

中线入路手术中上矢状窦引流静脉保护的研究进展

余 泉, 刘 波*

新疆医科大学第一附属医院神经外科, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年5月19日; 录用日期: 2024年6月13日; 发布日期: 2024年6月20日

摘 要

中线区幕上肿瘤的切除常常选择不同的中线手术入路, 这些入路术中不可避免地会关联到上矢状窦及桥静脉, 如术中上矢状窦旁的桥静脉受到损伤, 常会引起侧支循环回流瘀滞, 最终可能导致大静脉充血, 严重的脑水肿, 引起包括运动、感觉和语言的障碍。为避免损伤上矢状窦及桥静脉出现了许多相关的技术研究, 现对相关研究进展作一综述。

关键词

脑肿瘤, 中线入路, 上矢状窦, 桥静脉, 静脉保护

Research Progress on Venous Protection of Superior Sagittal Sinus Drainage in Midline Approach Surgery

Quan Yu, Bo Liu*

Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

Received: May 19th, 2024; accepted: Jun. 13th, 2024; published: Jun. 20th, 2024

Abstract

The resection of tumors in the midline area often involves the selection of different midline surgical approaches. These approaches inevitably involve the superior sagittal sinus and bridging veins. If the bridging veins adjacent to the superior sagittal sinus are damaged during surgery, it

*通讯作者。

can often lead to stagnation in collateral circulation, which may ultimately result in congestion of the major veins, severe cerebral edema, and impairments including motor, sensory, and language functions. To avoid injury to the superior sagittal sinus and bridging veins, many related technical studies have been conducted. A summary of the research progress is provided here.

Keywords

Brain Tumor, Midline Approach, Superior Sagittal Sinus, Bridging Vein, Venous Protection

Copyright © 2024 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

矢状窦、垂体、第三脑室、松果体、第四脑室、小脑蚓部、枕大孔、枕窦等,这些都是颅脑中线区的常见解剖结构。起源于这些结构或位于这些结构区的肿瘤,如矢状窦旁脑膜瘤、镰旁脑膜瘤、嗅沟脑膜瘤、鞍结节脑膜、垂体瘤、颅咽管瘤、第三脑室肿瘤、松果体区肿瘤、第四脑室室管膜瘤等,定义为颅脑中线区肿瘤。中线区幕上肿瘤的切除,常常选择中线手术通道的入路,如经额叶入路、额下入路、经胼胝体入路等进行切除,这些入路的操作不可避免地关联到上矢状窦及桥静脉,如果术中损伤上矢状窦旁的侧支循环使静脉回流瘀滞,可导致大静脉充血,严重的脑水肿,引起包括运动、感觉和语言的障碍[1]。为避免损伤上矢状窦及桥静脉出现了许多相关的技术研究,现对相关研究进展作一综述。

2. 3D-Slicer 重建模拟观察肿瘤与上矢状窦及桥静脉关系

3D-Slicer 是由哈佛大学和麻省理工学院联合开发的一款医学图像分析及处理平台软件,能够对核磁及 CT 多种医学影像学数据进行图像处理,具有三维重建上矢状窦及桥静脉功能,神经外科医师通过 3D-Slicer 软件可将患者的 CT 或 MRI 的二维 DICOM (医学数字成像和通信)影像进行多模态的影像重建获取颅脑病变的多模块三维立体模型,进而将虚拟三维数字模型与患者表明面体表标志进行配准拟合,重建出颅骨-肿瘤-血管模型,从而描绘出病灶的轮廓。这种方法常被称为增强现实神经导航[2]。通过使用这项技术,有的学者发现其可以更好地了解病变与上矢状窦及桥静脉之间的空间关系;同时在手术过程中,可显著增强手术导航能力并通过提供实时指导并直接在外科医生的视野中显示重要信息,帮助将关键神经结构损伤的风险降至最低,从而改善患者的治疗效果[3] [4] [5]。有的学者通过应用 3D-Slicer 软件针对中央区脑膜瘤患者进行肿瘤及瘤周静脉模型的三维重建,结果表明其可清晰显示肿瘤与瘤周的关系。图像处理三维可视化后,对脑组织、大脑浅静脉及肿瘤的解剖关系的观察会更立体,可以进行术前个性化设计,更好地保护大脑浅静脉及功能区脑组织,对术中硬脑膜剪开方向和瘤周静脉保护具有指导作用,但同时指出软件无法显示出肿瘤与大脑皮质及周围血管之间的粘连程度以及肿瘤的质地导致无法判断术中切除及分离肿瘤的难易程度,以及可能出现皮质小静脉分支无法显示的可能[6] [7]。

3D-Slicer 作为一种能够对核磁及 CT 多种医学影像进行进一步处理的软件,其三维化后的图像可以重建模拟观察肿瘤与上矢状窦及桥静脉关系,对于术中如何避免损失瘤周静脉有一定的指导作用。虽然受限与现在医学影像质量的限制,其三维化的图像不能实现术前对于颅内情况的完全还原,但随着技术的进一步发展,其功能会越来越完善,质量会进一步提升,因此笔者认为 3D-Slicer 在未来会逐渐成为神经外科常用的技术手段。

3. 术中吲哚菁绿造影实时显影桥静脉

吲哚菁绿是一种近红外线荧光三碳菁绿染料,其最大吸收波长、最大荧光波长分别为 805、835 nm。吲哚菁绿经静脉注射进入人体后,与血液中的球蛋白等结合并存在于血管内,在近红外光源及荧光摄影机下,可发出荧光使含有吲哚菁绿的血管显影。因为其可以显示血管而不是肿瘤本身,最早其用于神经外科相关的手术为动脉瘤夹闭手术,并成为术中评估载瘤动脉及分枝血管通畅、评价动脉瘤夹闭程度的新方法。后来随着产生了整合吲哚菁绿荧光造影的手术显微镜,显微手术操作和荧光造影可以同时进行,吲哚菁绿开始用于脑内其他肿瘤的手术[8] [9] [10]。46 例患者在硬脑膜切开前,经硬脑膜视频血管造影应用能够可视化皮质静脉、硬脑膜静脉窦和肿瘤边界,它可以在不损伤基础血管的情况下进行定制的硬脑膜开口,并有可能评估血管通畅和血流方向[11]-[16]。在国内将吲哚菁绿用于神经外科脑肿瘤的研究中也包括了用于矢状窦旁脑膜瘤等中线区肿瘤的病例,同样发现其在这类中线区手术中可以明确窦旁病变切除前后邻近静脉窦的通畅性;对包绕大血管的病变切除后可以了解被包绕大血管结构及功能,也可以了解肿瘤血供、引流情况及其轮廓等,可有效减少术后并发症,提高手术安全性,是一种方便、快捷、安全有效的新技术,但同时也发现由于其穿透能力差,只能显示术野表面血管的血流情况,被观察的血管必须直接、充分暴露于术野,不能有任何遮挡,因此它并不能完全代替 DSA (数字减影血管造影) [17] [18]。

吲哚菁绿造影能够在术中实时显影暴露清楚的静脉系统,其分别表现在:硬脑膜切开前,经硬脑膜吲哚菁绿造影能够可视化桥静脉。它可以使在不损伤基础血管的情况下进行定制的硬脑膜开口,并有可能评估血管通畅和血流方向;指导硬脑膜切开后行吲哚菁绿造影也可以更清楚的区分肿瘤与周围静脉的关系,了解肿瘤血供、引流情况及其轮廓等,指导术中肿瘤切除;肿瘤切除后再次行吲哚菁绿造影还可以评估术中保留下来的周围静脉的通畅性。作者们认为吲哚菁绿增加了硬脑膜打开和评估血管通畅的安全感,可以解决开放、吻合口血流的不确定性,以及肿瘤引流静脉和桥静脉的区别,但术中吲哚菁绿造影的好处仍然是非常值得怀疑的,因为现有的技术,如术中神经导航已经提供了精确的经硬脑膜瘤可视化,术中吲哚菁绿造影对于患者的受益程度由外科医生的个人判断而非标准化技术决定的,没有客观的标准来确定该应用优于没有该工具的手术。因此对于其有利性的评估下一步可能是进行有组织的大量试验,组织这样的试验可以极大地提高证据的质量。

4. 术中超声测定血管血流方向和流速

超声多普勒原理:多普勒效应或多普勒频移是一种物理现象,包括从运动物体反射的机械波的频率和波长的变化[19]。多普勒超声通过傅里叶变换来评估超声波从流动的血液中反射时频率的变化,从而重建图像。通常,多普勒成像可用于研究血管的三个方面:有无血流以及血流的方向和速度。三种主要的多普勒成像技术:彩色多普勒、光谱多普勒和功率多普勒。彩色多普勒可以在图像中识别血管中血流的存在和方向,功率多普勒或多普勒血管造影是一种技术,在图像上只表示多普勒信号的大小,而不是速度和方向。换句话说,它显示了一个区域内红细胞的活跃程度。光谱多普勒通常与彩色多普勒技术相结合,可以评估流向,其提高了帧率分析,实现更精确的测量。

在中线入路手术中为了肿瘤的更完全的切除,术者不得不面临术中是否对作用较小的血管进行闭塞切除的决策,术中超声测定血管的方向和流速或许能为这一决策提供更多有利的证据,许多研究已经探讨了术中超声在神经外科血管和肿瘤病变中的应用[10]-[26]。特别是 2009 年, Solheim 研究了功率多普勒在脑膜瘤手术中的应用。作者得出结论,在大多数情况下,功率多普勒可用于观察供血动脉和邻近的重要血管,从而快速安全地切除肿瘤,最大限度地降低对重要血管结构的损害风险[27]。但是,他强调,这种技术在研究低流量血管时仍非常困难,以及往往高估较小血管的盛开伪像。Otsuki 于 2001 年报道了

1 例岩斜区脑膜瘤, 其中彩色多普勒技术是其中的一种技术。他强调使多普勒信号覆盖血管壁带来错误信息的虚化伪影的局限性[28]。

三种多普勒成像技术在术中的都能对血管起到信息的获取作用, 但又有各自的缺点, 术中超声很难同时实现对术中超声流速和方向的精准测量, 这在研究小血管时尤为明显, 同时也存在伪像和伪影等问题, 因此术中超声结果通常作为一种观察和获取血管信息的手段以避免损伤可能的重要血管, 但不能作为明确某一血管作用性的证据。

5. 术中脑氧代谢 MR 成像预测血管损伤

静脉损伤造成的循环障碍通常会导致组织缺氧的发生, 因此组织氧张力作为评估组织活力的重要参数, 可以在脑外科手术中作为是否发生神经血管不良事件发生的一种提示[29]。然而, 大多数可用的技术由于其侵入性或低空间分辨率而不适合作为组织缺氧的证据[30]。Andreas Stadlbauer 通过引入一种多参数定量血氧依赖的 MRI 方法[31], 用于术中检查脑病变切除术期间的氧代谢。其结果发现病灶切除后, 病灶周围水肿灌注和氧代谢均显著增加。然而, 在病灶周围非水肿组织中, 只有氧代谢显著增加, 而灌注没有显著增加[32]。在正常大脑中未发现任何变化。这一结果表明一旦有血管损伤的发生, 对应供应的脑组织的灌注和氧代谢会发生不同的变化, 因此它可能有助于在手术早期发现神经血管不良事件。

作为一项术中核磁扩展的新技术, 此项技术尚为出现更多的临床试验, 但 Andreas Stadlbauer 的结果为我们指明了可能的一项研究方向。

6. 总结

在颅脑手术中, 特别是在涉及中线区域的手术, 如矢状窦旁脑膜瘤切除时, 保护上矢状窦及其引流静脉至关重要, 本文对一些能用于保护上矢状窦引流静脉的技术进行了总结, 这些技术或多或少都有助于减少手术并发症, 提高手术安全性。随着医学及相关学科的发展, 这些技术都会更加成熟, 新的技术也会不断出现, 能够为患者提供更好的治疗效果。

参考文献

- [1] Duan, Z., Zhou, C., Yan, X., Du, W., Xia, X., Shi, H., et al. (2024) Efficacy and Safety of a "Radical" Surgical Strategy in the Treatment of Parasagittal Sinus Meningioma. *Frontiers in Neurology*, 15, Article ID: 1364917. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1364917>
- [2] Chidambaram, S., Stifano, V., Demetres, M., Teyssandier, M., Palumbo, M.C., Redaelli, A., et al. (2021) Applications of Augmented Reality in the Neurosurgical Operating Room: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Clinical Neuroscience*, 91, 43-61. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2021.06.032>
- [3] Inoue, D., Cho, B., Mori, M., Kikkawa, Y., Amano, T., Nakamizo, A., et al. (2013) Preliminary Study on the Clinical Application of Augmented Reality Neuronavigation. *The Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*, 74, 71-76.
- [4] Low, D., Lee, C.K., Dip, L.L.T., Ng, W.H., Ang, B.T. and Ng, I. (2010) Augmented Reality Neurosurgical Planning and Navigation for Surgical Excision of Parasagittal, Falcine and Convexity Meningiomas. *British Journal of Neurosurgery*, 24, 69-74. <https://doi.org/10.3109/02688690903506093>
- [5] Besharati Tabrizi, L. and Mahvash, M. (2015) Augmented Reality-Guided Neurosurgery: Accuracy and Intraoperative Application of an Image Projection Technique. *Journal of Neurosurgery*, 123, 206-211. <https://doi.org/10.3171/2014.9.jns141001>
- [6] 推洪波, 孙博宇, 郎佳东, 等. 混合现实技术辅助矢状窦旁脑膜瘤显微切除术的价值[J]. 脑与神经疾病杂志, 2023, 31(3): 138-142.
- [7] 贤俊民, 陈凤月, 孙晓妍, 等. 3D Slicer 三维重建技术在脑功能区肿瘤手术治疗中的应用价值[J]. 中国临床神经外科杂志, 2022, 27(10): 819-821, 824. <https://doi.org/10.13798/j.issn.1009-153X.2022.10.006>
- [8] de Oliveira, J.G., Beck, J., Seifert, V., Teixeira, M.J. and Raabe, A. (2008) Assessment of Flow in Perforating Arteries

- during Intracranial Aneurysm Surgery Using Intraoperative Near-Infrared Indocyanine Green Videoangiography. *Neurosurgery*, **62**, SHC1300-SHC1310. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000333795.21468.d4>
- [9] Dashti, R., Laakso, A., Niemelä, M., Porras, M. and Hernesniemi, J. (2009) Microscope-Integrated Near-Infrared Indocyanine Green Videoangiography during Surgery of Intracranial Aneurysms: The Helsinki Experience. *Surgical Neurology*, **71**, 543-550. <https://doi.org/10.1016/j.surneu.2009.01.027>
 - [10] Kato, Y., *et al.* (2008) Assessment of Incomplete Clipping of Aneurysms Intraoperatively by a Near-Infrared Indocyanine Green-Video Angiography (Niicg-Va) Integrated Microscope. *Minimally Invasive Neurosurgery*, **51**, 199-203.
 - [11] Acerbi, F., Vetrano, I.G., Sattin, T., de Laurentis, C., Bosio, L., Rossini, Z., *et al.* (2018) The Role of Indocyanine Green Videoangiography with FLOW 800 Analysis for the Surgical Management of Central Nervous System Tumors: An Update. *Neurosurgical Focus*, **44**, E6. <https://doi.org/10.3171/2018.3.focus1862>
 - [12] Kim, E.H., Cho, J.M., Chang, J.H., Kim, S.H. and Lee, K.S. (2011) Application of Intraoperative Indocyanine Green Videoangiography to Brain Tumor Surgery. *Acta Neurochirurgica*, **153**, 1487-1495. <https://doi.org/10.1007/s00701-011-1046-x>
 - [13] Nussbaum, E.S., Defillo, A. and Nussbaum, L. (2012) The Use of Indocyanine Green Videoangiography to Optimize the Dural Opening for Intracranial Parasagittal Lesions. *Operative Neurosurgery*, **70**, ons61-ons64.
 - [14] D'Avella, E., Volpin, F., Manara, R., Scienza, R. and Della Puppa, A. (2013) Indocyanine Green Videoangiography (ICGV)-Guided Surgery of Parasagittal Meningiomas Occluding the Superior Sagittal Sinus (SSS). *Acta Neurochirurgica*, **155**, 415-420.
 - [15] Della Puppa, A., Rustemi, O., Giofrè, G., Rolma, G., Grandis, M., Munari, M., *et al.* (2014) Application of Indocyanine Green Video Angiography in Parasagittal Meningioma Surgery. *Neurosurgical Focus*, **36**, E13. <https://doi.org/10.3171/2013.12.focus13385>
 - [16] Hide, T., Yano, S., Shinojima, N. and Kuratsu, J. (2015) Usefulness of the Indocyanine Green Fluorescence Endoscope in Endo-Nasal Transsphenoidal Surgery. *Journal of Neurosurgery*, **122**, 1185-1192.
 - [17] 司书喜, 刘窗溪. 吲哚菁绿荧光血管造影在神经外科手术中的应用[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2012, 15(20): 57-58. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5110.2012.20.034>
 - [18] 王来兴, 韩国胜, 岳志健, 等. 吲哚菁绿荧光血管造影在脑肿瘤手术中的应用[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2012, 17(9): 388-390.
 - [19] Vivien Gibbs, D.C. and Sassano, A. (2009) *Ultrasound Physics and Technology*. Churchill Livingstone Elsevier.
 - [20] Riccabona, M., Resch, B., Eder, H.G. and Ebner, F. (2002) Clinical Value of Amplitude-Coded Colour Doppler Sonography in Paediatric Neurosonography. *Child's Nervous System*, **18**, 663-669.
 - [21] Rubin, J.M. (1999) Power Doppler. *European Radiology*, **9**, S318-S322. <https://doi.org/10.1007/pl00014064>
 - [22] Rubin, J.M., Hatfield, M.K., Chandler, W.F., Black, K.L. and DiPietro, M.A. (1989) Intracerebral Arteriovenous Malformations: Intraoperative Color Doppler Flow Imaging. *Radiology*, **170**, 219-222. <https://doi.org/10.1148/radiology.170.1.2642343>
 - [23] Sure, U., Benes, L., Bozinov, O., Woydt, M., Tirakotai, W. and Bertalanffy, H. (2005) Intraoperative Landmarking of Vascular Anatomy by Integration of Duplex and Doppler Ultrasonography in Image-Guided Surgery. Technical Note. *Surgical Neurology*, **63**, 133-142. <https://doi.org/10.1016/j.surneu.2004.08.040>
 - [24] Tekula, F., Pritz, M.B., Kopecky, K. and Willing, S.J. (2001) Usefulness of Color Doppler Ultrasound in the Management of a Spinal Arteriovenous Fistula. *Surgical Neurology*, **56**, 304-307. [https://doi.org/10.1016/s0090-3019\(01\)00571-7](https://doi.org/10.1016/s0090-3019(01)00571-7)
 - [25] Woydt, M., Greiner, K., Perez, J., Krone, A. and Roosen, K. (1997) Intraoperative Color Duplex Sonography of Basal Arteries during Aneurysm Surgery. *Journal of Neuroimaging*, **7**, 203-207. <https://doi.org/10.1111/jon199774203>
 - [26] Woydt, M., Perez, J., Meixensberger, J., Krone, A., Soerensen, N. and Roosen, K. (1998) Intra-Operative Colour-Duplex-Sonography in the Surgical Management of Cerebral Av-Malformations. *Acta Neurochirurgica*, **140**, 689-698. <https://doi.org/10.1007/s007010050164>
 - [27] Solheim, O., Selbekk, T., Lindseth, F. and Unsgård, G. (2009) Navigated Resection of Giant Intracranial Meningiomas Based on Intraoperative 3D Ultrasound. *Acta Neurochirurgica*, **151**, 1143-1151. <https://doi.org/10.1007/s00701-009-0395-1>
 - [28] Otsuki, H., Nakatani, S., Yamasaki, M., Kinoshita, A., Iwamoto, F. and Kagawa, N. (2001) Intraoperative Ultrasound Arteriography with the "Coded Harmonic Angio" Technique. Report of Three Cases. *Journal of Neurosurgery*, **94**, 992-995.
 - [29] Ulmer, S., Hartwigsen, G., Riedel, C., Jansen, O., Mehdorn, H.M. and Nabavi, A. (2010) Intraoperative Dynamic Susceptibility Contrast MRI (iDSC-MRI) Is as Reliable as Preoperatively Acquired Perfusion Mapping. *NeuroImage*, **49**, 2158-2162. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.10.084>

-
- [30] Brown, J.M. and Wilson, W.R. (2004) Exploiting Tumour Hypoxia in Cancer Treatment. *Nature Reviews Cancer*, **4**, 437-447. <https://doi.org/10.1038/nrc1367>
 - [31] Christen, T., Schmiedeskamp, H., Straka, M., Bammer, R. and Zaharchuk, G. (2011) Measuring Brain Oxygenation in Humans Using a Multiparametric Quantitative Blood Oxygenation Level Dependent MRI Approach. *Magnetic Resonance in Medicine*, **68**, 905-911. <https://doi.org/10.1002/mrm.23283>
 - [32] Stadlbauer, A., Merkel, A., Zimmermann, M., Sommer, B., Buchfelder, M., Meyer-Bäse, A., *et al.* (2017) Intraoperative Magnetic Resonance Imaging of Cerebral Oxygen Metabolism during Resection of Brain Lesions. *World Neurosurgery*, **100**, 388-394. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.01.060>