

超声测量视神经鞘直径在颅脑损伤患者中应用的临床进展

王壮玮, 王景梅*, 李 哲

承德医学院研究生学院, 河北 承德

收稿日期: 2025年2月20日; 录用日期: 2025年3月18日; 发布日期: 2025年3月28日

摘 要

视神经是间脑的一部分, 属于中枢神经的白质, 通过视神经管进入眼眶, 外面包有由三层脑膜延续而来的三层被膜, 视神经鞘来源于硬脑膜, 其内有充满脑脊液的蛛网膜下腔。脑脊液可在颅内和眼眶内蛛网膜下腔之间自由移动, 眼眶内蛛网膜下腔压力变化与颅内蛛网膜下腔相同。当颅内压升高时, 颅内和眼眶内蛛网膜下腔脑脊液充盈, ONSD会扩张增粗。同样颅内压降低也与视神经鞘蛛网膜下腔内脑脊液减少有关。因此在理论上, ONSD可反应颅内压变化。超声测量视神经鞘直径具有连续、动态、简便、安全等优点, 尤其适用于重症患者的颅内压监测。本文就传统颅内压监测手段、超声测量视神经鞘直径在颅脑损伤中的应用及ONSD的局限性等部分对国内外相关研究进展进行综述, 希望能为临床医生提供参考。

关键词

视神经鞘直径, 颅内压, 超声

Clinical Progress of Ultrasonic Measurement of Optic Nerve Sheath Diameter in Patients with Traumatic Brain Injury

Zhuangwei Wang, Jingmei Wang*, Zhe Li

Graduate School of Chengde Medical University, Chengde Hebei

Received: Feb. 20th, 2025; accepted: Mar. 18th, 2025; published: Mar. 28th, 2025

Abstract

The optic nerve is a part of the diencephalon and belongs to the white matter of the central nervous

*通讯作者。

文章引用: 王壮玮, 王景梅, 李哲. 超声测量视神经鞘直径在颅脑损伤患者中应用的临床进展[J]. 生物医学, 2025, 15(2): 425-431. DOI: 10.12677/hjbm.2025.152049

system. It enters the eye socket through the optic nerve tube and is covered by three layers of meninges. The optic nerve sheath originates from the dura mater and contains a subarachnoid space filled with cerebrospinal fluid. Cerebrospinal fluid can freely move between the intracranial and orbital subarachnoid spaces, and the pressure changes in the orbital subarachnoid space are the same as those in the intracranial subarachnoid space. When intracranial pressure increases, the cerebrospinal fluid in the subarachnoid space of the skull and orbit becomes filled, and the ONSD expands and thickens. Similarly, the decrease in intracranial pressure is also related to the reduction of cerebrospinal fluid in the subarachnoid space of the optic nerve sheath. Therefore, on a theoretical basis, ONSD can reflect changes in intracranial pressure. Ultrasound measurement of optic nerve sheath diameter has the advantages of continuity, dynamics, simplicity, and safety, especially suitable for monitoring intracranial pressure in critically ill patients. This article reviews the research progress on traditional intracranial pressure monitoring methods, the application of ultrasound measurement of optic nerve sheath diameter in traumatic brain injury, and the limitations of ONSD both domestically and internationally. It is hoped that this can provide reference for clinical doctors.

Keywords

Optic Nerve Sheath Diameter, Intracranial Pressure, Ultrasound

Copyright © 2025 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

颅脑损伤是指由于跌倒、交通事故、坠楼、工伤事故等外力作用于头部导致软组织、颅骨、颅内损伤的情况，重型颅脑损伤是指头部遭受创伤后，患者昏迷持续超过 6 小时，格拉斯哥评分(Glasgow Coma Scale, GCS) 3~8 分。随着医疗技术不断进步，对颅脑损伤患者的危重症处理已经取得了长足的进步，格拉斯哥预后评分(Glasgow Outcome Scale, GOS)、住院时间、住院花费及死亡率等有了显著的改善，对于颅脑损伤患者的诊治方面，颅内压测量显得至关重要，颅内压(ICP)测量是重症监护病房患者管理的支柱。门罗-凯利学说中指出由于颅骨和硬脑膜的限制，颅内容量保持不变；因此，脑脊液(CSF)、脑和颅内血(静脉和动脉)的体积总和保持恒定。因此，三个成分中任何一个的增加都会引发其他成分的减少和压力差[1]。事实上，视神经包裹在视神经鞘内，视神经鞘与颅内蛛网膜下腔相连并包围视神经蛛网膜下腔。当 ICP 升高时，脑脊液从颅内移入视神经蛛网膜下腔，导致视神经鞘肿胀，直径扩大。因此，ONSD 反映了 ICP 的变化，视神经鞘扩张在乳头后 3 毫米处达到峰值[2]。临床医生可通过超声测量视神经鞘直径来评估颅脑损伤患者颅内压是否升高并为其诊治提供有效的证据。

2. 传统颅内压监测手段

颅内压监测手段包括有创颅内压监测与无创颅内压监测，有创颅内压监测是国际指南推荐并得到国际研究支持的监测方法，目前被视为“金标准”。第一个 ICP 监测工具由 Guillaume [3]引入，指的是连接到测量 ICP 的传感器的心室外引流。尽管侵入性 ICP 监测放置被认为是一种小而安全的手术，但并发症可能是毁灭性的，包括出血、感染等风险。Gelabert-González M [4]等人发现总体出血率为 2.5% (25 例患者)，其中 6 例需要手术清除(4 例脑实质内出血，2 例硬膜外血肿)。脑室外引流(EVD)置入引起颅内出血的两项荟萃分析观察到 0.7%和 0.61%的患者出现明显出血[5] [6]。感染是最常见的并发症，直接影响

神经重症患者住院天数、住院花费及死亡率。Kanter RK 等人回顾性审查了 I-ICP 监测数据,观察到每日感染率为 1.5%,第 5 天的累积风险为 6%,第 9 天为 16%,第 11 天为 21%。他们观察到,在的第一周,第 6 天后下降,表明感染通常与 ICP 探针的插入有关[7]。在 Chatzi M [8]等人的研究中。对于可被视为等同于脑室内 ICP 装置的 EVD,作者表明了方案的应用,包括人员教育、仔细处理 EVD、尽量减少脑脊液采样以及在第 7 天常规更换导管,导致相关感染率从 28%下降至 10.5%。基于上述情况,无创颅内压监测越来越成为研究热点,同时也备受临床医生的重视。

磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)技术已用于估计导水管和枕骨大孔中的 CSF 速度,以便计算脑脊髓 CSF 压力梯度。测量心动周期期间颅液流量(脑脊液流量、动脉流入和静脉流出)可以估计颅骨顺应性和弹性。该方法于 2000 年推出,称为 MR-ICP。它表明无创 ICP 与有创(心室内)测量的 ICP 基本一致($r=0.965$) [1]。磁共振成像虽然可以进行颅内压的评估,但它的缺点是显而易见的,对于血流动力学不稳定的患者或机械通气的患者,是无法进行磁共振检查的,并且转运过程中也存在很大风险,检查所耗费的时间也相对较长,出结果的时间也需要一定的时间,费用昂贵,不能达到连续、动态评估的目的。磁共振成像对于视神经鞘直径的评估来说,有研究报告了评估者内部和评估者之间的一致性,但 Aspidi R [9]等人的研究并未显示类似的一致性强度。

电子计算机断层扫描(Computerised Tomography, CT)也是临床上无创监测颅内压的手段之一,可以通过观察大脑中线移位程度来评估是否存在颅内压升高。对于颅脑损伤的患者,颅内压越高往往提示病情越严重,鹿特丹评分(RCTS)已经成为一种较新的工具,通过计算机断层扫描(CT)估计视神经鞘直径(ONSD)可能是损伤严重程度的另一个有价值的预测因子,特别是因为 ONSD 和 RCTS 都被证明是颅内压(ICP)升高的独立预测因子。Amakhian AO [10]等人的研究表明,ONSD 与右眼和左眼的 RCTS 呈正相关。据观察,平均双眼 ONSD 的增加对应于较高的 RCTS 值($r = 0.368$),具有统计学意义($p = 0.019$)。平均双眼 ONSD ROC 曲线下面积为 0.780 (95% CI: 0.632~0.928, $p = 0.003$),是 RCTS 良好的预测因子。ONSD 阈值为 6.83 mm,等于或高于该值预测严重 RCTS (敏感性: 73.3%,特异性: 80%),阳性预测值(PPV)为 68.7%,阴性预测值(NPV)为 83.3%,比值比(OR)为 11.000 (95% CI: 2.438~49.627; $p = 0.002$)。尽管 CT 和 MRI 相比耗时间更少,费用更低,得出报告速度更快,但对于重症患者仍存在转运风险且无法连续、动态评估颅内压变化,尤其对于脑疝的患者有可能造成治疗的延误。

1982 年,挪威学者 Aaslid 等率先将经颅多普勒超声应用于临床。经颅多普勒超声(Transcranial Doppler, TCD)通过在头皮上放置一个 2 MHz 的换能器来检测脑血流速度的变化——特别是在 Willis 环的颅内动脉。颅内压的变化会导致脑血流动力学改变,因此,经颅多普勒超声已被广泛用于颅内压的评估。TCD 的评价采用两种超声系统,均通过经颞窗和颈总动脉(CCA)颈中点测量左右大脑中动脉(MCAs)的收缩峰值速度(PSV)和舒张期末期血流速度(EDV)。根据测量结果计算平均血流速度(MFV)、搏动指数(PI)和 MCAMFV/carotidMFV (Lindgaard 比率)。Singer KE [11]等人通过测量大脑中动脉血流速度和颈动脉血流速度发现,TCD 系统与重型颅脑损伤患者的颅内压显著相关(右侧 MCA PSV, $p = 0.005$; 左侧 MCA PSV, $p = 0.033$; 右侧 MCA Fv, $p = 0.032$; 左侧 MCA Fv, $p = 0.02$; 右侧 CCA Fv, $p = 0.018$; 左侧 CCA Fv, $p = 0.033$)。TCD 不仅可以对颅内压升高进行定性评估,还可以通过血流动力学参数进行定量评估,目前临床上常用的经典模型是 $nICP = 4.47 \times PI + 12.68$,评估误差范围为 ± 4.2 mmHg。但对于临床医师来说,TCD 操作难度相对较高,对于血流频谱判断也存在一定难度。同时有研究发现,TCD 评估颅内压敏感度比超声测量视神经鞘直径要低[12]。综上所述,超声测量视神经鞘成为临床监测颅内压的最优选择,也越来越被临床医师们所接受。健康患者视神经的平均直径为 3 毫米,视神经被小的蛛网膜下腔(0.1~0.2 毫米厚)和软脑膜鞘(0.3 毫米厚)包围。人视神经的蛛网膜下腔并不是一个单纯充满脑脊液的解剖学空腔,而是一个包括小梁、间隔、支柱的复杂结构。脑脊液可在颅内和眼眶内蛛网膜下腔之间自由移动,眼眶内蛛

网膜下腔压力变化与颅内蛛网膜下腔相同。一旦颅内压升高,压力经脑脊液传导至视神经周围并作用于视神经鞘,就会引起视神经鞘直径的变化。视神经鞘直径与位置相关,其测量方法为患者应取仰卧位并轻轻闭上眼睛,嘱患者尽量保持眼球不动。操作者手握探头,然后将其轻轻地放在患者闭合的眼睑上,以免对眼球施加过大压力。在双眼球后 3 mm 处并垂直于视神经轴测量 ONSD,视神经鞘为围绕在低回声视神经周围的高回声,ONSD 应在高回声外部边界之间进行测量。双眼均进行横断面及矢状面的扫描。Wang [13]等人的研究通过对比颅内压增高患者腰穿前、后 5 min 内 ONSD 的变化发现,ONSD 可随颅内压力改变发生实时变化。在一项最近的观察性研究中,纳入了 56 名年龄超过 18 岁的成年患者,他们因严重急性神经损伤(创伤性或非创伤性)而需要镇静、机械通气和侵入性 ICP 监测,并且格拉斯格昏迷评分(GCS)等于或入 ICU 时低于 8 分,该研究结果为 ONSD 具有统计显著性, p 值为 0.00803 (<0.05),并预测患者 ICP 大于 20 mmHg 的概率。从截点分析中看出,ONSD 值为 5.7 mm 时,该方法的灵敏度最大化(92.9%) (正确识别出更多 ICP > 20 mmHg 的个体) [14]。总而言之,超声测量视神经鞘直径目前已广泛应用于创伤性或非创伤性颅脑损伤颅内压的评估中,在无法置入有创颅内压监测或没有条件置入有创颅内压监测时,我们可以选择超声测量视神经鞘直径来早期评估患者的颅内压水平,为进一步治疗提供有效依据,做到连续、动态地监测颅内压水平,同时也减少患者的转运风险,降低患者的诊疗费用,这些优点尤其适用于神经重症的患者颅内压的评估,如果在基层医院推广应用,将会使一大批颅脑损伤患者获益。

3. 超声测量视神经鞘直径在颅脑损伤患者中的应用

超声测量是神经鞘直径之所以可以用来评估颅脑损伤患者颅内压变化,是基于随着颅内压升高,视神经鞘直径会随之增粗,当颅内压下降时,视神经鞘直径会回缩的特点。Kaur A [15]等人的横断面研究在纳入了 100 名入住神经外科 ICU 的疑似 ICP 升高的创伤性脑损伤(TBI)患者,证实了视神经鞘直径与 GCS 评分显著相关并且与 CT 扫描相比,超声测量视神经鞘直径检测颅内压的敏感性为 93.2%,特异性为 91.1%。ONSD 测量的阳性预测值为 89.1%,阴性预测值为 94.4%。Bender M [16]等人的研究招募了 35 名急性脑出血患者及 20 名健康志愿者,入院时均接受 CT 检查及 ONSD 检查,之后进行连续动态地 ONSD 监测,结果显示健康志愿者中 ONSD 成 100%稳定趋势,而在 35 名急性脑出血患者中,23 名患者 ONSD 趋势不稳定且有可能出现更差结局($p = 0.003$),12 名患者 ONSD 趋势稳定,这一研究证实超声测量视神经鞘直径对颅脑损伤患者预后有一定地预测作用。Ziaei M [17]等人最近的一篇研究纳入了 220 名颅脑损伤的患者,其中 22.7%的 TBI 患者具有高 ICP。ICP 正常患者的左右 ONSD 平均值分别为 3.85 ± 0.83 和 3.85 ± 0.82 mm,显著低于 ICP 异常(高 ICP)患者的平均值 3.85 ± 0.82 和 6.12 ± 0.84 毫米(p 值 < 0.001)。此外,右侧 ONSD 的截止点为 5.13 mm,敏感性为 84%,特异性为 95.29%;左侧 ONSD 的截止点为 5.24 mm,敏感性为 90%,特异性为 95.88%对高 ICP 的诊断具有显著的诊断价值(p 值 < 0.05)。这一研究更进一步展示了视神经鞘直径的测量是一种经济高效的无创颅内压监测方法并且在诊断 TBI 患者的高 ICP 方面具有更高的准确性。超声测量视神经鞘直径不仅用于成人颅脑损伤的评估,同时还可用于儿童。Abbinante G [2]等人对儿童视神经鞘评估进行了综述,其中提到包括对于健康儿童、颅高压儿童、头部外伤儿童及接受手术的儿童 ONSD 的应用,特别要指出的是 ONSD 对于颅高压儿童及头部外伤儿童的诊断尚缺乏统一标准。之后有学者研究 ONSD 在小儿头部外伤中的作用,结果显示为了预测 ICP 升高,ONSD 在 3 mm 处的 AUC 为 0.956 (95% CI 0.896~1)。在 5.1 mm 的截止水平下,ONSD 3 mm 值对 ICP 升高的敏感性和特异性分别为 92.9%和 94.0% [18]。这一研究不仅展示了 ONSD 在小儿头外伤中的作用,也似乎提示了小儿头外伤颅高压时 ONSD 的一个诊断阈值,为后续的研究以及临床工作提供了一个参考。从以上的叙述我们已经充分了解到 ONSD 在评估成人或者儿童颅脑损伤患者颅内压中的应用,国内外很多文

献也报道了其在预测颅脑损伤患者预后方面也具有一定效能。Zhu S [19]等人回顾纳入了 67 例昏迷的急性卒中患者,通过计算机断层扫描(CT)测量 ONSD 及 ETD,结果显示死亡组的 ONSD 明显大于存活组(6.32 ± 0.67 mm vs 5.65 ± 0.62 mm, $t = 4.078$, $p < 0.0001$)。死亡组 ONSD/ETD 比值显著高于存活组(0.28 ± 0.03 vs 0.25 ± 0.02 , $t = 4.625$, $p < 0.0001$)。ONSD 的受试者工作特征曲线下面积为 0.760 (95% CI: 0.637~0.882, $p < 0.0001$)。ONSD/ETD 比率为 0.808 (95% CI: 0.696~0.920, $p < 0.0001$)。这个研究提示我们这两个指标都可以作为评估急性脑卒中昏迷患者的预后工具。ONSD/ETD 比值比单独的 ONSD 更稳定,这在临床实践中是首选。Li C [20]等人研究了 ONSD 对于重症监护病房急性缺血性脑卒中的预后,结果显示,接受 ONSD 监测组出院时预后与未接收 ONSD 监测组在 3 个月后的随访中,结果仍是这样。这一研究发现 ONSD 与 GCS 评分呈负相关($p < 0.05$)。这一结果表明 ONSD 对于评估患者的病情很有价值。随着 ONSD 的增加,患者的状况也越来越差。提示 ONSD 是不良预后的独立预测因子。此外,ONSD 与大面积脑梗死、中线移位、心室压呈正相关。这可能表明,ONSD 可以很好地证明随着中风面积增加或中风恶化,ICP 也是逐渐升高的。超声测量视神经鞘直径在新型冠状病毒期间同样发挥了预测效能。Gültekin H [21]等人的研究发现非幸存者组的中位 ONSD 显著高于幸存者组(5.95 mm vs. 4.15 mm, $p < 0.001$, 预测 ICU 入住期间死亡率的 ONSD 截止值为 5 mm (AUC, 0.985; 敏感性, 98%; 特异性, 90%)。Pansell J [22]等人的研究纳入了 55 名因新冠感染入住 ICU 的患者,排除了 1 名患者,最后入组 54 名患者,其有 11 名 (20.4%)的 ONSD/ED 升高(≥ 0.295 mm)。ONSD/ED 升高的患者平均 ICU-LOS 为 38 天(95% CI 26 至 50)。ONSD/ED 正常的患者的平均 ICU-LOS 为 26 天(95% CI 21 至 30)。两组 12 天 ICU-LOS 之间的差异显著(95% CI 2 至 23, $p = 0.03$)。这项研究表明,ONSD/ED 升高在重症 Covid-19 中很常见,并且与这些患者的 ICU-LOS 时间显著延长相关。

4. ONSD 的局限性

虽然目前已有大量研究证实 ONSD 与 ICP 的关系,但是有部分研究有不同的看法,Wu GB [23]等人的研究纳入了 16 例入院当天接受侵入性 ICP 的患者,动态监测 ONSD,结果显示只有 3 名患者(18.8%)的 ICP 和 ONSD 有良好的一致性,并且特征不完全相同,这些结果可能表明,动态观察 ONSD 和 ICP 值的变化并不密切相关。Hansen HC [24]等人研究发现,当颅内压超过某特定范围,ONSD 与颅内压的线性关系被打破。根据颅内体积/压力关系曲线,小程度的颅内内容物增加并不会导致颅内压立即增高,可能的原因是流动的脑脊液可以进入椎管,且大脑镰和小脑幕有轻微的可拉伸能力。所以,只有当颅内压超过该压力界限才会引起 ONSD 的改变,这种阈值效应出现在所有患者中,但个体间的阈值水平存在差异。视神经鞘蛛网膜下腔内放射状分布的小梁结构将视神经表面的软膜与蛛网膜连接起来,使视神经鞘的蛛网膜下腔不能无限度地扩张。当颅内压超过某一压力范围上限时,尤其是长时间处于高或极高颅内压($>45 \sim 50$ mmHg)时,视神经鞘扩张能力达到饱和,并且视神经鞘可逆性受损导致其不能恢复至基线水平。即使颅内压降至正常范围,超声探测到视神经鞘仍然扩张,即 ONSD 变化相对颅内压变化滞后。若仅依靠 ONSD 指导临床诊断与治疗,阈值效应会使发病前 ONSD 值偏低或视神经鞘弹性偏小的患者因为假阴性而错失治疗机会;滞后效应会使已接受降颅内压治疗且颅内压已恢复正常的患者因为假阳性而面临过度治疗的风险。

5. 总结与展望

综上所述,超声测量视神经鞘直径是一种很好的对于成人或儿童颅脑损伤患者颅内压的无创监测手段。它可以说贯穿了整个诊疗过程,不仅具有颅高压的诊断效能,还具有预测预后的作用,可以在治疗过程中连续、动态地监测颅内压变化,及时发现病情变化,为治疗提供临床依据,使治疗窗口前移,同

时具有方便、快捷、经济等特点，让颅脑损伤患者尤其是重型颅脑损伤患者获益，减少其住院天数，减少住院费用，减少不良预后。但是 ONSD 对于持续高颅压患者诊断存在一定争议，表现在视神经鞘不能无限度扩张，当扩张能力饱和时，视神经鞘会受到不可逆损害，从而影响临床医师对于颅内压地准确判断。

参考文献

- [1] Müller, S.J., Henkes, E., Gounis, M.J., Felber, S., Ganslandt, O. and Henkes, H. (2023) Non-Invasive Intracranial Pressure Monitoring. *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article No. 2209. <https://doi.org/10.3390/jcm12062209>
- [2] Abbinante, G., Vitiello, L., Coppola, A., Salerno, G., Gagliardi, V. and Pellegrino, A. (2023) Optic Nerve Ultrasound Evaluation in Children: A Review. *Diagnostics*, **13**, Article No. 535. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13030535>
- [3] Guillaume, J. and Janny, P. (1951) Continuous Intracranial Manometry; Importance of the Method and First Results. *Revista de Neurología*, **84**, 131-142.
- [4] Gelabert-González, M., Ginesta-Galan, V., Sernamito-García, R., Allut, A.G., Bandin-Diéguez, J. and Rumbo, R.M. (2005) The Camino Intracranial Pressure Device in Clinical Practice. Assessment in a 1000 Cases. *Acta Neurochirurgica*, **148**, 435-441. <https://doi.org/10.1007/s00701-005-0683-3>
- [5] Bauer, D.F., Razdan, S.N., Bartolucci, A.A. and Markert, J.M. (2011) Meta-Analysis of Hemorrhagic Complications from Ventriculostomy Placement by Neurosurgeons. *Neurosurgery*, **69**, 255-260. <https://doi.org/10.1227/neu.0b013e31821a45ba>
- [6] Binz, D.D., Toussaint, L.G. and Friedman, J.A. (2009) Hemorrhagic Complications of Ventriculostomy Placement: A Meta-Analysis. *Neurocritical Care*, **10**, Article No. 253. <https://doi.org/10.1007/s12028-009-9193-0>
- [7] Kanter, R.K., Weiner, L.B., Patti, A.M. and Robson, L.K. (1985) Infectious Complications and Duration of Intracranial Pressure Monitoring. *Critical Care Medicine*, **13**, 837-839. <https://doi.org/10.1097/00003246-198510000-00012>
- [8] Chatzi, M., Karvouniaris, M., Makris, D., Tsimitrea, E., Gatos, C., Tasiou, A., et al. (2014) Bundle of Measures for External Cerebral Ventricular Drainage-Associated Ventriculitis. *Critical Care Medicine*, **42**, 66-73. <https://doi.org/10.1097/ccm.0b013e31829a70a5>
- [9] Aspide, R., Bertolini, G., Belotti, L.M., Albini Riccioli, L., Toni, F., Mazzatenta, D., et al. (2023) Magnetic Resonance-Based Assessment of Optic Nerve Sheath Diameter: A Prospective Observational Cohort Study on Inter- and Intra-Rater Agreement. *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article No. 2713. <https://doi.org/10.3390/jcm12072713>
- [10] Amakhian, A.O., Obi-Egbedi-Ejakpovi, E.B., Morgan, E., Adeyekun, A.A. and Abubakar, M.M. (2023) Correlation between Optic Nerve Sheath Diameter at Initial Head CT and the Rotterdam CT Score. *Cureus*, **15**, e41995. <https://doi.org/10.7759/cureus.41995>
- [11] Singer, K.E., Wallen, T.E., Jalbert, T., Wakefield, D., Spuzzillo, A., Sharma, S., et al. (2021) Efficacy of Noninvasive Technologies in Triaging Traumatic Brain Injury and Correlating with Intracranial Pressure: A Prospective Study. *Journal of Surgical Research*, **262**, 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.12.042>
- [12] Fernando, S.M., Tran, A., Cheng, W., Rochweg, B., Taljaard, M., Kyeremanteng, K., et al. (2019) Diagnosis of Elevated Intracranial Pressure in Critically Ill Adults: Systematic Review and Meta-Analysis. *BMJ*, **366**, l4225. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4225>
- [13] Wang, L., Yao, Y., Feng, L., Wang, Y., Zheng, N., Feng, J., et al. (2017) Noninvasive and Quantitative Intracranial Pressure Estimation Using Ultrasonographic Measurement of Optic Nerve Sheath Diameter. *Scientific Reports*, **7**, Article No. 42063. <https://doi.org/10.1038/srep42063>
- [14] Yic, C.D., Pontet, J., Mercado, M., Muñoz, M. and Biestro, A. (2023) Ultrasonographic Measurement of the Optic Nerve Sheath Diameter to Detect Intracranial Hypertension: An Observational Study. *The Ultrasound Journal*, **15**, Article No. 4. <https://doi.org/10.1186/s13089-022-00304-3>
- [15] Kaur, A., Gautam, P.L., Sharma, S., Singh, V.P. and Sharma, S. (2021) Bedside Ultrasonographic Assessment of Optic Nerve Sheath Diameter as a Means of Detecting Raised Intracranial Pressure in Neuro-Trauma Patients: A Cross-Sectional Study. *Annals of Indian Academy of Neurology*, **24**, 63-68. https://doi.org/10.4103/aian.aian_51_20
- [16] Bender, M., Lakicevic, S., Pravdic, N., Schreiber, S. and Malojcic, B. (2020) Optic Nerve Sheath Diameter Sonography during the Acute Stage of Intracerebral Hemorrhage: A Potential Role in Monitoring Neurocritical Patients. *The Ultrasound Journal*, **12**, Article No. 47. <https://doi.org/10.1186/s13089-020-00196-1>
- [17] Ziaei, M., Moodi, S., Pourafzali, S.M. and Abdolrazaghnejad, A. (2023) Diagnostic Value of the Optic Nerve Sheath in the Diagnosis of Increased Intracranial Pressure in Traumatic Brain Patients. *Advanced Biomedical Research*, **12**, Article No. 128. https://doi.org/10.4103/abr.abr_248_22

-
- [18] Şık, N., Ulusoy, E., Çitlenbik, H., Öztürk, A., Er, A., Yılmaz, D., *et al.* (2022) The Role of Sonographic Optic Nerve Sheath Diameter Measurements in Pediatric Head Trauma. *Journal of Ultrasound*, **25**, 957-963. <https://doi.org/10.1007/s40477-022-00676-1>
- [19] Zhu, S., Cheng, C., Wang, L., Zhao, D., Zhao, Y. and Liu, X. (2022) Prognostic Values of Optic Nerve Sheath Diameter for Comatose Patients with Acute Stroke: An Observational Study. *World Journal of Clinical Cases*, **10**, 12175-12183. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v10.i33.12175>
- [20] Li, C., Wang, C., Meng, Y., Fan, J., Zhang, J. and Wang, L. (2022) Ultrasonic Optic Nerve Sheath Diameter Could Improve the Prognosis of Acute Ischemic Stroke in the Intensive Care Unit. *Frontiers in Pharmacology*, **13**, Article ID: 1077131. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1077131>
- [21] Gültekin, H. and Güven, M. (2022) Optic Nerve Sheath Diameter, Intensive Care Unit Admission and Covid-19-Related-In-Hospital Mortality. *QJM: An International Journal of Medicine*, **116**, 107-113. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcac242>
- [22] Pansell, J., Rudberg, P.C., Bell, M., Friman, O. and Cooray, C. (2022) Optic Nerve Sheath Diameter Is Associated with Outcome in Severe Covid-19. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 17255. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21311-3>
- [23] Wu, G., Tian, J., Liu, X., Wang, Z. and Guo, J. (2022) Can Optic Nerve Sheath Diameter Assessment Be Used as a Non-Invasive Tool to Dynamically Monitor Intracranial Pressure? *Journal of Integrative Neuroscience*, **21**, Article No. 54. <https://doi.org/10.31083/j.jin2102054>
- [24] Hansen, H., Lagrèze, W., Krueger, O. and Helmke, K. (2011) Dependence of the Optic Nerve Sheath Diameter on Acutely Applied Subarachnoidal Pressure—An Experimental Ultrasound Study. *Acta Ophthalmologica*, **89**, e528-e532. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2011.02159.x>