

白丽杨<sup>1</sup>, 李小丹<sup>2</sup>, 王思博<sup>1</sup>, 张洁<sup>1</sup>, 李聪<sup>1,3</sup>, 王丽娟<sup>1</sup>

**摘要:** **目的** 探讨超声测量视神经鞘直径(ONSD)在脑死亡评估中的应用价值。**方法** 本研究共纳入124例患者,包括脑死亡组( $n=34$ )、深昏迷组( $n=28$ )及健康对照组( $n=62$ ),对3组均进行超声测量ONSD。采用Spearman相关性分析评估脑死亡与ONSD、基线特征之间的关系。通过单因素及多因素Logistic回归分析确认ONSD对脑死亡的独立预测价值。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析确定ONSD的最佳截断值并评估其诊断效能。**结果** Spearman相关分析显示,脑死亡与ONSD呈显著正相关( $r=0.825, P<0.001$ )。多因素Logistic回归分析确认ONSD是脑死亡的独立预测因素( $OR=70.874, P<0.05$ , Nagelkerke  $R^2=0.739$ , Hosmer-Lemeshow 检验  $P=0.786$ )。脑死亡组和深昏迷组患者ROC曲线的AUC为0.939(95%CI 88.3~99.4)。最佳截断值为6.005 mm, 敏感度为97.1%, 特异度为78.6%, 阳性预测值(PPV)为84.6%, 阴性预测值(NPV)为95.7%。**结论** 超声测量ONSD对脑死亡评估具有重要的临床应用价值。

**关键词:** 脑死亡; 视神经鞘直径; 无创

**中图分类号:** R741.044; R445.1 **文献标识码:** A

**Application of ultrasonic measurement of optic nerve sheath diameter in assessing brain death** BAI Liyang, LI Xiaodan, WANG Sibao, et al. (Department of Neurology, The First Hospital of Jilin University, Changchun 130021, China)

**Abstract: Objective** To investigate the application value of ultrasound measurement of optic nerve sheath diameter (ONSD) in the assessment of brain death. **Methods** A total of 124 subjects were enrolled and divided into brain death group with 34 patients, deep coma group with 28 patients, and healthy control group with 62 individuals, and ultrasound measurement of ONSD was performed for all three groups. A Spearman correlation analysis was used to investigate the correlation of brain death with ONSD and baseline characteristics. Univariate and multivariate Logistic regression analyses were used to identify the independent predictive value of ONSD for brain death. The receiver operating characteristic (ROC) curve was plotted to determine the optimal cut-off value of ONSD and evaluate its diagnostic efficacy. **Results** The Spearman correlation analysis showed a significant positive correlation between brain death and ONSD ( $r=0.825, P<0.001$ ). The multivariate Logistic regression analysis confirmed that ONSD was an independent predictive factor for brain death (odds ratio=70.874,  $P<0.05$ , Nagelkerke  $R^2=0.739$ , Hosmer-Lemeshow test  $P=0.786$ ). ONSD had an area under the ROC curve (AUC) of 0.939(95%CI 88.3~99.4) in the brain death group and the deep coma group, with an optimal cut-off value of 6.005 mm, a sensitivity of 97.1%, a specificity of 78.6%, a positive predictive value of 84.6%, and a negative predictive value of 95.7%. **Conclusion** Ultrasound measurement of ONSD has an important clinical application value in the assessment of brain death.

**Key words:** Brain death; Optic nerve sheath diameter; Noninvasive measurement

脑死亡(brain death, BD)定义为包括脑干在内的全脑功能不可逆的永久性丧失<sup>[1,2]</sup>。根据既定神经学标准被判定为脑死亡的患者,可在法律上被宣告死亡,并可能因此具备成为器官捐献者的医学条件<sup>[3]</sup>,鉴于脑死亡的诊断关乎死亡判定且涉及重大的伦理责任,因此,早期进行规范化的临床评估至关重要。

脑死亡由多种病因引起,脑水肿和颅内压(intracranial pressure, ICP)升高可能会导致脑疝的发生<sup>[4]</sup>,从而导致脑死亡。在该疾病的发展过程中,由于ICP极度升高,脑部血液供应会停止<sup>[5,6]</sup>。因此,脑死亡与高ICP密切相关。近年来,研究证实,超声测量视神经鞘直径(optic nerve sheath diameter, ONSD)是非侵入性的、可床边操作的,并且能够快速评估高

ICP的方法<sup>[7]</sup>。有研究表明,ONSD与ICP显著相关且呈线性相关<sup>[8]</sup>。Hansen等<sup>[9]</sup>使用超声观察了压力对ONSD的动态变化,并推测压力的增加可能会随着时间的推移导致ONSD的扩张。目前,ONSD的应用研究正日益广泛,涵盖多个临床方向。由于脑死亡与ICP密切相关,而专门评估ONSD作为脑死

收稿日期:2025-10-08;修订日期:2025-11-17

基金项目:吉林省自然科学基金(YDZJ202501ZYTS019);吉林省医药卫生人才专项(JLSRCZX2025-041)

作者单位:(1. 吉林大学白求恩第一医院神经内科,吉林 长春 130021;2. 四平市中心人民医院超声科,吉林 四平 136000;3. 山东省立医院菏泽医院神经内科,山东 菏泽 274000)

通信作者:李小丹, E-mail: 1499623637@qq.com;李聪, E-mail: 339096228@qq.com;王丽娟, E-mail: wanglj66@jlu.edu.cn

亡诊断工具的研究尚不多见。因此,本研究旨在探讨超声测量 ONSD 用于脑死亡评估的价值,重点评估其在早期识别脑死亡患者方面的有效性及临床应用简便性。

### 1 资料与方法

1.1 研究对象 选取 2023 年 10 月—2024 年 4 月期间在吉林大学第一医院神经重症监护病房 (neurological care unit, NCU) 接受治疗的脑死亡、深昏迷患者。健康对照组选取性别和年龄(±2 岁)与之相匹配的非神经系统疾病的门诊患者。

纳入标准:(1)脑死亡组,即被诊断为脑死亡的患者<sup>[3]</sup>;(2)深昏迷组,患者的格拉斯哥昏迷评分为 3 分,因蛛网膜下腔出血、出血性卒中、缺血性卒中等接受重症监护治疗且未被诊断为脑死亡者;(3)健康对照组,接受了除颅内事件之外的医学检查或治疗。

排除标准:(1)年龄<18 岁或>80 岁;(2)存在眼部疾病、视神经炎等;(3)有抽搐或躁动症状且无法配合检查;(4)孕妇;(5)使用中枢神经系统抑制剂,包括抗抑郁药、镇静剂、抗精神病药和抗癫痫药。

1.2 人口特征 基线信息:(1)人口统计学数据,包括年龄、性别、身高、体重、身体质量指数 [BMI=体重(kg)/身高<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>)]、腰围、头围、收缩压、舒张压、平均动脉压和心率;(2)病史,包括脑梗死、脑出血、冠心病、心房颤动、高血压、糖尿病、高脂血症、肺炎、饮酒史和吸烟史。

1.3 超声检测方法 本研究在患者被诊断为 BD 或深昏迷后的 20 min 内进行了超声检测 ONSD。使用 Delica 超声系统(MVU-6202)和 4 MHz 线阵式探头。这项检测由 2 名对彼此结果和患者临床数据均不知情的医生进行<sup>[10]</sup>。2 位医生都调整了声波输出,以符合“尽可能将数值降至最低”的原则。当 ICP 升高时,ONSD 的最大波动发生在眼球后方 3 mm 处

的蛛网膜下腔,而非视神经后方的区域<sup>[11]</sup>,因此 ONSD 是在视神经进入眼球后 3 mm 处进行评估的。2 名研究人员分别测量了患者左眼和右眼的轴向和冠状方向的 ONSD,并将所得的 8 个数值取平均值。

1.4 统计学方法 使用 SPSS 26.0 和 R 4.4.2 进行统计学分析和可视化处理。定性数据通过 [n(%)] 来描述,经检验定量数据均不符合正态分布,以中位数(四分位数间距)[M(P<sub>25</sub>, P<sub>75</sub>)] 来描述。3 组之间的连续变量比较采用 Kruskal-Wallis H 检验,两组之间连续变量的比较采用 Mann-Whitney U 检验,无序分类变量的比较采用  $\chi^2$  检验。采用 Spearman 相关分析来检验脑死亡与 ONSD、基线特征的相关性。对于 ONSD 和脑死亡,运用二元 Logistic 回归分析以确定 ONSD 对脑死亡的独立预测价值。使用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC) 曲线来分析确定 ONSD 的最佳截断值并评估其诊断效能,计算 ROC 曲线下面积(area under the curve, AUC) 及其 95% 置信区间(95% CI),敏感度、特异度、阳性预测值(positive predictive value, PPV) 和阴性预测值(negative predictive value, NPV)。所有统计检验均为双侧检验,以 P<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 基线资料比较 本研究共招募了 80 例 NCU 患者。其中 12 例患者因家属拒绝接受 ONSD 测量而被排除在外,另有 6 例患者因眼部受伤而被排除。对纳入研究与排除患者的基线数据进行比较,结果显示所有指标的差异均无统计学意义。最终 62 例患者被纳入研究:其中脑死亡组 34 例,男性占 79.4%,年龄 51.50(41.50, 56.00) 岁;深昏迷组 28 例,男性占 67.9%,年龄 48.50(40.00, 57.00) 岁,另外,纳入 62 例健康人群为对照组,男性占 72.6%,年龄 49.50(41.25, 56.00) 岁(见表 1)。

表 1 基线资料比较

变量	脑死亡组(n=34)	深昏迷组(n=28)	健康对照组(n=62)	P 值
ONSD [M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ), mm]	6.71(6.44, 6.98)	5.45(4.80, 5.92)	3.45(3.33, 4.95)	<0.001
左眼 ONSD [M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ), mm]	6.78(6.43, 6.93)	5.54(4.66, 5.81)	3.51(3.50, 4.83)	<0.001
右眼 ONSD [M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ), mm]	6.74(6.46, 7.03)	5.33(4.86, 6.10)	3.45(3.33, 5.05)	<0.001
男性 [n(%)]	27(79.4)	19(67.9)	45(72.6)	0.580
年龄 [M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ), 岁]	51.50(41.50, 56.00)	48.50(40.00, 57.00)	49.50(41.25, 56.00)	0.944
身高 [M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ), cm]	170.00(165.00, 175.00)	166.50(160.00, 172.00)	165.00(160.00, 168.00)	0.106
体重 [M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ), kg]	70(60, 75)	65.00(63.00, 72.75)	68(60, 72)	0.778
BMI [M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ), kg/m <sup>2</sup> ]	24.22(23.00, 25.87)	24.31(22.49, 26.18)	25.16(22.77, 26.48)	0.644
头围 [M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ), cm]	57.00(55.75, 58.00)	56.00(55.25, 57.00)	57.00(56.00, 58.00)	0.022
腰围 [M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ), cm]	83.00(78.00, 86.25)	81.00(75.00, 88.00)	82.00(72.00, 89.00)	0.622
高血压 [n(%)]	25(73.5)	17(60.7)	44(71)	0.512

续表

变量	脑死亡组(n=34)	深昏迷组(n=28)	健康对照组(n=62)	P值
糖尿病 [n(%)]	11(32.4)	11(39.3)	21(33.9)	0.835
高脂血症 [n(%)]	15(44.1)	12(42.9)	27(43.5)	0.995
冠心病 [n(%)]	6(17.6)	6(21.4)	6(9.7)	0.290
心房颤动 [n(%)]	4(11.8)	8(28.6)	3(4.8)	0.007
脑梗死史 [n(%)]	6(17.6)	3(10.7)	3(4.8)	0.119
脑出血史 [n(%)]	8(23.5)	3(10.7)	12(19.4)	0.423
吸烟 [n(%)]	6(17.6)	9(32.1)	20(32.3)	0.274
饮酒 [n(%)]	9(26.5)	8(28.6)	19(30.6)	0.910
肺炎 [n(%)]	8(23.5)	11(39.3)	17(27.4)	0.367
收缩压 [M(P <sub>25</sub> ,P <sub>75</sub> ),mmHg]	131.00(120.75,144.75)	135.00(128.75,140.00)	132.00(125.75,148.00)	0.701
舒张压 [M(P <sub>25</sub> ,P <sub>75</sub> ),mmHg]	75.00(66.75,85.00)	71.00(65.00,82.00)	73.00(66.00,82.00)	0.647
平均动脉压 [M(P <sub>25</sub> ,P <sub>75</sub> ),mmHg]	95.33(83.08,103.58)	94.00(85.67,100.67)	92.67(84.67,104.00)	0.943
心率 [M(P <sub>25</sub> ,P <sub>75</sub> ),次/min]	79(71.75,95.25)	83.50(71.00,91.00)	82.00(69.75,88.00)	0.867

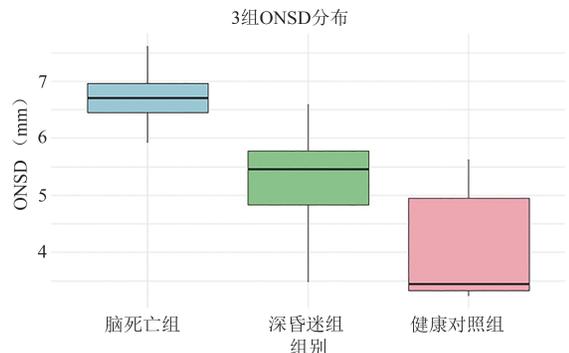
2.2 组间差异分析 基线数据表明,脑死亡组、深昏迷组、健康对照组之间除头围( $P=0.002$ )和心房颤动( $P=0.007$ )差异有统计学意义( $P<0.05$ )外,其余因素差异均无统计学意义。采用Kruskal-Wallis  $H$ 检验来分析3组之间的头围差异,结果显示,各组之间差异具有统计学意义( $\chi^2=7.637, P=0.022$ )。此外,Dunn's 事后检验表明,差异主要来源于深昏迷组与健康对照组之间(校正后 $P=0.018$ ),而其他组间无显著差异(校正后 $P>0.05$ )。另外, $\chi^2$ 检验结果表明,3组之间心房颤动的分布差异有统计学意义( $\chi^2=10.222, P<0.05$ ),通过Fisher精确检验,发现深昏迷组与健康对照组之间存在显著差异(校正后 $P=0.009$ ),而脑死亡组与另外两组之间无显著差异。

Mann-Whitney  $U$ 检验显示,脑死亡组与深昏迷组( $Z=-5.905, P<0.001$ )、深昏迷组与健康对照组( $Z=-5.274, P<0.001$ )以及脑死亡组与健康对照组( $Z=-8.076, P<0.001$ ),任何2组之间的ONSD值差异均有统计学意义( $P<0.001$ )(见图1、表2)。

2.3 脑死亡与ONSD、基线数据的相关性分析 采用Spearman相关分析评估脑死亡与ONSD及基线资料的相关性,结果表明,脑死亡与ONSD之间呈显著正相关( $r=0.825, P<0.001$ )。在基线资料中,仅身高( $r=0.189, P=0.035$ )和既往脑梗死病史( $r=-0.182, P=0.043$ )与脑死亡存在统计学意义上的弱相关性,其余变量的相关性均不显著(见图2)。

在单因素Logistic回归分析中,将脑死亡设为因变量,而其他所有变量则被视作自变量。只有ONSD对预

测脑死亡的差异有统计学意义。鉴于身高、既往脑梗死病史与脑死亡之间的相关性,将这些变量与ONSD一起纳入多因素Logistic回归分析,ONSD被证实为脑死亡的独立预测因素( $OR=70.874, P<0.05, Nagelkerke R^2=0.739, Hosmer-Lemeshow$  检验 $P=0.786$ )。



注:表示不同组别中ONSD的分布情况。蓝色代表脑死亡组,绿色代表深昏迷组,红色代表健康对照组。

图1 不同组别ONSD差异分析

表2 各组间ONSD差异的比较

变量	例数(n)	统计值	P值
分组	124	$H=84.661$	$<0.001$
脑死亡组	34		
深昏迷组	28		
健康对照组	62		
组间差异			
脑死亡组与深昏迷组	62	$Z=-5.905$	$<0.001$
深昏迷组与健康对照组	90	$Z=-5.274$	$<0.001$
脑死亡组与健康对照组	96	$Z=-8.076$	$<0.001$



#### 4 局限性

尽管本研究表明超声测量ONSD这种非侵入性技术可能是用于评估脑死亡的有用且简便的工具,但该研究为单中心设计,样本量较小。因此,未来应开展大样本研究以进一步证实本研究的结果。此外,这种横断面设计无法对深昏迷到脑死亡期间的ONSD的动态变化进行监测。

#### 5 结论

总之,超声测量ONSD是一种操作简便、无创、快捷、经济且可重复性强的评估技术。这种检测方法可能适用于深昏迷状态的患者,并且有助于评估潜在的脑死亡状态以及为器官捐献提供早期贡献。

**伦理学声明:** 本研究方案经吉林大学第一医院伦理委员会批准(批号:21K081-001)。所有参与者均签署了书面知情同意书。

**利益冲突声明:** 作者声明不存在利益冲突。

**作者贡献声明:** 白丽杨负责论文设计、统计学分析及论文撰写;李小丹负责统计学分析、绘制图表及论文修改;李聪、王思博、张洁负责数据收集、文献收集及论文修改;李聪、王丽娟负责拟定写作思路、指导撰写论文并最后定稿。

#### [参考文献]

- [1] Greer DM, Kirschen MP, Lewis A, et al. Pediatric and adult brain death/death by neurologic criteria consensus guideline [J]. *Neurology*, 2023, 101(24): 1112-1132.
- [2] Greer DM, Lewis A, Kirschen MP. New developments in guidelines for brain death/death by neurological criteria [J]. *Nat Rev Neurol*, 2024, 20(3): 151-161.
- [3] Greer DM, Shemie SD, Lewis A, et al. Determination of brain death/death by neurologic criteria: The world brain death project [J]. *JAMA*, 2020, 324(11): 1078-1097.
- [4] Shang P, Zheng R, Wu K, et al. New insights on mechanisms and therapeutic targets of cerebral edema [J]. *Curr Neuropharmacol*, 2024, 22(14): 2330-2352.
- [5] Hawryluk GWJ, Citerio G, Hutchinson P, et al. Intracranial pressure: Current perspectives on physiology and monitoring [J]. *Intensive Care Med*, 2022, 48(10): 1471-1481.
- [6] Cardim D, Griesdale DE, Ainslie PN, et al. A comparison of non-invasive versus invasive measures of intracranial pressure in hypoxic ischaemic brain injury after cardiac arrest [J]. *Resuscitation*, 2019, 137: 221-228.
- [7] Wang LJ, Chen LM, Chen Y, et al. Ultrasonography assessments of optic nerve sheath diameter as a noninvasive and dynamic method of detecting changes in intracranial pressure [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2018, 136(3): 250-256.
- [8] Azevedo H, Neto LL, Berhanu D. Intraindividual optic nerve sheath diameter and intracranial pressure changes: A systematic review and Meta-analysis [J]. *J Neuroimaging*, 2025, 35(5): e70083.
- [9] Hansen HC, Lagrèze W, Krueger O, et al. Dependence of the optic nerve sheath diameter on acutely applied subarachnoidal pressure-an experimental ultrasound study [J]. *Acta Ophthalmol*, 2011, 89(6): e528-e532.
- [10] Pansell J, Bell M, Rudberg P, et al. Optic nerve sheath diameter measurement by ultrasound: Evaluation of a standardized protocol [J]. *J Neuroimaging*, 2022, 32(1): 104-110.
- [11] Stevens RRF, Gommer ED, Aries MJH, et al. Optic nerve sheath diameter assessment by neurosonology: A review of methodologic discrepancies [J]. *J Neuroimaging*, 2021, 31(5): 814-825.
- [12] 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.
- [13] Fernando SM, Tran A, Cheng W, et al. Diagnosis of elevated intracranial pressure in critically ill adults: Systematic review and Meta-analysis [J]. *BMJ*, 2019, 366: l4225.
- [14] Yazar MA. Bedside ultrasonography of the optic nerve sheath in brain death [J]. *Transplant Proc*, 2019, 51(7): 2180-2182.
- [15] Yetiş Gülsoy K, Orhan S, Burak Öztürk S. The role of optic nerve sheath diameter measurement in the diagnosis of brain death [J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2023, 27(13): 5993-5999.
- [16] Topcuoglu MA, Arsava EM, Bas DF, et al. Transorbital ultrasonographic measurement of optic nerve sheath diameter in brain death [J]. *J Neuroimaging*, 2015, 25(6): 906-909.
- [17] Kirschen MP, Lewis A, Greer DM. The 2023 American Academy of Neurology, American Academy of Pediatrics, Child Neurology Society, and Society of Critical Care Medicine Pediatric and Adult Brain Death/Death by Neurologic Criteria Determination Consensus Guidelines: What the critical care team needs to know [J]. *Crit Care Med*, 2024, 52(3): 376-386.
- [18] Wang L, Feng L, Yao Y, et al. Optimal optic nerve sheath diameter threshold for the identification of elevated opening pressure on lumbar puncture in a Chinese population [J]. *PLoS One*, 2015, 10(2): e0117939.
- [19] Donovan J, Oanh PKN, Dobbs N, et al. Optic nerve sheath ultrasound for the detection and monitoring of raised intracranial pressure in tuberculous meningitis [J]. *Clin Infect Dis*, 2021, 73(9): e3536-e3544.
- [20] Wang LJ, Zhang Y, Li C, et al. Ultrasonographic optic nerve sheath diameter as a noninvasive marker for intracranial hypotension [J]. *Ther Adv Neurol Disord*, 2022, 15: 17562864211069744.
- [21] 王翠翠, 邢英琦, 李聪, 等. 视神经鞘超声评估神经系统疾病的研究进展 [J]. *中馈与神经疾病杂志*, 2022, 39(1): 25-27.

引证本文:白丽杨,李小丹,王思博,等. 超声测量视神经鞘直径在脑死亡中的应用 [J]. *中馈与神经疾病杂志*, 2025, 42(11): 963-967.