CSI 和 BIS 在儿童静脉麻醉中应用的比较

李立晶　胡　璟　张建敏　李多依　孙　岚　刘　超

摘　要　目的　比较麻醉意识深度指数（cerebral state index，CSI）与脑电双频指数（bispectral index，BIS）在监测儿童静脉麻醉深度中的相关性和一致性，评价 CSI 用于儿科监测的可行性。**方法**　择期全身麻醉下行心律失常射频消融手术的患儿 60 例，按年龄分为学龄前组（A 组，3～6 岁）25 例和学龄组（B 组，7～15 岁）35 例，ASA Ⅰ～Ⅱ级，两组均给予丙泊酚 2.5mg/kg、顺式阿曲库铵 0.1mg/kg、芬太尼 1μg/kg 全身麻醉诱导后气管插管；麻醉维持期设定 BIS 目标值为 65，采取闭环模式自动调整丙泊酚泵注给药速度，瑞芬太尼 0.25～0.33μg/（kg·min）持续泵注。记录两组患儿入室时（T_1）、诱导完成时（T_2）、手术开始时（T_3）、手术 30min（T_4）、60min（T_5）、90min（T_6）、停药时（T_7）、拔除气管导管时（T_8）、出室前（T_9）的 CSI、BIS，并记录苏醒期 T_7～T_9 时的改良清醒镇静评分 MOAA/S（Modified Observers Assessment of Alertness/Sedation scale）值。**结果**　A 组 T_1～T_2 诱导期、T_3～T_6 维持期、T_7～T_9 苏醒期 CSI 与 BIS 的 *Spearman* 相关系数分别为 0.88、0.79 和 0.78（$P<0.05$）；T_1～T_6 时 CSI 低于 BIS（$P<0.05$），T_8～T_9 时 CSI 高于 BIS（$P<0.05$）；T_7～T_9 的 CSI 与 MOAA/S 的 *Spearman* 相关系数为 0.87（$P<0.05$），BIS 与 MOAA/S 的 *Spearman* 相关系数为 0.82（$P<0.05$）。B 组诱导期、维持期、苏醒期 CSI 与 BIS 的 *Spearman* 相关系数分别为 0.87、0.84 和 0.69（$P<0.05$）；T_1、T_3～T_5 时 CSI 低于 BIS（$P<0.05$），T_8～T_9 时 CSI 高于 BIS（$P<0.05$）；苏醒期 CSI 与 MOAA/S 的 *Spearman* 相关系数为 0.77（$P<0.05$），BIS 与 MOAA/S 的 *Spearman* 相关系数为 0.75（$P<0.05$）。A、B 组山形图示两组 CSI 与 BIS 在维持期一致性好，苏醒期一致性弱。**结论**　CSI 与 BIS 在学龄前和学龄儿童静脉麻醉状态下具有良好的相关性；CIS 在苏醒期能更好反映意识水平的变化，可用于评估 3 岁以上儿童静脉麻醉深度。

关键词　麻醉意识深度指数　脑电双频指数　导管消融　儿童

中图分类号　R72　　**文献标识码**　A　　**DOI**　10.11969/j.issn.1673-548X.2021.04.027

Clinical Observation on the Application of Anesthesia Depth Monitoring in Children's Radiofrequency Ablation. *Li Lijing, Hu Jing, Zhang Jianmin, et al. Department of Anesthesiology, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, National Center for Children's Health, Beijing 100045, China*

Abstract　Objective　To compare the correlation and consistency between CSI and BIS in monitoring the depth of intravenous anesthesia in children, and evaluate the feasibility of CSI for pediatric monitoring. **Methods**　Sixty pediatric ASA Ⅰ to Ⅱ, who were scheduled for arrhythmia radiofrequency ablation were divided into two groups by age with preschool group（3－6years, group A, $n=25$）and school group（7－15years, group B, $n=35$）. Propofol 2.5mg/kg, cis－atracurium 0.1mg/kg and fentanyl 1μg/kg were administered for induction. For anesthesia maintenance, continuous intravenous infusion of propofol was used to maintain a BIS target value of 65 by a closed－loop mode machine. Remifentanil was continuously infused at a rate of 0.25 to 0.33μg/（kg·min）to maintain a stable hemodynamics. Parameters including CSI and BIS were recorded when patient entered the operating room（T_1）, tracheal induction was completed（T_2）, operation started（T_3）, and at 30 minutes（T_4）, 60 minutes（T_5）, 90 minutes（T_6）, at the time when intravenous infusion stopped（T_7）, the time of extubation（T_8）, and the time of leaving the operating room（T_9）. The modified awake sedation scores（MOAA/S）were recorded from T_7 to T_9. **Results**　In group A, the *Spearman* correlation coefficients of CSI and BIS during the T_1－T_2 induction period, T_3－T_6 maintenance period, and T_7－T_9 recovery period were 0.88, 0.79, and 0.78, respectively（$P<0.05$）. CSI was lower than BIS from T_1 to T_6（$P<0.05$）, higher than BIS from T_8 to T_9（$P<0.05$）. During the recovery period from T_7 to T_9, the *Spearman* correlation coefficient between CSI and MOAA/S was 0.87, between BIS and MOAA/S was 0.82（$P<0.05$）. In group B, the *Spearman* correlation coefficients of CSI and BIS during the T_1－T_2, T_3－T_6, and T_7－T_9 were 0.87, 0.84, and 0.69, respectively（$P<0.05$）. CSI was lower than BIS at T_1, T_3－T_5（$P<0.05$）, and CSI was higher than BIS at T_8－T_9（$P<0.05$）. During the recovery period from T_7 to T_9, the *Spearman* correlation coefficient, between CSI and MOAA/S was 0.77（$P<0.05$）, between BIS and MOAA/S was 0.75（$P<0.05$）. The mountain plot shows the consistency of CSI and BIS in two groups during the maintenance period is good, but

作者单位：100045　国家儿童医学中心、首都医科大学附属北京儿童医院麻醉科

通讯作者：张建敏，电子信箱：zjm428@sina.com

the recovery period is not good. **Conclusion** There is a good correlation between CSI and BIS during intravenous anesthesia in preschool and school age children. CIS can better reflect the change of consciousness level during the recovery phase and can be used to evaluate the depth of intravenous anesthesia in children more than 3 years old.

Key words Cerebral state index; Bispectral index; Catheter ablation; Child

目前临床上使用监测麻醉深度的产品均为根据成人脑电信号开发研制的监测指标,在儿科领域的适用性尚待完整评估。BIS 经多年临床实践与研究,属于目前阶段被美国 FDA 及大多数儿科麻醉医生认可的监测手段,可用于 1 岁以上儿童的麻醉镇静监测[1]。BIS 作为被临床公认的监测标准,往往被用来比较、评价其他麻醉深度监测方法的临床价值。CSI 是近年来出现的一种基于脑电图(EEG)的新型监测指标,其标度范围同样为 0 ~ 100,0 表示平坦的脑电图信号,100 表示清醒状态[2]。本研究旨在评价 CSI 与 BIS 在儿童静脉麻醉中的相关性和一致性,并比较两种监测方法与改良清醒镇静评分 MOAA/S 的相关性,为儿童麻醉监测方法的选择提供一些基础[3]。

资料与方法

1. 一般资料:本研究已获得笔者医院医学伦理学委员会批准(审批件编号:2020 - Z - 004),患儿家属均签署知情同意书。选择 2019 年 8 月 ~ 2020 年 3 月行心脏射频消融手术的患儿 60 例,ASA Ⅰ或Ⅱ级。患儿均未使用术前药,无神经系统疾病及精神类药物使用史。按年龄分为学龄前组(A 组,3 ~ 6 岁)25 例和学龄组(B 组,7 ~ 15 岁)35 例。

2. 方法:患儿入室后连接监护仪常规监测 HR、MAP、SpO_2,清洁额头皮肤后,在同方向粘贴 CSI(一次性无创脑电传感器,广西威力方舟技术有限公司)和 BIS(一次性脑电传感器,儿童型,Covidien LLc)电极片。使用 ASPECT 公司 BIS - VISTA 监测仪连续监测 BIS,全凭静脉监控自动注射系统(广西威力方舟科技有限公司)监测 CSI 和肌松(4 个成串刺激比率,TOFr),并输注丙泊酚和瑞芬太尼。诱导阶段静脉注射丙泊酚 2.5mg/kg、苯磺顺阿曲库铵 0.1mg/kg、芬太尼 1μg/kg,当 TOFr < 5% 后行气管插管,连接呼吸机行机械通气。呼吸参数为 V_T 8 ~ 10ml/kg,RR 16 ~ 25 次/分,吸呼比 1∶1.5,维持 $P_{ET}CO_2$ 在 35 ~ 45mmHg。诱导结束后,采用闭环全凭静脉输注丙泊酚(Paedfusor 模型),设定 BIS 目标值为 65,闭环系统计算机自动根据 BIS 值反馈调控输注丙泊酚速度。术中负责实施麻醉的医生根据患儿血流动力学情况,调整瑞芬太尼输注速率 0.25 ~ 0.33μg/(kg · min)。术毕时调高 BIS 目标值为 70,瑞芬太尼输入速度不变。术毕撤出消融导管,按压穿刺点满 5min,止血完成后,停止输注丙泊酚及瑞芬太尼,到患儿苏醒拔除气管导管。围术期发生严重并发症,或手术时间不能满足观察时间者剔除本研究。

3. 观察指标:记录患儿入室时(T_1)、诱导完成时(T_2)、手术开始时(T_3)、手术 30min(T_4)、手术 60min(T_5)、手术 90min(T_6)、停药时(T_7)、拔除气管插管时(T_8)、出室前(T_9)的 CSI、BIS 等参数,并记录 T_7 ~ T_9(苏醒期)的改良清醒镇静评分 MOAA/S (modified observers assessment of alertness/sedation scale)值。记录围术期患儿反流误吸、气道痉挛、药物过敏、术中知晓、术后躁动等不良事件发生情况。

4. 统计学方法:采用 SPSS 21.0 和 MedCalc19.0 统计学软件对数据进行统计分析。符合正态分布资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,不符合呈正态分布的计量资料以中位数和四分位间距[M(Q1, Q3)]表示。计数资料用例数和百分比(%)表示。两组间比较采用独立样本 t 检验,计数资料的比较采用 χ^2 检验。相同时间点同组正态分布变量比较采用配对样本 t 检验,非正态变量比较采用秩和检验。对双变量呈非正态分布的计量资料、等级变量,采用 *Spearman* 相关检验。两组内各时间段的数值分别绘制山形图进行一致性评价,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

本研究有效样本量共计 60 例。两组患儿年龄、身高、体重比较,差异有统计学意义($P < 0.05$,表 1)。

表 1 两组患儿一般资料比较($\bar{x} \pm s$)

组别	n	男性/女性	年龄(岁)	体重(kg)	身高(cm)
A 组	25	15/10	4.76 ± 1.01	20.93 ± 4.72	115.56 ± 8.97
B 组	35	19/16	9.65 ± 2.38	37.45 ± 15.74	143.54 ± 15.96
χ^2/t		0.19	9.68	5.08	7.91
P		0.790	0.000	0.000	0.000

A 组 T_1 ~ T_2 诱导期、T_3 ~ T_6 维持期、T_7 ~ T_9 苏醒期 CSI 与 BIS 的 *Spearman* 相关系数分别为 0.88、0.79 和 0.78(P < 0.05);B 组诱导期、维持期、苏醒期 CSI 与 BIS 的 *Spearman* 相关系数分别为 0.87、0.84 和 0.69(P < 0.05)。A 组 T_1 ~ T_6 时 CSI 低于 BIS,B 组 T_1、T_3 ~ T_5 时 CSI 低于 BIS,T_8、T_9 时两组 CSI 均高于 BIS(P < 0.05,表 2,图 1、图 2)。

表 2　两组患儿不同时间点参数[$\bar{x} \pm s$, M(Q1, Q3)]

时间点	A 组				B 组			
	BIS	CSI	t/z	P	BIS	CSI	t/z	P
T_1	98.00(97.00,98.00)*	88.48 ± 5.01	−4.38	0.00	98.00(97.00,98.00)*	86.66 ± 6.92	−4.63	0.00
T_2	55.72 ± 5.32	52.28 ± 7.39	3.85	0.00	52.37 ± 10.13	51.25 ± 10.78	1.06	0.30
T_3	60.92 ± 1.85	56.16 ± 3.69	6.34	0.00	52.89 ± 7.81	48.69 ± 9.24	4.04	0.00
T_4	63.52 ± 3.03	59.08 ± 6.43	5.22	0.00	63.40 ± 3.34	60.43 ± 8.14	2.91	0.01
T_5	64.68 ± 2.48	60.76 ± 4.71	4.66	0.00	63.91 ± 2.70	60.49 ± 7.53	3.63	0.00
T_6	64.80 ± 2.77	62.00 ± 3.91	3.95	0.00	64.31 ± 2.60	63.06 ± 6.53	1.39	0.17
T_7	65.12 ± 2.11	63.04 ± 5.48	2.03	0.05	65.80 ± 4.98	67.49 ± 9.04	−1.47	0.15
T_8	75.48 ± 3.14	88.16 ± 8.44	−9.35	0.00	75.74 ± 3.84	89.80 ± 7.31	−11.36	0.00
T_9	80.84 ± 3.94	93.72 ± 1.65	−15.17	0.00	80.54 ± 5.73	92.94 ± 4.01	−10.56	0.00

* 数据为非正态

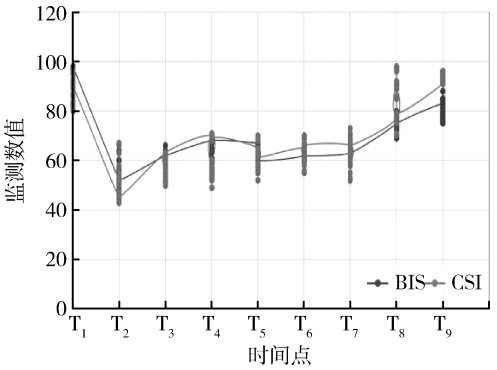

图 1　A 组 T_1 ~ T_9 时间点 CSI、BIS 散点趋势图

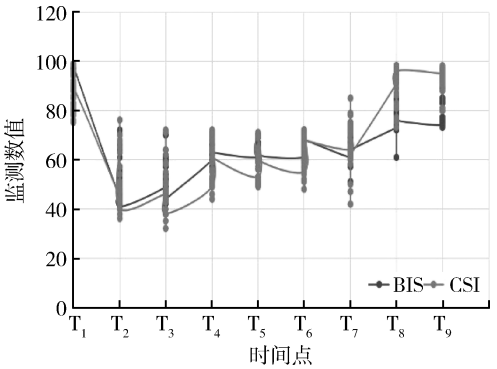

图 2　B 组 T_1 ~ T_9 时间点 CSI、BIS 散点趋势图

苏醒期 T_7 时,MOAA/S 评分为 1 分的患儿 A、B 组均占 100%;T_8 时,A 组 3 分占 20%、4 分占 68%、5 分占 12%,B 组 3 分占 43%、4 分占 54%、5 分占 3%;T_9 时,A 组 4 分占 16%,5 分占 84%,B 组 4 分占 34%,5 分占 66%(表 3)。T_7 ~ T_9 时,A 组 CSI 与 MOAA/S 的 *Spearman* 相关系数为 0.87,BIS 与 MOAA/S 的 *Spearman* 相关系数为 0.82,均呈高度相关;B 组 CSI 与 MOAA/S 的 *Spearman* 相关系数为 0.77,BIS 与 MOAA/S 的 *Spearman* 相关系数为 0.75(P < 0.05),均呈中度相关。

表 3　两组患儿不同时间点镇静评分比较[n(%)]

MOAA/S	组别	T_7	T_8	T_9
1	A 组	25(100)	0(0)	0(0)
	B 组	35(100)	0(0)	0(0)
2	A 组	0(0)	0(0)	0(0)
	B 组	0(0)	0(0)	0(0)
3	A 组	0(0)	5(20)	0(0)
	B 组	0(0)	15(43)	0(0)
4	A 组	0(0)	17(68)	4(16)
	B 组	0(0)	19(54)	12(34)
5	A 组	0(0)	3(12)	21(84)
	B 组	0(0)	1(3)	23(66)

A 组诱导期山形图示中间值为 6,最低值为 −6,最高值为 17,CSI 与 BIS 差绝对值最大为 17,占 CSI 和 BIS 均值 89.5 的 19.0%,在临床可接受范围 ± 30% 内;维持期山形图示中间值为 5,最低值为 −7,最高值为 13,CSI 与 BIS 差绝对值最大为 13,占 CSI 和 BIS 均值 58.5 的 22.0%;苏醒期中间值为 −9,最低值为 −22,最高值为 10,CSI 与 BIS 差绝对值最大为 22,占 CSI 和 BIS 均值 86 的 25.6%。3 个时期中,维持期中间值为 5,偏离 0 最少,且测量值差异最小,一致性较诱导期和苏醒期好,苏醒期偏离 0 点最多,

测量差值最大,一致性最弱(图 3 ~ 图 5)。B 组诱导期山形图示中间值为 6,最低值为 -14,最高值为 22,CSI 与 BIS 差绝对值最大为 22,占 CSI 和 BIS 均值 87 的 25.3%,在临床可接受范围 ±30% 内;维持期山形图示中间值为 2,最低值为 -18,最高值为 17,CSI 与 BIS 差绝对值最大为 18,占 CSI 和 BIS 均值 71 的 25.3%;苏醒期中间值为 -10,最低值为 -24,最高值为 15,CSI 与 BIS 差绝对值最大为 24,占 CSI 和 BIS 均值 86 的 27.9%。从图形分析,维持期中间值 2,偏离 0 最少,且测量值差异最小,一致性较诱导期和苏醒期好,苏醒期偏离 0 点最多,测量差值最大,一致性最弱(图 6 ~ 图 8)。

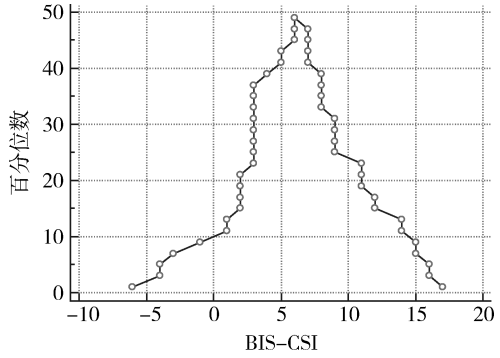

图 3　A 组诱导期 CSI 与 BIS 山形图

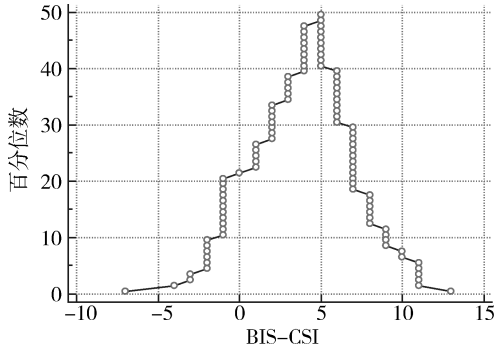

图 4　A 组维持期 CSI 与 BIS 的山形图

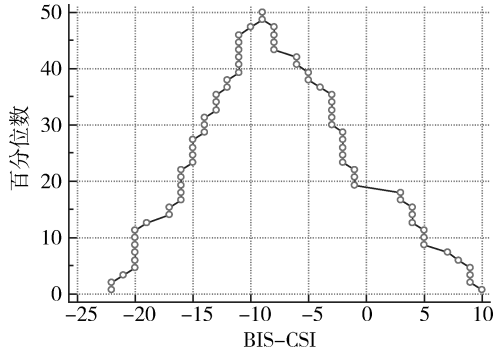

图 5　A 组苏醒期 CSI 与 BIS 的山形图

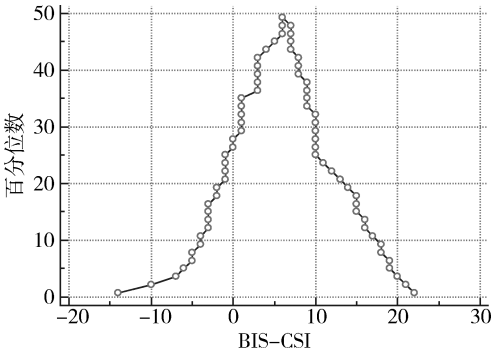

图 6　B 组诱导期 CSI 与 BIS 的山形图

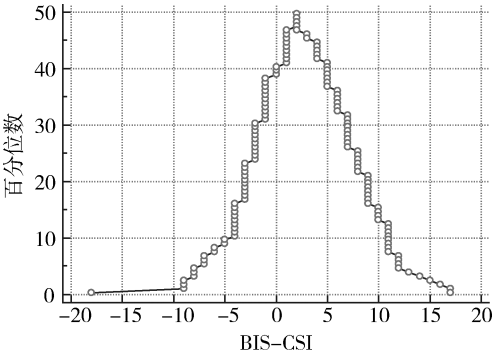

图 7　B 组维持期 CSI 与 BIS 的山形图

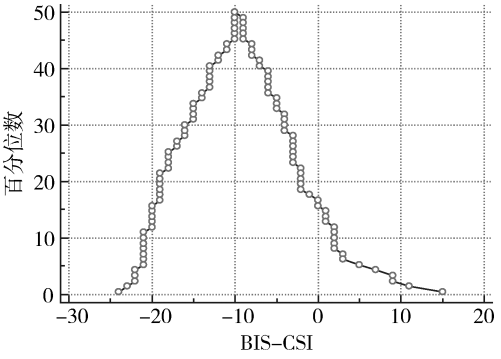

图 8　B 组苏醒期 CSI 与 BIS 的山形图

讨　论

在儿童中使用麻醉深度监测,除了能够避免因术中知晓造成的精神或心理伤害,还可以协助麻醉医生在适宜范围内,尽量减少麻醉药物用量,最大限度降低有可能对发育期的神经系统造成的伤害[4~6]。每种监测设备都有其优缺点,需要临床检验,例如 BIS 虽然已经在临床应用多年,版本不断改进更新,仍存在易受额肌电影响等问题[7]。CSI 从脑电图的时域分析和频域分析得出 4 个子参数,能够处理 1 ~ 200Hz 的脑电频谱,采样分辨率达到 2000 次/秒,因此能够更好滤除电刀等外部干扰信号,电极片的价格

也较低[8]。在成人麻醉深度监测领域,对 CSI 进行过吸入药物、静脉药物等研究,认为其在监测全身麻醉的镇静或催眠成分方面效果良好[9,10]。

儿童与成人的脑电变化有很大区别,并且不同年龄段的儿童之间也不尽相同。Minardi 等[11]在儿童中使用其监测静脉麻醉深度,邱友庆[12]在儿童七氟醚麻醉中使用 CSI,均认可其临床价值。研究认为 5 岁以后的儿童才能够形成完整的神经突触,脑电相关研究应区分学龄前与学龄组[1]。因此,本研究也按照年龄划分了组别。在研究中观察到所有患儿清醒时,CSI 均明显低于 BIS,在此阶段评判患儿意识状态的效果不如 BIS,这与 Fuentes 等[13]在一项儿童七氟醚麻醉中使用 CSI 和 BIS 的观察结果一致,分析认为肌电活动可以影响 EEG 信号,CSI 对于肌电造成的影响更加敏感。但在本研究中笔者也观察到单纯以肌电影响无法解释的现象,因为此类手术对肌肉松弛没有要求,所有患儿在诱导时给予单次诱导量肌松药后未再追加,患儿在 75min 以内,TOFr 都能恢复到 90% 以上。至麻醉苏醒期,所有患儿肌力均已恢复,但 CSI 的上升速度明显快于 BIS,上升幅度也更高。既往较多研究认为 BIS 苏醒期有滞后问题,许路遥等[14]曾在儿童脊柱侧弯手术术中唤醒的中相关研究中发现,唤醒时的 BIS 值平均为 76,对于预测体动等效果不佳。本研究发现 CSI 在苏醒期与 MOAA/S 的相关系数更高,反映意识状态恢复的敏感度优于 BIS,便于麻醉医生立即作出判断,采取进一步处理。

本研究在麻醉诱导过程中,学龄前组 CSI 和 BIS 均下降至最低,随后同步回升,走向趋势相同,但 CSI 下降幅度更大;学龄组在诱导阶段 CSI 和 BIS 同步下降,诱导后短时间内, CSI 仍有一段下降。麻醉维持过程中,两组患儿的 CSI 与 BIS 走向趋势相同,此阶段相同时间点,学龄前组 CSI 数值一直低于 BIS,学龄组 CSI 的数值开始阶段低于 BIS,随着时间延长逐渐与 BIS 接近。研究结果提示,如果在儿童静脉麻醉中单独使用 CSI 监测,应考虑使用不同的参数范围作为维持指标,即可能低于 40 ~ 60。有许多阿片类药物对麻醉深度监测的影响的研究,较多研究认为临床常用剂量的阿片类不会引起明显的脑电抑制。在本研究中使用的芬太尼剂量很低,瑞芬太尼也是临床推荐剂量的低浓度范围,暂不考虑其对脑电监测设备的影响。

综上所述,在 3 岁以上儿童静脉麻醉中,CSI 与 BIS 具有良好的相关性,能够协助麻醉医生调控适宜的麻醉深度,并且 CSI 在预测麻醉苏醒方面更具优势。但需注意,在麻醉维持阶段,同样麻醉深度下,CSI 的数值可能略低于 BIS,应适当调低其术中镇静的正常值范围,避免造成麻醉偏浅。关于 CSI 在儿科麻醉中的应用,尚有不同药物的适用性、婴幼儿的适用性以及不同麻醉深度下的监测效果等问题需要进一步研究。

参考文献

1 Wang F, Zhang J, Yu J, *et al*. Variation of bispectral index in children aged 1 – 12 years under propofol anesthesia: an observational study[J]. BMC Anesthesiol, 2019, 19(1): 145 – 151

2 Brás S, Gouveia S, Ribeiro L, *et al*. Fuzzy logic model to describe anesthetic effect and muscular influence on EEG cerebral state index [J]. Res Vet Sci, 2013, 94(3): 735 – 742

3 Kim K, Seo K, Lee J, *et al*. Target – controlled infusion of dexmedetomidine effect – site concentration for sedation in patients undergoing spinal anaesthesia[J]. J Clin Pharm Ther, 2020, 45(2): 347 – 353

4 Deis AS, Schnetz MP, Ibinson JW, *et al*. Retrospective analysis of cases of intraoperative awareness in a large multihospital health system reported in the early postoperative period[J]. BMC Anesthesiol, 2020, 20(6): 873 – 882

5 许凯, 曾小辉, 欧阳卫东. 小儿全麻术中知晓的调查与分析. 当代医学, 2017, 23(18): 57 – 58

6 Warner DO, Zaccariello MJ, Katusic SK, *et al*. Neuropsychological and behavioral outcomes after exposure of young children to procedures requiring general anesthesia: the mayo anesthesia safety in kids (mask) study[J]. Anesthesiology, 2018, 129 (1): 89 – 105

7 Niu J, Wang SJ, Zhang MZ, *et al*. The peak bispectral index time cannot predict early phase propoful pharmacodynamics with effect site – controlled infusion algorithm[J]. Indian J Pharmacol, 2012, 44(1): 41 – 45

8 Cho SH, Kim SS, Hyun DM, *et al*. Comparison between cerebral state index and bispectral index during desflurane anesthesia[J]. Korean J Anesthesiol, 2018, 71(6): 447 – 452

9 Jensen EW, Litvan H, Revuelta M, *et al*. Cerebral state index during propofol anesthesia: a comparison with the bispectral index and the A – line ARX index[J]. Anesthesiology, 2006, 105(1): 28 – 36

10 Zhang L, Xu L. To clarify features of photoplethysmography in monitoring balanced anesthesia, compared with cerebral state index[J]. Med Sci Monit, 2014, 20: 481 – 486

11 Minardi C, Astuto M, Spinello C, *et al*. Dose – response of propofol for tracheal intubation in children correlated to intubation condition score and cerebral state index. Randomized, double – blinded trial [J]. J Anesth Clin, 2012, 3(3): 1 – 6

12 邱友庆. 小儿全身麻醉中监测脑电双频指数与麻醉意识深度指数的价值[J]. 现代中西医结合杂志, 2015, 24(11): 1222 – 1223

13 Fuentes R, Cortínez LI, Struys MM, *et al*. The dynamic relationship between end – tidal sevoflurane concentrations, bispectral index, and cerebral state index in children[J]. Anesth Analg, 2008, 107(5): 1573 – 1578

14 许路遥, 张建敏, 岳云. 特殊听觉干预评估小儿术中知晓的准确性[J]. 中华麻醉学杂志, 2010, 30(7): 769 – 771

(收稿日期: 2020 – 11 – 15)
(修回日期: 2020 – 11 – 28)