

DOI: 10.16781/j.0258-879x.2021.09.1072

• 短篇论著 •

## 间歇通气呼吸暂停在儿童喉乳头状瘤摘除术中的安全时限

宋娟, 易寒, 杨陶波, 陈菲, 刘巍, 王寿勇\*

重庆医科大学附属儿童医院麻醉科, 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心, 儿童发育疾病研究教育部重点实验室, 儿科学重庆市重点实验室, 重庆 401122

**[摘要]** **目的** 探讨间歇通气呼吸暂停麻醉法(AAIV)在小儿喉乳头状瘤摘除术中应用的安全时限。**方法** 回顾性分析我院2015—2019年诊断为喉乳头状瘤且术中实施AAIV患儿的麻醉记录, 共计27例。从病历资料中提取患儿的性别、年龄、疾病诊断、体重、身高、血红蛋白水平、麻醉时间、手术时间、苏醒时间等数据建立理论计算模型, 计算模型患儿实施AAIV期间耐受呼吸暂停和CO<sub>2</sub>蓄积的理论数值, 并与现有文献报道进行比较。**结果** 麻醉和复苏期间未记录到严重缺氧、苏醒延迟等相关并发症, 所有患儿围手术期生命体征平稳。经计算, 模型患儿可耐受呼吸暂停时间为247~360 s (4.12~6.00 min), 其间呼气末CO<sub>2</sub>分压(P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>)理论上可达74.26 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)。数据库检索文献报道呼吸暂停的时限平均值为224~292 s (3.73~4.87 min), 平均动脉血CO<sub>2</sub>分压(PaCO<sub>2</sub>)或P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>位于70 mmHg以内。模型计算数据与现有文献报道的临床经验数据接近但不完全一致。**结论** AAIV用于小儿喉乳头状瘤摘除术具有相应的理论支持依据, 但在实际应用中, 对于存在发育不良、呼吸道感染等影响通气储备功能的患儿, 建议以脉搏血氧饱和度(SpO<sub>2</sub>)下降至95%为恢复通气的指征, 同时应时刻警惕发生CO<sub>2</sub>蓄积。

**[关键词]** 喉肿瘤; 乳头状瘤; 全身麻醉; 通气; 儿童**[中图分类号]** R 726.142; R 739.65 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2021)09-1072-05

### Safe time limit of apneic anesthesia with intermittent ventilation for children receiving laryngeal papillomatosis resection

SONG Juan, YI Han, YANG Tao-bo, CHEN Fei, LIU Wei, WANG Shou-yong\*

Department of Anesthesiology; 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 401122, China

**[Abstract]** **Objective** To explore the safe time limit of apneic anesthesia with intermittent ventilation (AAIV) for children receiving resection of laryngeal papillomatosis. **Methods** The anesthesia records of 27 children diagnosed with laryngeal papillomatosis and underwent surgery with AAIV in our hospital from 2015 to 2019 were analyzed retrospectively. The data of gender, age, disease diagnosis, body weight, height, hemoglobin level, anesthesia time, operation time, and recovery time were obtained from the medical records, and the theoretical calculation model was constructed to calculate the theoretical safe time limit and CO<sub>2</sub> accumulation. The results were compared with the existing literatures. **Results** No serious complications such as severe hypoxia and delayed recovery were recorded during anesthesia and resuscitation, and the perioperative vital signs were stable in all patients. According to the calculation, the theoretical apnea time limit was 247-360 s (4.12-6.00 min) in the model patient, and the theoretical partial pressure of carbon dioxide at end-trial (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>) reached 74.26 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa). The average time limit of apnea in the retrieved literatures was 224-292 s (3.73-4.87 min), and the average arterial partial pressure of carbon dioxide (PaCO<sub>2</sub>) or P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> was within 70 mmHg. The calculated data of the model were close to the clinical experience data reported in the existing literatures but not completely consistent. **Conclusion** AAIV for laryngeal papilloma removal in children has corresponding theoretical evidence. However, in practical applications, for children with dysplasia, respiratory tract infections or other diseases which can affect the lung reserve function, it is recommended to take reduction of pulse oxygen saturation (SpO<sub>2</sub>) to 95% as an indication to restore ventilation, and we always need to pay attention to CO<sub>2</sub> accumulation.

[收稿日期] 2020-06-22

[接受日期] 2020-10-29

[作者简介] 宋娟, 硕士, 住院医师. E-mail: songjuancq@126.com

\*通信作者( Corresponding author ). Tel: 023-63632143, E-mail: saulwang@126.com

[Key words] laryngeal neoplasms; papilloma; general anesthesia; ventilation; children

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2021, 42(9): 1072-1076]

喉乳头状瘤是小儿常见的呼吸道良性肿瘤,其最显著的生物学特点为累及声门且易多次复发<sup>[1-2]</sup>。喉乳头状瘤手术中麻醉医师面临的最大挑战是在与外科医师共用气道的情况下,如何保证有效的肺通气。间歇通气呼吸暂停麻醉法(apneic anesthesia with intermittent ventilation, AAIV)是此类手术呼吸管理的一种可选策略<sup>[3-5]</sup>,但临床上对呼吸暂停的安全时限报道较少,结果并不统一<sup>[6-10]</sup>,且没有相关理论依据对临床经验提供支持。本研究拟回顾我院2015—2019年在AAIV下行喉乳头状瘤摘除术患儿的麻醉资料,以其生长发育参数均值建模,计算此类患儿术中呼吸暂停时间的安全范围,并与现有文献报道进行比较,以期对相关临床工作提供理论参考。

## 1 资料和方法

1.1 研究对象 在获得我院伦理委员会的审核和资料使用授权后,回顾性分析我院2015—2019年诊断为喉乳头状瘤且术中实施AAIV的27例患儿的麻醉记录。排除标准:血红蛋白(hemoglobin, Hb) < 90 g/L;肺炎;哮喘未控制;IV度喉梗阻;已进行气管切开;合并先天性心脏病;发育迟缓;伴有心理或精神疾病;肝肾功能指标不正常。

1.2 建模方法 从病历资料中提取患儿的性别、年龄、疾病诊断、体重、身高、Hb水平、麻醉时间、手术时间、苏醒时间等数据。建立理论计算模型,根据脉搏血氧饱和度(pulse oxygen saturation, SpO<sub>2</sub>)、功能残气量(functional residual capacity, FRC)<sup>[11-12]</sup>、血氧含量<sup>[13]</sup>、小儿耗氧量正常参考值<sup>[14]</sup>等计算模型患儿实施AAIV期间耐受呼吸暂停时间的理论数值,根据动脉血CO<sub>2</sub>分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO<sub>2</sub>)和动脉血pH可接受值<sup>[15]</sup>、每百毫升血液CO<sub>2</sub>含量<sup>[16]</sup>、理想气体状态方程等计算CO<sub>2</sub>蓄积的理论数值,并与现有文献报道数据进行比较。

1.3 文献检索 以“喉乳头状瘤”和“麻醉”和“儿童”或“小儿”检索式通过主题词途径检索CNKI数据库,以papilloma AND anesthesia AND child关键词途径检索PubMed数据库。对检索获得的文

献,首先通过阅读标题和摘要筛选出与小儿喉乳头状瘤手术和麻醉相关且采用AAIV方法实施麻醉管理的文献,排除病例报告和综述,然后进一步阅读全文,根据文中参考文献进一步追踪,最后提取文献中呼吸暂停时间及PaCO<sub>2</sub>或呼气末CO<sub>2</sub>分压(partial pressure of carbon dioxide at end-trial, P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>)的数据。

1.4 统计学处理 应用SPSS 19.0软件进行统计分析,计量资料采用范围、 $\bar{x} \pm s$ 或平均值表示。

## 2 结果

2.1 患儿基本资料 共纳入患儿27例,男16例、女11例。患儿年龄为11~135个月,平均(52.78±25.22)个月;身高为64~134 cm,平均(96.74±14.72) cm;体重为3.30~27.00 kg,平均(14.90±5.54) kg;术前Hb水平为102.00~148.00 g/L,平均(128.52±10.56) g/L。II度喉梗阻19例,III度喉梗阻8例。

2.2 手术情况 患儿麻醉时间(入手术室至出手术室)为20.0~90.0 min,平均(47.41±20.47) min;肿瘤摘除时间(手术开始至结束)为15.0~75.0 min,平均(36.48±18.27) min;麻醉苏醒时间(入复苏室至出复苏室)为20.0~42.0 min,平均(28.00±6.15) min。27例患儿术中均实施了气管插管,但未记录呼吸暂停次数及持续时间。麻醉和复苏期间未记录到严重缺氧、苏醒延迟等相关并发症,所有患儿围手术期生命体征平稳,均按计划返回病房。

2.3 模型患儿计算结果 以患儿平均年龄、身高、体重、术前Hb参数建模,模型患儿血容量取该年龄段患儿正常参考值75 mL/kg。经计算模型患儿可耐受呼吸暂停时间为247~360 s(4.12~6.00 min),其间P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>为74.26 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)。

2.4 文献提取 从CNKI和PubMed数据库中获得主题相关文献共计61篇,最终仅有5篇文献报道了AAIV呼吸暂停的时限,为224~292 s(3.73~4.87 min)<sup>[6-10]</sup>,本研究的模型计算数据与文献报道的临床经验数据有重合但并不完全一致,本研究模型计算的理论值略长于临床经验值;有4篇文献成

功提取到呼吸暂停期间 PaCO<sub>2</sub> 或 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 值, 其值位于 70 mmHg 以内, 本研究模型计算的理论值略高于临床经验值。见表 1。

表 1 相关文献中报道的呼吸暂停时间及

文献	PaCO <sub>2</sub> 或 P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub>	
	平均呼吸暂停时间/s	平均PaCO <sub>2</sub> 或 P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub> /mmHg
石军, 等 <sup>[6]</sup>	224 <sup>a</sup>	70 <sup>c</sup>
王军, 等 <sup>[10]</sup>	224 <sup>a</sup>	69 <sup>c</sup>
裴春明, 等 <sup>[8]</sup>	232 <sup>b</sup>	57 <sup>d</sup>
Werawatganon, 等 <sup>[7]</sup>	258 <sup>a</sup>	未报告
Terai, 等 <sup>[9]</sup>	292 <sup>a</sup>	升高 14.9 <sup>d</sup>

<sup>a</sup>:SpO<sub>2</sub> 90%; <sup>b</sup>:SpO<sub>2</sub> 95%; <sup>c</sup>:PaCO<sub>2</sub>; <sup>d</sup>:P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>. 1 mmHg=0.133 kPa. SpO<sub>2</sub>: 脉搏血氧饱和度; PaCO<sub>2</sub>: 动脉血 CO<sub>2</sub> 分压; P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>: 呼气末 CO<sub>2</sub> 分压。

### 3 讨论

AAIV 用于儿童喉乳头状瘤手术已有较多报道, 主要采用气管插管全身麻醉, 待支撑喉镜准备妥当后拔除气管导管, 以便为外科医师提供无遮挡的手术视野。通气暂停期间, 一般经声门上持续向气道内吹入新鲜气流, 以 SpO<sub>2</sub> 降低至 90% 为恢复通气的指征, 经喉镜腔重新插入气管导管并实施人工纯氧通气, 直至 SpO<sub>2</sub> 和 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 恢复通气暂停前水平<sup>[3-5]</sup>。本研究回顾了 2015—2019 年在本院行同类手术的患儿资料, 显示麻醉手术经过和麻醉结局与现有文献报道<sup>[6-10]</sup> 相当, 再次印证 AAIV 用于该类手术的可行性。但目前尚未有相关理论阐释对这一经验性做法予以支持。AAIV 期间, 患儿的氧储备/氧消耗平衡如何以及是否会发生难以接受的 CO<sub>2</sub> 蓄积是麻醉医师应当关注的焦点问题, 本研究尝试基于回顾性资料的模型计算对这一问题进行理论阐释。

3.1 AAIV 期间模型患儿能维持 SpO<sub>2</sub> ≥ 90% 的理论时间 在用纯氧充分通气后实施呼吸暂停, 理论上此时患儿机体氧储备总量为 FRC 与血氧含量之和, 前者可根据公式 FRC=0.003 1 × H<sup>2.56</sup> × k 计算 (H 为身高, 单位为 cm; k 为常数, k=1.18<sup>[11-12]</sup>), 后者可根据公式 1.34 × Hb × SpO<sub>2</sub> + 0.003 1 × PaO<sub>2</sub><sup>[13]</sup> 计算 (经纯氧通气后为 760 mmHg - 35 mmHg = 725 mmHg, 此处取 PaCO<sub>2</sub> 为 35 mmHg; 血容量取正常参考值 75 mL/kg)。以本组回顾性资料所得平

均生长发育参数建立模型, 计算得模型患儿此时氧储备总量约为 618 mL。

根据氧解离曲线可知, 维持 SpO<sub>2</sub> 为 90% 时所需 PaO<sub>2</sub> 约为 60 mmHg, 采用前述类似的计算方法可知, 当患儿暂停通气至 SpO<sub>2</sub> 下降为 90% 时, 模型患儿体内氧储备总量为 208 mL。上述两者的差值为 410 mL, 此为在呼吸暂停期间可供机体消耗的氧储备量, 它能够支持多长时间的呼吸暂停呢?

据研究, 小儿耗氧量正常参考值为 110~160 mL/(m<sup>2</sup> · min)<sup>[14]</sup>。根据体表面积计算公式: 体表面积 (m<sup>2</sup>) = 体重 (kg) × 0.035 + 0.1<sup>[17]</sup>, 可知模型患儿体表面积理论值约为 0.621 5 m<sup>2</sup>。因此, 模型患儿每分钟耗氧量为 68.37~99.44 mL, 即经过纯氧通气后, 机体氧储备可供消耗的时间为 4.12~6.00 min, 若考虑到呼吸暂停期间, 会持续经声门上向气管内吹入纯氧, 麻醉期间机体氧耗率可能下降等因素, 这一理论数据还可能有所延长。

3.2 AAIV 期间模型患儿体内 CO<sub>2</sub> 蓄积情况 一般认为, 基础生理状态下, 机体每消耗 1 mol O<sub>2</sub>, 大约将代谢产生 0.8 mol CO<sub>2</sub>, 据此可知, 呼吸暂停期间, 上述氧储备耗尽时模型患儿将产生 328 mL CO<sub>2</sub>。

Feihl 和 Perret<sup>[15]</sup> 指出, 在氧供充足的情况下, PaCO<sub>2</sub> 和动脉血 pH 短时间分别维持在 80 mmHg 以下和 7.15 以上对人体来说是可以接受的。此时, 每百毫升血液中以物理和化学形式溶解的 CO<sub>2</sub> 含量可通过以下公式计算 (T 为摄氏温度, 本研究中取值为 37.5 °C)<sup>[16]</sup>:

$$\text{每百毫升血液 CO}_2 \text{ 含量} = 2.226 \times s \times \text{PCO}_2 (1 + 10^{\text{pH} - \text{pK}'})$$

式中

$$s = 0.0307 + 0.00057 (37 - T) + 0.00002 (37 - T)^2$$

$$\text{pK}' = 6.086 + 0.042 (7.4 - \text{pH}) + (38 - T) [0.00472 + 0.00139 (7.4 - \text{pH})]$$

经计算, 模型患儿在 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 取 80 mmHg、pH 取 7.15 时, 血液中 CO<sub>2</sub> 总量为 741 mL, 而呼吸暂停前 (刚经过充分纯氧机械通气), 血液中 CO<sub>2</sub> 总量为 569 mL (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 取 35 mmHg、pH 取 7.40), 两者差值为 172 mL, 即模型患儿呼吸暂停期间, 若 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 达到 80 mmHg、pH 达到 7.15, 血液可增加溶解 CO<sub>2</sub> 172 mL。因此, 呼吸暂停期间, 有约 156 mL 新生成 CO<sub>2</sub> 进入肺泡 (CO<sub>2</sub> 总生成量中未能溶解于血液中的部分: 328 mL - 172 mL =

156 mL)。此时,将患儿处于呼吸静止状态的肺想象为一个容积为FRC的容器,根据理想气体状态方程 $PV=nRT$ 可知( $P$ 为新增 $CO_2$ 产生的压强; $V$ 为容器容积,即FRC; $n$ 为摩尔体积; $R$ 为理想气体常数,值为 $8.314\text{ J}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ ; $T$ 为绝对温度,值为 $273\text{ K}+37.5\text{ K}=310.5\text{ K}$ ),这些 $CO_2$ 在肺内产生的分压约为 $39.26\text{ mmHg}$ 。此为呼吸暂停期间,模型患儿肺内可能发生的 $CO_2$ 分压增加值。加上呼吸暂停前已经存在的 $35\text{ mmHg}$ ,则呼吸暂停结束时,患儿 $P_{ET}CO_2$ 可达 $74.26\text{ mmHg}$ 。这表明在呼吸暂停时间内,模型患儿 $P_{ET}CO_2$ 理论值在可接受的范围内。

**3.3 模型患儿AAIV期间耐受缺氧和 $CO_2$ 蓄积的理论值与临床观察值的比较** 在本组临床回顾性资料中,未能成功提取每次呼吸暂停持续时间,但对现有文献报道的回顾分析表明,目前临床上AAIV实验中呼吸暂停的经验值为 $224\sim 292\text{ s}$ ( $3.73\sim 4.87\text{ min}$ )<sup>[6-10]</sup>,这提示即便在AAIV期间经声门上持续吹入纯氧的情况下,患儿实际可耐受呼吸暂停时间仍略短于模型患儿计算的理论值[ $247\sim 360\text{ s}$ ( $4.12\sim 6.00\text{ min}$ )]。分析其原因可能与文献报道中患儿实际生长发育参数与本研究模型患儿存在差异,麻醉状态下患儿存在肺内通气/血流比例分布不均以及生理性气道闭合等因素有关,也可能是临床上该类患儿常存在程度不等的呼吸道感染导致通气储备功能下降等综合因素所致。值得注意的是,有研究发现,经纯氧通气后实施呼吸暂停,3~12岁患儿 $SpO_2$ 下降呈现先慢后快的规律, $SpO_2$ 由100%下降至95%和90%的时间分别为231 s和248 s,且当 $SpO_2$ 降至90%开始给予纯氧恢复通气,部分患儿的 $SpO_2$ 仍可续降至70%以下<sup>[18]</sup>,这提示以 $SpO_2$ 降至90%为恢复通气的指征,虽可多提供十余秒的操作时间,发生缺氧的风险却可能上升。再加上小儿喉乳头状瘤手术中,重新经支撑喉镜腔气管插管需要消耗一定时间,且该类患儿由于上呼吸道不畅而可能存在不同程度的肺不张和呼吸道感染,以及 $SpO_2$ 监测存在滞后性等,因此本研究建议对存在发育不良或感染等影响通气储备功能的患儿,以 $SpO_2$ 下降至95%作为恢复通气的指征更有利于保障安全。与此同时,本研究中即便在模拟模型患儿氧储备完全消耗的情况下, $P_{ET}CO_2$ 的理论计算值虽有所升高但仍低于 $80\text{ mmHg}$ ,提示

适当给予过度通气的情况下实施AAIV可以避免严重的急性 $CO_2$ 蓄积。事实上,文献回顾表明,目前临床上 $P_{ET}CO_2$ 经验值为 $70\text{ mmHg}$ 以内,低于本研究模型患儿计算的理论值( $74.26\text{ mmHg}$ ),可能与呼吸暂停期间部分 $CO_2$ 弥散至声门附近被新鲜气流吹走有关,同时提示AAIV期间发生严重急性 $CO_2$ 蓄积的风险相对较低。

值得提出的是,本研究所回顾到的病例数量较为有限,年龄跨度亦较大,且采用平均生长发育参数建模计算而来的缺氧及 $CO_2$ 蓄积情况并不能作为临床上该类患儿的正常参考值或“标准”,但它可为验证或理解现有临床AAIV实践提供理论参考,也可为后续相关临床工作提供基于理论的预期。在实际工作中,患儿生长发育参数不同,是否存在上呼吸道或肺部感染等因素均可能影响患儿实际能耐受的呼吸暂停时间。因此,临床工作仍应加强监测,尤其对生长发育差、感染程度较重的患儿,应适当提前恢复通气,我们建议针对此类患儿以 $SpO_2$ 下降至95%为恢复通气的指征。

综上所述,本研究通过模型计算和文献回顾得出,儿童可耐受AAIV时间的模型计算数据与文献报道的临床经验数据接近,AAIV用于小儿喉乳头状瘤摘除术具有相应的理论支持依据。但在实际应用中,应加强监测,对存在发育不良、呼吸道感染等影响通气储备功能的患儿,建议以 $SpO_2$ 下降至95%为恢复通气的指征,同时应警惕发生 $CO_2$ 蓄积。

#### [参考文献]

- [1] SILVA L, GONÇALVES C P, FERNANDES A M, DAMROSE E J, COSTA H O. Laryngeal papillomatosis in children: the impact of late recognition over evolution[J]. J Med Virol, 2015, 87: 1413-1417.
- [2] PAPAIOANNOU V A, LUX A, VOIGT-ZIMMERMANN S, ARENS C. Treatment outcomes of recurrent respiratory papillomatosis: retrospective analysis of juvenile and adult cases[J]. HNO, 2017, 65: 923-932.
- [3] JAQUET Y, MONNIER P, VAN MELLE G, RAVUSSIN P, SPAHN D R, CHOLLET-RIVIER M. Complications of different ventilation strategies in endoscopic laryngeal surgery: a 10-year review[J]. Anesthesiology, 2006, 104: 52-59.
- [4] HSU J, TAN M. Anesthesia considerations in laryngeal surgery[J]. Int Anesthesiol Clin, 2017, 55: 11-32.
- [5] LI S Q, CHEN J L, FU H B, XU J, CHEN L H. Airway

- management in pediatric patients undergoing suspension laryngoscopic surgery for severe laryngeal obstruction caused by papillomatosis[J]. *Paediatr Anaesth*, 2010, 20: 1084-1091.
- [6] 石军,王军,邱美霞,李小葵. 气管内乳头状瘤激光切除术患儿间歇通气呼吸暂停麻醉应用时限的探讨[J]. *解放军医学杂志*, 2011, 36: 980-982.
- [7] WERAWATGANON T, SUPIYAPHUN P, KEREKHANJANARONG V, RODANANT O, SIRICHOTEWITHAYAKORN P. Intermittent apnea and total intravenous anesthesia for microscopic laryngeal surgery[J]. *J Med Assoc Thai*, 2004, 87: 547-550.
- [8] 裴春明,李天佐. 支撑喉镜下间断通气在小儿复发性喉乳头瘤患者的应用[J]. *中华医学杂志*, 2012, 92: 1916-1918.
- [9] TERA I T, TANAKA M, SUZUKI N, OKADA H, MIYATA H. Apneic anesthesia for microsurgery of the larynx under propofol anesthesia[J]. *Masui*, 1999, 48: 1211-1215.
- [10] 王军,渠晓丽,杨庆文,马丽晶. 呼吸道复发性乳头状瘤患儿术中缺氧耐受的观察[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2011, 25: 250-251, 254.
- [11] TAUSSIG L M, HARRIS T R, LEBOWITZ M D. Lung function in infants and young children: functional residual capacity, tidal volume, and respiratory rats[J]. *Am Rev Respir Dis*, 1977, 116: 233-239.
- [12] STOCKS J, QUANJER P H. Reference values for residual volume, functional residual capacity and total lung capacity. ATS workshop on lung volume measurements. Official statement of the European Respiratory Society[J]. *Eur Respir J*, 1995, 8: 492-506.
- [13] CHENG K S, LEE P F. A physiological/model study on the effects of deep breathing on the respiration rate, oxygen saturation, and cerebral oxygen delivery in humans[J]. *Neurophysiology*, 2018, 50: 351-356.
- [14] GOONASEKERA C D A, CARCILLO J A, DEEP A. Oxygen delivery and oxygen consumption in pediatric fluid refractory septic shock during the first 42 h of therapy and their relationship to 28-day outcome[J/OL]. *Front Pediatr*, 2018, 6: 314. DOI: 10.3389/fped.2018.00314.
- [15] FEIHL F, PERRET C. Permissive hypercapnia. How permissive should we be? [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 1994, 150(6 Pt 1): 1722-1737.
- [16] DOUGLAS A R, JONES N L, REED J W. Calculation of whole blood CO<sub>2</sub> content[J]. *J Appl Physiol* (1985), 1988, 65: 473-477.
- [17] 杜立中. 儿科疾病诊治原则[M]//王卫平. 儿科学. 8版. 北京:人民卫生出版社, 2013: 37.
- [18] 薛富善,罗来葵,王晓玲,廖旭,佟世义,安刚. 小儿麻醉诱导中无通气间期SpO<sub>2</sub>安全阈值的研究[J]. *临床麻醉学杂志*, 1997, 13: 211-214.

[本文编辑] 商素芳