

· 综 述 ·

脉冲振荡肺功能在儿童小气道功能障碍疾病中的临床应用

冯诗媛 综述, 罗 健[△]审校

(重庆医科大学附属儿童医院呼吸科, 重庆 400014)

[摘要] 小气道功能障碍已被证实广泛存在于哮喘、慢性阻塞性肺病等疾病中,其临床表现不典型,不易被早期发现。及时明确小气道功能障碍,有利于疾病的早期治疗、准确判断及改善预后。脉冲振荡肺功能是一种新型的肺功能检测方式,目前被广泛认为是评估小气道功能最敏感的技术之一,其可以测量被检查者在平静呼吸时呼吸系统的阻抗(R)和电抗(X),了解中央和外周气道阻塞情况,同时具有无创、操作简单、重复性好等优点。

[关键词] 脉冲振荡; 儿童; 小气道; 临床应用; 综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2023.18.025 中图分类号:

文章编号:1009-5519(2023)18-3178-05 文献标识码:A

Clinical application of impulse oscillometry in children with small airway dysfunction

FENG Shiyuan, LUO Jian[△]

(Department of Respiratory Medicine, Children's Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400014, China)

[Abstract] Small airway dysfunction has been proved to be widespread in asthma, chronic obstructive pulmonary disease and other diseases, and its clinical manifestations are atypical and difficult to be detected early. Identifying SAD in time is conducive to early treatment, accurate judgment and improved prognosis of the disease. Impulse oscillometry is a new lung function test that is widely recognized as one of the most sensitive techniques for assessing small airway function. It can measure the resistance (R) and reactance (X) of the respiratory system of the inspected person during normal respiration, so as to understand the central and peripheral airway obstruction, and has the advantages of non-invasive, simple operation and good repeatability.

[Key words] Impulse oscillometry; Children; Small airway; Clinical application; Review

既往广泛认为肺部慢性疾病的发展和主要受大气道影响,因此小气道曾经被称为肺部的“沉默区”。但近半个世纪以来,医学专家逐渐认识到小气道病变的重要性,小气道功能障碍更是与哮喘、慢性阻塞性肺疾病(COPD)等疾病密切相关。相关流行病学调查显示,约 1/4~1/3 的哮喘患儿存在小气道功能障碍^[1],且对于气道直径更小的婴幼儿来说,小气道阻力可占总气道阻力的 50%。小气道功能障碍更是与哮喘频繁发作、运动相关性哮喘、严重气道高反应性及夜间过敏反应有关^[2-3]。因此,临床医生们需要高度重视儿童的小气道功能。

小气道功能检测缺乏“金标准”,且部分检测方法较为复杂,儿童难以配合。在目前的研究和临床实践中,脉冲振荡肺功能被认为是评估小气道功能最有潜力的技术之一。其具有较高的敏感性,无需特殊呼吸配合,同时具有无创、操作简单、重复性好等优点,特

别适用于儿童。

1 评估小气道方法

对小气道的研究已有悠久的历史,目前临床上用于检测小气道功能的方法众多,但因小气道指标均较敏感、易受多种因素影响,故尚无统一、确切的“金标准”。其检测方法大致可分为以下几种:(1)功能性检测:如肺功能;(2)影像学检测:如高分辨率 CT;(3)生物学检测:如呼出气一氧化氮。其中,肺功能检查因其“无创、准确率高、敏感性好、适用范围广”而于近年来在临床上被广泛应用。

1.1 脉冲振荡肺功能(IOS)

1.1.1 原理 IOS 是在强迫振荡技术的基础上,结合先进的计算机频谱分析技术发展起来的测定呼吸阻抗的新技术。其基本原理是置于外部的脉冲发射器产生矩形电磁脉冲,通过扬声器转换成包含各种频率的机械波,然后施加于受试者的静息呼吸上,连续

[△] 通信作者, E-mail: 331480372@qq.com。

记录自主呼吸时气道内的压力和流速,通过计算即可得到各种振荡频率下的呼吸阻抗值^[4]。不同频率下的 IOS 参数可反映呼吸系统不同部位的阻力情况,其中以 5~35 Hz 的参数最有意义。

1.1.2 主要参数 虽然 IOS 提供参数很多,但较有临床意义的常用参数包括总阻抗(Z_{rs})、5 Hz 时的电阻(R_5)、20 Hz 时的电阻(R_{20})、5 Hz 与 20 Hz 的电阻差值(R_5-R_{20})、5 Hz 时的电抗(X_5)、电抗下面积(reactance area, AX)及共振频率(F_{res})。呼吸 Z_{rs} 俗称呼吸阻力,反映呼吸时黏性阻力、弹性阻力和惯性阻力的总和,包括电阻 R 和电抗 X 2 项。其中 R 值反应气道的黏性阻力,称为阻抗。而 X 值则是惯性阻力和弹性阻力之和,称为电抗。

1.1.2.1 阻抗 R 目前,普遍认为 R_5 代表总气道阻力, R_{20} 代表中央气道阻力, R_5-R_{20} 代表外周气道阻力。因为低频下的振荡波波波长、能量大,被吸收的较少,可到达呼吸系统各部分,而高频波则反之。其中 R_5-R_{20} 认为是反映小气道损害的敏感指标^[5-6]。

1.1.2.2 电抗 X 电抗中的弹性阻力和惯性阻力二者方向相反,X 为二者综合后的结果。低频下的电抗主要反映的是弹性阻力,高频下的电抗主要反映的是惯性阻力,因此 X_5 被定义为周边弹性阻力。而 5 Hz 到 F_{res} 下的总电抗,称之为 AX,是反映电抗的综合指数。

1.1.2.3 F_{res} F_{res} 指弹性阻力与惯性阻力因方向相反而相互抵消时的振荡频率,此时电抗为 0,呼吸阻抗等于黏性阻力。 F_{res} 与 FEV1 和 FEF 25%~75% 具有较好的相关性,限制性或阻塞性通气功能障碍均可引起 F_{res} 升高,提示 F_{res} 可能是检测远端气道功能的一个很有前途的标记物。健康成人的 F_{res} 为 10 Hz 左右,健康儿童 F_{res} 比成人高,年幼儿童 > 30 Hz。

1.2 常规通气功能(PFT) PFT 采用最大呼气流量-容积曲线法(MEFV)测量小气道功能,反映小气道功能的指标主要有 FEF50%(呼出 50%肺活量时的呼气流速)、FEF 75%(呼出 75%肺活量时的呼气流速)、FEF 25%~75% [也称为最大呼气中段流量(MMEF)]。其中,FEF 25%~75%(MMEF)不仅能够反映气道阻塞,也被认为是反映小气道功能的主要标志^[7]。

但需要注意的是,对 FEF 25%~75% 的临床意义仍然存在争议。首先,这 3 个指标的变异性相对较大,易受到人为因素干扰,从而掩盖某些小气道功能的轻度改变;其次,FEF 25%~75% 虽然被认为是反映小气道气流受限的良好指标,但有学者认为其并不能准确的区分大小气道,仍是一个反映大小气道的综

合指标^[8];另一方面,小气道功能异常不等同于小气道疾病,且对于小气道疾病的判定标准国内外意见仍不统一,因为 FEF 25%~75% 兼具流速和容积 2 种特性,故受 FVC 影响较大。因此,有学者提出,只有当 FVC 正常时,其解读才更有意义^[9]。加上儿童作为一个特殊群体,在行常规通气功能时配合度较差,因此单独使用 PFT 反映小气道功能受损需谨慎看待,应结合临床综合解读。

1.3 其他检测方法 临床上常用检测小气道的方法还有高分辨率 CT(HRCT)、呼出一氧化氮($FeNO$),但它们均是间接反映小气道功能的方法,很少单独应用。

HRCT 可以测定气道壁厚度,评估气体陷闭,对评价气道重构具有重要意义。其可以对直径 > 2 mm 的中、大气道的管腔直径和管壁厚度进行直观、准确的影像学评估,但由于小气道内径和管壁小,HRCT 无法显示清晰,只能通过小气道所累及的肺实质改变征象来间接反映小气道病变。故 HRCT 在判断小气道病变中只能“定性”,无法“定量”。且 HRCT 辐射剂量较大,不利于儿童生长发育,故也需谨慎使用。

$FeNO$ 是一种简单的非侵入性工具,可用于测量嗜酸性粒细胞性气道炎症,其中 $FeNO_{200}$ 为经口呼出气流速为 200 mL/s 时所测得的呼出气一氧化氮浓度,主要用于反映小气道的炎症症。一项来自荷兰的 848 名儿童的大型出生队列研究表明,4 岁时 $FeNO$ 升高与 7.59 岁时医生诊断的哮喘增加相关^[10]。SINGER 等^[11] 在一项前瞻性研究中发现了类似的结果。丁金盾等^[12] 回顾性分析 222 例慢性咳嗽患者,发现 $FeNO$ 诊断支气管高反应性(BHR)的曲线下面积(AUC)为 0.624,FEF25、FEF50、FEF75 及 MMEF 的 AUC 分别为 0.699、0.694、0.644、0.687, X_5 的 AUC 为 0.604。同时采用 logistic 回归对 $FeNO$ 与小气道功能指标进行联合,发现 $FeNO$ 联合 MMEF 的模型诊断 BHR 的 AUC 最高为 0.735,较单用 $FeNO$ 或单用 MMEF 均有提升($P < 0.05$),而 $FeNO$ 与 X_5 联合的模型不成立,同时应用该模型未见 AUC 显著提升。但 $FeNO$ 水平受多种因素影响,因此,必须在临床背景下进行水平解释。

2 IOS 在儿童小气道功能障碍疾病中的临床应用

既往已在许多疾病状态下研究了 IOS,包括哮喘、COPD、支气管肺发育不良、成人间质性肺病等,但 IOS 在哮喘与 COPD 的应用中最为广泛。IOS 已被发现在测量哮喘和慢阻肺病患者对支气管扩张剂(如沙丁胺醇和异丙托溴铵)的反应时有很大的参考价值^[13-14],且已被用于成人和儿童患者的气道高反应性和气道阻塞的诊断^[15],而且 IOS 能比传统肺量测定

法更早地发现患者气道功能的微小变化。

2.1 哮喘 支气管哮喘是儿童时期最常见的慢性呼吸系统疾病,但全球范围内儿童哮喘的完全控制状况仍不理想,且我国儿童哮喘患病率的增长速率远高于发达国家平均水平^[16]。目前多个权威机构将 PFT 定为哮喘诊断和严重程度分级的标准,并用来评估哮喘的控制程度。但 PFT 需特殊呼吸配合,适用人群不包括大部分学龄前期及部分学龄期儿童。而 IOS 作为一项新的肺功能检测技术,其敏感性高,且具有重复性好、耗时短、操作简单等优点,学龄前期儿童均可完成。

YANAI 等^[17]利用支气管镜发现,健康成人的小气道阻力为总气道阻力的约 1/4,无症状新诊哮喘患者的小气道阻力增加至约 1/3,重度哮喘患者的小气道阻力增加达 1/2,这表明小气道在哮喘中占据着重要地位。且在致死性哮喘和中-重度哮喘患儿中均显示,其小气道结构已经出现异常,考虑小气道可能是严重哮喘患儿气道重塑的主要部位^[18]。

ANDERSON 等^[19]分析了 368 例被英国胸科学会定义的成人哮喘患者中 SAD 的患病率,证明了 SAD 在哮喘不同严重程度中持续存在。国内外众多研究表明,特别是运动诱发的哮喘、哮喘相关的夜间觉醒和老年哮喘患者均与 SAD 显著相关^[20-22]。

有研究表明,IOS 参数(R5-R20、X5、Fres、AX)与 FEF 25%~75%显著相关,且与 FEF 25%~75%相比,Fres 在检测 SAD 具有更高的敏感性,且 IOS 定义的 SAD 患者出现喘息或痰液产生的发生率明显更高^[23]。MARCELLO 等^[22]在成人哮喘患者中也表明,在哮喘全球倡议(GINA)分级 2~4 级中,FEF 25%~75%定义的 SAD 患者比例低于 IOS 定义的患者比例,表明 IOS 对轻度哮喘的小气道功能障碍的检测更敏感。

KOMAROW 等^[24]研究表明,IOS 参数对是否患有哮喘的鉴别较常规肺功能参数更敏感,尤其是对于那些使用支气管扩张剂后 R5 或 R20 下降超过 20%的患儿。SOL 等^[25]研究表明,使用 IOS 测量每个潮汐呼吸阶段吸气和呼气之间 R5-R20、X5 和 AX 的变化,不仅比测量全呼吸段更加敏感、高效,还可以用来区分患有哮喘或有哮喘风险的儿童和没有哮喘的儿童。

张佳敏等^[26]研究发现,即使常规肺功能和支气管激发试验均为阴性,但哮喘再发组其 IOS 指标仍未恢复正常,如 R20、X5 及 Fres 在运动激发试验后均有升高。在一项对 54 例轻、中度哮喘儿童(年龄 7~17 岁)的纵向分析中,临床症状和 PFT 认为这些儿童控制良好,但与 PFT 相比,R5-R20 和 AX 对初次就诊

后 8~12 周失控的预测能力更强^[8]。

LARSEN 等^[27]在一项为期 48 周的学龄期轻-中度慢性持续期哮喘患儿研究中发现,FEF 25%~75%及 AX 均可对治疗效果起到良好的反馈作用,但 AX 是唯一在治疗后期显示肺功能参数进行性变化的指标。此外,在较低的甲胆碱剂量下,IOS 早在 FEV1 反应之前就可观察到耐药性的显著增加^[28]。提示 IOS 能探索一些常规肺功能所未能达到的呼吸道领域,值得进一步研究。

2.2 COPD 在 COPD 中,小气道已被证明是气流阻塞的主要部位。涉及 IOS 的最大数据库是 E-CLIPSE 队列^[29],包括 2 054 例 COPD 患者(GOLD 2~4 期)和 233 名健康对照,其中进行了高分辨率 CT 扫描。R20 值在 2~4 期 GOLD 阶段相似[0.29、0.31、0.31 kPa/(L·s)],但高于对照组[0.26 kPa/(L·s)];相比之下,R5~R20 在 GOLD 阶段 2~4 期[0.15、0.20、0.24 kPa/(L·s)]与对照组[0.07 kPa/(L·s)]成比例增加。进而表明,COPD 肺阻力增加的主要决定因素是较小的气道而非较大的气道,且小气道病变常发生在这些疾病的早期。IOS 在发现小呼吸道阻塞方面具有很大优势^[30],可通过测定小气道指标发现未达到 COPD 诊断标准但却存在持续小气道功能紊乱的患者,从而临床进行更好的预防。

而儿童时期持续反复发作的哮喘可进一步导致肺功能损伤,增加成人 COPD 的患病风险^[31],尤其是重度哮喘,其发展为 COPD 的风险较正常儿童高 32 倍^[32]。IOS 用于哮喘患儿特别是学龄前儿童检测具有较好的敏感性,KNIHTILA 等^[33]的一份报告确定,2~7 岁时 R5 和 R5-R20 的 IOS 测量异常可预测青春期支气管扩张剂后 FEV1 持续异常。因此可利用 IOS 对小气道功能变化敏感这一特性,对于疾病尽早治疗,早期、规律地进行呼吸道管理,这可能会降低哮喘患儿远期罹患 COPD 的风险^[34-35]。

在成人研究中发现,Fres 为 IOS 检查诊断慢阻肺患者的最佳指标^[36],且在区分不吸烟者和重度吸烟者[曲线下面积(AUC):0.771 和 0.753 vs. 0.570 和 0.558]及重度吸烟者和 I 期 COPD 患者(AUC:0.726 和 0.633 vs. 0.548 和 0.567)的 SAD 时,Fres 和 R5-R20 比第一秒用力呼气量(FEV1)和最大呼气流速(MMEF)具有更大的诊断价值^[37]。此外,IOS 检查还可作为小气道功能的评估工具而用于临床疗效的评价中,如在 N-乙酰半胱氨酸治疗慢阻肺的临床试验中发现,虽然用药后 FEV1 无改善,但 MMEF 和 IOS 指标表现出改善^[38]。

2.3 其他小气道疾病 小气道疾病是指一组涉及细支气管和小气道的疾病种类。此类疾病是一类不可

逆的慢性阻塞性呼吸道疾病,通常预后较差,患者可能需要家庭氧疗和(或)肺移植。近半个世纪,医学专家主要认识到了几种细支气管损伤的类型,其中包括闭塞性细支气管炎(BO)、弥漫性泛支气管炎(DPB)和滤泡性细支气管炎(FB)。但此类疾病临床上较少见,明确诊断、治疗有较大困难,其中 BO 尚为大众所知。有研究表明,早期适当的治疗可以改善闭塞性毛细支气管炎的预后。但由于 BO 与支气管哮喘临床表现相似,极有可能被误诊。因此,对于支气管哮喘治疗无效的患者,儿科医生在鉴别诊断时应考虑具有类似体征和症状的其他疾病,如闭塞性细支气管炎。IOS 在发现小呼吸道阻塞方面具有很大优势,未来可将 IOS 运用到此类疾病的诊断、治疗与随访中。但由于 IOS 对其应用案例较少,此处暂不赘述。

3 结语及展望

虽然 IOS 对小气道敏感性高,且在明确呼吸道阻塞部位上具有一定优势,但是 IOS 的生理基础较薄弱、发展时间较短,其临床应用及技术解读尚不成熟。且由于 IOS 检查与 PFT 测量原理和测量时呼吸状态的不同,两者的结果不完全一致。在成人研究中证明,IOS 测定的变异度也较 PFT 大^[39],故 IOS 单独应用的准确性还有待商榷。另外,儿童是一个特殊的群体,他们配合度差,检查完成的质量易受人为因素干扰,从而影响结果判读。因此,儿童小气道功能的评估要紧密结合临床和其余辅助技术。

国内已通过多中心研究建立了 IOS 成人预计值方程及正常参考值范围^[40],可供临床及科研使用,但我国统一的儿童预计值方程仍待进一步研究建立。且儿童肺功能发展轨迹更是成人 COPD 发生和转归的主要关注点,而 IOS 作为最有潜力的诊断技术之一,未来可与传统肺功能检测相结合,弥补传统肺功能无法应用于学龄前期儿童的缺陷,丰富肺部疾病的诊断思路及手段,降低患儿远期罹患 COPD 的可能性。

参考文献

- [1] 上海市医学会儿科学分会呼吸学组,上海儿童医学中心儿科医疗联合体(浦东),上海智慧儿科临床诊治技术工程技术研究中心. 儿童哮喘小气道功能障碍评估及治疗专家共识[J]. 中华实用儿科临床杂志,2021,36(23):1761-1768.
- [2] TAKEDA T, OGA T, NIIMI A, et al. Relationship between small airway function and health status, dyspnea and disease control in asthma [J]. *Respiration*, 2010, 80(2):120-126.
- [3] RAO D R, GAFFIN J M, BAXI S N, et al. The utility of forced expiratory flow between 25% and 75% of vital capacity in predicting childhood asthma morbidity and severity[J]. *J Asthma*, 2012, 49(6):586-592.
- [4] 赵后彤,朱述阳. 脉冲振荡肺功能在呼吸系统中的应用[J]. 临床肺科杂志, 2017, 22(9):1698-1701.
- [5] OPPENHEIMER B W, GOLDRING R M, HERBERG M E, et al. Distal airway function in symptomatic subjects with normal spirometry following World Trade Center dust exposure [J]. *Chest*, 2007, 132(4):1275-1282.
- [6] SKLOOT G, GOLDMAN M, FISCHLER D, et al. Respiratory symptoms and physiologic assessment of ironworkers at the World Trade Center disaster site [J]. *Chest*, 2004, 125(4):1248-1255.
- [7] MARSEGLIA G L, CIRILLO I, VIZZACCARO A, et al. Role of forced expiratory flow at 25% - 75% as an early marker of small airways impairment in subjects with allergic rhinitis [J]. *Allergy Asthma Proc*, 2007, 28(1):74-78.
- [8] SHI Y, ALEDIA A S, GALANT S P, et al. Peripheral airway impairment measured by oscillometry predicts loss of control in children [J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2013, 131:718-723.
- [9] SORKNESS R L, BLEECKER E R, BUSSE W W, et al. Lung function in adults with stable but severe asthma: Air trapping and incomplete reversal of obstruction with bronchodilation [J]. *J Appl Physiol*, 2008, 104(2):394-403.
- [10] CAUDRI D, WIJGA A H, HOEKSTRA M O, et al Prediction of asthma in symptomatic preschool children using exhaled nitric oxide, Rint and specific IgE [J]. *Thorax*, 2010, 65:801-817.
- [11] SINGER F, LUCHSINGER I, INCI D, et al Exhaled nitric oxide in symptomatic children at preschool age predicts later asthma [J]. *Allergy*, 2013, 68:531-538.
- [12] 丁金盾,邱章伟,徐晓婷,等. 呼出气一氧化氮与小气道功能预测咳嗽变异性哮喘患者支气管高反应性 [J]. 临床肺科杂志, 2022, 27(2):169-173.

- [13] MORGAN W J, STERN D A, SHERRILL D L, et al. Outcome of asthma and wheezing in the first 6 years of life: Follow-up through adolescence[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2005, 172(10):1253-1258.
- [14] PELLEGRINO R, VIEGI G, BRUSASCO V, et al. Interpretative strategies for lung function tests[J]. *Eur Respir J*, 2005, 26(5):948-968.
- [15] NEVE V, EDME J L, DEVOS P, et al. Spirometry in 3-5-year-old children with asthma[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2006, 41(8):735-743.
- [16] 洪建国. 我国儿童哮喘流行病学和诊治状况[J]. *中华医学信息导报*, 2020, 35(2):22-22.
- [17] YANAI M, SEKIZAWA K, OHRUI T, et al. Site of airway obstruction in pulmonary disease: Direct measurement of intrabronchial pressure[J]. *J Appl Physiol*, 1992, 72(3):1016-1025.
- [18] DOLHNIKOFF M, DA SILVA L F, DE ARAUJO B B, et al. The outer wall of small airways is a major site of remodeling in fatal asthma[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2009, 123(5):1090-1097.
- [19] ANDERSON W J, ZAJDA E, LIPWORTH B J. Are we overlooking persistent small airways dysfunction in community-managed asthma? [J]. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 2012, 109:185-189.
- [20] COTTINI M, LICINI A, LOMBARDI C, et al. Clinical characterization and predictors of IOS-defined small airway dysfunction in asthma[J]. *J Allergy Clin Immunol Pract*, 2019, 198(19):30932-30938.
- [21] VAN DER WIEL E, TEN HACKEN N H, POSTMA D S, et al. Small-airways dysfunction associates with respiratory symptoms and clinical features of asthma: A systematic review[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2013, 131(3):646-657.
- [22] ARCELLO C, LICINI A, LOMBARDI C, et al. Prevalence and features of IOS-defined small airway disease across asthma severities[J]. *Respir Med*, 2021, 176:106243.
- [23] CHIU H Y, HSIAO Y H, SU K C, et al. Small airway dysfunction by impulse oscillometry in symptomatic patients with preserved pulmonary function[J]. *J Allergy Clin Immunol Pract*, 2020, 8(1):229-235.
- [24] KOMAROW H, SKINNER J, YOUNG M, et al. A study of the use of impulse oscillometry in the evaluation of children with asthma: Analysis of lung parameters, order effect, and utility compared with spirometry [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2012, 112(36):4718-4726.
- [25] SOL I S, KIM Y H, KIM S, et al. Assessment of within-breath impulse oscillometry parameters in children with asthma[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2019, 54(2):117-124.
- [26] 张佳敏, 方乔乔, 刘峰, 等. 肺功能脉冲震荡法判断儿童哮喘控制水平监测的敏感性[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2018, 38(12):1781-1783.
- [27] LARSEN G L, MORGAN W, HELIT G P, et al. Impulse oscillometry versus spirometry in a long-term study of controller therapy for pediatric asthma[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2009, 123(4):861-867.
- [28] SCHULZE J, SMITH H J, FUCHS J, et al. Methacholine challenge in young children as evaluated by spirometry and impulse oscillometry [J]. *Respir Med*, 2012, 106:627-634.
- [29] ARSHAD S H, HODGEKISS C, HOLLOWAY J W, et al. Association of asthma and smoking with lung function impairment in adolescence and early adulthood: The Isle of Wight birth cohort study [J]. *Eur Respir J*, 2020, 55(3):1900477.
- [30] TIMONEN K L, RANDELL J T, SALONEN R O, et al. Short-term variations in oscillatory and spirometric lung function indices among school children[J]. *Eur Respir J*, 1997, 10(1):82-87.
- [31] BUI D S, WALTERS H E, BURGESS J A, et al. Childhood respiratory risk factor profiles and middle-age lung function: a prospective cohort study from the first to sixth decade[J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2018, 15(9):1057-1066.
- [32] TAI A, TRAN H, ROBERTS M, et al. The association between childhood asthma and adult chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Thorax*, 2014, 69(9):805-810. (下转第 3240 页)

有效预测术后能否拔出气管导管,评估术后是否出现呼吸困难的情况^[10],通过测量不同时间点膈肌厚度(吸气末和呼气末)、膈肌移动度并计算出膈肌厚度变化率(DTF),用以指导临床上拔管撤机的时机。

结合该病例,术前已通过心脏超声检查和肺超声检查评估心包积液量和胸腔积液量,在麻醉诱导前即进行了桡动脉穿刺,如此能快速评估围手术期血流动力学的变化。在麻醉诱导时,既要避免因为麻醉过浅造成心动过速而出现低心排的状况,又要避免麻醉过深造成心脏抑制出现心动过缓及低血压休克的情况。术中合理设置呼吸机参数,进行合理的液体管理,控制适当的麻醉深度,维持围手术期血流动力学稳定,通过与外科医生、护士的紧密配合,顺利完成该例胸腔镜手术,术毕再次行床旁超声检查评估积液量,避免术后肺水肿的发生,确保患儿围手术期生命安全。

参考文献

- [1] 孙艳娜,符莹,林健人,等. 5 例婴儿急性淋巴细胞性白血病临床分析[J]. 现代肿瘤医学,2022,30(14):2621-2624.
- [2] 李亚容,陈浩. 急性髓系白血病并发大量血性心包积液 1 例[J]. 临床肿瘤学杂志,2022,27(11):1055-1056.
- [3] 彭玲珑,杜敏,郭冉,等. 心包积液患儿围手术期不良事件的危险因素分析[J]. 临床麻醉学杂志,2015,31(4):368-371.
- [4] 刘杰,丛旭晖,张加强. 胸科麻醉苏醒期心包积液

致局限性心脏压塞 1 例[J]. 麻醉安全与质控,2019,3(1):34-35.

- [5] TEMPLETON T W, PICCIONI F, CHATTERJEE D. An update on one-lung ventilation in children[J]. Anesth Analg,2021,2021:132.
- [6] 万泛旋,曾荣安,李少春,等. 床旁超声在心血管危重症患者中的应用[J]. 中国急救复苏与灾害医学志,2022,17(4):533-536.
- [7] 秦学伟,陈宣伶,姚兰. 经食管超声心动图在心包剥脱术容量监测中的应用[J]. 山东医药,2020,60(5):69-72.
- [8] 欧红萍,周凤勤. 超声在胸腔积液诊断中的应用价值[J]. 临床和实验医学杂志,2013,12(14):1151-1152.
- [9] LI R, LIU H, QI H, et al. Lung ultrasound assessment of acute respiratory distress syndrome caused by coronavirus disease 2019: An observational study[J]. Hong Kong J Emerg Med, 2021,28(1):8-14.
- [10] RAHMAN D A A, SABER S, EL-MAGHRABY A. Diaphragm and lung ultrasound indices in prediction of outcome of weaning from mechanical ventilation in pediatric intensive care unit[J]. Indian J Pediatr,2020,87(6):413-420.

(收稿日期:2023-02-01 修回日期:2023-05-12)

(上接第 3182 页)

- [33] KNIHTILA H, KOTANIEMI-SYRJANEN A, MAKELA M J, et al. Preschool oscillometry and lung function at adolescence in asthmatic children [J]. Pediatr Pulmonol,2015,50:1205-1213.
- [34] GALANT S P, KOMAROW H D, SHIN H W, et al. The case for impulse oscillometry in the management of asthma in children and adults [J]. Ann Allergy Asthma Immunol,2017,118(6):664-671.
- [35] SCHULZE J, BIEDEBACH S, CHRISTMANN M, et al. Impulse oscillometry as a predictor of asthma exacerbations in young children [J]. Respiration,2016,91(2):107-114.
- [36] LIU Z, LIN L, LIU X. Clinical application value of impulse oscillometry in geriatric patients with COPD[J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis,2017,12:897-905.
- [37] SU Z Q, GUAN W J, LI S Y, et al. Significances of spirometry and impulse oscillometry

for detecting small airway disorders assessed with endobronchial optical coherence tomography in COPD [J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis,2018,13:3031-3044.

- [38] TSE H N, RAITERI L, WONG K Y, et al. High-dose N-acetylcysteine in stable COPD: the 1-year, double-blind, randomized, placebo-controlled HIACE study [J]. Chest,2013,144(1):106-118.
- [39] 中国医师协会呼吸医师分会肺功能与临床呼吸生理工作委员会,中华医学会呼吸病学分会肺功能学组,中国老年医学会呼吸分会肺功能学组. 肺功能检查技术规范——脉冲振荡技术检查[J]. 中华结核和呼吸杂志,2022,45(10):960-969.
- [40] LIANG X L, GAO Y, GUAN W J, et al. Reference values of respiratory impedance with impulse oscillometry in healthy Chinese adults [J]. J Thorac Dis,2021,13(6):3680-3691.

(收稿日期:2022-12-05 修回日期:2023-04-10)