

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.11.033
View this article at: <https://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2021.11.033>

多模态影像技术利用视神经鞘直径监测颅内压的研究进展

赵明 综述 王俊峰 审校

(哈尔滨医科大学附属第一医院超声科，哈尔滨 150001)

[摘要] 颅内压(intracranial pressure, ICP)改变引起的并发症危及生命，因此颅内压监测在临幊上意义重大，尽管难以评估，但早期诊断很关键。ICP无创监测已成为目前研究的主要内容，其以安全、准确、简便、实时有效的优势发挥着越来越重要的作用。现今多模态影像技术已取得相当成熟的发展，检查时的无创性成为不可取代的优势。

[关键词] 多模态影像；视神经鞘直径；颅内压

Research progress of multimodal imaging technology using optic nerve sheath diameter to monitor intracranial pressure

ZHAO Mingming, WANG Junfeng

(Department of Ultrasound, First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150001, China)

Abstract Complications caused by changes in intracranial pressure (ICP) are life-threatening, so intracranial pressure monitoring is of great clinical significance. Although it is difficult to evaluate, early diagnosis is critical. Non-invasive monitoring of intracranial pressure has become the main content of current research, and its advantages of safety, accuracy, simplicity, and real-time effectiveness play an increasingly important role. Nowadays, multimodal imaging technology has achieved quite mature development, and the non-invasiveness of inspection has become an irreplaceable advantage.

Keywords multimodal imaging; optic nerve sheath diameter; intracranial pressure

颅内压(intracranial pressure, ICP)的高低取决于脑组织、颅内血液及脑脊液的体积。任何一个体积的膨胀都会触发其他隔室的补偿性变化，从而导致ICP最初的变化。由于头骨坚硬，一旦补偿机制达到极限，ICP就会迅速上升。颅内高压与脑损伤患者的不良预后有关^[1]。因此，尽早诊断和治疗至关重要。文献[2]报道ICP升高时可导致视

神经鞘直径(optic nerve sheath diameter, ONSD)相应增加，因此推测可通过测量ONSD的变化监测ICP。颅内高压的金标准是具有侵入性的，由于侵入性颅内监测出现并发症的风险较高(特别是出血或感染)，因此非侵入性、安全、准确和便携的工具是目前临幊医生评估ICP的主要研究方向^[3]。因疾病的发作机制较复杂，一种模态信息量是单一

的、片面的，并且自身存在一定的局限性，故需不同模态图像的信息交织、融合在一起，起到互相补充及交叉验证的作用^[4]。现今影像学技术如超声、CT及MRI已取得相当成熟的发展，本文综述多模态影像技术观察ONSD的变化以监测ICP的应用进展。

1 超声通过 ONSD 监测 ICP

超声测量ONSD应用较为普遍，视神经鞘在二维超声上较容易显示并鉴别。ONSD的二维超声可在横向、纵向和轴向上扫查，且在不同扫查方向表现不同，横向和纵向扫查时均能将视神经鞘及鞘内组织清楚显示，还可见包绕视神经暗区的3层不同结构，由内向外依次为强-低-强回声；轴向扫查时三层结构未能明确区分出来，只显示了一层结构为包绕视神经的较厚强回声^[5]。在ICP增高的情况下，视神经的变化需经数小时后才会出现临床表现，但超声早期就可发现ONSD的变化^[1]。超声测量ONSD是一种可靠的估计入院或重症监护时ICP升高的无创方法^[2]。Hansen等^[6]在1994年使用B型超声对尸视神经的声像学进行研究，结果发现视神经鞘的最大扩张在眼球后3 mm处，为测量ONSD提供了标准。Chen等^[7]通过对165名经腰穿确诊颅高压的受试者进行超声ONSD测量，发现高ICP组的ONSD显著大于正常ICP组[(4.53±0.40) mm vs. (3.97±0.23) mm, P<0.001]，表明ICP和ONSD之间具有明显关联。Robba等^[8]通过最近7项(320名)回顾性分析发现：ONSD阈值在4.80~6.30 mm范围内显示出强大的预测能力(AUC为0.94)，可用于评估ICP>20 mmHg或>25 cmH₂O的患者。Kimberly等^[9]通过研究认为通常ONSD>5 mm可作为ICP升高的阈值。而在小儿患者队列研究中，ICP≥20 mmHg时的ONSD阈值多为5.5 mm。有研究^[10]表明：即使在控制ICP后，ONSD的扩张仍会持续，其准确性仍受到限制。因此提出ONSD与眼球横径(eyeball transverse diameter, ETD)比值以提高诊断准确性，ONSD/ETD值与性别、身高、体重及体重指数无关^[11-12]。杜洁等^[13]研究指出超声测量的ONSD/ETD值可能是预测脑外伤(traumatic brain injury, TBI)患者颅内高压更准确的指标，超声ONSD/ETD值和ONSD的诊断准确性分别为85.7%和79.6%。

除常规超声外，超声还包括脑超声和超声振动弹力描记术(UVE)等。脑超声包括传统的经颅多普勒超声(transcranial Doppler, TCD)和经

颅彩色编码双工多普勒(transcranial color-coded duplex sonography, TCCD)，可作为一项床旁检查。由于TCCD具备ONSD测量所需的设备，可用于ONSD的显示。ICP的变化会影响主要脑血管的血流速度、峰值波形和搏动指数(pulsation index, PI)等，这些参数可通过TCD衍生的非侵入性ICP(non-invasive ICP, nICP)计算方法获得^[14]。Robba等^[15-16]研究表明将ONSD的二维超声测量与其他超声检查方法(比如直窦静脉的TCD)结合可提供更好的预后准确性。UVE用于无创性测量颅高压引起的乳头水肿患者的眼组织波速，乳头水肿患者后巩膜的波速幅度明显高于健康对照者^[17]。

虽然基于超声的方法有一些局限性，如超声检查无法留下操作过程中所有的超声资料影像，并且进行超声检查时就是对病情的分析及诊断的过程，具有明显操作者依赖性，目前也不能替代侵入性方法，但它可以帮助医生估计ICP，改善患者的预后。因此认为超声在无创监测ICP时是一项不可缺少的监测方法。

2 CT 通过 ONSD 监测 ICP

随着CT的出现，头部疾病的诊断和治疗越来越有赖于此检查。目前，CT是诊断颅内占位性病变的首选影像学方法。它不仅能对绝大部分占位性病变做出定位诊断，而且对脑室系统积水及脑实质的改变都具有较高的检出率，并有助于这些疾病的定性诊断。CT影像学的表现有助于ICP升高的诊断以及治疗^[18]。ICP升高时，CT显示脑组织水肿，脑沟、脑回受压，脑室变小等改变，同时视神经出现一系列改变。温旭等^[19]对一名疑似脑炎的大于30岁的女性患者进行ICP监测，重复的CT头颅扫描显示：脑肿胀程度略有增加，导致中脑小脑池的狭窄加大，并且此时CT测得的ONSD为7.1 mm，而初始CT测值为4.6 mm，CT测得的ONSD值与ICP升高具有较高一致性。苏利等^[20]利用CT重建对88例神经科患者ONSD进行测量，得出CT重建测得的ONSD值与ICP呈显著正相关，且对颅内高压有一定预测价值。Major等^[21]对26名患者的研究表明：任何急性颅内异常引起的ICP升高，在CT上ONSD值均为100%特异性(95%CI: 76%~100%)和60%敏感性(95%CI: 27%~86%)。Lee等^[22]回顾性分析了64例脑积水引起颅高压的患者，观察到ICP升高时的ONSD最佳阈值为5.3 mm，灵敏度为88%，特异性为79%。Turkin等^[23]根据CT数据研究评估了头部受伤后48 h内

41例严重脑外伤的患者，急性TBI期患者的最佳ONSD阈值为6.35 mm，灵敏度为0.93，特异性为0.80，AUC为0.87。Bekerman等^[24]通过回顾性研究1 766名成人患者的CT数据证实：利用CT测量ONSD与ETD的比值评估ICP的方法更准确，在15~30 mmHg的ICP范围内可以获得最准确的相关性。他同时指出CT测量ONSD的位置与超声不同，CT是在球后8~12 mm处，超声于球后3 mm。Bartsikhovsky等^[25]表示计算ONSD/ETD值可用于诊断乳头状水肿，并且乳头状水肿被认为是ICP升高的替代指标，同时ONSD/ETD值也可用于诊断ICP升高，并确定ONSD/ETD值为0.21时，既具有高度敏感性又具有特异性(分别为82%和93%)。Bekerman等^[26]分析了CT扫描的600例健康成人和54例患者的OC(视神经管)，建议ICP监视期间同时测量该区域ONSD。如果根管最狭窄的内腔面积<10 mm²，则不应使用ONSD监测ICP。

CT为ICP的无创监测提供了机会，使得检查更加完善。同时CT检查较易被患者接受，可作为超声检查的补充。与超声相比，CT可以呈现出高分辨率的图像，测量ONSD更准确。但由于其有辐射性，体积较大、移动不方便，易受经济条件影响等，在临床使用中较受限。

3 MRI 通过 ONSD 监测 ICP

随着医学影像学的发展，MRI技术凭借着无创、成像清晰、对软组织具有高分辨率的特点逐渐运用到视神经研究领域中，MRI为目前公认的显示视神经及球后组织解剖细节的首选影像学检查方法^[27]。但借助MRI测量ONSD评估ICP的研究相对较少。在MRI的T2加权中，视神经表现为等信号被硬脑膜的低信号结构包围，其周围的腔隙为高信号。ICP升高时的眼眶T2WI表现较为显著，在水平面或矢状面上可见球后视神经鞘扩张，鞘下有大量脑脊液聚集，为高信号，视神经鞘因ICP上升而折曲或者呈“香肠样”改变；冠状面上可见视神经位于中央、变细，周围脑脊液环绕，可见典型的“靶环征”，这些表现对ICP的诊断具有很大价值。其他特征包括视神经蛛网膜下腔扩张、视神经折曲、球后巩膜扁平和横静脉窦狭窄等。Geeraerts等^[28]证实MRI测量的ONSD与有创测量的ICP之间呈正相关($r=0.71$)，使用ONSD监测ICP的可靠性较高(AUC=0.94和NPV为92%)。Kang等^[29]验证了ONSD与ICP的相关性极好，ICP高于20 mmHg时ONSD阈值为5.99 mm，其灵敏度为90.0%，特

异性为98.0%。由于发育造成儿童解剖结构，如颅骨刚性和硬膜下间隙与成人有所差异，且对颅内顺应性的影响尚不确定。但与成人一样，儿童发生颅脑外伤时，ICP的升高可能会通过限制脑血流量而导致严重的继发性缺血性损伤。Steinborn等^[30]研究了在轴向T2WMRI中测量了临床正常儿童和青少年(5~18岁)在球后3 mm处的ONSD，为 (5.96 ± 0.31) mm，年龄组之间无显著差异。Young等^[31]研究了36例经有创检查确诊颅高压的患儿，结果证实ONSD与ICP之间呈近似线性关系，类似于成人患者。在MRI中，儿童ONSD对ICP的特异性和灵敏度均较高，指出小儿患者在颅脑损伤后出现ONSD超过6.1 mm时，应进行ICP监测。

MRI具有无辐射性、空间分辨力高、软组织分辨力强、多种序列、多平面重建等优势，因此使用ONSD进行无创监测ICP的潜力较大。然而，该方法的缺点是成本相对较高，缺乏便携性以及检查时间长，有赖于患者的高依从性和对幼儿的镇静作用，临床应用不如前两者广泛，但在ICP监测中存在较大的潜力。

4 三者的关系研究

超声、CT、MRI三者在无创监测ICP的发展中均占有重要的地位，目前虽不能完全取代有创监测，但在无法进行侵入性监测时，对早诊断有一定帮助。三者之间也存在一定的相关性，且是相辅相成的。Shirodkar等^[32]对100名高ICP患者进行检测，发现超声和MRI检查女性的ONSD为 (5.48 ± 0.43) mm和 (5.68 ± 0.44) mm，而男性则为 (5.40 ± 0.37) mm和 (5.56 ± 0.38) mm，并比较了ONSD-USG和ONSD-MRI，发现使用USG和MRI监测ICP具有良好的一致性。通过ROC曲线，得出用于检测升高ICP的最佳ONSD截断值为5.7 mm。Kalantari等^[33]回顾性研究了经CT和MRI检查的100例患者，并测量其ONSD，结果发现两者对ICP的判断无统计学差异。在Giger-Tobler等^[34]研究CT、MRI和超声测量ONSD的可比性，在超声与CT及超声与MRI间仅发现了一致性，而CT和MRI显示出了很强的可比性，并且发现超声测得的ONSD稍高于CT及MRI的测量值，这可能由于超声为实时检查，更能准确显示ONSD值。虽然有很多文献[16,19,33]表明：可通过超声、CT及MRI测量ONSD来间接估测ICP，但目前仍缺乏对三者诊断ICP的标准化，三者的ONSD的阈值未统一且存在一定的差异，还需要大量实验进一步证实与研究。

综上所述, 临床中患者ICP的监测对预后至关重要, 早期、准确发现ICP的升高仍是广大学者共同的奋斗目标。在无创监测中单独使用ONSD的准确性不如多方面联合应用的准确性高, 在临床工作中需要进一步完善。ICP的无创监测越来越被大家认可, 且无创监测中的影像学检查既方便经济又可靠准确, 值得临床医生作为重要参考标准。ICP的影像学监测仍具有较大的发展空间, 以更加准确地为患者的诊断、治疗以及预后保驾护航, 也更加赢得临床信赖。多模态影像检查的新技术层出不穷, 为ICP的深入研究带来发展的新方向和广阔的前景。

参考文献

1. Hylkema C. Optic nerve sheath diameter ultrasound and the diagnosis of increased intracranial pressure[J]. Crit Care Nurs Clin North Am, 2016, 28(1): 95-99.
2. Gupta S, Pachisia A. Ultrasound-measured optic nerve sheath diameter correlates well with cerebrospinal fluid pressure[J]. Neurol India, 2019, 67(3): 772-776.
3. Lochner P, Czosnyka M, Naldi A, et al. Optic nerve sheath diameter: present and future perspectives for neurologists and critical care physicians[J]. Neurol Sci, 2019, 40(12): 2447-2457.
4. 佟正灏, 王荣福. 多模态影像技术在临床中的应用进展[J]. CT理论与应用研究, 2014, 23(4): 707-714.
TONG Zhenghao, WANG Rongfu. Advancement of clinical application based on multi-mode molecular imaging[J]. CT Theory and Application Research, 2014, 23(4): 707-714.
5. 招治弘. 视神经鞘超声解剖基础及视神经鞘直径超声测值评估颅内压增高的研究[D]. 南宁: 广西医科大学, 2019.
ZHAO Yihong. Study on the basis of ultrasound anatomy of optic nerve sheath and the evaluation of intracranial pressure increased by ultrasound measurement of optic nerve sheath diameter[D]. Nanning: Guangxi Medical University, 2019.
6. Hansen HC, Helmke K, Kunze K. Optic nerve sheath enlargement in acute intracranial hypertension[J]. Neuro-Ophthalmology, 1994, 14(6): 345-354.
7. Chen LM, Wang LJ, Shi L, et al. Reliability of assessing non-severe elevation of intracranial pressure using optic nerve sheath diameter and transcranial doppler parameters[J]. Front Neurol, 2019, 10: 1091.
8. Robba C, Santori G, Czosnyka M, et al. Optic nerve sheath diameter measured sonographically as non-invasive estimator of intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis[J]. Intensive Care Med, 2018, 44(8): 1284-1294.
9. Kimberly HH, Shah S, Marill K, et al. Correlation of optic nerve sheath diameter with direct measurement of intracranial pressure[J]. Acad Emerg Med, 2008, 15(2): 201-204.
10. Padayachy LC, Padayachy V, Galal U, et al. The relationship between transorbital ultrasound measurement of the optic nerve sheath diameter (ONSD) and invasively measured ICP in children: Part I: repeatability, observer variability and general analysis[J]. Childs Nerv Syst, 2016, 32(10): 1769-1778.
11. Padayachy L, Brekke R, Fieggen G, et al. Pulsatile dynamics of the optic nerve sheath and intracranial pressure: an exploratory in vivo investigation[J]. Neurosurgery, 2016, 79(1): 100-107.
12. Kim DH, Jun JS, Kim R. Ultrasonographic measurement of the optic nerve sheath diameter and its association with eyeball transverse diameter in 585 healthy volunteers[J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 15906.
13. Du J, Deng Y, Li H, et al. Reply to: ratio of optic nerve sheath diameter to eyeball transverse diameter by ultrasound can predict intracranial hypertension in traumatic brain injury patients: A prospective study[J]. Neurocrit Care, 2019, 31(3): 594-595.
14. Rasulo FA, Bertuetti R. Transcranial doppler and optic nerve sonography[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2019, 33(Suppl 1): S38-S52.
15. Robba C, Goffi A, Geeraerts T, et al. Brain ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications. A narrative review[J]. Intensive Care Med, 2019, 45(7): 913-927.
16. Robba C, Cardim D, Tajsic T, et al. Ultrasound non-invasive measurement of intracranial pressure in neurointensive care: A prospective observational study[J]. PLoS Med, 2017, 14(7): e1002356.
17. Zhou B, Chen JJ, Kazemi A, et al. An ultrasound vibro-elastography technique for assessing papilledema[J]. Ultrasound Med Biol, 2019, 45(8): 2034-2039.
18. Ohle R, McIsaac SM, Woo MY, et al. Sonography of the optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure compared to computed tomography: a systematic review and meta-analysis[J]. J Ultrasound Med, 2015, 34(7): 1285-1294.
19. Xu W, Gerety P, Aleman T, et al. Noninvasive methods of detecting increased intracranial pressure[J]. Childs Nerv Syst, 2016, 32(8): 1371-1386.
20. 苏利, 李永超, 余青龙, 等. 床旁超声与CT重建测量视神经鞘直径与颅内压的关系[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(1): 16-18.
SU Li, LI Yongchao, YU Qinglong, et al. The relationship between the optic nerve sheath diameter and intracranial pressure measured by bedside ultrasound and CT reconstruction[J]. Chinese Journal of CT and MRI, 2020, 18(1): 16-18.
21. Major R, Girling S, Boyle A. Ultrasound measurement of optic nerve sheath diameter in patients with a clinical suspicion of raised intracranial pressure[J]. Emerg Med J, 2011, 28(8): 679-681.

22. Lee HC, Lee WJ, Dho YS, et al. Optic nerve sheath diameter based on preoperative brain computed tomography and intracranial pressure are positively correlated in adults with hydrocephalus[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2018, 167: 31-35.
23. Turkin AM, Oshorov AV, Pogosbekyan EL, et al. Correlation of intracranial pressure and diameter of the sheath of the optic nerve by computed tomography in severe traumatic brain injury[J]. Zh Vopr Neirokhir Im N N Burdenko, 2017, 81(6): 81-88.
24. Bekerman I, Sigal T, Kimiagar I, et al. The quantitative evaluation of intracranial pressure by optic nerve sheath diameter/eye diameter CT measurement[J]. Am J Emerg Med, 2016, 34(12): 2336-2342.
25. Bartsikovsky T, Klar MM, Bekerman I, et al. Diagnostic tool for initial evaluation of the intracranial pressure on computed tomography in pediatric patients with headache[J]. PLoS One, 2019, 14(5): e0216812.
26. Bekerman I, Kimiagar I, Sigal T, et al. Monitoring of intracranial pressure by CT-defined optic nerve sheath diameter[J]. J Neuroimaging, 2016, 26(3): 309-314.
27. 梁申芝. 视神经磁共振成像的实验研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2015.
- LIANG Shenzhi. Experimental study of optic nerve magnetic resonance imaging[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2015.
28. Geeraerts T, Newcombe VF, Coles JP, et al. Use of T2-weighted magnetic resonance imaging of the optic nerve sheath to detect raised intracranial pressure[J]. Crit Care, 2008, 12(5): R114.
29. Kang C, Min JH, Park JS, et al. Relationship between optic nerve sheath diameter measured by magnetic resonance imaging, intracranial pressure, and neurological outcome in cardiac arrest survivors who underwent targeted temperature management[J]. Resuscitation, 2019, 145: 43-49.
30. Steinborn M, Friedmann M, Hahn H, et al. Normal values for transbulbar sonography and magnetic resonance imaging of the optic nerve sheath diameter (ONSD) in children and adolescents[J]. Ultraschall Med, 2015, 36(1): 54-58.
31. Young AM, Guilfoyle MR, Donnelly J, et al. Correlating optic nerve sheath diameter with opening intracranial pressure in pediatric traumatic brain injury[J]. Pediatr Res, 2017, 81(3): 443-447.
32. Shirodkar CG, Munta K, Rao SM, et al. Correlation of measurement of optic nerve sheath diameter using ultrasound with magnetic resonance imaging[J]. Indian J Crit Care Med, 2015, 19(8): 466-470.
33. Kalantari H, Jaiswal R, Bruck I, et al. Correlation of optic nerve sheath diameter measurements by computed tomography and magnetic resonance imaging[J]. Am J Emerg Med, 2013, 31(11): 1595-1597.
34. Giger-Tobler C, Eisenack J, Holzmann D, et al. Measurement of optic nerve sheath diameter: differences between methods? A pilot study[J]. Klin Monbl Augenheilkd, 2015, 232(4): 467-470.

本文引用: 赵明明, 王俊峰. 多模态影像技术利用视神经鞘直径监测颅内压的研究进展[J]. 临床与病理杂志, 2021, 41(11): 2701-2705. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.11.033

Cite this article as: ZHAO Mingming, WANG Junfeng. Research progress of multimodal imaging technology using optic nerve sheath diameter to monitor intracranial pressure[J]. Journal of Clinical and Pathological Research, 2021, 41(11): 2701-2705. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.11.033