

不同策略对 5 种品牌小儿套囊型气管插管放置深度的影响

章艳君¹ 杜洪印² 王胜³ 刘金柱¹ 袁志浩¹ 张文静¹

张野¹ 王菲¹ 乔海峰¹ 王志芬¹

¹天津市儿童医院(天津大学儿童医院)麻醉科,天津 300134; ²天津医科大学一中心临床学院麻醉科,天津 300192; ³中国科学技术大学附属第一医院麻醉科,安徽合肥 230001

通信作者:刘金柱, Email: liujinzhu11@126.com

【摘要】 目的 了解国内小儿套囊型气管插管的设计情况,比较不同气管插管深度放置策略下 5 种品牌插管尖端和套囊的放置情况。**方法** 选择 2020 年 10 月至 2021 年 12 月天津市儿童医院收治的 180 例年龄 1~6 岁,行全身麻醉气管插管的患儿作为研究对象,通过电子支气管镜测量患儿声门下气道长度。收集 5 种品牌(美迪斯、柯惠、坦帕、瑞京、维力)小儿套囊型气管插管设计参数,包括:气管插管套囊长度、气管插管尖端至套囊上缘的距离、气管插管尖端至声带线下缘的距离。根据 Motoyama 公式计算 180 例患儿所需的套囊型气管插管内径(ID)型号,应用 3 种指导气管插管深度放置策略:①声带线指导;②管尖置于隆突上 2 cm;③管尖置于气道中点,根据支气管镜下测量的声带与隆突的距离,计算每例患儿 3 种策略下不同品牌气管插管套囊和尖端放置情况。**结果** 5 种品牌小儿套囊型气管插管设计参数存在差异。根据计算:声带线指导下,插管尖端与隆突距离<1 cm 的放置率为 3.9%~67.8%,支气管插管发生率最高的为瑞京,可达 17.8%。将插管尖端放置于隆突上 2 cm,5 种品牌气管插管尖端和套囊均无放置不当情况。将插管尖端置于气道中点,除维力品牌外,其余 4 种品牌声门上和声门下区域总的套囊放置率均为 100%。**结论** 小儿套囊型气管插管不同品牌在设计上存在差异,部分设计存在导致气道并发症的风险。指导气管插管放置的策略和插管品牌都会影响气管插管的放置,1~6 岁小儿将插管尖端置于隆突上 2 cm 可实现本研究中品牌的小儿套囊型气管插管安全放置。

【关键词】 小儿; 气管插管; 气道管理

基金项目:天津市卫生健康科技项目(ZC20139)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2024.01.011

Effect of different strategies on the placement of 5 brands cuffed pediatric tracheal tubes

Zhang Yanjun¹, Du Hongyin², Wang Sheng³, Liu Jinzhu¹, Yuan Zhihao¹, Zhang Wenjing¹,

Zhang Ye¹, Wang Fei¹, Qiao Haifeng¹, Wang Zhifen¹

¹Department of Anesthesiology, Tianjin Children's Hospital (Children's Hospital, Tianjin University), Tianjin 300134, China; ²Department of Anesthesiology, the First Central Clinical School, Tianjin Medical University, Tianjin 300192, China; ³Department of Anesthesiology, First Affiliated Hospital of USTC, Division of Life Sciences and Medicine, University of Science and Technology of China, Hefei 230001, Anhui, China

Corresponding author: Liu Jinzhu, Email: liujinzhu11@126.com

【Abstract】 Objective To investigate the design of cuffed pediatric tracheal tubes and compare the effects of different tracheal intubation depth placement strategies on the position of the tracheal tube tip and cuff of 5 tracheal tube brands. **Methods** A total of 180 children who were admitted to Tianjin Children's Hospital from October 2020 to December 2021, with endotracheal intubation under general anesthesia, aged 1–6 years, were enrolled. The length of the subglottic airway was measured by electronic bronchoscopy. Dimensional data from 5 cuffed pediatric tracheal tube brands were recorded, including the length of the tracheal tube cuff, the distance from the tip of the tracheal tube to the upper edge of the cuff, and the tip of the tracheal tube to the lower edge of the tube glottis marker line the distance. Calculation of the required cuffed endotracheal tube internal diameter (ID) for 180 pediatric patients was performed based on the Motoyama formula, the positions of tracheal tube tip and upper cuff border were calculated for each of the 180 tracheas using depth mark to based tracheal tube placement, placement of the tracheal tube tip at 2 cm above the carina, and mid-tracheal tube placement. **Results** There were differences in the dimensional data of the 5 cuffed pediatric tracheal tube brands. Depth mark-based tracheal tube placement resulted in the incidence rate of tube tip to carina placement less than 1 cm was 3.9%–67.8%, and the highest incidence of bronchial intubation is Ruijing, up to 17.8%. The tracheal tube tip was placed 2 cm above the carina, and no improper placement of the tracheal tube cuff and tube tip was found in all brands. Mid-tracheal tube placement led to 100% subglottic and supraglottic tracheal tube cuff positions, except Weili. **Conclusions** There are differences in design between different brands of cuffed pediatric tracheal tube, and some of the design deficiencies may lead to the risk of airway complications. The method used to guide the insertion depth and the brand of cuffed tracheal tubes can affect the tracheal tube position. Placement of the tracheal tube tip at 2 cm above the carina allowed safe tracheal tube placement in children aged 1–6 years.

【Key words】 Child; Tracheal tube; Airway management

Fund program: Tianjin Health Science and Technology Project (ZC20139)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2024.01.011

虽然无套囊气管插管一直是 8 岁以下患儿的推荐选择,但由于套囊型气管插管具有换管次数少、能提供更准确的通气参数监测,以及可防止胃内容物误吸、减少漏气风险和医务工作者麻醉气体暴露等优势^[1],使其在小儿临床麻醉和危重症抢救气道管理中的应用越来越广泛。然而,小儿各年龄段气管长度的差异使得准确的气管插管放置变得至关重要和具有挑战性^[2-3]。与无套囊型气管插管只有插管尖端位置与临床直接相关不同的是,套囊型气管插管套囊和插管尖端的位置同样重要,因此小儿套囊型气管插管的设计和放置深度也受到越来越多的关注。据国外研究显示,小儿套囊型气管插管不同品牌在套囊的位置、大小以及指导气管插管深度放置的声带线等设计上存在着很大差异^[4-5],使得小儿套囊型气管插管放置适合的深度变得更加困难,存在套囊位置过浅导致声带或喉部损伤、气管插管过深可能会刺激隆突或支气管内插管,导致单肺通气、低氧血症,甚至肺损伤等的风险^[6-9]。目前国内鲜见关于不同品牌小儿套囊型气管插管设计参数比较的研究报告,因此,本研究收集了国内 5 种不同品牌的小儿套囊型气管插管数据,以期了解国内小儿套囊型气管插管的设计情况,并比较 3 种气管插管深度放置策略下,5 种品牌小儿套囊型气管插管尖端和套囊的放置情况。

1 资料与方法

1.1 研究对象:选择本院 2020 年 10 月至 2021 年 12 月收治的 180 例年龄 1~6 岁行全身麻醉气管插管的患儿作为研究对象。电子支气管镜下测量声带与隆突的距离,同时记录患儿性别、年龄、身高、体重。

1.1.1 纳入标准:① 全身麻醉气管插管者;② 美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)分级 I 级或 II 级者;③ 年龄 1~6 岁者。

1.1.2 排除标准:① 困难气道或有困难气道病史者;② 颈前组织肥厚、瘢痕或肿物及颈部活动受限者;③ 口腔、咽喉部、声门和气道解剖异常或病变者;④ 有胸腔或肺部畸形疾病者。

1.1.3 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,并经天津市儿童医院(天津大学儿童医院)医学伦理委员会批准(审批号: X201902),对患儿采取的操作均获得法定监护人同意并签署知情同意书。

1.2 声门下气道长度的测量:患儿入室前开通静脉通路,入室后静脉注射阿托品 0.01 mg/kg,咪达唑仑

0.05 mg/kg。常规监测心电图、血压和脉搏血氧饱和度(pulse oxygen saturation, SpO₂)。麻醉诱导:面罩吸入 100% 氧气使 SpO₂≥0.99,静脉注射丙泊酚 3 mg/kg、芬太尼 2 μg/kg 和阿曲库铵 0.5 mg/kg,肌松监测 4 个成串刺激(train-of-four, TOF)=0 时行经口气管插管,气管插管为普通无套囊型,气管插管型号选择:内径(internal diameter, ID)=(年龄/4+4.5)mm,进行漏气试验。插管完成后,患儿头部放置于 110°的中立位,即手术台水平面与连接眼外侧角和耳屏线之间的角度为 110°^[10]。将电子支气管镜从呼吸回路接头的吸引器位置置入测量声带与隆突的距离,测量过程中给予 100% 氧气行机械通气。

1.3 观察指标及方法

1.3.1 5 种品牌的小儿套囊型气管插管数据(表 1):收集国内临床应用的 5 种品牌的小儿套囊型气管插管数据,品牌包括:美迪斯、柯惠、坦帕、瑞京、维力;参数包括:气管插管尖端至套囊上缘和声带线下缘的距离、声带线下缘与套囊上缘的距离以及套囊的长度。为保证测量数据的准确性,对测量方法进行标准化,最终选取 3 次测量的平均值。

表 1 5 种不同品牌套囊型气管插管信息

品牌	制造商	声带标记线
美迪斯	天津美迪斯医疗用品有限公司	有
柯惠	Covidien Inc, USA	有
坦帕	杭州坦帕医疗科技有限公司	有
瑞京	江苏瑞京科技发展有限公司	有
维力	广州维力医疗器械股份有限公司	无

1.3.2 不同策略 5 种品牌套囊型气管插管的放置位置:180 例患儿所需套囊型气管插管的 ID 根据 Kemper 等^[6]应用的 Motoyama 公式计算[ID(mm)=年龄/4+3.5],推算得出所需小儿套囊型气管插管型号:1 岁 ID 3.5 mm, 2~3 岁 ID 4.0 mm, 4~5 岁 ID 4.5 mm, 6 岁 ID 5.0 mm。应用以下 3 种气管插管深度放置策略:策略 1 为将气管插管声带线放置于声带水平^[6, 11];策略 2 为将气管插管尖端放置于隆突上 2 cm;策略 3 为将气管插管尖端放置于气道中点。假设每种策略分别应用 5 种品牌,根据支气管镜测得每例患儿声带与隆突的距离,计算 180 例患儿 3 种策略下气管插管尖端和套囊上缘位置。

将 5 种品牌气管插管放置情况按以下 6 种情况进行统计:① 套囊位于声门上区域;② 套囊位于声门下区域;③ 套囊位于气管内;④ 管尖与隆突上的距离≥1.0 cm;⑤ 管尖与隆突的距离<1.0 cm;⑥ 支

气管插管。声带与隆突的距离包括声带与环状软骨出口之间的声门下区域和环状软骨出口至隆突之间的气管长度 2 部分,在计算气管插管套囊位置时,声门下区域的距离参照文献[12-16]中声带到环状软骨距离的最新数据定义为:1~3 岁声门下区域为声门下 10 mm,4~6 岁为声门下 12 mm。

1.4 统计学分析:使用 SPSS 23.0 统计软件分析数据,计量资料如符合正态分布以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示;计数资料以例(%)表示,采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 180 例患儿一般情况和声门下气道长度:180 例不同年龄患儿性别、身高、体质量、声门下气道长度见表 2。

表 2 180 例行全身麻醉气管插管患儿一般情况和声门下气道长度						
年龄 (岁)	例数 (例)	性别(例)		身高 (cm, $\bar{x} \pm s$)	体质量 (kg, $\bar{x} \pm s$)	声门下气道长度 (mm, $\bar{x} \pm s$)
		男性	女性			
1	30	19	11	81.6 $\pm$ 4.4	11.0 $\pm$ 1.1	59.3 $\pm$ 3.1
2	31	17	14	92.0 $\pm$ 6.6	13.3 $\pm$ 1.1	65.8 $\pm$ 2.7
3	28	13	15	101.8 $\pm$ 4.9	16.2 $\pm$ 1.7	72.1 $\pm$ 3.7
4	29	15	14	106.9 $\pm$ 5.4	17.0 $\pm$ 2.3	76.4 $\pm$ 3.5
5	34	18	16	115.3 $\pm$ 4.6	19.9 $\pm$ 2.7	80.2 $\pm$ 2.6
6	28	15	13	121.9 $\pm$ 6.0	23.2 $\pm$ 5.6	83.8 $\pm$ 3.7

2.2 5 种不同品牌小儿套囊型气管插管的参数(表 3):不同品牌之间声带线下缘与插管尖端的距离、套囊上缘与插管尖端的距离、套囊长度和声带线下缘与套囊上缘之间的距离有着很大的不同,相同 ID 型号不同品牌之间声带线下缘与套囊上缘之

间相差最高 17 mm,套囊长度相差最高 14 mm。5 种品牌中,收集到的维力品牌没有标注声带线,其余 4 种品牌相同 ID 型号之间声带标记线下缘与插管尖端的距离相差最高可达 16 mm。

表 3 气管插管参数在 5 种不同品牌的比较					
气管插管 参数	插管品牌(mm)				
	美迪斯	柯惠	坦帕	瑞京	维力
ID 3.5 mm					
声带线下缘与插管尖端	45	50	57	56	
套囊上缘与插管尖端	29	25	40	37	29
套囊长度	16	11	20	23	15
声带线下缘与插管套囊上缘	16	25	17	19	
ID 4.0 mm					
声带线下缘与插管尖端	55	55	55	70	
套囊上缘与插管尖端	35	32	42	40	28
套囊长度	18	16	20	25	14
声带线下缘与插管套囊上缘	20	23	13	30	
ID 4.5 mm					
声带线下缘与插管尖端	55	71	65	70	
套囊上缘与插管尖端	35	34	40	49	32
套囊长度	18	16	20	30	19
声带线下缘与插管套囊上缘	20	37	25	21	
ID 5.0 mm					
声带线下缘与插管尖端	56	71	65	71	
套囊上缘与插管尖端	40	46	45	49	37
套囊长度	22	26	25	29	19
声带线下缘与插管套囊上缘	16	25	20	22	

注:空白代表无此项

2.3 3 种策略指导下,5 种品牌气管插管放置情况(表 4):①策略 1:由于收集的维力品牌没有标注声带线,因此无法计算维力品牌声带线指导下气管插管放置情况,其余 4 种有声带线的品牌声门上和声门下区域套囊放置情况相同;4 种品牌插管尖端

表 4 3 种策略指导不同品牌气管插管放置情况																				
气管插管 套囊位置		例数	插管品牌〔%(例)〕					χ^2 值	P 值	气管插管 套囊位置		例数	插管品牌〔%(例)〕					χ^2 值	P 值	
		(例)	美迪斯	柯惠	坦帕	瑞京	维力					(例)	美迪斯	柯惠	坦帕	瑞京	维力			
策略 1: 声带线																				
套囊声门上区域		180	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)				管尖与隆突≥1 cm	180	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)				
套囊声门下区域		180	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)				管尖与隆突<1 cm	180	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)				
套囊气管内		180	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)				支气管插管	180	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)				
策略 3: 气道中点																				
管尖与隆突≥1 cm		180	96.1 (173)	57.8 (104)	75.0 (135)	32.2 (58)		174.246	<0.001	套囊声门上区域	180	22.2 (40)	17.2 (31)	83.9 (151)	98.9 (178)	2.8 (5)	544.691	<0.001		
管尖与隆突<1 cm		180	3.9 (7)	41.1 (74)	22.8 (41)	50.0 (90)		108.840	<0.001	套囊声门下区域	180	77.8 (140)	82.7 (149)	16.1 (29)	1.1 (2)	95.0 (171)	530.421	<0.001		
支气管插管		180	0(0)	1.1(2)	2.2(4)	17.8(32)		75.901	<0.001	套囊气管内	180	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	2.2(4)				
策略 2: 隆突上 2 cm																				
套囊声门上区域		180	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)			管尖与隆突≥1 cm	180	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)				
套囊声门下区域		180	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)			管尖与隆突<1 cm	180	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)				
套囊气管内		180	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)	100.0 (180)			支气管插管	180	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)				

注:空白代表无此项

与隆突距离 ≥ 1 cm 和 < 1 cm, 以及支气管插管发生情况差异有统计学意义($P < 0.01$), 其中插管尖端与隆突距离 < 1 cm 的放置率为 3.9%~67.8%, 支气管插管发生率最高为瑞京, 可达 17.8%; ② 策略 2: 将气管插管尖端放置于隆突上 2 cm, 5 种品牌气管插管套囊和插管尖端均无放置不当情况; ③ 策略 3: 将气管插管尖端放置于声门下气道中点, 5 种品牌均可见声门上和声门下区域套囊放置, 除维力仅有 2.2% 放置于环状软骨下方的气管内外, 美迪斯、柯惠、坦帕、瑞京 4 种品牌声门上和声门下区域总的套囊放置率均为 100%, 其中声门上区域套囊放置率为 2.8%~98.9%, 声门下区域套囊放置率为 1.1%~95.0%, 各品牌声门上和声门下区域套囊放置率比较差异有统计学意义($P < 0.01$)。

3 讨论

套囊型气管插管在小儿气道管理中的应用越来越广泛, 国外对小儿气管插管设计是否合理问题的关注越来越多, 国内相关研究却很少。在 Erb 等^[17]的研究中指出, 小儿套囊型气管插管的设计有很大差异, 存在导致气道并发症的风险。也有研究显示, 气管插管套囊压力管理也会影响气道并发症的发生^[18-19]。由于气管插管设计上的不足, 当插管的尖端位于隆突上时, 套囊则可能位于喉部, 即使套囊不充气, 锐利的套囊褶皱也会损伤黏膜, 导致小儿喉部受损^[20]; 当套囊位于声带下方, 即使插管尖端没有位于隆突, 其安全距离也非常短^[21]。鉴于以上情况, 一款根据小儿气道解剖数据设计的新型套囊型气管插管 Microcuff® 从问世以来就一直是国外研究的热点, 其特点是更小的套囊、更短的声带线与插管管尖距离和没有墨菲孔^[22-24]。为了更好地了解国内小儿套囊型气管插管的设计现状, 本研究收集了国内 5 种品牌小儿套囊型气管插管, 发现不同品牌之间的设计存在着很大的差异, 尤其是与临床密切相关的套囊长度、套囊与插管尖端距离以及声带线的标注等, 相对于 Microcuff® 插管, 均具有更大的套囊、更长的声带线和套囊与插管尖端的距离。

适当的声带线标注对于将套囊置于环状软骨下方、避免对声门下区域黏膜造成压力、防止喉内神经前支损伤以及保证气管导管放置于安全位置, 预防支气管插管和意外拔管均有着重要作用^[2, 14, 22]。本研究 5 种品牌中, 除收集到的维力品牌没有声带标记线外, 其余 4 种品牌声带线标注不同, 因此根据声带线指导插管深度无法实现标准化, 与国外研究

结果一致^[6, 25-26]。虽然设计不同, 4 种品牌应用声带线指导气管插管放置, 套囊均可放置于环状软骨下方气管内的安全区域。但在对气管插管尖端位置的评估中发现, 4 种品牌都有不同比例的插管过深情况, 发生率从最低的美迪斯 3.9% 到最高的瑞京 67.8%。其中瑞京声带线指导插管只有 32.2% 的插管尖端距隆突 > 1 cm, 支气管插管发生率甚至高达 17.8%, 经分析发现, 本研究收集到的 4 个 ID 型号中, 声带线下缘与插管尖端的距离, 除了 ID 3.5 mm 的为 56 mm 以外, 其余 3 个型号约为 70 mm, 而插管尖端过深的情况大多发生在 ID 4.0 mm 中。提示声带线标注时, 需根据小儿不同年龄的发育情况进行相应调整, 将有助于预防气管插管放置不当情况的发生; 同时, 临床应用声带线指导插管深度时, 应提前了解所用品牌的设计情况。

小儿无套囊气管插管理想放置深度被临床广泛接受的为插管尖端位于气管中部, 因其只有插管尖端位移与临床直接相关, 选择中部平衡了意外拔管和支气管内插管的风险。然而, 套囊型气管插管, 理想放置深度应实现将插管尖端和套囊同时安全放置, 放置于环状软骨、声门下区域和声带之间的气管插套囊有损伤小儿气道的风险^[14]。本研究结果显示, 将气管插管尖端放置于气道中点, 5 种品牌除维力 2.2% 的插管套囊位于环状软骨下方的气管内外, 其余 4 种品牌声门上和声门下区域总的套囊放置率均为 100%, 提示收集到的 5 种品牌小儿套囊型气管插管将插管尖端放置于气道中部存在损伤声带和声门区域黏膜的风险。

本研究中, 将气管插管尖端放置于隆突上 2 cm 的策略, 5 种品牌气管插管尖端和套囊均无放置不当情况, 提示对于 1~6 岁小儿该策略是一个比较安全、可靠的选择。本研究不足之处在于仅根据测量的声门下气道长度进行推算, 在临床实践中, 多应用胸部听诊将气管插管尖端放置于隆突上 2 cm 的位置。以往研究显示, 根据听诊将气管插管放置于隆突上 2 cm 的方法, 其气管插管适当放置率只有 65%^[27]。Ahn 等^[28]的研究显示, 超声肺滑动征指导 (87%) 比听诊 (65%) 能更准确地将气管插管放置于隆突上合适的位置。Sugiyama 等^[29]的研究发现, 气管插管的墨菲孔会影响听诊的准确性, Magill 管尖端超过隆突插入右主支气管 1.5 cm、Murphy 管插入 2.0 cm 时, 才观察到单侧听诊变化, 表明气体可从墨菲孔流向对侧肺并导致两侧的呼吸音相等,

从而使气管插管比预期插入更深,并增加支气管插管的风险。因此,在临床应用该方案指导小儿套囊型气管插管放置时,需要考虑实现该方案方法的准确性和所使用的气管插管类型。

本研究的局限性:①本研究没有包括气管插管套囊肩部的尺寸数据,以往研究显示,肩部有损伤气道黏膜的风险^[30];②本研究仅使用支气管镜测量 180 例患儿的气道长度数据,根据不同气管插管深度放置策略,对 5 种品牌套囊型气管插管的放置情况进行推算,各品牌气管插管并未进行实际的插管操作和放置位置测量;③本研究只评估了 5 种国内可收集到的小儿套囊型气管插管,要全面了解国内目前小儿套囊型气管插管的现状,还需要进一步深入研究。

综上所述,国内临床应用的小儿套囊型气管插管不同品牌间在设计上存在差异,部分设计上的不足存在导致气道并发症的风险。指导气管插管深度的策略及气管插管品牌都会影响气管插管尖端和套囊的放置,1~6 岁小儿将气管插管尖端放置于隆突上 2 cm 可实现本研究中品牌小儿套囊气管插管的安全放置。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Ho AM, Karmakar MK. Cuffed versus uncuffed pediatric endotracheal tubes [J]. *Can J Anaesth*, 2006, 53 (1): 106. DOI: 10.1007/BF03021538.
- [2] Propst EJ, Gorodensky JH, Wolter NE. Length of the cricoid and trachea in children: predicting intubation depth to prevent subglottic stenosis [J]. *Laryngoscope*, 2022, 132 Suppl 2: S1-S10. DOI: 10.1002/lary.29616.
- [3] Luscan R, Leboulanger N, Fayoux P, et al. Developmental changes of upper airway dimensions in children [J]. *Paediatr Anaesth*, 2020, 30 (4): 435-445. DOI: 10.1111/pan.13832.
- [4] Leong L, Black AE. The design of pediatric tracheal tubes [J]. *Paediatr Anaesth*, 2009, 19 Suppl 1: 38-45. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2009.03002.x.
- [5] Hunyady AI, Jonmarker C. Are preformed endotracheal tubes appropriately designed for pediatric patients? [J]. *Paediatr Anaesth*, 2015, 25 (9): 929-935. DOI: 10.1111/pan.12691.
- [6] Kemper M, Imach S, Buehler PK, et al. Tube tip and cuff position using different strategies for placement of currently available paediatric tracheal tubes [J]. *Br J Anaesth*, 2018, 121 (2): 490-495. DOI: 10.1016/j.bja.2018.05.002.
- [7] Fischer M, Grass B, Kemper M, et al. Cuffed pediatric endotracheal tubes—outer cuff diameters compared to age-related airway dimensions [J]. *Paediatr Anaesth*, 2020, 30 (4): 424-434. DOI: 10.1111/pan.13776.
- [8] Kemper M, Fischer M, Grass B, et al. Insertion of cuff inflation line into pediatric tracheal tubes related to oral and nasal tracheal intubation depth [J]. *Paediatr Anaesth*, 2021, 31 (6): 695-701. DOI: 10.1111/pan.14180.
- [9] Zander D, Grass B, Weiss M, et al. Cuffed endotracheal tubes in neonates and infants of less than 3 kg body weight—a retrospective audit [J]. *Paediatr Anaesth*, 2021, 31 (5): 604-610. DOI: 10.1111/pan.14104.
- [10] Jordi Ritz EM, Von Ungern-Sternberg BS, Keller K, et al. The impact of head position on the cuff and tube tip position of preformed oral tracheal tubes in young children [J]. *Anaesthesia*, 2008, 63 (6): 604-609. DOI: 10.1111/j.1365-2044.2008.05440.x.
- [11] Mariano ER, Ramamoorthy C, Chu LF, et al. A comparison of three methods for estimating appropriate tracheal tube depth in children [J]. *Paediatr Anaesth*, 2005, 15 (10): 846-851. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2005.01577.x.
- [12] Fayoux P, Marciniak B, Devisme L, et al. Prenatal and early postnatal morphogenesis and growth of human laryngotracheal structures [J]. *J Anat*, 2008, 213 (2): 86-92. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2008.00935.x.
- [13] Wysocki J, Kielska E, Orszulak P, et al. Measurements of pre- and postpubertal human larynx: a cadaver study [J]. *Surg Radiol Anat*, 2008, 30 (3): 191-199. DOI: 10.1007/s00276-008-0307-8.
- [14] Holzki J, Laschat M, Puder C. Stridor is not a scientifically valid outcome measure for assessing airway injury [J]. *Paediatr Anaesth*, 2009, 19 Suppl 1: 180-197. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2009.03004.x.
- [15] Sirisopana M, Saint-Martin C, Wang NN, et al. Novel measurements of the length of the subglottic airway in infants and young children [J]. *Anesth Analg*, 2013, 117 (2): 462-470. DOI: 10.1213/ANE.0b013e3182991442.
- [16] Song IK, Kim SH, Ryu J, et al. Prediction of the midtracheal level based on external anatomical landmarks: implication of the optimal insertion depth of endotracheal tubes in pediatric patients [J]. *Paediatr Anaesth*, 2016, 26 (12): 1142-1147. DOI: 10.1111/pan.12996.
- [17] Erb T, Frei FJ. The use of cuffed endotracheal tubes in infants and small children [J]. *Anaesthesist*, 2001, 50 (6): 395-400. DOI: 10.1007/s001010100158.
- [18] 滕洪云,程秀玲,杨万杰,等.应用最小漏气法确定人工气道气囊压的临床研究[J].*中华危重病急救医学*, 2020, 32 (4): 439-442. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200122-00143.
- [19] 陈岚,胡爱招.确定人工气道气囊最佳充气量的临床研究[J].*中华危重病急救医学*, 2014, 26 (5): 351-352. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.05.014.
- [20] Holzki J. Tubes with cuffs in newborn and young children are a risk! Remarks on the paper by T. Erb and F. J. Frei (Anaesthesist (2001) 50: 395-400 [J]. *Anaesthesist*, 2002, 51 (4): 321-323. DOI: 10.1007/s00101-002-0309-6.
- [21] Ho AM, Aun CS, Karmakar MK. The margin of safety associated with the use of cuffed paediatric tracheal tubes [J]. *Anaesthesia*, 2002, 57 (2): 173-175. DOI: 10.1046/j.0003-2409.2001.02364.x.
- [22] Weiss M, Gerber AC, Dullenkopf A. Appropriate placement of intubation depth marks in a new cuffed paediatric tracheal tube [J]. *Br J Anaesth*, 2005, 94 (1): 80-87. DOI: 10.1093/bja/aei294.
- [23] Weiss M, Knirsch W, Kretschmar O, et al. Tracheal tube—tip displacement in children during head-neck movement: a radiological assessment [J]. *Br J Anaesth*, 2006, 96 (4): 486-491. DOI: 10.1093/bja/ael014.
- [24] Matsuoka W, Ide K, Matsudo T, et al. The occurrence and risk factors of inappropriately deep tip position of microcuff pediatric endotracheal tube during PICU stay: a retrospective cohort pilot study [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2019, 20 (11): e510-e515. DOI: 10.1097/PCC.0000000000002097.
- [25] Goel S, Lim SL. The intubation depth marker: the confusion of the black line [J]. *Paediatr Anaesth*, 2003, 13 (7): 579-583. DOI: 10.1046/j.1460-9592.2003.01103.x.
- [26] Wallace CJ, Bell GT. Tracheal tube markings [J]. *Paediatr Anaesth*, 2004, 14 (3): 283-285. DOI: 10.1046/j.1460-9592.2003.01271.x.
- [27] Yamashita S, Takahashi S, Osaka Y, et al. Efficacy of the transillumination method for appropriate tracheal tube placement in small children: a randomized controlled trial [J]. *J Clin Anesth*, 2015, 27 (1): 12-16. DOI: 10.1016/j.jclinane.2014.09.003.
- [28] Ahn JH, Kwon E, Lee SY, et al. Ultrasound-guided lung sliding sign to confirm optimal depth of tracheal tube insertion in young children [J]. *Br J Anaesth*, 2019, 123 (3): 309-315. DOI: 10.1016/j.bja.2019.03.020.
- [29] Sugiyama K, Yokoyama K, Satoh K, et al. Does the Murphy eye reduce the reliability of chest auscultation in detecting endobronchial intubation? [J]. *Anesth Analg*, 1999, 88 (6): 1380-1383. DOI: 10.1097/00000539-199906000-00033.
- [30] Moehrlen U, Ziegler U, Weiss M. Scanning electron-microscopic evaluation of cuff shoulders in pediatric tracheal tubes [J]. *Paediatr Anaesth*, 2008, 18 (3): 240-244. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2007.02386.x.

(收稿日期: 2023-03-02)

(责任编辑: 邸美仙)