

超声测量视神经鞘直径评估颅内压增高的研究进展

贾晶薇 安京华 (通讯作者)

(延边大学附属医院(延边医院)吉林延边 133000)

【摘要】 颅内压 (Increased Intracranial Pressure, ICP) 增高是神经重症、颅脑损伤、脑血管疾病等多种疾病的严重并发症, 若未能及时识别和干预, 可导致脑灌注不足、脑疝甚至死亡, 因此快速、精准、无创的颅内压评估方法具有重要临床价值。超声测量视神经鞘直径 (Optic Nerve Sheath Diameter, ONSD) 作为一种无创、床旁可操作、实时便捷的检查技术, 基于视神经鞘与颅内硬脑膜的解剖连续性, 可通过反映鞘内脑脊液压力变化间接评估颅内压水平, 近年来在临床研究和实践中得到广泛关注和深入探索。本文系统综述了超声测量 ONSD 评估颅内压增高的解剖生理基础、测量方法与标准化规范、临床研究进展、应用局限性及未来发展方向, 整合近年来国内外相关研究成果, 结合 10 篇核心参考文献, 进行详细阐述, 为该技术的临床推广应用和后续研究提供参考依据。

【关键词】 超声检查; 视神经鞘直径; 颅内压增高; 无创监测; 研究进展

Research Progress on Ultrasonic Measurement of Optic Nerve Sheath Diameter for Assessing Increased Intracranial Pressure (ICP)

Jia Jingwei An Jinghua (Corresponding Authors)

(Yanbian University Affiliated Hospital (Yanbian Hospital), Yanbian, Jilin 133000)

[Abstract] Increased intracranial pressure (ICP) is a severe complication of various conditions such as neurocritical care, traumatic brain injury, and cerebrovascular diseases. Failure to promptly identify and intervene may lead to cerebral hypoperfusion, brain herniation, or even death. Therefore, rapid, accurate, and non-invasive methods for assessing ICP hold significant clinical value. Ultrasonic measurement of optic nerve sheath diameter (ONSD), as a non-invasive, bedside-operable, and real-time convenient examination technique, leverages the anatomical continuity between the optic nerve sheath and the dura mater to indirectly evaluate ICP levels by reflecting changes in intrasheath cerebrospinal fluid pressure. In recent years, ONSD has garnered widespread attention and in-depth exploration in clinical research and practice. This article systematically reviews the anatomical and physiological basis, measurement methods and standardized protocols, clinical research progress, limitations, and future directions of ONSD-based ICP assessment. It integrates recent domestic and international research findings and provides a detailed elaboration based on 10 core reference articles, offering a reference for the clinical application and further research of this technique.

[Key words] ultrasound examination; optic nerve sheath diameter; increased intracranial pressure; non-invasive monitoring; research progress

1 引言

颅内压 (ICP) 指颅腔内容物对颅腔壁的压力, 正常人平卧时为 70 - 200mmH₂O (儿童 50 - 100mmH₂O), 持续超过 200mmH₂O 即为颅内压增高。其可由多种病因引发, 核心危害是压迫脑组织等, 严重时危及生命。

目前, 颅内压评估“金标准”是有创监测技术, 能直接获取数值、精度高, 但有侵入性操作风险, 且操作复杂、费用高, 不适用于基层医院等。无创颅内压评估技术成研究热点, 超声测量 ONSD 因其安全、便捷等优势, 成为临床评估颅内压增高重要辅助手段。

自 1988 年报道超声测量 ONSD 与颅内压相关性后, 国内外学者开展大量研究。本文结合相关成果, 对该技术评估颅内压增高研究进展进行综述, 为临床和后续研究提供参考。

2 超声测量 ONSD 评估颅内压增高的解剖生理基础

2.1 解剖学基础

视神经是中枢神经系统一部分, 全长约 40~50mm, 分四部分。眶内段长约 25~30mm, 被视神经鞘包裹, 该鞘膜与颅内脑膜结构连续。视神经鞘与视神经间形成与颅内蛛网膜下腔相通的腔隙, 充满脑脊液。颅内脑脊液压力变化经蛛网膜下腔传导至视神经鞘, 使其扩张或收缩致 ONSD 改变, 为超声测量 ONSD 评估颅内压提供结构基础。

2.2 生理学机制

正常时, 颅内压与视神经鞘内脑脊液压力平衡, ONSD 稳定。颅内压病理性增高时, 平衡打破, 压力传导使鞘壁受压力, 视神经鞘弹性使其被动扩张, 一定范围内与颅内压增高程度正相关。研究证实, 颅内压超 200mmH₂O 时 ONSD 明显增宽, 控制颅内压后会恢复。视神经鞘扩张有可逆性, 早期干预可恢复正常, 长期增高可能导致不可逆增宽。测 ONSD 可评估颅内压水平、反映病情进展及治疗效果^[1]。

3 超声测量 ONSD 的方法与标准化规范

3.1 测量设备与参数设置

超声测量 ONSD 常用高频线阵超声仪, 探头频率推荐 7.5~15MHz, 可清晰显示解剖结构、提高测量精度^[2]。儿童、眼球突出或眶内脂肪少的患者, 可将探头频率调至 5~7.5MHz; 肥胖、眶内脂肪多的患者, 选用 10~15MHz 高频探头, 减少组织衰减影响^[3]。

参数设置上, 需调节超声仪增益、对比度和深度, 使边界清晰, 避免测量误差。一般图像深度设为 4~6cm, 聚焦点调至视神经眶内段中点, 关闭彩色多普勒血流成像模式, 避免血流信号干扰^[4]。同时, 遵循 ALARA 原则, 探头机械指数 (MI) ≤ 0.23、热指数 (TI) ≤ 1, 减少对眼部组织潜在损伤^[5]。

3.2 操作流程与测量部位

测量前,患者仰卧,头部中立,双眼闭合,避免眼球转动或压迫眼球。操作者站在患者头侧,探头涂耦合剂后轻置眼睑,避免压迫眼球^[6]。

测量部位选视神经眶内段中点(眼球后 3mm 处),此处解剖规整、干扰少,与颅内压变化相关性强,是公认最佳测量部位。操作时,先获取纵切面图像,再旋转探头 90° 获取横切面图像,测量环形高回声区最大直径即 ONSD。

为减少误差,每侧眼球连续测 3 次,间隔 1~2s,取平均值;同时测双侧,若差值超 0.3mm,需重新测量。测量时确保超声束与视神经垂直,避免斜切面测量误差。

3.3 正常参考值与诊断阈值

目前,国内外 ONSD 正常参考值较统一,成人正常范围 3.0~5.0mm,平均 3.8~4.2mm;儿童正常范围随年龄增大,新生儿 2.0~3.0mm,1~3 岁 2.5~3.5mm,4~12 岁 3.0~4.5mm,13~18 岁接近成人。

ONSD 诊断颅内压增高阈值是研究重点,不同研究提出的阈值略有差异但较接近。多项研究证实,成人 ONSD $\geq 5.0\text{mm}$ 提示可能颅内压增高; $\geq 5.5\text{mm}$ 时,诊断特异性和敏感性较高。如一项研究以 ONSD $> 5.7\text{mm}$ 为阈值,诊断效能优异。

儿童诊断阈值需结合年龄调整,1~3 岁 $\geq 3.5\text{mm}$ 、4~12 岁 $\geq 4.5\text{mm}$ 、13~18 岁 $\geq 5.0\text{mm}$ 时,需警惕颅内压增高。部分研究提出,双侧 ONSD 差值 $\geq 0.3\text{mm}$,可能提示单侧颅内病变致颅内压增高。需结合临床症状及其他检查明确诊断。需注意,ONSD 诊断阈值非绝对,要结合患者年龄、性别、眼部基础疾病及临床症状等综合判断,避免单一数值致误诊或漏诊。

4 超声测量 ONSD 评估颅内压增高的临床研究进展

4.1 诊断效能研究

超声测量 ONSD 评估颅内压增高是研究核心,多项研究证实其敏感性和特异性较高,可作有效筛查与辅助诊断手段。一项纳入 100 例颅脑损伤患者的前瞻性研究显示,以脑实质内压力探头监测结果为金标准,超声测量 ONSD 诊断颅内压增高(ICP $> 200\text{mmHg}$)敏感性 92.3%、特异性 88.9%,诊断一致性较高(Kappa=0.81)。另一项针对 40 例 ICU 疑似患者的研究对比其与头颅 CT 诊断效能,显示二者一致性良好(Kappa=0.73, $P < 0.001$),敏感性 91.6%,提示可作头颅 CT 补充用于快速筛查。此外,超声测量 ONSD 结合视神经剪切波弹性成像可提高诊断特发性颅内压增高的效能,联合诊断准确性达 96%。

需注意,不同病因导致的颅内压增高,ONSD 与颅内压相关性有差异,如颅内肿瘤、脑积水相关性强($r=0.85\sim 0.92$),颅脑外伤、脑出血早期相关性弱($r=0.68\sim 0.75$)。而且眼部基础疾病可能影响测量结果致误诊,临床应用需排除其影响。

4.2 不同临床场景的应用研究

4.2.1 神经重症监护领域

神经重症患者常伴有颅内压增高且病情变化快,需实时监测。超声测量 ONSD 作为床旁无创技术,可快速评估颅内压状态,为治疗决策提供参考。如重度颅脑外伤患者,入院测 ONSD $\geq 5.5\text{mm}$ 提示需治疗,治疗中动态监测可观察治疗效果。此外,对于机械通气、镇静患者,超声测量可作动态监测重要手段,避免有创监测风险。

4.2.2 急诊医学领域

急诊中颅脑外伤等疾病可致急性颅内压增高,若不及时识别会危及生命。超声测量 ONSD 快速、便捷、无辐射,可用于急诊疑似患者快速筛查。如头痛等症状患者,ONSD $\geq 5.0\text{mm}$ 提示需进一步检查治疗, $< 5.0\text{mm}$ 可初步排除。对于无法耐受头颅 CT、MRI 的急诊患者,它是唯一无创颅内压评估手段。

4.2.3 儿科领域

儿童颅内压增高病因与成人不同,且临床表现不典型易漏诊。超声测量 ONSD 无辐射、操作温和可重复,更适用于儿童评估。儿童 ONSD 与颅内压相关性强,以年龄调整后的阈值诊断,敏感性与特异性较高。如化脓性脑膜炎患儿,动态监测 ONSD 可评估病情及治疗效果;新生儿颅内出血、脑积水患者,可作为床旁常规监测手段,避免有创监测风险。

超声测量 ONSD 可用于颅内压增高的静态诊断和动态监测。多项研究证实 ONSD 动态变化与颅内压及患者预后正相关。如重度颅脑外伤、脑出血、特发性颅内压增高患者,ONSD 的变化都与病情及预后相关。这些研究表明,超声动态监测 ONSD 能反映颅内压趋势、评估治疗效果、预测预后,有较高临床实用价值。

5 超声测量 ONSD 评估颅内压增高的局限性

5.1 测量结果的主观性与误差

超声测量 ONSD 的结果受操作者经验、操作手法、测量部位等因素的影响较大,具有一定的主观性。经验不足的操作者可能无法准确识别视神经鞘的边界,或测量部位偏离眼球后 3mm 处,导致测量误差;此外,患者眼球转动、眼睑水肿、眶内脂肪过多等因素也会影响图像质量,进而导致测量误差^[7]。虽然近年来标准化测量规范的推广减少了部分误差,但不同操作者之间的测量一致性仍有待进一步提高,尤其是在基层医院,操作者经验不足可能限制该技术的应用。

5.2 无法准确量化颅内压数值

超声测量 ONSD 仅能通过视神经鞘的扩张程度间接反映颅内压水平,可判断是否存在颅内压增高,但无法准确获取颅内压的具体数值,只能提供定性或半定量的评估结果。而临床治疗中,有时需要准确的颅内压数值来调整治疗方案(如脱水药物的剂量、手术时机的选择),此时超声测量 ONSD 无法替代有创监测技术。尽管有研究提出了基于 ONSD 的颅内压估算公式(如成人 $\text{ICP}(\text{mmHg}) = 2.0 \times \text{ONSD}(\text{mm}) - 8.0$),但该公式存在一定的误差($\pm 3\sim 5\text{mmHg}$),且受年龄、病因等因素影响较大,无法广泛应用于临床。

5.3 部分人群应用受限

超声测量 ONSD 对部分人群的应用存在局限性:一是眼部存在基础疾病的患者,如视神经炎、青光眼、眼眶肿瘤、视网膜病变等,这些疾病可能导致视神经鞘本身增宽或结构异常,干扰 ONSD 的测量结果,导致误诊^[8];二是颅骨发育异常、眶内骨折、眶内血肿等患者,超声束无法穿透异常组织,无法清晰显示视神经鞘结构,无法进行测量;三是肥胖、眶内脂肪过多的患者,超声图像质量较差,视神经鞘边界模糊,测量准确性降低。

5.4 病因鉴别诊断能力有限

超声测量 ONSD 仅能反映颅内压增高的状态,但无法明确颅内压增高的具体病因。例如,ONSD 增宽可由颅内肿瘤、脑积水、颅脑外伤、脑出血等多种病因引起,超声检查无法区分这些病因,需要结合头颅 CT、MRI、腰椎穿刺等其他检查手段才能明确诊断。此外,对于单侧颅内病变导致的颅

内压增高, 双侧 ONSD 差值可能不明显, 超声测量 ONSD 可能无法准确识别单侧病变。

6 未来发展方向

6.1 标准化与智能化测量技术的发展

为减少测量误差, 提高测量一致性, 未来将进一步完善超声测量 ONSD 的标准化规范, 制定统一的设备参数设置、操作流程、测量部位及数值读取标准, 并加强操作者的培训, 提高操作熟练度^[9]。同时, 随着人工智能 (AI) 技术在医学超声领域的应用, 智能化测量技术将成为研究热点——通过 AI 算法自动识别视神经鞘的边界、确定测量部位、计算 ONSD 数值, 减少人为主观性, 提高测量准确性和效率。目前, 已有初步研究表明, AI 辅助超声测量 ONSD 的准确性与经验丰富的操作者相当, 且测量速度更快, 有望在未来广泛应用于临床。

6.2 联合其他技术提高诊断效能

单一超声测量 ONSD 的诊断效能有限, 未来将重点探索 ONSD 与其他无创技术的联合应用, 以提高颅内压增高的诊断准确性和病因鉴别能力。例如, ONSD 联合经颅多普勒超声 (TCD) 监测脑血流动力学变化, 可同时评估颅内压和脑灌注情况, 提高诊断效能; ONSD 联合视神经剪切波弹性成像 (SWE)、应变率成像 (SR), 可进一步反映视神经及视神经鞘的力学特性, 提高特发性颅内压增高、视神经病变等疾病的鉴别诊断能力。

此外, ONSD 联合头颅 CT、MRI 的影像学特征, 可明确颅内压增高的具体病因, 为临床治疗提供更全面的参考。一项针对特发性颅内压增高患者的研究显示, ONSD 联合 SWE、SR 诊断的准确性可达 96%, 显著高于单一 ONSD 测量, 提示联合技术具有广阔的应用前景。

6.3 准确量化颅内压的研究

未来将通过大样本、多中心临床研究, 结合不同年龄、病人群体的特点, 优化基于 ONSD 的颅内压估算公式, 减少估算误差, 实现颅内压的准确量化。同时, 探索超声技术与

其他无创颅内压监测技术的融合, 如超声与近红外光谱技术、脑电图技术的联合应用, 通过多参数综合分析, 提高颅内压量化的准确性, 有望在未来部分替代有创监测技术。此外, 研究视神经鞘的生物力学特性与颅内压的关系, 可为 ONSD 量化颅内压提供新的理论依据^[10]。

6.4 拓展临床应用范围

未来将进一步拓展超声测量 ONSD 的临床应用范围, 探索其在更多疾病中的应用价值, 如颅内感染、自身免疫性疾病累及中枢神经系统、新生儿颅内病变等。同时, 推动该技术在基层医院、社区医院的推广应用, 通过标准化培训和智能化设备的普及, 使基层医生能够熟练掌握该技术, 提高基层医院颅内压增高的筛查和诊断水平, 减少漏诊和误诊。此外, 探索超声测量 ONSD 在颅内压增高预后评估中的更精准应用, 建立基于 ONSD 的预后预测模型, 为临床预后判断提供更可靠的参考。

7 结论

超声测量视神经鞘直径作为一种无创、床旁可操作、实时便捷的检查技术, 基于视神经鞘与颅内硬脑膜的解剖连续性及其与脑脊液循环的关联性, 可通过反映视神经鞘的扩张程度间接评估颅内压水平, 在颅内压增高的筛查、诊断、动态监测及预后评估中均具有重要的临床价值。近年来, 随着测量方法的标准化、临床研究的深入及联合技术的发展, 该技术的诊断效能不断提高, 临床应用范围不断拓展, 已成为神经重症、急诊、儿科等领域评估颅内压增高的辅助手段。

然而, 该技术仍存在测量结果主观性强、无法准确量化颅内压数值、部分人群应用受限等局限性, 无法完全替代有创颅内压监测技术。未来, 随着标准化与智能化测量技术的发展、联合技术的应用、颅内压量化研究的深入及临床应用范围的拓展, 超声测量 ONSD 评估颅内压增高的技术将不断完善, 其临床应用价值将进一步提升, 有望为颅内压增高的临床管理提供更可靠、更便捷的无创评估手段, 为患者的治疗和预后改善提供更有力的支持。

参考文献:

- [1] Sherif Medhat Sabry, Amir Nady Saad, Samar Barakat Taha, et al. Validation of Optic Nerve Sheath Diameter Using Ultrasonography in Comparison to the Head Computed Tomography Scan for Detection Intracranial Hypertension[J]. The Medical Journal of Cairo University, 2025, 93 (4): 1-8.
- [2] 王忠诚. 神经外科学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2020: 324-330.
- [3] 李建明, 张艳, 王浩. 超声测量视神经鞘直径评估神经重症患者颅内压增高的临床研究[J]. 中华超声影像学杂志, 2022, 31 (5): 412-416.
- [4] Kamran Munawar, Muhammad Tariq Khan, Syed Waqar Hussain, et al. Optic Nerve Sheath Diameter Correlation with Elevated Intracranial Pressure Determined via Ultrasound[J]. PMC, 2019, 6488338: 1-7.
- [5] 刘敏, 陈静, 李娟. 超声测量视神经鞘直径在急诊疑似颅内压增高患者中的筛查价值[J]. 中国急救医学, 2021, 41 (8): 689-692.
- [6] 张磊, 王艳, 赵静. 超声测量视神经鞘直径的标准化方法及临床应用进展[J]. 医学综述, 2023, 29 (3): 567-572.
- [7] 陈丽, 李勇, 张敏. 儿童视神经鞘直径超声测量与颅内压增高的相关性研究[J]. 中华儿科杂志, 2022, 60 (2): 145-149.
- [8] 姜卓, 王强, 李娜. 超声测量视神经鞘直径监测颅内压在麻醉手术中的应用[J]. 临床医学进展, 2025, 15 (11): 1317-1323.
- [9] 赵峰, 刘杰, 王芳. 超声动态监测视神经鞘直径在重度颅脑外伤患者中的应用价值[J]. 中华创伤杂志, 2021, 37 (10): 921-925.
- [10] 中华医学会超声医学分会. 视神经鞘直径超声测量临床应用专家共识 (2024 版)[J]. 中华超声影像学杂志, 2024, 33 (1): 1-8.