

# 颅脑创伤开颅手术后脑池颅内压监测初步探讨

刘俊 张述升 王伟 郭芳 王均伟 王博 李中振 张国斌

**【摘要】** 目的 初步探讨颅脑创伤开颅手术后脑池开放引流监测颅内压(ICP<sub>c</sub>)与脑室外引流监测颅内压(ICP<sub>v</sub>)的相关性和一致性。方法 以2019年5月至2020年7月行开颅血肿清除术的4例颅脑创伤患者作为观察对象,术后第1~7天同时行脑池开放引流和脑室外引流颅内压监测,Pearson相关分析和Bland-Altman一致性检验探讨二者的相关性和一致性。结果 4例患者术后分别获得有效颅内压测值106、87、56和99次,脑室外引流颅内压测值分别为(14.72±5.98)、(11.10±4.49)、(27.29±6.06)和(12.63±5.36) mm Hg,脑池开放引流测值为(14.32±5.44)、(11.20±4.36)、(25.46±5.00)和(12.46±5.21) mm Hg。4例患者术后脑池开放引流与脑室外引流颅内压均呈正相关( $r=0.977, P=0.000; r=0.961, P=0.000; r=0.892, P=0.000; r=0.970, P=0.000$ );二者平均差值为(0.21±1.36) mm Hg,95%LoA为-2.440~2.870( $P=0.003$ )。结论 脑室外引流与脑池开放引流颅内压监测具有良好的相关性和一致性,脑池开放引流颅内压监测可用于颅脑创伤患者的临床诊断与治疗,并有望成为脑室外引流颅内压监测的备选方案。

**【关键词】** 脑损伤,创伤性; 颅内压; 脑脊髓液; 引流术

## Preliminary clinical study on cisternal intracranial pressure monitoring after craniotomy in traumatic brain injury

LIU Jun, ZHANG Shu-sheng, WANG Wei, GUO Fang, WANG Jun-wei, WANG Bo, LI Zhong-zhen, ZHANG Guo-bin

Department of Neurosurgery, Tianjin Huanhu Hospital, Tianjin 300350, China

Corresponding author: ZHANG Guo-bin (Email: cntjzgb@hotmail.com)

**【Abstract】 Objective** To explore the feasibility and accuracy of cisternal intracranial pressure (ICP<sub>c</sub>) monitoring after craniotomy in traumatic brain injury (TBI). **Methods** Four TBI patients underwent evacuation of hematoma were enrolled from May 2019 to July 2020. Ventriculostomy and cisternotomy were performed besides evacuation, and intracranial pressure (ICP) were monitored via the methods of extraventricular drainage (EVD) and cisternal drainage (CD) simultaneously for 7 d after craniotomy. The correlation and consistency between ICP<sub>c</sub> and ventricular ICP (ICP<sub>v</sub>) were observed. **Results** The mean values of ICP<sub>v</sub> were (14.72±5.98), (11.10±4.49), (27.29±6.06) and (12.63±5.36) mm Hg, respectively. The mean values of ICP<sub>c</sub> were (14.32±5.44), (11.20±4.36), (25.46±5.00) and (12.46±5.21) mm Hg, respectively. The correlation coefficients were 0.977 ( $P=0.000$ ), 0.961 ( $P=0.000$ ), 0.892 ( $P=0.000$ ) and 0.970 ( $P=0.000$ ), respectively. Using Bland-Altman consistency evaluation, the mean ICP difference between ICP<sub>v</sub> and ICP<sub>c</sub> was (0.21±1.36) mm Hg, 95%LoA was -2.440-2.870 ( $P=0.003$ ). **Conclusions** ICP<sub>c</sub> and ICP<sub>v</sub> have good linear correlation and consistency. ICP monitoring through the method of cisternotomy and drainage can be applied to the clinical management of patients with TBI, and is likely to become an alternative method for ICP<sub>v</sub>.

**【Key words】** Brain injuries, traumatic; Intracranial pressure; Cerebrospinal fluid; Drainage

This study was supported by Tianjin Key Clinical Discipline Construction Project.

**Conflicts of interest:** none declared

颅内压监测是一种观察颅脑创伤(TBI)患者颅

内压(ICP)和脑灌注压(CPP)变化不可替代的手段。根据美国脑外伤基金会(BTF)发布的第四版《重型颅脑创伤救治指南》<sup>[1]</sup>,主要用于Glasgow昏迷量表(GCS)评分≤8分的患者,与未行颅内压监测的患者相比,颅内压监测可显著降低颅脑创伤患者

doi: 10.3969/j.issn.1672-6731.2020.07.007

基金项目:天津市临床重点学科(专科)建设项目

作者单位:300350 天津市环湖医院神经外科

通讯作者:张国斌,Email:cntjzgb@hotmail.com

住院期间和创伤后 2 周之病死率<sup>[2]</sup>。目前临床常用的有创性颅内压监测方法主要有脑室内、脑实质内、蛛网膜下腔、硬膜下和硬膜外等脑组织颅内压监测,其中脑室外引流术(EVD)是评价颅内压监测的有效性“金标准”<sup>[3]</sup>。开颅血肿清除术后的脑池开放术可持续引流脑脊液,是治疗颅脑创伤患者的一种新兴手术方法<sup>[4]</sup>,可有效排出蛛网膜下腔血性脑脊液、促进脑胶质-淋巴循环,从而缓解或逆转脑脊液移位性水肿、降低颅内高压,同时排出含有有害成分的血性脑脊液,促进正常脑脊液循环的恢复和重建。尽管脑池开放引流术是一种能够术后持续引流脑脊液的新途径,但基于脑池开放引流术的颅内压监测鲜有报道,而且亦较少有临床研究关注开颅手术后经脑池引流监测颅内压(ICPc)与“金标准”经脑室外引流监测颅内压(ICPv)的对比研究。鉴于此,天津市环湖医院对 4 例行开颅血肿清除术的颅脑创伤患者采取经脑池和经脑室外引流的方法监测颅内压,并对两种监测方法的相关性和一致性进行评价,初步探讨经脑池引流监测颅内压在开颅手术后诊断与治疗过程中的应用价值。

## 对象与方法

### 一、病例选择

1. 纳入标准 (1)各种原因导致的颅脑创伤。(2)头部 CT 显示,额叶或颞叶挫裂伤体积  $> 20 \text{ m}^3$ ,急性硬膜下血肿厚度  $> 10 \text{ mm}$ ,基底池受压或中线移位  $> 5 \text{ mm}$ ,昏迷呈进行性加重和(或)双侧瞳孔不等大或双侧瞳孔散大、固定,需行开颅血肿清除术(除外单纯硬膜外血肿)。(3)术前经脑室外引流术监测颅内压,并在神经重症监护病房(NICU)接受阶梯性降低颅内压治疗过程中出现难治性颅内高压[ICP  $> 30 \text{ mm Hg}$  ( $1 \text{ mm Hg} = 0.133 \text{ kPa}$ )且持续时间  $> 15 \text{ min}$ ],需行开颅血肿清除术。(4)轻至中型颅脑创伤患者术前经脑室外引流监测颅内压,但在监测期间神经功能进一步恶化(GCS 评分减少  $> 2$  分),并经 CT 证实颅内出血量增加或出现弥漫性脑肿胀,需行开颅血肿清除术。(5)年龄 16~80 岁。(6)入院时 GCS 评分  $\geq 4$  分。(7)生命体征稳定,无明显手术禁忌证。

2. 排除标准 (1)合并凝血功能障碍、肝肾功能障碍等严重基础病。(2)严重的多发性颅脑创伤。(3)颅脑创伤合并严重胸腹部脏器复合伤。(4)各项血流动力学参数不稳定。(5)入院时 GCS 评分 3 分,

双侧瞳孔散大、固定。(6)患者家属拒绝手术治疗。

3. 一般资料 选择 2019 年 5 月至 2020 年 7 月在我院神经外科行开颅血肿清除术的 4 例颅脑创伤患者,男性 3 例,女性 1 例;年龄 39~68 岁,平均为  $(50.50 \pm 12.34)$  岁;创伤至入院时间 5~7 h,平均  $(6.00 \pm 0.82)$  h;创伤至手术时间 7~9 h,平均为  $(7.88 \pm 0.86)$  h;致伤原因分别为交通事故伤(3 例)或坠落伤(1 例);入院时 GCS 评分 4~12 分,平均  $(7.25 \pm 3.60)$  分;创伤严重程度评分(ISS)18~26 分,平均  $(22.75 \pm 3.95)$  分;Marshall CT 分级均为 VI 级。4 例患者的一般资料参见表 1。

### 二、手术方法

1. 颅内压监测方法 (1)监测仪器:经脑池或经脑室外引流颅内压监测所用引流管均为美国 Medtronic 公司生产的 46118 型导管,术后连接一次性压力传感器,并连接至床旁多导监护仪的有创压力监测模块上。(2)适应证:本组 4 例患者中 3 例(例 1、例 2、例 4)于开颅血肿清除术前即行脑室外引流术,同时监测颅内压,对于监测过程中逐渐出现难治性颅内高压表现,且 GCS 评分下降  $> 2$  分、CT 提示颅内出血量增加或弥漫性脑肿胀者,即刻行开颅血肿清除术,术中切开脑池并于桥前池留置引流管,同时保留脑室外引流管,术后经脑池和脑室外引流监测颅内压。另 1 例(例 3)患者于开颅血肿清除术前即已发生脑疝,故直接行开颅血肿清除术,清除血肿后同时留置脑室外引流管和脑池引流管,经脑池和脑室外引流监测颅内压。(3)脑池引流术:患者仰卧位,气管插管全身麻醉,常规行标准额颞叶大骨瓣开颅或双侧额叶大骨瓣开颅,骨瓣成形,剔除骨瓣后磨平蝶骨嵴达眶上裂,剪开硬脑膜,脑肿胀明显者,可先清除脑挫裂伤或颅内血肿,甚至可先行内减压术如切除额叶或颞极;然后于手术显微镜下仔细分离外侧裂,或者以牵开器牵开额叶,打开视交叉池、颈动脉池和颈动脉外侧池,吸出部分血性脑脊液,广泛解剖 Lilliequist 膜,直至打开桥前池,可见基底动脉、双侧大脑后动脉和小脑上动脉,轻柔操作以避免损伤血管和神经。通常蛛网膜下腔持续冲洗血性脑脊液后,脑组织逐渐松弛,此时在清除脑挫裂伤或硬膜下血肿或释放脑池脑脊液后,若脑组织仍高于颅骨内板 1 cm,则弃骨瓣;否则还纳骨瓣。于桥前池留置脑池引流管,关颅时皮下潜行固定引流管,术后常规引流 7 d。(4)脑室外引流术:术前选择血肿对侧或非优势侧 Kocher 点行侧脑

表 1 4 例颅脑创伤患者一般资料

Table 1. Clinical data of 4 patients with TBI

观察指标	例 1	例 2	例 3	例 4
性别	男性	男性	男性	女性
年龄(岁)	68	47	39	48
创伤至入院时间(h)	6	5	6	7
创伤至手术时间(h)	8	7	7.50	9
致伤原因	交通事故伤	交通事故伤	坠落伤	交通事故伤
入院时 GCS 评分	12(E3V4M5)	5(E1V1M3)	4(E1V1M2)	8(E1V2M5)
入院时 ISS 评分	18	26	26	21
Marshall CT 分级	VI	VI	VI	VI
ICPv( $\bar{x} \pm s$ , mmHg)	14.72 ± 5.98	11.10 ± 4.49	27.29 ± 6.06	12.63 ± 5.36
ICPc( $\bar{x} \pm s$ , mmHg)	14.32 ± 5.44	11.20 ± 4.36	25.46 ± 5.00	12.46 ± 5.21

GCS, Glasgow Coma Scale, Glasgow 昏迷量表(E, eye, 睁眼反应; V, verbalization, 言语反应; M, motor, 运动反应); ISS, Injury Severity Score, 创伤严重程度评分; ICPv, ventricular intracranial pressure, 脑室颅内压; ICPc, cisternal intracranial pressure, 脑池颅内压

室额角穿刺并留置脑室外引流管。开颅血肿清除术操作方法和步骤同脑池引流术,保留脑室外引流管,术后常规引流 7 d。若术后 7 d 颅内压仍居高不下,可暂不拔管,但发生颅内感染的风险明显增加。

2. 围手术期管理 术后常规转入神经重症监护病房,治疗措施包括抬高床头 30°、镇痛与镇静药联合应用(咪达唑仑、右美托咪定、丙泊酚等)、控制血压和血糖,以及保护胃黏膜、营养支持、目标体温管理等对症治疗。对于 ICP > 20 mm Hg 的患者,可加用甘露醇 0.25 g/kg 或 3% 高渗氯化钠溶液 250 ml,通过高渗治疗以降低颅内压;ICP > 25 mm Hg 者,则须经脑池和脑室外间断引流脑脊液,一次开放引流管 5 min,直至颅内压降至正常水平。

3. 观察指标 分别于术后第 1~7 天经脑池和经脑室外引流监测颅内压,以室间孔水平为校准基线,术后第 1~3 天每小时测量 1 次、术后第 4~7 天每 2 小时测量 1 次,每次测量之前须与基线水平进行校准;结合颅内压波形,凡颅内压测值差异显著者,考虑数值漂移,予以剔除。

### 三、统计分析方法

采用 SPSS 20.0 统计软件进行数据处理与分析。计量资料行 Shapiro-Wilk 检验均呈正态分布( $P > 0.05$ ),以均数 ± 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,两种颅内压监测方法的相关性采用 Pearson 相关分析、一致性行 Bland-Altman 一致性检验并计算 95% 一致性界限(LoA)。以  $P \leq 0.05$  为差异具有统计学意义。

## 结 果

本组 4 例患者中 1 例(例 3)术后第 3 天发生迟发性颅内出血和弥漫性脑肿胀,术后第 5 天自动出院,共测量颅内压 68 次,其中 12 次因弥漫性脑肿胀使脑室外和脑池引流不畅而无法显示颅内压波形,最终获有效颅内压监测频次 56 次,经脑室外引流获颅内压测值 16~36 mm Hg、平均(27.29 ± 6.06) mm Hg,经脑池引流测值 16~34 mm Hg、平均为(25.46 ± 5.00) mm Hg。其余 3 例(例 1、例 2、例 4)均测量颅内压 120 次,其中例 1 因监测过程中出现 14 次颅内压波形欠佳、测值偏移过大而被剔除,最终获有效颅内压监测频次 106 次,其中经脑室外引流获颅内压测值 2~28 mm Hg、平均(14.72 ± 5.98) mm Hg,经脑池引流 2~24 mm Hg、平均(14.32 ± 5.44) mm Hg;例 2 有 18 次夜间引流欠佳致颅内压波形欠佳而剔除,最终获有效颅内压监测频次 87 次,经脑室外引流获测值 2~23 mm Hg、平均(11.10 ± 4.49) mm Hg,经脑池引流获测值 4~22 mm Hg、平均(11.20 ± 4.36) mm Hg;例 4 剔除漂移颅内压监测频次 21 次,最终获有效颅内压监测频次 99 次,经脑室外引流测值为 3~25 mm Hg、平均(12.63 ± 5.36) mm Hg,经脑池引流为 4~23 mm Hg、平均(12.46 ± 5.21) mm Hg(表 1)。

Pearson 相关分析,4 例患者术后经脑池引流与经脑室外引流所获颅内压测值均呈正相关关系( $P = 0.000$ ,表 2),其中例 3 因术后出现弥漫性脑肿胀而干扰颅内压波形和测值,经脑室外引流与经脑池引流所获颅内压测值的相关系数略低( $r = 0.892$ ),其余 3 例相关系数均较高( $r = 0.977, 0.961, 0.970$ ),表明二者具有较高的相关性。Bland-Altman 一致性检测,4 例获有效颅内压监测频次共 348 次,经脑室外引流与经脑池引流监测颅内压测值的差值 -4~4 mm Hg、平均(0.21 ± 1.36) mm Hg,95%LoA 为 -2.440~2.870( $P = 0.003$ ),表明经脑池引流与经脑室外引流监测颅内压具有良好的一致性(图 1)。

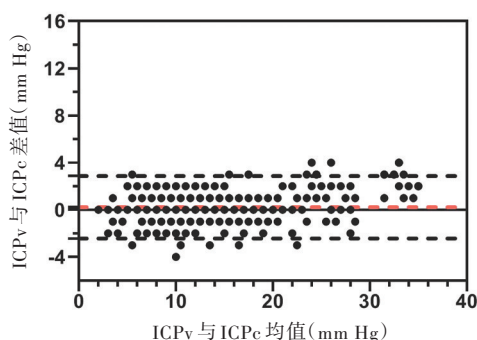
## 讨 论

重型颅脑创伤(sTBI)患者预后较差,病死率高达 30%~50%<sup>[5]</sup>,颅内压监测为其重要诊疗手段。研究显示,颅内压监测并不能有效改善颅脑创伤患者预后,例如,2012 年 Chesnut 等<sup>[6]</sup>开展的颅内压监测评估重型颅脑创伤患者疗效的高质量随机对照

**表 2** 4 例颅脑创伤患者经脑池引流与经脑室外引流监测颅内压的相关分析

**Table 2.** Pearson correlation analysis of ICPc and ICPv in 4 patients with TBI

患者	r 值	P 值
例 1	0.977	0.000
例 2	0.961	0.000
例 3	0.892	0.000
例 4	0.970	0.000



**图 1** Bland-Altman 一致性检验显示, 4 例颅脑创伤患者 ICPc 与 ICPv 具有较高的一致性(95%LoA: -2.440~2.870,  $P=0.003$ ), 其中上方虚线为 95%LoA 上限, 下方虚线为 95%LoA 下限, 中间红色虚线为差值均值

**Figure 1** Bland-Altman consistency test showed that ICPc and ICPv in 4 patients with TBI had a high consistency (95%LoA: -2.440-2.870,  $P=0.003$ ). The upper dotted line was the upper limit of 95%LoA, the lower dotted line was the lower limit of 95%LoA, and the red dotted line in the middle was the mean difference value.

试验显示, 将颅内压控制在  $< 2.66$  kPa, 其临床疗效并未优于未行颅内压监测的传统治疗方式。但是更多的临床证据则支持颅内压监测对颅脑创伤特别是重型颅脑创伤诊疗具有重要意义的观点<sup>[2,7-8]</sup>, 而且, 第四版《重型颅脑创伤救治指南》<sup>[1]</sup>也明确将颅内压监测的证据等级归为 II 类证据、B 级推荐。对急性颅脑创伤患者早期进行持续性颅内压监测, 有助于判断病情进展和指导治疗。目前, 以脑室外引流监测颅内压为基础, 同时联合脑血流量、脑氧代谢、脑电监测等多模态监测方法是神经重症监护病房诊疗颅脑创伤的重要手段<sup>[9-10]</sup>。经脑室穿刺置管测量颅内压获得的监测值准确、可靠且可引流脑脊液, 是目前临床颅内压监测的“金标准”, 但是对先天性裂隙脑室、高颅压或脑肿胀患者而言, 由于脑室狭小或脑室移位变形而使其难以实施脑室外引流术<sup>[3]</sup>; 此外, 还有 5%~7% 的患者在行脑室穿刺过程中发生出血<sup>[11]</sup>, 或引流时间超过 5 天颅内感染风险明显增加(约 5%)<sup>[12]</sup>。而其他有创性颅内压监

测方式, 如经脑实质或硬膜外或蛛网膜下腔等途径均无法实现脑脊液引流, 因此, 探寻可替代脑室外引流颅内压监测的方法即显得尤为迫切。

脑池开放引流术在颅内动脉瘤手术中的应用已较为普及, 但尚未在颅脑创伤手术中广泛应用。刘健和高立达<sup>[13]</sup>的研究显示, 基底池开放引流可有效降低重型颅脑创伤患者病死率。由于该研究缺乏理论模型的支持, 故使得基底池切开引流术的临床应用受到限制。近年来, 基于 Nedergaard 研究团队提出的脑胶质-淋巴循环理论<sup>[14-15]</sup>, 颅脑创伤患者行脑池开放持续引流这一新理念如雨后春笋方兴未艾。Cherian 等<sup>[16]</sup>认为, 脑池开放引流术不仅可以排出血性脑脊液、减轻脑水肿、降低颅内压, 而且可在一定程度上提高骨瓣保留率。王永红等<sup>[17]</sup>的临床观察亦为脑池开放引流术临床应用的有效性提供了佐证。然而, 目前鲜有关于基于脑池开放引流监测颅内压的文献报道, 亦难以检索到有关颅脑创伤开颅手术后经脑池引流与经脑室外引流监测颅内压的对比研究。基于此, 我们尝试对开颅血肿清除术后的颅脑创伤患者进行两种颅内压监测效果的对比分析, 结果提示: 脑池开放引流与传统脑室外引流颅内压监测之间具有良好的相关性和一致性, 脑池开放引流术可以替代脑室外引流术作为开颅手术后颅内压监测的有效方法。脑池开放引流术的优势在于: 脑池的解剖位置具有一定优势, 故创伤后不易被肿胀的脑组织压迫消失, 经脑池行脑脊液引流及颅内压监测实效性强、效率高; 而脑室外引流术对于脑室受压变形、移位的重型颅脑创伤患者引流难度较大, 尤其是穿刺损伤出血和穿刺置管后引流不畅等并发症可严重影响其引流效果, 这是由于脑室外引流主要依赖脑脊液封闭环境下的液压传导, 当脑脊液引流不畅时则严重影响颅内压监测的精确度。笔者认为, 脑池开放引流术目前已具备在手术治疗重型颅脑创伤的过程中监测颅内压、控制性引流和降低颅内高压等功能, 是脑室外引流颅内压监测可替代的有效方法。此外, 与脑室外引流术相比, 脑池开放引流术所引流的是经典脑脊液循环路径终末段“血污”程度严重的脑脊液, 在能够达到颅内压监测和引流脑脊液以降低颅内高压等需求的前提下, 更有助于缓解蛛网膜颗粒回收受损程度; 而且, 其经幕上开颅、显微切开脑池并置管引流这一操作过程可在直视下完成, 理论上其手术损伤较另外再行脑室外引流术的风险更可

控。然而,对于无幕上额颞叶开颅血肿清除术指征的患者仍须采取常规颅内压监测方式,如经脑室外引流或脑实质引流途径;经脑池开放引流监测颅内压对术者解剖学知识和显微操作技术要求较高,同时对手术器械与设备的要求更高。

值得注意的是,本组 4 例患者脑池开放引流术所获颅内压测值略低于脑室外引流术,平均差值( $0.21 \pm 1.36$ ) mm Hg,推测可能与脑脊液自脑室至脑池再至凸面蛛网膜下腔的循环通路中压力不断衰减有关;此外,颅内压  $> 25$  mm Hg 时,如本组例 3 两种颅内压监测方法所获测值均  $> 25$  mm Hg,脑池开放引流与脑室外引流的相关系数略低于颅内压  $< 20$  mm Hg 时的测值,可能由于迟发性血肿或弥漫性脑肿胀引起的颅内高压,以及颅内压压强传递不均匀所致,而且当脑室或脑池受压、引流管贴壁、脑组织或小的凝血块影响脑脊液通畅度时,颅内压监测的精确度亦随之受影响。本研究仅对脑池开放引流监测颅内压用于颅脑创伤的可行性进行初步探索,仅纳入 4 例患者且缺乏颅内压波形和相关衍生参数的分析,故其临床参考价值十分局限。

综上所述,脑池开放引流与脑室外引流颅内压监测具有良好的相关性和一致性,脑池开放引流颅内压监测可用于颅脑创伤的临床诊疗,并有望成为脑室外引流颅内压监测的备选方案。

利益冲突 无

### 参 考 文 献

- [1] Carney N, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, Hawryluk GW, Bell MJ, Bratton SL, Chesnut R, Harris OA, Kisson N, Rubiano AM, Shutter L, Tasker RC, Vavilala MS, Wilberger J, Wright DW, Ghajar J. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury, fourth edition [J]. *Neurosurgery*, 2017, 80:6-15.
- [2] Farahvar A, Gerber LM, Chiu YL, Carney N, Härtl R, Ghajar J. Increased mortality in patient with severe traumatic brain injury treated without intracranial pressure monitoring [J]. *J Neurosurg*, 2012, 117:729-734.
- [3] Padayachy LC, Figaji AA, Bullock MR. Intracranial pressure monitoring for traumatic brain injury in the modern era [J]. *Childs Nerv Syst*, 2010, 26:441-452.
- [4] Cherian I, Beltran M, Landi A, Alafaci C, Torregrossa F, Grasso G. Introducing the concept of "CSF-shift edema" in traumatic brain injury [J]. *J Neurosci Res*, 2018, 96:744-752.
- [5] Jiang JY. The future of diagnosis and treatment of brain trauma in China [J]. *Zhonghua Shen Jing Chuang Shang Dian Zi Za Zhi*, 2019, 5:257-259. [江基尧. 中国颅脑创伤诊治的未来 [J]. 中华神经创伤电子杂志, 2019, 5:257-259.]
- [6] Chesnut RM, Temkin N, Carney N, Dikmen S, Rondina C, Videtta W, Petroni G, Lujan S, Pridgeon J, Barber J, Machamer J, Chaddock K, Celix JM, Cherner M, Hendrix T; Global Neurotrauma Research Group. A trial of intracranial-pressure monitoring in traumatic brain injury [J]. *N Engl J Med*, 2012, 367:2471-2481.
- [7] Abraham P, Rennert RC, Gabel BC, Sack JA, Karanjia N, Warnke P, Chen CC. ICP management in patients suffering from traumatic brain injury: a systematic review of randomized controlled trials [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2017, 159:2279-2287.
- [8] Hawryluk GW, Aguilera S, Buki A, Bulger E, Citerio G, Cooper DJ, Arrastia RD, Diringer M, Figaji A, Gao G, Geocadin R, Ghajar J, Harris O, Hoffer A, Hutchinson P, Joseph M, Kitagawa R, Manley G, Mayer S, Menon DK, Meyfroidt G, Michael DB, Oddo M, Okonkwo D, Patel M, Robertson C, Rosenfeld JV, Rubiano AM, Sahuquillo J, Servadei F, Shutter L, Stein D, Stocchetti N, Taccone FS, Timmons S, Tsai E, Ullman JS, Vespa P, Videtta W, Wright DW, Zammit C, Chesnut RM. A management algorithm for patients with intracranial pressure monitoring: the Seattle International Severe Traumatic Brain Injury Consensus Conference (SIBICC) [J]. *Intensive Care Med*, 2019, 45:1783-1794.
- [9] Dash PK, Zhao J, Hergenroeder G, Moore AN. Biomarkers for the diagnosis, prognosis, and evaluation of treatment efficacy for traumatic brain injury [J]. *Neurotherapeutics*, 2010, 7:100-114.
- [10] Mehta A, Kochanek PM, Tyler - Kabara E, Adelson PD, Wisniewski SR, Berger RP, Sidoni MD, Bell RL, Clark RS, Bell MJ. Relationship of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure with outcome in young children after severe traumatic brain injury [J]. *Dev Neurosci*, 2010, 32:413-419.
- [11] Bauer DF, Razdan SN, Bartolucci AA, Markert JM. Meta-analysis of hemorrhagic complications from ventriculostomy placement by neurosurgeons [J]. *Neurosurgery*, 2011, 69:255-260.
- [12] Tavakoli S, Peitz G, Ares W, Hafeez S, Grandhi R. Complications of invasive intracranial pressure monitoring devices in neurocritical care [J]. *Neurosurg Focus*, 2017, 43:E6.
- [13] Liu J, Gao LD. The value of drainage of basic cranial pool in severe cranio cerebral trauma [J]. *Zhonghua Chuang Shang Za Zhi*, 1995, 5:309-310. [刘健, 高立达. 脑基底池引流在重型颅脑损伤的价值 [J]. 中华创伤杂志, 1995, 5:309-310.]
- [14] Iliff JJ, Wang M, Liao Y, Plogg BA, Peng W, Gundersen GA, Benveniste H, Vates GE, Deane R, Goldman SA, Nagelhus EA, Nedergaard M. A paravascular pathway facilitates CSF flow through the brain parenchyma and the clearance of interstitial solutes, including amyloid  $\beta$  [J]. *Sci Transl Med*, 2012, 4:147ra111.
- [15] Mestre H, Mori Y, Nedergaard M. The brain's glymphatic system: current controversies [J]. *Trends Neurosci*, 2020, 43:458-466.
- [16] Cherian I, Grasso G, Bernardo A, Munakomi S. Anatomy and physiology of cisternostomy [J]. *Chin J Traumatol*, 2016, 19:7-10.
- [17] Wang YH, Liang L, Sun JY, Guo M, Yang H, Yang ZP, Niu XM, Liu ZY, Wang XY, Gong HB. Effect of cisternostomy on prognosis of patients with traumatic brain injury [J]. *Zhonghua Chuang Shang Za Zhi*, 2019, 5:389-393. [王永红, 梁磊, 孙杰源, 郭敏, 杨辉, 杨忠平, 牛小敏, 刘震洋, 王向阳, 全海波. 脑池造瘘术对创伤性脑损伤患者预后的影响 [J]. 中华创伤杂志, 2019, 5:389-393.]

(收稿日期:2020-07-24)

(本文编辑:彭一帆)