

• 论著 •

视神经鞘直径动态变化对甘露醇治疗自发性脑出血患者颅内高压的实时评估价值

闫莉婷¹ 万栋栋² 王超³ 李先志¹ 郑鹏¹ 武亚妮¹ 马娟¹ 刘华² 吴丽¹ 沈莉贤¹¹ 石嘴山市第二人民医院重症医学科, 石嘴山 753000; ² 石嘴山市第二人民医院神经外科, 石嘴山 753000; ³ 石嘴山市第二人民医院麻醉科, 石嘴山 753000

通信作者: 刘华, Email: 1766774300@qq.com

【摘要】 目的 探讨床旁超声动态监测视神经鞘直径(ONSD)在无创、实时评估甘露醇治疗自发性脑出血合并颅内高压患者降低颅内压(ICP)中的临床应用价值,为甘露醇个体化给药提供床旁可及的客观依据。**方法** 采用前瞻性自身对照研究设计,选取 2024 年 3 月至 2025 年 12 月石嘴山市第二人民医院重症医学科收治的经头颅 CT 确诊、行腰大池引流且初始 ICP>15 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)需甘露醇脱水治疗的自发性脑出血伴颅内高压成人患者。所有患者均静脉滴注 20% 甘露醇 0.5 g/kg, 30 min 内滴注完毕。于治疗前及治疗后 0.5、1、3、6、8、12 h 同步采用床旁高频超声测量 ONSD,并通过腰大池引流管记录有创 ICP。观察治疗前后 ONSD、ICP 的变化趋势,采用 Pearson 相关分析评估治疗后 1 h ONSD 下降值(Δ ONSD)与 ICP 下降值(Δ ICP)的相关性,组内相关系数(ICC)评价测量信度,Bland-Altman 法分析 ONSD 下降率与 ICP 下降率的一致性。以治疗后 1 h ICP 下降率 $\geq 10\%$ 判定为甘露醇治疗有效,用受试者工作特征曲线(ROC 曲线)分析治疗后 1 h Δ ONSD 对甘露醇疗效的预测价值。**结果** 共纳入 59 例患者,其中男性 35 例,女性 24 例;平均年龄(58.4 ± 10.7)岁。甘露醇治疗后各时间点 ONSD、ICP 均较治疗前下降(F 值分别为 25.634、28.915,均 $P < 0.05$),治疗后 1~6 h 为降压平台期。Pearson 相关分析显示,治疗后 1 h Δ ONSD 与 Δ ICP 呈正相关($r=0.695$, $P < 0.001$),二者下降率一致性良好(95% 一致性界限在 $-8.5\% \sim 9.1\%$)。59 例患者中甘露醇短期治疗有效 42 例,无效 17 例;ROC 曲线分析显示,治疗后 1 h Δ ONSD 预测甘露醇疗效的曲线下面积(AUC)为 0.892,95% 置信区间(95%CI)为 0.815~0.969;最佳截断值为 0.48 mm 时,敏感度为 88.1%,特异度为 81.0%,约登指数为 0.691。进一步亚组分析显示,在基线 ICP 为 15~20 mmHg(32 例)和 ICP>20 mmHg(27 例)的患者中,治疗后 1 h Δ ONSD 均有预测价值,AUC 分别为 0.876 和 0.903。测量者内信度 ICC 为 0.935,测量者间信度 ICC 为 0.912。**结论** 床旁超声动态监测 ONSD 可无创、实时反映甘露醇治疗脑出血伴颅内高压患者的降压效果,与有创 ICP 变化趋势高度一致;治疗后 1 h Δ ONSD ≥ 0.48 mm 可作为甘露醇短期治疗有效的床旁预测指标,适合临床推广。

【关键词】 视神经鞘直径; 颅内压; 超声检查; 甘露醇; 脑出血; 疗效评估; 重症监护**基金项目:** 宁夏回族自治区卫生健康系统科研课题(2024-NWQP-B098)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260106-00011

The real-time evaluation value of dynamic changes in optic nerve sheath diameter for mannitol in treating spontaneous cerebral hemorrhage with intracranial hypertensionYan Liting¹, Wan Dongdong², Wang Chao³, Li Xianzhi¹, Zheng Peng¹, Wu Yanni¹, Ma Juan¹, Liu Hua², Wu Li¹, Shen Lixian¹¹Department of Critical Care Medicine, Shizuishan Second People's Hospital, Shizuishan 753000, China; ²Department of Neurosurgery, Shizuishan Second People's Hospital, Shizuishan 753000, China; ³Department of Anesthesiology, Shizuishan Second People's Hospital, Shizuishan 753000, China

Corresponding author: Liu Hua, Email: 1766774300@qq.com

【Abstract】 Objective To explore the clinical value of dynamic bedside ultrasound monitoring of optic nerve sheath diameter (ONSD) in noninvasive and real-time evaluation of intracranial pressure (ICP)-lowering efficacy of mannitol in patients with spontaneous cerebral hemorrhage combined with intracranial hypertension, so as to provide objective bedside evidence for individualized mannitol administration. **Methods** A prospective self-controlled clinical trial was performed. Adult patients with spontaneous cerebral hemorrhage and intracranial hypertension who were diagnosed by cranial CT, underwent lumbar drainage, and had an ICP>15 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa) and required mannitol dehydration treatment, and were admitted to the department of critical care medicine of Shizuishan Second People's Hospital from March 2024 to December 2025 were enrolled. All subjects received intravenous infusion of 20% mannitol 0.5 g/kg, which was completed within 30 minutes. High-frequency bedside ultrasound was used to measure ONSD simultaneously before and at 0.5, 1, 3, 6, 8, and 12 hours after treatment, and invasive ICP was recorded through the lumbar drainage tube. The trend of changes in ONSD and ICP was observed before and after treatment. Pearson correlation analysis was used to analyze the correlation between decrease in ONSD (Δ ONSD) and the decrease

in ICP (Δ ICP) at 1 hours after treatment; intraclass correlation coefficient (ICC) was adopted to assess measurement repeatability; Bland-Altman analysis was used to evaluate the consistency between ONSD reduction rate and ICP reduction rate. The effective treatment of mannitol was judged by a decrease rate of $\geq 10\%$ in ICP 1 hour after treatment. The receiver operator characteristic curve (ROC curve) was drawn to analyze the predictive efficiency of Δ ONSD on the efficacy of mannitol 1 hour after treatment. **Results** Among the enrolled 59 patients, 35 male and 24 were female, with a mean age of (58.4 ± 10.7) years old. Both ONSD and ICP decreased significantly at all time points after mannitol administration compared with baseline (F values were 25.634, 28.915, respectively, both $P < 0.05$), and the pressure-lowering plateau was observed from 1 to 6 hours post-treatment. Pearson correlation analysis showed a positive correlation between Δ ONSD and Δ ICP 1 hour after treatment ($r = 0.695$, $P < 0.001$), and their reduction rates showed favorable consistency with 95% limit of agreement ranging from -8.5% to 9.1% . Among the 59 patients, 42 were effective and 17 were ineffective in short-term treatment with mannitol. ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) for predicting the efficacy of mannitol using Δ ONSD at 1 hour after treatment was 0.892, with a 95% confidence interval (95%CI) of 0.815–0.969; with the optimal cut-off value of 0.48 mm, sensitivity of 88.1%, specificity of 81.0% and Youden index of 0.691. Subgroup analysis showed that AUC predicted by Δ ONSD at 1 hour after treatment were 0.876 and 0.903 in subgroups with baseline ICP of 15–20 mmHg (32 cases) and > 20 mmHg (27 cases), respectively. The intra-observer ICC was 0.935 and inter-observer ICC was 0.912. **Conclusions** Dynamic bedside ultrasound monitoring of ONSD can noninvasively and in real time reflect the ICP-lowering effect of mannitol, which is highly consistent with the changing trend of invasive ICP. Δ ONSD ≥ 0.48 mm at 1 hour after medication can serve as a quantitative bedside indicator to predict short-term mannitol efficacy, worthy of clinical popularization.

【Key words】 Optic nerve sheath diameter; Intracranial pressure; Ultrasonography; Mannitol; Intracerebral hemorrhage; Therapeutic effect evaluation; Intensive care

Fund program: Scientific Research Project of Health Commission of Ningxia Hui Autonomous Region (2024–NWQP–B098)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430–20260106–00011

脑出血是神经科常见的危急重症,致死率、致残率极高^[1]。颅内压(intracranial pressure, ICP)增高是脑出血患者病情恶化和预后不良的核心环节^[2]。甘露醇作为临床最常用的渗透性脱水剂,是降低 ICP 的一线药物^[3]。然而,在临床实践中如何快速、准确地评估甘露醇的降压效果,从而实现个体化给药(如调整剂量、给药间隔),避免无效治疗或肾功能损伤等不良反应,仍是一个巨大挑战。

目前,评估甘露醇疗效主要依赖有创 ICP 监测,虽为“金标准”,但其操作有创、价格昂贵且可能引发感染和出血,限制了其常规及重复应用^[4–5]。而 CT 等影像学检查无法实现床旁实时动态监测。因此,探寻一种无创、简便、可重复的床旁技术来实时评估甘露醇的疗效具有极其重要的临床意义。

近年来,超声测量视神经鞘直径(optic nerve sheath diameter, ONSD)作为一种无创 ICP 监测技术备受关注^[6],其理论基础在于视神经鞘与颅内蛛网膜下腔相通,ICP 增高可导致视神经鞘扩张^[7]。有研究表明,ONSD 与有创 ICP 值具有良好的相关性^[8–10]。但目前研究多集中于 ONSD 诊断颅内高压的静态价值,而利用 ONSD 的动态变化来实时、定量评估甘露醇降压疗效的研究尚少^[11–12]。本研究旨在通过前瞻性序列监测,探讨动态 ONSD 变化在评估甘露醇治疗脑出血患者颅内高压中的实时价值,以期临床精准治疗提供新依据。

1 资料与方法

1.1 研究设计: 采用单中心、前瞻性、自身配对的观察性研究,严格遵循临床研究四大基本原则设计和自身对照研究设计规范^[13],具体实施与非试验因素控制措施如下。

1.1.1 重复原则: 依据诊断试验样本量公式估算样本量($\alpha = 0.05$, $\beta = 0.10$, 预期灵敏度 0.85, 容许误差 0.1),并考虑 10% 的脱落率,计划纳入 65 例患者;每眼 ONSD 连续测量 3 次,取平均值,每个时间点重复采集数据,以降低随机误差。

1.1.2 对照原则: 采用自身前后对照设计,以患者治疗前基线 ONSD、ICP 值为对照,排除个体基线差异对结果的干扰。

1.1.3 随机原则: 连续纳入符合标准的所有病例,无选择性入组,避免选择偏倚。

1.1.4 均衡原则: 所有患者统一采用相同甘露醇剂量、相同输注速度、相同测量时间点、相同测量设备与操作流程。

1.1.5 非试验因素控制措施: 测量期间全程关闭腰大池引流,禁止释放脑脊液;统一由 2 名经过培训的医师完成测量,测量前统一校准设备;采用测量者单盲法,负责 ONSD 测量的医师全程不接触 ICP 监测数据,不了解患者临床治疗效果,仅按统一流程完成超声测量,避免主观偏倚。

1.2 病例来源: 选择 2024 年 3 月至 2025 年 12 月

本院重症医学科收治的自发性脑出血伴颅内高压患者。

1.2.1 纳入标准:① 经头颅 CT 确诊为自发性脑出血;② 年龄 ≥ 18 岁;③ 入院后行腰大池引流术,且初始有创 ICP >15 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),确诊为颅内高压;④ 临床需行甘露醇脱水降压治疗;⑤ 同意参与本研究,且未同时参与其他干预性临床试验。

1.2.2 排除标准:① 合并严重肝、肾功能不全(血清肌酐大于正常参考值上限 1.5 倍);② 存在眼部创伤或疾病(如青光眼、视网膜脱落、眼球破裂伤等)影响 ONSD 测量;③ 对甘露醇过敏或有使用禁忌证;④ 存在腰大池置管禁忌证。

1.2.3 剔除标准:① 治疗期间更改脱水方案(加用其他脱水药物);② 腰大池引流管脱落、数据缺失大于 20%;③ 中途转院或自动出院。

1.3 伦理学:本研究严格遵循《世界医学协会赫尔辛基宣言》的医学伦理原则,研究方案经医院伦理委员会批准(审批号:2024052819),所有患者或其法定代理人均签署知情同意书,研究过程未对患者造成额外伤害,未泄露患者隐私信息。

1.4 研究方法

1.4.1 有创 ICP 监测:患者取平卧位,腰大池引流置管连接压力传感器,零点校准于耳屏水平,持续监测 ICP;监测期间引流管定时关闭,仅在临床需释放脑脊液时短暂开放,排除脑脊液外流对 ICP 的干扰,该数据为疗效判定“金标准”。

1.4.2 ONSD 测量:采用迈瑞 Mindray M8 型超声诊断仪,高频线阵探头(频率 7.5~10.0 MHz)。参照文献[14]方法测量 ONSD,患者取平卧位,闭眼,眼睑涂耦合剂并覆盖无菌保护膜,探头轻置于眼睑获取眼球后矢状位视神经影像,确保视神经呈低回声带,其周围鞘膜为高回声带;于眼球后 3 mm 处测量视神经鞘两侧高回声缘垂直距离,即 ONSD,每眼测量 3 次,取平均值。

1.4.3 干预与观察时间点:纳入患者于 30 min 内静脉滴注完毕 20% 甘露醇 0.5 g/kg。分别于治疗前及治疗后 0.5、1、3、6、8、12 h 同步记录 ONSD 和 ICP。

1.4.4 观察指标:① 主要指标为各时间点 ONSD、ICP,以及治疗后 1 h ONSD 下降值(decrease in ONSD, Δ ONSD)和 ICP 下降值(decrease in ICP, Δ ICP);② 次要指标为 Δ ONSD 与 Δ ICP 的相关性, ONSD 下降率与 ICP 下降率的一致性,以及 Δ ONSD 预测

甘露醇疗效的敏感度、特异度。 Δ ONSD=治疗前基线 ONSD—治疗后 1 h ONSD。 Δ ICP=治疗前基线 ICP—治疗后 1 h ICP。 ONSD 下降率=[(治疗前基线 ONSD—治疗后 ONSD)/治疗前基线 ONSD] $\times$ 100%。 ICP 下降率=[(治疗前基线 ICP—治疗后 ICP)/治疗前基线 ICP] $\times$ 100%。

1.5 统计学分析:采用 SPSS 26.0 软件分析数据。采用 Shapiro-Wilk 检验验证计量资料均呈正态分布,以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,多时间点 ONSD、ICP 的整体差异采用重复测量方差分析,两两比较采用 LSD-*t* 检验。计数资料以例数或百分比表示。采用 Pearson 直线相关分析评估治疗后 1 h Δ ONSD 与 Δ ICP 的线性相关性,采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评价测量者内信度、间信度,采用 Bland-Altman 法分析 ONSD 下降率与 ICP 下降率的一致性。以治疗后 1 h ICP 下降率 $\geq 10\%$ 定义为甘露醇短期治疗有效,用受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线)分析治疗后 1 h Δ ONSD 对甘露醇疗效的预测价值,计算曲线下面积(area under the curve, AUC)、最佳截断值、敏感度、特异度、约登指数,同时按基线颅内压水平分层进行不同病情严重程度患者的亚组分析。设定检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧)。

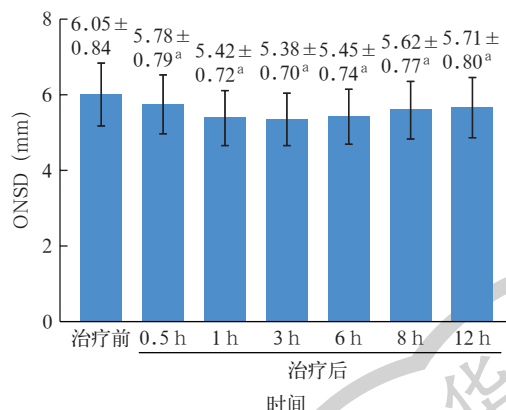
2 结果

2.1 患者基线特征:研究初期筛查 104 例患者,其中符合纳入标准 76 例,排除 11 例,剔除数据不全 6 例,最终纳入 59 例。59 例患者中男性 35 例,女性 24 例;年龄(58.4 ± 10.7)岁。基线数据: ONSD 为(6.05 ± 0.84)mm, ICP 为(18.95 ± 3.61)mmHg, 格拉斯哥昏迷评分(Glasgow Coma Score, GCS)为(8.04 ± 1.68)分;出血部位:基底节区 38 例,丘脑 11 例,脑叶 7 例,小脑 3 例;平均出血量为(35.6 ± 12.8)mL。

2.2 甘露醇治疗后 ONSD 与 ICP 的动态变化:甘露醇治疗后 ONSD、ICP 的变化趋势见图 1~2。重复测量方差分析结果显示,甘露醇治疗后各时间点 ONSD 差异有统计学意义($F=25.634$, $P<0.05$),各时间点 ICP 差异也有统计学意义($F=28.915$, $P<0.05$)。两两比较结果显示,与治疗前相比,治疗后 0.5~12 h 各时间点 ONSD、ICP 均降低(t 值 4.215~9.862,均 $P<0.05$)。

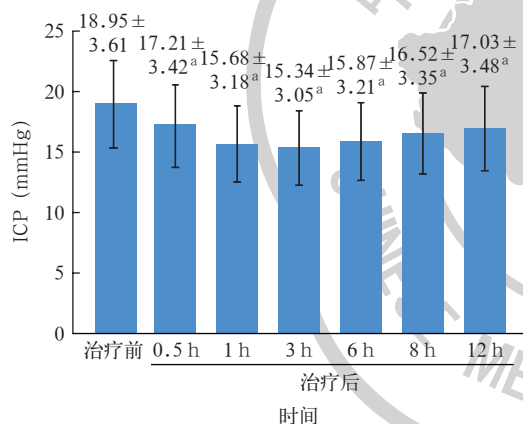
动态变化趋势符合甘露醇药代动力学特征:治

疗后 0.5 h ONSD、ICP 即开始下降;治疗后 1~6 h 为降压平台期, ONSD、ICP 维持低水平且组内无明显波动(均 $P>0.05$);治疗后 8 h 起 ONSD、ICP 开始轻度回升,但仍低于治疗前基线水平。



注: ONSD 为视神经鞘直径; ^a 与治疗前比较, $P<0.05$

图 1 甘露醇治疗前后脑出血伴颅内高压患者 ONSD 的动态变化

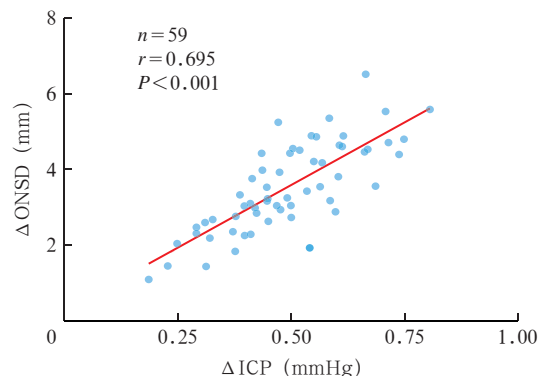


注: ICP 为颅内压; 1 mmHg=0.133 kPa; ^a 与治疗前比较, $P<0.05$

图 2 甘露醇治疗前后脑出血伴颅内高压患者 ICP 的动态变化

2.3 ONSD 与 ICP 的相关性及变化一致性: Pearson 相关分析显示,治疗后 1 h Δ ICP 与 Δ ONSD 呈正相关($r=0.695$, $P<0.001$; 图 3)。Bland-Altman 法显示,治疗后各时间点 ONSD 下降率与 ICP 下降率的 95% 一致性界限为 $-8.5\% \sim 9.1\%$,绝大部分数据点落在一致区间内,两个指标变化率一致性良好。误差浮动在临床可接受范围内通常不会导致错误的治疗决策。

2.4 Δ ONSD 对甘露醇疗效的预测价值: 59 例患者中甘露醇短期治疗有效 42 例,无效 17 例。ROC 曲线分析显示(图 4),治疗后 1 h Δ ONSD 预测甘露醇疗效的 AUC 为 0.892, 95% 置信区间(95% confidence interval, 95%CI)为 0.815~0.969;当 Δ ONSD 截断值为 0.48 mm 时,预测敏感度为 88.1%,特异度为 81.0%,约登指数为 0.691,表明 Δ ONSD 具有良

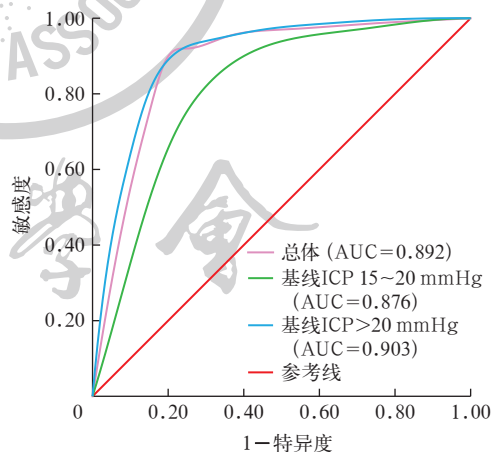


注: Δ ICP 为治疗后 1 h 颅内压下降值, Δ ONSD 为治疗后 1 h 视神经鞘直径下降值; 1 mmHg=0.133 kPa

图 3 甘露醇治疗后 1 h 脑出血伴颅内高压患者 Δ ICP 与 Δ ONSD 的相关性

好的预测准确性。测量者内信度 ICC 为 0.935,测量者间信度 ICC 为 0.912,表明截断值 0.48 mm 在重复测量中具有较好的临床稳定性,可有效降低人工测量和仪器操作带来的偏倚。

进一步亚组分析结果显示,在基线 ICP 为 15~20 mmHg(32 例)和 ICP>20 mmHg(27 例)的患者中,治疗后 1 h Δ ONSD 预测甘露醇短期疗效的 AUC 分别为 0.876(95%CI 为 0.752~1.000)和 0.903(95%CI 为 0.791~1.000),对应的最佳截断值分别为 0.45 mm 和 0.50 mm,表明其预测价值在不同病情严重程度患者中均保持良好,增强了研究结论的普适性。



注: Δ ONSD 为治疗后 1 h 视神经鞘直径下降值, ROC 曲线为受试者工作特征曲线, AUC 为曲线下面积, ICP 为颅内压; 1 mmHg=0.133 kPa; 甘露醇短期疗效有效定义为治疗后 1 h ICP 下降率 $\geq 10\%$

图 4 甘露醇治疗后 1 h Δ ONSD 预测脑出血伴颅内高压患者短期疗效的 ROC 曲线

2.5 床旁操作的可行性: 床旁超声测量单次 ONSD 平均耗时仅为 (2.54 ± 0.46) min,操作简便,可实时获取结果。2 名测量者间信度良好(组内 ICC 为 0.912),表明该方法重复性好,易于标准化。

3 讨论

本研究将动态 ONSD 监测聚焦于实时评估甘露醇治疗脑出血患者颅内高压这一具体临床场景,而非仅仅验证其与 ICP 的静态相关性。与既往多数研究主要探讨 ONSD 对颅内高压的诊断临界值不同^[2-3, 8-9, 15],本研究明确利用治疗后 1 h Δ ONSD ≥ 0.48 mm 作为预测甘露醇短期疗效的定量标准,为临床提供了可直接应用的决策工具。结果表明,ONSD 不仅是 ICP 的静态替代指标,其动态变化更能灵敏、准确地反映甘露醇的降压效果。

3.1 ONSD 动态变化是评估甘露醇疗效的可靠指标:本研究结果显示,ONSD 的变化趋势与有创 ICP 高度同步。输注甘露醇后,ONSD 与 ICP 同步快速下降,在 1~6 h 达到作用平台,8 h 后略有回升。这一时序规律直观地展示了甘露醇的起效、达峰和持续时间,与 Rajajee 等^[16]观察到的变化趋势相似,但本研究提供了更密集的时间点数据,更精细地描绘了疗效曲线。本研究显示,输注甘露醇后 0.5 h 时 ONSD 较治疗前下降即出现统计学意义,这一现象存在明确的科学依据:甘露醇作为高渗性脱水剂,静脉输注后可快速通过血脑屏障形成渗透压梯度,在 0.5 h 内即可快速降低颅内脑组织含水量,使 ICP 迅速下降;而视神经鞘与蛛网膜下腔直接相通,鞘膜内的脑脊液压力会随 ICP 的快速下降同步降低,视神经鞘膜作为富含弹性纤维的结缔组织,在压力差的作用下可快速发生轻度的物理回缩和位移,这一位移幅度可被高分辨率(7.5~10.0 MHz)的超声线阵探头捕捉,因此表现为 ONSD 的下降。

但需明确的是,视神经鞘膜具有一定的生物力学弹性特征,其回缩往往滞后于 ICP 的快速下降,并非完全同步的“即时指标”。视神经鞘膜由硬脑膜延续而来,富含胶原纤维和弹性纤维,其扩张是一个被动的压力依赖性过程,而回缩则受纤维组织的弹性回弹特性影响,当 ICP 因甘露醇治疗快速、急剧下降时,鞘膜的弹性回缩无法完全跟上 ICP 的下降速度,从而出现短暂的滞后效应^[10]。这种滞后性在临床解读 ONSD 结果时需加以重点考虑,若 ICP 已因甘露醇有效治疗迅速降至安全范围,但 ONSD 因组织回弹滞后尚未完全回缩时,临床医生应结合多方面指标综合判断,避免“甘露醇无效”的误判:一是结合患者的临床症状和体征,如意识状态、瞳孔对光反射、肢体活动等,若患者症状改善,即使 ONSD 未达预期下降值,也提示甘露醇治疗有效;二

是结合 ICP 的动态监测结果,本研究为有创 ICP 监测,临床中若无有创监测,可间隔 15~30 min 重复测量 ONSD,观察其是否呈持续下降趋势;三是避免仅凭单次 ONSD 测量结果盲目追加甘露醇剂量,防止因重复给药导致的急性肾损伤、电解质紊乱等不良反应^[17]。

本研究中采用的治疗后 1 h Δ ONSD 最佳截断值(0.48 mm)已综合考虑了测量误差和临床实用性。虽然 0.48 mm 的绝对值接近部分超声设备的理论分辨率极限,但本研究中通过一系列标准化操作流程有效降低了测量偏倚:固定眼球后 3 mm 为测量点;每眼测量 3 次,取平均值;2 名医师独立测量后再取均值,且测量者内信度、间信度均较高(ICC 分别为 0.935 和 0.912),确保了该阈值在临床实践中的可重复性和稳定性,即使存在微小的测量误差,也不会影响临床对甘露醇疗效的整体判断。

3.2 本研究相较于既往研究的创新与临床价值:以往研究多集中于证实 ONSD 与 ICP 在诊断颅内高压时的静态相关性,且多为小样本回顾性研究^[8-9, 10, 15],而本研究通过大样本前瞻性序列监测,将 ONSD 从静态诊断指标转化为具体、动态的疗效评估工具,这是本研究与既往研究的核心差异^[11-12, 18]。文献[11-12, 18]均聚焦于 ONSD 与 ICP 的静态相关性诊断或小样本回顾性疗效观察,未建立甘露醇疗效预测的定量截断值与标准化动态监测流程。同时,本研究明确了治疗后 1 h Δ ONSD ≥ 0.48 mm 这一定量阈值,为临床评估甘露醇短期疗效提供了可操作的床旁标准,弥补了既往研究缺乏定量判定依据的不足。其临床价值在于:① 实现疗效可视化。将抽象的降压效果转化为直观的 ONSD 变化图像,使疗效判断客观化。② 推动治疗精准化。通过实时反馈,有助于避免甘露醇的滥用或过量使用,减少急性肾损伤等并发症的发生风险^[17]。③ 提升基层医院的诊疗能力。该技术设备要求低、学习曲线短,可在资源有限的区域推广,弥补基层医院有创监测不足的短板,与本地区颅脑损伤甘露醇临床应用的实际需求高度匹配^[19]。④ 亚组分析的临床指导价值:本研究中通过按基线 ICP 水平分层的亚组分析证实, Δ ONSD 的预测价值在轻度和重度颅内高压患者中均稳定可靠,且最佳截断值差异极小(0.45 mm 比 0.50 mm),临床应用时无需根据患者基线病情严重程度调整判定标准,简化了临床操作流程,尤其适合急诊和重症监护病

房的快速决策。这一结果也表明,对 ONSD 的动态监测,不仅适用于重度颅内高压的危重症患者,同样适用于中度颅内高压患者的早期疗效评估,扩大了该技术的临床适用范围。

3.3 局限性与展望:本研究为单中心研究,样本量有限,且疗效判定标准(以治疗后 1 h ICP 下降率 $\geq 10\%$ 判定为有效)有待更大样本验证。本研究对象为特定病因患者(自发性脑出血伴颅内高压),结论外推至其他原因(如创伤性脑损伤、脑肿瘤)所致颅内高压需谨慎。未来研究可进一步探讨 ONSD 动态监测对于指导甘露醇停药时机、预测长期神经功能预后的价值。

4 结论

动态监测 ONSD 变化能无创、实时、有效地评估甘露醇对脑出血颅内高压患者的降压疗效,其操作简便,与有创 ICP 监测结果具有良好的趋势一致性,尤其治疗后 1 h Δ ONSD 对判断短期疗效具有重要预测意义,当 Δ ONSD ≥ 0.48 mm 时,提示甘露醇治疗有效的可能性大。该技术为临床医生提供了一种强大的床旁工具,有助于实现甘露醇治疗的个体化与精准化,具有临床应用和推广价值。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 闫莉婷: 酝酿和设计实验, 实施研究, 采集数据, 分析/解释数据, 起草文章, 对文章的知识性内容作批评性审阅, 统计分析, 获取研究经费, 行政、技术或材料支持, 指导, 支持性贡献; 万栋栋: 酝酿和设计实验, 实施研究, 采集数据, 分析/解释数据, 起草文章, 对文章的知识性内容作批评性审阅, 统计分析、指导、支持性贡献; 王超: 酝酿和设计实验, 实施研究、分析/解释数据, 起草文章、对文章的知识性内容作批评性审阅, 统计分析、指导; 李先志: 酝酿和设计实验, 实施研究, 分析/解释数据, 起草文章, 对文章的知识性内容作批评性审阅, 行政、技术或材料支持, 指导, 支持性贡献; 郑鹏: 实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草文章、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析、支持性贡献; 武亚妮: 采集数据、分析/解释数据、起草文章、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析; 马娟: 采集数据、分析/解释数据、起草文章、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析、支持性贡献; 刘华: 酝酿和设计实验、实施研究、起草文章、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析、指导、支持性贡献; 吴丽: 酝酿和设计实验, 起草文章, 对文章的知识性内容作批评性审阅, 行政、技术或材料支持, 支持性贡献; 沈莉贤: 酝酿和设计实验、实施研究、分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、指导

参考文献

- [1] Magid-Bernstein J, Girard R, Polster S, et al. Cerebral hemorrhage: pathophysiology, treatment, and future directions[J]. Circ Res, 2022, 130(8): 1204–1229. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.121.319949.
- [2] 《脑出血后脑水肿管理专家共识》专家组. 脑出血后脑水肿管理专家共识[J]. 实用心脑血管病杂志, 2017, 25(8): 1–6. DOI:

- 10.3969/j.issn.1008–5971.2017.08.001.
- [3] American Heart Association/American Stroke Association. 2022 Guideline for the management of patients with spontaneous intracerebral hemorrhage: a guideline from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. Stroke, 2022, 53(7): e282–e361. DOI: 10.1161/STR.0000000000000407.
- [4] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国脑出血诊治指南(2019)[J]. 中华神经科杂志, 2019, 52(12): 994–1005. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006–7876.2019.12.003.
- [5] Mangat HS, Wu X, Gerber LM, et al. Hypertonic saline is superior to mannitol for the combined effect on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure burdens in patients with severe traumatic brain injury[J]. Neurosurgery, 2020, 86(2): 221–230. DOI: 10.1093/neuros/nyz046.
- [6] Cook AM, Morgan Jones G, Hawryluk GWJ, et al. Guidelines for the acute treatment of cerebral edema in neurocritical care patients[J]. Neurocrit Care, 2020, 32(3): 647–666. DOI: 10.1007/s12028–020–00959–7.
- [7] Hansen HC, Helmke K. The subarachnoid space surrounding the optic nerves. An ultrasound study of the optic nerve sheath[J]. Surg Radiol Anat, 1996, 18(4): 323–328. DOI: 10.1007/BF01627611.
- [8] Dubourg J, Javouhey E, Geeraerts T, et al. Ultrasonography of optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis[J]. Intensive Care Med, 2011, 37(7): 1059–1068. DOI: 10.1007/s00134–011–2224–2.
- [9] 姜辉, 杨柳, 谢志惠, 等. 动态超声测量视神经鞘直径指导院前创伤性脑外伤应用甘露醇的价值[J]. 临床急诊杂志, 2024, 25(4): 164–169. DOI: 10.13201/j.issn.1009–5918.2024.04.002.
- [10] 程明清, 惠子黎, 房亚兰. 比较视神经鞘直径及其改良方法评估颅内压升高的临床价值[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2024, 22(24): 4582–4585. DOI: 10.12102/j.issn.1672–1349.2024.24.030.
- [11] 姜辉, 杨柳, 谢志惠, 等. 动态超声测量视神经鞘直径指导院前创伤性脑外伤应用甘露醇的价值[J]. 临床急诊杂志, 2024, 25(4): 164–169. DOI: 10.13201/j.issn.1009–5918.2024.04.002.
- [12] Fu ZF, Peng L, Guo LC, et al. Post–craniotomy intracranial pressure monitoring: a novel approach combining optic nerve sheath diameter ultrasonography and cervical–cerebral arterial ultrasound[J]. Front Neurol, 2025, 15: 1472494. DOI: 10.3389/fneur.2024.1472494.
- [13] 中国医师协会重症医学医师分会神经重症专业委员会. 国家神经系统疾病医疗质量控制中心神经重症委员会. 神经重症医师核心知识和能力: 基于德尔菲法及名义小组法的中国专家共识[J/OL]. 中华重症医学电子杂志, 2023, 9(1): 1–8. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096–1537.2023.01.001.
- [14] 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. DOI: 10.1111/j.1553–2712.2007.00031.x.
- [15] 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. DOI: 10.1007/s00134–018–5305–7.
- [16] Rajasee V, Vanaman M, Fletcher JJ, et al. Optic nerve ultrasound for the detection of raised intracranial pressure[J]. Neurocrit Care, 2011, 15(3): 506–515. DOI: 10.1007/s12028–011–9606–8.
- [17] 中华医学会神经外科学分会小儿学组, 中华医学会神经外科学分会神经重症协作组. 《甘露醇治疗颅内压增高中国专家共识》编写委员会. 甘露醇治疗颅内压增高中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2019, 99(23): 1763–1766. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376–2491.2019.23.002.
- [18] Kim JH, Jeong H, Choo YH, et al. Optimizing mannitol use in managing increased intracranial pressure: a comprehensive review of recent research and clinical experiences[J]. Korean J Neurotrauma, 2023, 19(2): 162–176. DOI: 10.13004/kjnt.2023.19.e25.
- [19] 邵岩, 廉鹏, 焦龙. 不同剂量甘露醇及甘油果糖联合用于颅脑损伤患者的疗效及安全性观察[J]. 宁夏医学杂志, 2024, 46(6): 522–525. DOI: 10.13621/j.1001–5949.2024.06.0522.

(收稿日期: 2026–01–06)

(本文编辑: 保健媛 张耘菲)