contrast MRI analysis of cerebrospinal fluid velocities during posterior fossa decompression for chiari I malformation[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 51(5): 1463-1470.
- [15] 刘晓虎, 罗霜, 付兵, 等. PC-MRI 在 I 型 Chiari 畸形枕大池成形术后疗效评估中的应用[J]. 中国临床神经外科杂志, 2022, 27(1): 22-24.
- [16] 陆笑非, 舒建, 杨述根, 等. PC-MRI 在 I 型 Chiari 畸形伴脊髓空洞症患者枕大池成形术中的应用[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(5): 688-692.
- [17] 常莹, 杨敬春, 张倩, 等. 术中超声在神经外科领域中的应用研究进展[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2018, 15(6): 422-425.
- [18] 高上, 孙涛, 陈鹏飞, 等. 术中 B 超监测在 Chiari I 畸形手术治疗中的应用[J]. 宁夏医科大学学报, 2016, 38(1): 18-20.
- [19] 王红光, 张述升, 豆玉超, 等. 术中超声在神经内镜治疗 Chiari I 型畸形手术中的应用[J]. 中华神经外科杂志, 2015, 31(9): 890-892.
- [20] DHERIJHA M S A, WAQAR M, PALIN M S, et al. Foramen magnum decompression in adults with Chiari type I malformation: use of intraoperative ultrasound to guide extent of surgery[J]. *Br J Neurosurg*, 2021: 1-4. Published online October 4, 2021. DOI: 10.1080/02688697.2021.1981238
- [21] 程令刚, 何文, 王立淑, 等. 超声在 Chiari I 畸形枕大池重建减压术中的应用[J]. 临床超声医学杂志, 2013, 15(9): 619-621.
- [22] MCGIRT M J, ATTENELLO F J, DATOO G, et al. Intraoperative ultrasonography as a guide to patient selection for duraplasty after suboccipital decompression in children with Chiari malformation Type I [J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2008, 2(1): 52-57.
- [23] 刘彬, 王振宇, 江凌, 等. 彩色多普勒超声评价 Chiari I 畸形环枕减压硬膜成形前后脑脊液动力学变化[J]. 中华神经医学杂志, 2011, 10(3): 272-275.
- [24] 郭付有. 成人 Chiari 畸形 I 型的治疗共识和争议[J]. 中华脑科疾病与康复杂志(电子版), 2021, 11(2): 65-67.
- [25] HEISS J D, JARVIS K, SMITH R K, et al. Origin of syrinx fluid in syringomyelia: a physiological study[J]. *Neurosurgery*, 2019, 84(2): 457-468.
- [26] 刘将, 徐昊, 凌士营, 等. 基于枕大池重建理念手术治疗成人 Chiari 畸形 I 型的临床疗效[J]. 中华神经外科杂志, 2021, 37(2): 190-192.
- [27] 马俊, 李世鹏, 赵鹤翔, 等. 两种手术方式对 Chiari 畸形 I 型合并脊髓空洞的系统评价及 meta 分析[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2019, 46(4): 422-427.
- [28] BAO C S, LIU L, WANG B, et al. Craniocervical decompression with duraplasty and cerebellar tonsillectomy as treatment for Chiari malformation-I complicated with syringomyelia [J]. *Genet Mol Res*, 2015, 14(1): 952-960.
- [29] KOUEIK J, SANDOVAL-GARCIA C, KESTLE J R W, et al. Outcomes in children undergoing posterior fossa decompression and duraplasty with and without tonsillar reduction for Chiari malformation type I and syringomyelia: a pilot prospective multicenter cohort study[J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2019, 25(1): 21-29.
- [30] JIA C, LI H W, WU J R, et al. Comparison decompression by duraplasty or cerebellar tonsillectomy for Chiari malformation-I complicated with syringomyelia[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2019, 176: 1-7.

(此文编辑 李小玲)