

颅内压监测技术在颅脑损伤中的研究进展

张婷婷¹, 侯明^{2*}

¹青海大学研究生院, 青海 西宁

²青海大学附属医院急救中心, 青海 西宁

收稿日期: 2022年5月27日; 录用日期: 2022年6月19日; 发布日期: 2022年6月29日

摘要

颅脑损伤后颅内压(intracranial pressure, ICP)升高是造成患者预后差, 致残率、致死率高的重要因素, 遂临床中对ICP的监测相当重视。ICP监测分为有创ICP监测和无创ICP监测两种。本文主要针对有创ICP监测(脑室内监测)及5种无创ICP监测方法相关研究进展作一综述, 比较各种ICP监测方法的国内外研究现状、优势及不足, 为明确ICP监测方法、优化神经重症患者的早期诊断和治疗提供思路。

关键词

颅脑损伤, 有创颅内压监测, 无创颅内压监测

Research Progress of Intracranial Pressure Monitoring Technique in Craniocerebral Injury

Tingting Zhang¹, Ming Hou^{2*}

¹Graduate School of Qinghai University, Xining Qinghai

²Emergency Center, Qinghai University Affiliated Hospital, Xining Qinghai

Received: May 27th, 2022; accepted: Jun. 19th, 2022; published: Jun. 29th, 2022

Abstract

Intracranial pressure (ICP) elevation after craniocerebral injury is an important factor leading to poor prognosis, high disability rate and high mortality rate of patients, so the monitoring of ICP has been attached great importance in clinical practice. ICP monitoring is divided into invasive ICP

*通讯作者。

monitoring and non-invasive ICP monitoring. This paper mainly reviews the research progress of invasive ICP monitoring (intraventricular monitoring) and five non-invasive ICP monitoring methods, and compares the research status, advantages and disadvantages of various ICP monitoring methods at home and abroad, so as to provide ideas for defining ICP monitoring methods and optimizing the early diagnosis and treatment of patients with severe neurological diseases.

Keywords

Craniocerebral Injury, Invasive Intracranial Pressure Monitoring, Noninvasive Intracranial Pressure Monitoring

Copyright © 2022 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. 前言

近年来, 颅脑损伤是神经重症常见病症之一, 颅脑损伤、颅内病变(包括脑水肿、颅内血肿、颅内肿瘤、脑血管疾病、脑脓肿等)、脑脊液循环障碍或静脉窦阻塞等均可引起 ICP 增高, 而颅内压增高是颅脑损伤后导致患者神经功能致残, 甚至死亡的重要原因, 因此动态监测颅内压变化, 预测颅脑损伤后脑缺血的发生及发展情况, 并根据病情变化迅速调整治疗方案是中重度颅脑损伤患者救治的关键。目前临床上应用的颅内压监测方法主要分为有创 ICP 监测和无创 ICP 监测。鉴于有创及无创 ICP 监测各有利弊, 近年来不断有科研人员及临床工作者对各种 ICP 监测方法进行研究和探索[1]。本文就 ICP 监测技术的国内外发展现状、相关优势及不足进行简要综述。

2. 有创 ICP 监测

有创动态颅内压监测作为中重度颅脑损伤治疗中的重要机制, 可针对颅内压的变化做到随时了解掌握病情, 并依据患者病情做出及时有效的判断及治疗措施[2]。从 1744 年克劳德·尼古拉斯·勒卡特特特殊设计的导管对一名先天性脑积水儿童进行了首次脑室插管和引流, 到 20 世纪 80 年代, 脑室外引流(external ventricular drainage, EVD)被用于蛛网膜下腔出血(subarachnoid hemorrhage, SAH)患者和创伤性脑损伤(traumatic brain injury, TBI)患者的持续 ICP 监测[3], 目前有创 ICP 监测在神经重症领域有了很大的发展。有创 ICP 监测包括脑室内(intraventricular, IVC)监测、脑实质内监测、蛛网膜下腔监测、硬膜下及硬膜外监测、腰椎穿刺术等方式。

IVC 监测在临床中使用最为广泛, 其是一种侵入性测量, 通过置于颅内的压力或光纤传感器对颅内某一点的压力进行测量, 从而能实现连续监测, 该方法获得的数据稳定性、准确度较高[4], 是目前临床上监测 ICP 的金标准, 封晓燕[5]等人的研究表明脑室内 ICP 监测虽无法改善最终预后, 但可增加保守治疗成功率、降低去骨瓣减压术比例、缩短住院时间、减少住院费用; 石力涛[2]等人的研究阐述了在中重度颅脑损伤患者治疗中结合 IVC 监测, 能够及时检测了解颅内压变化状况, 便于第一时间进行降低颅内压治疗, 利于患者预后, 提升临床疗效, 降低并发症的发生率。IVC 监测具有结果准确、数据稳定性高, 同时有治疗性脑脊液引流的作用, 对临床中改善患者预后、提高救治效果具有重要意义。但因其术后感染、出血风险高, 相关研究[6]发现脑室内置管术后感染发生率为 0%~27%, 且龙连圣等[7]人的研究发现颅内破裂动脉瘤和探头置入方式(开颅或钻颅)是并发颅内感染的危险因素, 探头类型(脑室型)和探头置入

方式(锥颅)是并发颅内出血的危险因素;且需专业技术人员操作、成本高昂、相对禁忌症较多等相关因素均会导致 IVC 监测无法进行。

3. 无创 ICP 监测

无创 ICP 监测具有监测 ICP 变化、脑灌注压换算、脑疝预警、药效比对等功能,监测 ICP 变化可有效判断患者病情变化、临床疗效,脑灌注压换算可为患者脑功能的恢复预后判断提供依据,脑疝预警可为临床防止突发脑疝而导致临床严重后果提供预警,药效比对可帮助监测临床药物的使用效果。该技术的应用既能够减轻患者在监测 ICP 中的痛苦,又可为医生诊断疾病、判断病情、制订进一步的诊疗方案提供客观依据[1]。目前国内外对于无创的颅内压监测的进展也比较多。无创颅内压监测主要包括经颅多普勒超声(transcranial Doppler, TCD)监测脑血流、闪光视觉诱发电位(flash visual evoked potential, FVEP)、双深度经眼眶多普勒超声(two-depth transorbital Doppler, TDTD)技术、视神经鞘直径(Optic nerve sheath diameter, ONSD)测量法、鼓膜位移(tympanic membrane displacement, TMD)技术、耳声发射(otoacoustic emission, OAE)技术、近红外光谱(near-infrared spectroscopy, NIRS)技术、光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)技术等。

3.1. TCD 监测脑血流

TCD 是当前脑血流动力学常规监测手段,通过相控阵探头发发出 2 MHz 的低频脉冲多普勒声波,穿过颅骨薄弱处(颞窗、颌下窗、眶窗、枕下窗)经血管中流动的红细胞反射回来,其频率变化与血流速度成正比,由此估计脑血流速度[8],通过建立经颅多普勒超声血流动力学参数与 ICP 间的关系模型,对 ICP 进行动态监测[9][10]。由于解剖、生理等特点,且结合国内外对 TCD 的研究,大多数学者认为 ICP 增高对脑血流的影响以大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)最为明显,故选择双侧的 MCA 作为检测血管最合适[11]。TCD 监测的主要参数为血管搏动指数(pulsatility index, PI)和血流速度(bloodflow velocity, BFV)。由于 TCD 行 ICP 监测操作风险低,减轻患者疼痛,降低经济负担,无颅内感染、出血等并发症,目前被广泛应用于特发性颅内高压、颅脑创伤的治疗和随访[12][13]。尤其是床旁 TCD,其对脑血流速度及血流方向分辨率高,能对脑血流进行动态实时监测,可及时将神经重症脑血管疾病患者的脑血流速度、血流动力学改变、频谱形态进行综合分析[14],对指导临床治疗和评估预后具有重要意义。在 TCD 监测 ICP 过程中,较易出现一些主观及客观方面的偏差,主观方面包括操作者是否熟练掌握颅内血管解剖及彩超仪器操作技能;客观因素包括动脉硬化因素、脑血管痉挛、脑病变部位、二氧化碳分压等影响脑血流动力学因素,从而影响 TCD 在无创 ICP 监测中的应用。同时,一次 TCD 测量仅提供一次数值,具有作为筛查工具的潜力,但暂时无法做到实时动态监测。

3.2. ONSD 测量法

有文献[15]报道,通过超声测量 ONSD 可有效判断颅内压增高,并动态评估颅内压。其工作原理是当 ICP 增高时,由于视神经周围的蛛网膜下腔与颅内蛛网膜下腔相通,视神经周围脑脊液体积增加可使眼球后视神经鞘扩张,ONSD 增宽。Altayar [16]等对 48 例成年外伤性脑损伤患者的研究结果显示,超声测量 ONSD 是外伤性颅脑损伤患者 ICP 升高的一种有效检测手段。这种方法相对容易,设备现成且方便,成本低,时间分辨率高。国内相关学者[17]报道超声测量 ONSD 可以反映 ICP 的实时变化。目前有大量文献肯定了 ONSD 测量法在颅脑损伤患者 ICP 监测中作用,但就其在灵敏度、特异度以及正常 ONSD 和异常 ONSD 缺乏统一的界限等方面还存在争议。Lee SH 等[18]的研究对采用 ONSD 测量法监测颅脑损伤患者 ICP 增高的研究进行 Meta 分析,得出的临界值为 5.8 mm,认为 ONSD 测量法是一种有效的方法。

但 Agrawal D 等[19]的研究更倾向于临界值为 6.8 mm, 该研究还指出 ONSD 测量法目前远未达到常规应用的水平, 仍然需要更大规模的研究验证。ONSD 测量法具有无创伤、操作简便、价格低廉、无感染风险等优势, 具有良好的临床应用前景, 尤其在紧急情况或条件有限时能为患者的伤情评估和诊断治疗提供重要依据。但在现阶段, ONSD 存在变异性、对操作者经验的依赖、缺乏统一临界值等缺点, 未来仍需要对 ONSD 应用于临床开展更为全方位的分析与研究[20]。

3.3. 闪光视觉诱发电位(FVEP)技术

对视网膜施加弥散的非模式闪光刺激, 可引起枕叶大脑皮质的电位变化称为 FVEP, 可反映从视网膜到枕叶视觉通路的变化[21]。正常情况下, 从视网膜光刺激到大脑枕叶视觉电位的改变, 在一定程度上反映视觉通路的完整性和颅内的生理变化, 但当 ICP 持续增高时, 可损害视通路神经, 阻滞神经电信号传导, 导致 FVEP 波峰(主要是 N2 波)潜伏期延长, 延长时间与 ICP 值成正比[22]。基于以上原理的 FVEP 技术被应用于无创 ICP 监测中。国内有学者[23] [24]认为 FVEP 可用于轻中重型颅脑损伤、高血压脑出血及外伤性重型颅内出血术后等患者 ICP 的动态监测, 具有无创、安全、简便、可靠、容易操作等优点。但由于 FVEP 依赖视觉传导通路的结构与功能的完整性, 且易受脑代谢等相关因素(如低血压导致脑灌注不足、肝性脑病造成 FVEP 潜伏期延长等)及年龄的影响, 可能导致数据的偏差较大, 影响检测的准确性。

3.4. 鼓膜位移(TMD)技术

鼓膜移位是由耳蜗导水管将蛛网膜下腔与内耳之间的 ICP 变化传入耳蜗外淋巴导致淋巴周围压力变化, 这种淋巴压力变化致使内耳听骨运动引起的, TMD 技术以此为基础。目前该技术被应用于 ICP 升高的识别。1998 年有国外专家的相关研究阐述了 TMD 技术可以用于预测 ICP 的变化, 其灵敏度、特异度均较高。近期有专家[25]将 TMD 技术应用于研究足球头球运动对训练运动员 ICP 的影响。目前该技术的相关研究显示仍存在很多不足, Shimbles 等[26]在 2005 年的一项研究中对 135 例脑积水患者、13 例良性颅内高压患者和 77 名健康志愿者采用 TMD 技术评估 ICP 变化, 结论认为 TMD 技术虽与 ICP 之间存在显著相关性, 但受试者之间的差异性较高, 不能用于 ICP 的可靠测量; 且有相关研究发现 TMD 技术无法检测到 ICP 的下降, 这使得 TMD 技术在临床中的使用受到很大限制。

3.5. 光学相干断层扫描(OCT)技术

OCT 技术是有 1991 年首次提出的, 通过测量视乳头水肿中的视网膜神经纤维层(retinal nerve fiber layer, RNFL)厚度, 从而反映 ICP 值的方法。有相关研究[27] [28] [29]表明可以通过观察 OCT 参数的改变评价 ICP 变化, 目前常用的参数包括最大视网膜神经纤维层厚度、最大视网膜厚度、最大前视网膜投影等, 其在评估儿童 ICP 方面已显示出良好的前景。OCT 技术在使用中具有无创、敏感、特异度高等优点, 但若患者存在视盘严重水肿, 则无法准确测量 RNFL 的厚度, 从而推算 ICP 值失败, 且视盘水肿发生的过程缓慢, OCT 技术的时效性欠佳。同时 OCT 原理类似于 B 超, 存在着穿透深度较浅、容易引入噪声等缺点[30], 临床应用于 ICP 监测尚存在一定的挑战。

4. 小结

目前临床上监测 ICP 的方法有很多。有创 ICP 监测仍是颅脑损伤患者诊断治疗过程中的金标准, 其在临床诊疗救治中具有不可或缺的意义, 但其感染、出血等与操作相关的并发症, 加之费用昂贵、零点漂移等因素, 很大程度上限制了其临床应用。而无创 ICP 监测其方法各异, 均可不同程度地估算 ICP 数值, 其具有监测方法简便、操作简单、价格低廉等优势, 近年关于无创 ICP 监测的研究是比较热烈的。尽管国内外在无创 ICP 监测方面进行了大量研究, 但相关研究存在样本量较小、测量误差或种族差异等

局限性, 因此 TCD、ONSD、FVEP、TMD、OCT 等技术与 ICP 之间的相关性和潜在机制尚不够清晰, 灵敏度及特异度使得其在临床应用中存在一定的争议。随着对 ICP 产生及调节机制的深入研究, 一种安全无创、使用便捷、价格低廉、可连续动态监测的 ICP 监测方法的寻找仍是未来医学研究的方向, 相信在不久的将来, 会有更多的 ICP 监测方法, 为神经重症患者的早期诊治带来希望。

参考文献

- [1] 武蒙蒙, 胡红建, 梅其勇. 无创颅内压监测技术研究进展[J]. 第二军医大学学报, 2021, 42(8): 897-902.
- [2] 石力涛, 杨荣, 李中宾, 刘瑞鸽. 中重度颅脑损伤患者治疗中结合有创动态颅内压监测的机制和临床价值[J]. 脑与神经疾病杂志, 2021, 29(7): 427-430.
- [3] Samon, T., Geoffrey, P., William, A., Shaheryar, H. and Ramesh, G. (2017) Complications of Invasive Intracranial Pressure Monitoring Devices in Neurocritical Care. *Neurosurgical Focus*, **43**, Article No. E6. <https://doi.org/10.3171/2017.8.FOCUS17450>
- [4] 杨旭耀, 郭小洪, 蔡明, 王存福. 脑室引流管外接压力传感器监测颅内压的临床应用[J]. 中外医学研究, 2021, 19(9): 127-130.
- [5] 封晓燕, 焦薇, 陈军辉, 等. 脑室型颅内压监测及流程管理在双侧额叶挫裂伤治疗中的价值[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2022, 22(4): 313-318.
- [6] 赵伟, 王勇, 钱明. 高血压脑出血行有创颅内压监测术后颅内感染危险因素分析[J]. 南通大学学报(医学版), 2021, 41(5): 419-421.
- [7] 龙连圣, 王伟, 辛志成, 王聪, 赵耀东, 李夏良, 等. 有创颅内压监测并发颅内感染及颅内出血的多因素分析[J]. 中华创伤杂志, 2017, 33(11): 977-983.
- [8] 王孟岩, 左云霞. 经颅多普勒超声监测脑血流在麻醉手术中的应用[J]. 华西医学, 2022, 37(1): 131-134.
- [9] 洗丽娜, 邓小彦, 梁娴, 杨远征. 动态超声测量视神经鞘直径在中、重型颅脑损伤患者治疗中的临床价值[J]. 海南医学院学报, 2021, 27(13): 988-992.
- [10] Jahns, F.P., Miroz, J.P., Messerer, M., Daniel, R.T., Taccone, F.S., Eckert, P., *et al.* (2019) Quantitative Pupillometry for the Monitoring of Intracranial Hypertension in Patients with Severe Traumatic Brain Injury. *Critical Care*, **23**, 155-163. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2436-3>
- [11] Tsaousi, G., Tramontana, A., Yamani, F. and Bilotta, F. (2021) Cerebral Perfusion and Brain Oxygen Saturation Monitoring with Jugular Venous Oxygen Saturation, Cerebral Oximetry, and Transcranial Doppler Ultrasonography. *Anesthesiology Clinics*, **39**, 507-523. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2021.03.009>
- [12] 沈印. 经颅超声在颅脑创伤救治中的应用现状及展望[J]. 中国临床新医学, 2020, 13(8): 840-843.
- [13] 隋晓雯, 李福荣, 张美艳, 潘心, 赵红玲, 刘金洁, 等. 经颅多普勒超声在大脑中动脉支架植入术中的应用进展[J]. 中国医药导报, 2020, 17(5): 46-49.
- [14] 王琼, 王涛, 刘逸文, 宋玛丽, 陶文丹, 张明. 床旁经颅多普勒超声在神经重症脑血管疾病患者中的监测及应用[J]. 四川大学学报(医学版), 2020, 51(4): 578-581.
- [15] Wang, L.J., Chen, H.X., Chen, Y., Yu, Z.-Y. and Xing, Y.-Q. (2019) Optic Nerve Sheath Diameter Ultrasonography for Elevated Intracranial Pressure Detection. *Annals of Clinical and Translational Neurology*, **7**, 865-868. <https://doi.org/10.1002/acn3.51054>
- [16] Altayar, A.S., Abouelela, A.Z., Bdelshafey, E.E., Mohammed, K.S.S., Hassan, A.A., Hattab, M.A., *et al.* (2021) Optic Nerve Sheath Diameter by Ultrasound Is a Goodscreening Tool for High Intracranial Pressure in Traumatic Brain Injury. *Irish Journal of Medical Science*, **190**, 387-393. <https://doi.org/10.1007/s11845-020-02242-2>
- [17] Chen, L.M., Wang, L.J., Hu, Y., Jiang, X.H., Wang, Y.Z. and Xing, Y.Q. (2019) Ultrasonic Measurement of Optic Nerve Sheath Diameter: A Non-Invasive Surrogate Approach for Dynamic, Real-Time Evaluation of Intracranial Pressure. *British Journal of Ophthalmology*, **103**, 437-441. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2018-312934>
- [18] Lee, S.H., Kim, H.S. and Yun, S.J. (2020) Optic Nerve Sheath Diameter Measurement for Predicting Raised Intracranial Pressure in Adult Patients with Severe Traumatic Brain Injury: A Meta-Analysis. *Journal of Critical Care*, **56**, 182-187. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2020.01.006>
- [19] Agrawal, D., Raghavendran, K., Zhao, L. and Rajajee, V. (2020) A Prospective Study of Optic Nerve Ultrasound for the Detection of Elevated Intracranial Pressure in Severe Traumatic Brain Injury. *Critical Care Medicine*, **48**, e1278-e1285. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004689>

- [20] 李达. 床旁超声测定视神经鞘直径(ONSD)预测颅内压增高的研究进展[J]. 中外医疗, 2021, 40(12): 192-195.
- [21] 何鑫, 武秀权, 费舟, 费霏. 与视器相关的无创颅内压监测[J]. 中华神经创伤外科电子杂志, 2021, 7(6): 372-375.
- [22] 黎志洲, 张旺明, 黎华清, 王天荣, 蔡慧. 颅脑创伤患者的颅内压相关参数对预后的影响[J]. 中华神经创伤外科电子杂志, 2020, 6(1): 31-34.
- [23] 陈桂兰, 喻军华, 肖胜, 黄锦峰, 严颖, 柯晓燕, 等. 闪光视觉诱发电位无创颅内压监测在高血压性脑出血中的应用[J]. 中国临床神经外科杂志, 2018, 23(11): 729-730.
- [24] 吴文娟, 任节, 张亮. 闪光视觉诱发电位在外伤性重型颅内出血术后患者颅内压监测中的价值[J]. 临床急诊杂志, 2021, 22(9): 614-618.
- [25] Lee, J.H., Grace, E.J., Sieker, J., Hargens, A., Petersen, J.C.G. and Petersen, L.G. (2020) Intracranial Pressure after Soccer Heading. *The FASEB Journal*, **34**, 1. <https://doi.org/10.1096/fasebj.2020.34.s1.02273>
- [26] Shimbles, S., Dodd, C., Banister, K., Mendelow, A.D. and Chambers, I.R. (2005) Clinical Comparison of Tympanic Membrane Displacement with Invasive Intracranial Pressure Measurements. *Physiological Measurement*, **26**, 1085-1092. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/26/6/017>
- [27] Swanson, J.W., Aleman, T.S., Xu, W., Ying, G.S., Pan, W., Liu, G.T., et al. (2017) Evaluation of Optical Coherence Tomography to Detect Elevated Intracranial Pressure in Children. *JAMA Ophthalmology*, **135**, 320-328. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2017.0025>
- [28] Swanson, J.W., Xu, W., Ying, G.S., Pan, W., Lang, S.S., Heuer, G.G., et al. (2020) Intracranial Pressure Patterns in Children with Cranio Synostosis Utilizing Optical Coherence Tomography. *Child's Nervous System*, **36**, 535-544. <https://doi.org/10.1007/s00381-019-04448-x>
- [29] Sajjadi, F., Khoshnevisan, M.H., Doane, J.F. and Sajjadi, F. (2017) New Predictive Value of Optical Coherence Tomography Analysis in the Diagnosis of Idiopathic Intracranial Hypertension. *Journal of Contemporary Medical Sciences*, **3**, 197-207. <https://doi.org/10.22317/jcms.06201701>
- [30] Rufai, S.R., Jeelani, N.U.O. and McLean, R.J. (2021) Early Recognition of Raised Intracranial Pressure in Craniosynostosis Using optical Coherencetomography. *Journal of Craniofacial Surgery*, **32**, 201-205. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000006771>