DOI:10.16016/j.2097-0927.202306007

儿童年龄相关性正常颅内压及脑灌注压阈值研究

陈小兵,纪文元,梁 平,翟 瑄,周建军,程 杨,赵雪灵 400014 重庆,重庆医科大学附属儿童医院神经外科,儿童发育疾病研究教育部重点实验室,国家儿童健康与疾病临床医学研究中心,儿童发育重大疾病国家国际科技合作基地,儿科学重庆市重点实验室

[**摘要**] **目的** 研究不同年龄段儿童颅内压及脑灌注压相对正常参考值。**方法** 回顾性分析2015年1月至2022年6月重庆医科大学附属儿童医院神经外科收治的单纯硬膜外血肿行血肿清除及颅内压监测植入患儿,术后每小时监测患儿颅内压和动脉血压,分析不同年龄组的颅内压及脑灌注压随时间、年龄的变化特点,以术后稳定期(手术72 h后)颅内压及脑灌注压值作为儿童相对正常参考值,采用百分位数法分别统计计算颅内压及脑灌注压95%范围作为参考值范围。**结果** 共纳入患儿207例,其中<2岁组25例,2~6岁组82例,>6岁组100例。术后不同年龄组颅内压均经历短暂较低水平后迅速升高,而脑灌注压均经历短暂的较高水平,并且两者在术后12~24 h达到高峰和低谷,于术后72 h逐渐达到稳定范围。手术72 h后颅内压范围:<2岁为3.0~8.0 mmHg,2~6岁为5.0~11.0 mmHg,>6岁为6.0~14.0 mmHg;脑灌注压范围:<2岁50.9~68.7 mmHg,2~6岁55.0~73.3 mmHg,>6岁57.3~79.6 mmHg。**结论** 不同年龄段儿童颅内压和脑灌注压相对正常参考值范围应有所不同,建议随年龄增加而增加。

[**关键词**] 颅内压;脑灌注压;正常值;儿童
[**中图法分类号**] R181.32; R443.5; R726.511 [**文献标志码**] A

Study on age-related normal intracranial pressure and cerebral perfusion pressure thresholds in children

CHEN Xiaobing, JI Wenyuan, LIANG Ping, ZHAI Xuan, ZHOU Jianjun, CHENG Yang, ZHAO Xueling
Department of Neurosugery, National Clinical Research Center for Child Health and Disorders, Key Laboratory of Child Development and Disorders of Ministry of Education, Chongqing Key Laboratory of Pediatrics, Children's Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, 400014, China

[**Abstract**] **Objective** To study the normal reference values of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in children of different ages. **Methods** A retrospective study was conducted on the children with simple epidural hematoma who received hematoma removal and implantation for intracranial pressure monitoring in our department from January 2015 to June 2022. The intracranial pressure and arterial blood pressure of the children were monitored per hour after surgery, and the changes in intracranial pressure and cerebral perfusion pressure were analyzed based on time and age in different age groups. The intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in stable period (72 h after surgery) were used as the relative normal reference values, and the 95% range of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure were calculated statistically by percentile method as the reference range. **Results** A total of 207 children were included in this study, including 25 in the <2-year-old group, 82 in the 2~6-year-old group and 100 in the >6-year-old group. Intracranial pressure in different age groups was increased rapidly after a short period of low level, while cerebral perfusion pressure experienced a short period of high level, and both reached a peak and a

[**基金项目**] 重庆市科卫联合医学科研项目(2021MSXM014)
[**通信作者**] 纪文元,E-mail:282207152@qq.com

2097-0927/Copyright © 2023, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

trough from 12 to 24 h after surgery, and gradually reached a stable range at 72 h after surgery. The range of intracranial pressure 72 h after surgery was 3.0~8.0 mmHg for the <2-year-old group, 5.0~11.0 mmHg for the 2~6-year-old group, and 6.0~14.0 mmHg for the >6-year-old group. Cerebral perfusion pressure range was 50.9~68.7, 55.0~73.3, and 57.3~79.6 mmHg, respectively for the above 3 age groups. **Conclusion** The normal ranges of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure are different in children of different ages, and we suggest increasing with age.

[**Key words**] intracranial pressure; cerebral perfusion pressure; normal value; children

Supported by the Joint Medical Scientific Research Project of Chongqing Science and Technology Commission and Chongqing Health Commission (2021MSXM014). Corresponding author: JI Wenyuan, E-mail: 282207152@qq.com

颅内压(intracranial pressure,ICP)是颅腔内容物对颅腔壁的压力,是神经内外科临床工作中一个非常重要的指标,很多颅内疾病都与其关联。然而目前尚无确切的儿童ICP、脑灌注压(cerebral perfusion pressure,CPP)标准,单独根据ICP水平评估病情存在一定障碍[1]。神经外科杂志出版机构(Journal of Neurosurgery Publishing Group, NJSPG)75周年特邀评论文章中指出:儿科脑外伤的ICP、CPP监测和调节方面的高质量研究仍然有限,局限性可能是由于病理学的异质性、患者人群,治疗算法(包括阈值以及结果测量中的敏感性和特异性)所致[2]。单纯硬膜外血肿没有脑损伤且预后好,这部分患者血肿清除术后稳定期的颅内压可能接近于正常儿童的颅内压。因此,为进一步探索儿童年龄特异性正常ICP和CPP阈值,本研究对急性轻中型单纯硬膜外血肿清除术后72 h患儿的颅内压进行了研究,报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究方案获重庆医科大学附属儿童医院伦理评审委员会批准(2023年伦审第187号),纳入2015年1月至2022年6月重庆医科大学附属儿童医院神经外科收治的急性轻中型单纯硬膜外血肿患儿[格拉斯哥昏迷评分(Glasgow Coma Scale,GCS)9~15分]207例,其中男性121例,女性86例;年龄:6个月~15岁4个月[(5.8±2.9)岁],<2岁25例、2~4岁38例、>4~6岁44例,>6~8岁48例、>8~10岁34例、>10~16岁18例。病程:2~70 h(中位数24 h);手术距受伤时间3.5~72.0 h(中位数29 h);致伤原因:跌伤110例、高处坠落伤42例、车祸伤34例、击打伤15例,重物砸伤6例;207例血肿均位于幕上;156例合并颅骨线性或凹陷骨折;14例行神经内镜辅助手术;血肿量:25~60 mL[(36.3±8.2)mL];主要出血点:板障75例,不详70例,脑膜中动脉及分支50例,板障+脑膜中动脉及分支8例,静脉窦出血4例;术后出院时间:6~15 d(中位数9 d);术后ICP监测时间:72~158 h(中位数110 h);出院后6个月随访格拉斯哥预后评分(Glasgow Outcome Scale,GOS)均为5分。清除血肿前测得ICP为(23.1±2.8)mmHg、清除血肿前测得CPP为(50.2±4.5)mmHg。

1.2 纳入与排除标准

纳入标准:①有颅脑创伤病史;②年龄小于16岁;③根据2015年《中国颅脑创伤外科手术指南》[3],影像学提示幕上单纯硬膜外血肿,血肿量>25 mL,合并或不合并颅骨骨折;④根据2011年中国颅脑创伤颅内压监测专家共识[4],有创颅内压监测指征为CT检查发现颅内异常的急性轻中型颅脑创伤患者(GCS 9~15分);⑤血肿量达手术指征且家属同意行硬膜外血肿清除及有创颅内压监测探头置入术;⑥术后复查CT示颅内无残留血肿、中线无移位、脑组织无水肿、脑室形态正常、局部脑组织无受压。排除标准:①术后影像学提示脑损伤或术后明确神经功能障碍;②术后ICP高需使用降压药物者(因此标准排除15例);③颅内监测时间<72 h;④合并其他基础疾病;⑤合并其他脏器的损伤。

1.3 治疗方法

患儿均于入院后24 h(急诊)内在全麻下行硬脑膜外血肿清除术+脑实质型有创颅内压监测探头置入术,探头型号为82-6631,置入深度皮层下2~3 cm,有创颅内压监测探头置人前在生理盐水中调零并准确记录调零校准参数。使用强生公司生产的Codman ICP EXPRESS颅内压监测仪行颅内压监测。术后处理包括止血、补液、营养支持、镇静镇痛、预防癫痫等治疗。依据第3版《关于婴儿、儿童、青少年重型脑创伤诊疗指南》[5]:所有年龄段儿童颅内压治疗阈值为20 mmHg;CPP阈值为40~50 mmHg。本组患儿术后均未使用降颅压药物,颅内压稳定并持续24 h以上可拔除颅内压监测探头。术后每小时记录1次颅内压及相应的动脉血压,并根据公式计算相应的脑灌注压(脑灌注压=平均动脉压-颅内压、平均动脉压=舒张压+1/3脉压

差);记录时保持患儿处于安静放松状态。出院后6个月随访GOS评分。

1.4 统计学分析

应用SPSS 27.0统计软件和Medcalc 19.1软件进行分析。符合正态分布的计量资料以 表示,采用方差分析或t检验,偏态分布的计量资料以四分位数(Q1/Q2/Q3)表示,采用Wilcoxon或Kruskal-Wallis秩和检验;计数资料采用卡方检验或Fisher精确概率法,$P<0.05$为差异有统计学意义。参考值范围的确定:正态分布法或百分位数法(采用Kolmogorov-Smirnov test检验数据是否符合正态分布)。

2 结果

2.1 各年龄组儿童的一般情况

不同年龄组儿童在性别、病程、有无颅骨骨折、手术距离受伤的时间、血肿量、术后出院时间、ICP监测时间、清除血肿前ICP和CPP方面,差异均无统计学意义(表1)。

2.2 各组颅内压及脑灌注压临床特点

术后不同年龄组ICP均经历短暂较低水平,后迅速升高,并在术后12~24 h达到高峰,72 h逐渐下降至稳定范围,且年龄越大,ICP越高(图1);组间两两比较,2~4岁组和>4~6岁组间差异无统计学意义($F=2.4$,$P>0.05$);>6~8岁组、>8~10岁组、>10~16岁组间差异无统计学意义($F=1.3$,$P>0.05$,表2)。术后各组CPP均经历短暂的较高水平,于术后12~24 h下降至低谷,48~72 h趋于稳定,且年龄越大,CPP水平越高(图2);组间比较,2~4岁组和>4~6岁组间差异无统计学意义($F=1.3$,$P>0.05$);>6~8岁组、>8~10岁组、>10~16岁组间差异无统计学意义($F=2.2$,$P>0.05$)。

2.3 各组ICP及CPP参考值

参见表2数据:①2~4岁组和>4~6岁组间差异无统计学意义;>6~8岁组、>8~10岁组、>10~16岁组间差异无统计学意义,可见按照<2岁、2~6岁、>6~16岁的年龄段分组更合理;②ICP及CPP于术后72 h基本稳定。因此,对<2岁、2~6岁、>6~16岁组患儿术后72 h后所有ICP及CPP数据进行分析(<2岁组统计量428个、2~6岁组1 246个,6~16岁组1 824个数据),结果见图3、4,表3、4。各组数据均不符合正态分布,采用百分位法可得出各年龄组ICP正常参考值:<2岁为3.0~8.0 mmHg,2~6岁为5.0~11.0 mmHg,>6岁为6.0~14.0 mmHg;CPP正常参考值:<2岁为50.9~68.7 mmHg,2~6岁55.0~73.3 mmHg,>6岁为57.3~79.6 mmHg。

表1 不同年龄组一般临床资料特点比较

组别	例数	年龄/岁($\bar{x}\pm s$)	男/女(例)	病程/h(Q1/Q2/Q3)	骨折[例(%)]	手术距受伤时间/h(Q1/Q2/Q3)
<2岁	25	1.2±0.4	13/12	7.5/24.0/36.0	15(60)	15.5/28.0/43.5
2~4岁	38	3.6±0.6	22/16	8.0/24.0/46.0	27(71)	12.0/38.0/52.5
>4~6岁	44	4.9±0.5	25/19	10.0/21.0/42.5	33(75)	17.0/27.5/39.0
>6~8岁	48	6.6±0.6	28/20	13.8/24.0/29.0	35(73)	26.0/29.3/49.8
>8~10岁	34	8.4±0.5	22/16	4.8/18.0/30.5	24(71)	13.3/29.0/37.4
>10~16岁	18	12.0±1.4	11/7	23.0/24.0/39.8	14(78)	28.0/34.5/57.9
$F/\chi^2/H$值		793.292	0.430	4.782	2.300	8.731
P值		<0.001	0.995	0.437	0.806	0.120

组别	血肿量/mL($\bar{x}\pm s$)	术后出院时间/h(Q1/Q2/Q3)	ICP监测时间/h(Q1/Q2/Q3)	清除血肿前ICP/mmHg($\bar{x}\pm s$)	清除血肿前CPP/mmHg($\bar{x}\pm s$)
<2岁	33.4±7.4	7.5/8.0/12.0	97.0/110.0/114.0	22.6±2.9	49.3±3.7
2~4岁	33.5±8.0	8.0/9.012.0	98.0/112.0/118.0	23.0±2.6	49.7±4.2
>4~6岁	34.0±7.7	7.0/8.5/11.0	88.0/106.0/116.0	22.9±3.2	50.4±4.1
>6~8岁	34.2±7.7	7.3/8.5/10.0	78.0/103.0/124.5	23.2±2.8	50.9±4.8
>8~10岁	33.8±7.2	8.0/8.0/9.3	82.0/116.0/126.5	23.6±2.9	49.4±5.3
>10~16岁	33.9±6.6	8.0/9.0/9.5	108.0/110.0/129.5	23.6±2.7	51.9±3.8
$F/\chi^2/H$值	0.047	8.106	10.441	0.559	1.219
P值	0.999	0.135	0.063	0.731	0.301

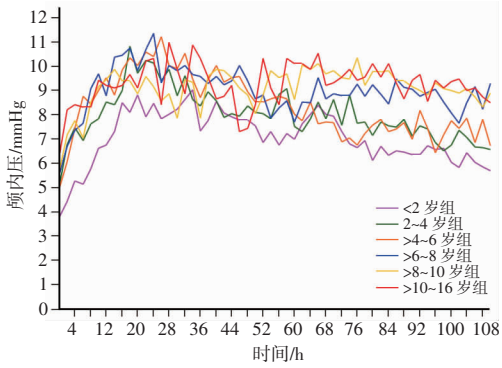


图 1　不同年龄组硬脑膜外血肿清除术后患儿颅内压-时间曲线

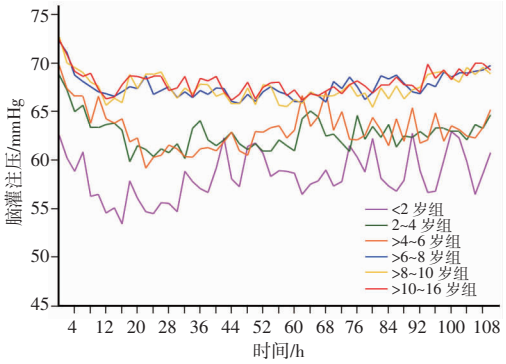


图 2　不同年龄组硬脑膜外血肿清除术后患儿脑灌注压-时间曲线

表 2　不同年龄组硬脑膜外血肿清除术后所有时间段患儿 ICP 及 CPP 值(mmHg,$\bar{x}\pm s$)

组别	ICP	CPP
<2 岁	7.1±1.1	58.4±2.4
2~4 岁	8.0±1.1[a]	62.8±1.7[a]
>4~6 岁	8.4±1.3	63.2±2.1
>6~8 岁	9.0±1.0[a]	67.7±1.3[a]
>8~10 岁	9.1±0.8	67.6±1.4
>10~16 岁	9.3±0.9	68.0±1.2

a:$P<0.01$,与前一年龄组比较

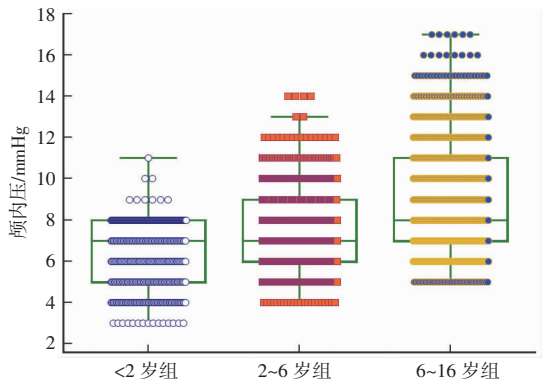


图 3　术后>72 h 患儿颅内压散点图及箱图

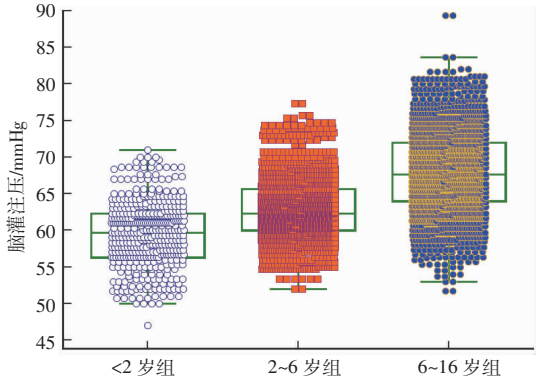


图 4　术后>72 h 患儿脑灌注压散点图及箱图

表 3　不同年龄组术后>72 h 患儿颅内压相关统计值

组别	<2 岁组	2~6 岁组	>6 岁组
最低值/mmHg	3.0	4.0	5.0
最高值/mmHg	11.0	14.0	17.0
平均值/mmHg	6.3	7.2	8.9
中位数/mmHg	7.0	7.0	8.0
K-S 检验[a]	$D=0.197$ $P<0.001$	$D=0.190$ $P<0.001$	$D=0.186$ $P<0.001$
$P_{2.5}$/mmHg	3.0	5.0	6.0
$P_{97.5}$/mmHg	8.0	11.0	14.0

a:数据不符合正态分布

表 4　不同年龄组术后>72 h 患儿脑灌注压相关统计值

组别	<2 岁组	2~6 岁组	>6 岁组
最低值/mmHg	47.0	52.0	51.7
最高值/mmHg	71.0	77.3	89.3
平均值/mmHg	59.5	62.9	68.0
中位数/mmHg	59.7	62.3	68.0
K-S 检验[a]	$D=0.055$ $P=0.022$	$D=0.062$ $P<0.001$	$D=0.035$ $P<0.001$
$P_{2.5}$/mmHg	50.9	55.0	57.3
$P_{97.5}$/mmHg	68.7	73.3	79.6

a:数据不符合正态分布

3　讨论

对患者 ICP 和 CPP 的有效控制是提高神经重症患者预后的重要手段。本组 207 例患儿术前均有不同程度的高 ICP 和低 CPP,但通过及时有效的手术治疗使患者获得良好预后。艾登布鲁克斯医院神经外科对 25 年间脑创伤(traumatic brain injury,TBI)后颅内压监测统计发现,主要参数变化包括 CPP 上升、ICP 下降,关注 ICP 或 CPP 的时间增多了,尽管 TBI 人群年龄在上升,但死亡率明显降低[6]。2007 年的成人重型创伤性脑损伤治疗指南推荐颅内高压治疗阈值为 20 mmHg(证据等级Ⅱ级)[7],而在儿童研究领域大多数研究者在研究设计时也将颅内高压治疗阈值设定为 20 mmHg,并且多项研究均证实 ICP 持续大于

20 mmHg 与不良预后相关[8-10]。根据我们的前期研究发现,不同年龄组的颅脑创伤儿童的 ICP 及 CPP 的治疗阈值水平不同[11-12]。2020 年的研究报道表明:关于 ICP、CPP 监测和 ICP、CPP 治疗阈值,尚缺乏儿童正常 ICP、CPP 范围的证据,建议通过进一步的研究确定婴儿、儿童和青少年的正常 ICP、CPP 参考值以及针对特定年龄的治疗阈值[13]。

为了进一步探索儿童年龄特异性正常 ICP 和 CCP 阈值模型,本研究对单纯创伤性硬膜外血肿患儿 ICP、CPP 进行监测和控制。创伤性硬膜外血肿(traumatic epidural hematomas,tEDH)中无原发脑损伤或原发脑损伤较轻微的单纯硬膜外血肿约占所有颅脑创伤的 13.4%[14],其发病率高。根据 2011 年中国颅脑创伤颅内压监测专家共识,临床上可以在清除硬膜外血肿的同时置入脑实质型有创颅内压监测,使获得的 ICP 和 CPP 监测值无限接近于金标准的脑室外引流的 ICP、CPP 监测值[4]。

儿童颅脑创伤诊疗指南[5]建议儿童均采用颅内压≥20 mmHg 作为治疗阈值。本组病例均未对术后颅内压进行干预,更能准确反映单纯硬膜外血肿清除术后的自然病程。研究结果表明,各年龄段的 ICP 和 CPP 随着年龄增大颅内压和灌注压越高。对各年龄段间的比较发现,2~4、>4~6 岁年龄段间 ICP 和 CPP 差异无统计学意义,>6~8、>8~10、>10~16 岁年龄段间 ICP 和 CPP 差异无统计学意义。因此,可以将儿童 ICP 和 CPP 研究的年龄段分为<2、2~6、>6~16 岁 3 个年龄段,这可能与儿童生长发育的特异性有关:2 岁前颅缝及囟门闭合,6~7 岁脑发育接近成人,12~16 岁颅骨停止增长、颅腔容积固定。

本研究中颅内压和脑灌注压随时间的变化是有一定规律的,术后不同年龄组颅内压均经历短暂较低水平后迅速升高,而脑灌注压均经历短暂的较高水平,并且两者在术后 12~24 h 左右达到高峰和低谷,于术后 72 h 左右逐渐到达稳定范围。因此 72 h 后的 ICP 和 CPP 监测数值接近不同年龄组的正常 ICP 和 CPP 的参考值。

有关儿童 ICP 及 CPP 正常值的研究不多,目前暂未形成统一标准,外科学教材神经外科章节中写明儿童 ICP 为 50~100 mmH_2O(相当于 3.7~7.4 mmHg)[15],中国颅内压监测专家共识中描述为 3~6.75 mmHg[4],但均未具体说明年龄差异性。已有研究报道 ICP 正常值随年龄增长而变化[16],因体位、躁动程度而异[17],新生儿<2 mmHg,足月儿为 1.5~6 mmHg,儿童为 3~7 mmHg,年长儿为 7(或 10)~15 mmHg[18-19],正常颅内压上限:婴儿为 5 mmHg,年龄稍大且颅骨骨缝已闭的儿童为 10 mmHg,4~16 岁儿童为 12.9 mmHg[20]。

正常 CPP 为 70~100 mmHg,也有报道为 60~80 mmHg[21],但儿童的正常值尚未明确。2019 年儿童脑创伤新指南[5]推荐:为了改善总体预后,建议脑灌注压治疗阈值目标为 40~50 mmHg,以保证最低值不低于 40 mmHg,婴幼儿阈值为此范围低限,青少年为此范围高限;2006 年 Chamber 研究得出脑灌注压的阈值:2~6、7~10、11~15 岁分别为 48.0、54.0、58.0 mmHg[22];本团队先前研究儿童脑灌注压的阈值为:<2 岁、≥2 岁分别为 40.0、55.0 mmHg[11]。ALLEN 等[23]在一项包括 317 名 18 岁以下儿童在内的 2 074 名患者的队列研究中,提出 CPP 阈值为:0~5 岁,>40 mmHg;6~17 岁,>50 mmHg。这些研究仅仅说明不同年龄儿童疾病状态 CPP 阈值应>40~58 mmHg,而具体年龄分段范围不合理。

本组研究有着合理的年龄段划分和接近正常儿童 ICP 和 CPP 的监测值,发现<2 岁与≥2 岁组 ICP 及 CPP 差异较明显,可能与 2 岁左右囟门闭合有一定关系;>6 岁组 ICP 正常范围 6.0~14.0 mmHg,CPP 正常范围 57.3~79.6 mmHg,与成人相似,可能因为>6 岁患儿脑发育基本接近成人,需有待进一步研究。

综上所述,本研究推荐儿童正常 ICP 参考范围:<2 岁为 3.0~8.0 mmHg,2~6 岁为 5.0~11.0 mmHg,>6 岁为 6.0~14.0 mmHg;正常 CPP 参考范围:<2 岁为 50.9~68.7 mmHg,2~6 岁为 55.0~73.3 mmHg,>6 岁为 57.3~79.6 mmHg。本研究病例数相对较少,研究结果有待于进一步开展多中心前瞻性研究验证。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 陈小兵负责实施研究、采集数据、分析解释数据、统计分析和论文撰写;梁平对文章的知识性内容作批评性审阅;翟瑄、周建军参与采集数据;程杨、赵雪灵参与数据整理、统计学分析;纪文元负责研究设计、指导研究实施、参与文章撰写并修改

参考文献:

[1] PADAYACHY L C, FIGAJI A A, BULLOCK M R. Intracranial pressure monitoring for traumatic brain injury in the modern era[J]. Childs Nerv Syst, 2010, 26(4): 441-452. DOI: 10.1007/s00381-009-1034-0.

[2] APPAVU B, FOLDES S T, ADELSON P D. Clinical trials for pediatric traumatic brain injury: definition of insanity? [J]. J Neurosurg Pediatr, 2019, 23(6): 661-669. DOI: 10.3171/2019.2.PEDS18384.

[3] 中国医师协会神经外科医师分会,中国神经创伤专家委员会.中国颅脑创伤外科手术指南[J].中华神经创伤外科电子杂志, 2015, 1(1):59-60. DOI:10.3877/cma.j.issn.2095-9141.2015.01.018.
Neurosurgeons Branch of Chinese Medical Doctor Association, China Neurotrauma Expert Committee. China guidelines for traumatic brain injury surgery[J]. Chin J Neurotrauma Surg Electronic Ed, 2015, 1(1):59-60. DOI:10.3877/cma.j.issn.2095-9141.2015.01.018.

[4] 中国医师协会神经外科医师分会,中国神经创伤专家委员

会. 中国颅脑创伤颅内压监测专家共识[J]. 中华神经外科杂志, 2011, 27(10):1073-1074. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2011.10.033.
Neurosurgeons Branch of Chinese Medical Doctor Association, China Neurotrauma Expert Committee. Expert consensus of intracranial pressure monitoring for traumatic brain injury in China[J]. Chin J Neurosurg, 2011, 27(10):1073-1074. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2011.10.033.

[5] KOCHANEK P M, TASKER R C, CARNEY N, *et al*. Guidelines for the management of pediatric severe traumatic brain injury, Third edition: update of the Brain Trauma Foundation Guidelines, executive summary[J]. Pediatr Crit Care Med, 2019, 20(3):280-289. DOI: 10.1097/PCC.0000000000001736.

[6] DONNELLY J, CZOSNYKA M, ADAMS H, *et al*. Twenty-five years of intracranial pressure monitoring after severe traumatic brain injury: a retrospective, single-center analysis[J]. Neurosurgery, 2019, 85(1): E75-E82. DOI: 10.1093/neuros/nyy468.

[7] HELMY A, VIZCAYCHIPI M, GUPTA A K. Traumatic brain injury: intensive care management[J]. Br J Anaesth, 2007, 99(1): 32-42. DOI: 10.1093/bja/aem139.

[8] GUERRA S D, CARVALHO L F A, AFFONSECA C A, *et al*. Factors associated with intracranial hypertension in children and teenagers who suffered severe head injuries[J]. J Pediatr (Rio J), 2010, 86(1): 73-79. DOI: 10.2223/jped.1960.

[9] SIGURTÀ A, ZANABONI C, CANAVESI K, *et al*. Intensive care for pediatric traumatic brain injury[J]. Intensive Care Med, 2013, 39(1): 129-136. DOI: 10.1007/s00134-012-2748-0.

[10] 谭泽梁, 杨志勇, 蔡成柱, 等. 国内脑出血颅内压监测值参考标准的初步探索[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2017, 20(14): 29-33. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5110.2017.14.009.
TAN Z L, YANG Z Y, CAI C Z, *et al*. Tentative exploration of domestic reference standards of intracranial pressure in patients with intracerebral hemorrhage[J]. Chin J Pract Nerv Dis, 2017, 20(14): 29-33. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5110.2017.14.009.

[11] 张雷, 梁平, 翟瑄, 等. 儿童颅脑创伤后颅内压及脑灌注压的临床特点[J]. 中华创伤杂志, 2014, 30(10): 995-999. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2014.10.007.
ZHANG L, LIANG P, ZHAI X, *et al*. Clinical features of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure after craniocerebral trauma in children[J]. Chin J Trauma, 2014, 30(10): 995-999. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2014.10.007.

[12] 陈小兵, 张雷, 赵雪灵, 等. 儿童重型创伤性脑损伤的颅内压及脑灌注压治疗阈值研究[J]. 第三军医大学学报, 2020, 42(22): 2167-2175. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202007043.
CHEN X B, ZHANG L, ZHAO X L, *et al*. Intervention thresholds of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in children with severe traumatic brain injury[J]. J Third Mil Med Univ, 2020, 42(22): 2167-2175. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202007043.

[13] PEDERSEN S H, LILJA-CYRON A, ASTRAND R, *et al*. Monitoring and measurement of intracranial pressure in pediatric head trauma[J]. Front Neurol, 2020, 10: 1376. DOI: 10.3389/fneur.2019.01376.

[14] BASAMH M, ROBERT A, LAMOUREUX J, *et al*. Epidural hematoma treated conservatively: when to expect the worst[J]. Can J Neurol Sci, 2016, 43(1): 74-81. DOI: 10.1017/cjn.2015.232.

[15] 赵玉沛,陈孝平,杨连粤,等. 外科学[M]. 3版. 北京:人民卫生出版社,2015:256.
ZHAO Y P, CHEN X P, YANG L Y, *et al*. Surgery[M]. 3rd ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2015:256.

[16] PEDERSEN S, JØRGENSEN A, ANDRESEN M, *et al*. Differences in intracranial pressure seen in children and adults could be caused by age differences[J]. Fluids Barriers CNS, 2015, 12(suppl 1): O21. DOI: 10.1186/2045-8118-12-s1-o21.

[17] LOVETT M E, O'BRIEN N F, LEONARD J R. Children with severe traumatic brain injury, intracranial pressure, cerebral perfusion pressure, what does it mean? A review of the literature[J]. Pediatr Neurol, 2019, 94: 3-20. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2018.12.003.

[18] DUNN L T. Raised intracranial pressure[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2002, 73(Suppl 1): i23-i27. DOI: 10.1016/S0140-6736(73)92724-4.

[19] CARNEY N, TOTTEN A M, O'REILLY C, *et al*. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury, fourth edition[J]. Neurosurgery, 2017, 80(1): 6-15. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001432.

[20] WIEGAND C, RICHARDS P. Measurement of intracranial pressure in children: a critical review of current methods[J]. Dev Med Child Neurol, 2007, 49(12): 935-941. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2007.00935.x.

[21] MOUNT C A, DAS J M. Cerebral perfusion pressure[M]. Treasure Island: StatPearls Publishing, 2023.

[22] CHAMBERS I R. Critical thresholds of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure related to age in paediatric head injury[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2006, 77(2): 234-240. DOI: 10.1136/jnnp.2005.072215.

[23] ALLEN B B, CHIU Y L, GERBER L M, *et al*. Age-specific cerebral perfusion pressure thresholds and survival in children and adolescents with severe traumatic brain injury[J]. Pediatr Crit Care Med, 2014, 15(1): 62-70. DOI: 10.1097/PCC.0b013e3182a556ea.

(**收稿**:2023-06-03;**修回**:2023-06-10)
(编辑 吴培红)