

儿童肺功能检测及评估专家共识

张皓¹ 鄢宇芬¹ 黄剑峰² 王立波² 刘传合³ 向莉⁴ 万莉雅⁵ 赵德育⁶ 吴美思⁶
郝创利⁷ 杨晓蕴⁷ 邓力⁸ 余嘉璐⁸ 林剑⁹ 罗健¹⁰ 刘恩梅¹⁰ 舒林华¹¹ 尚云晓¹¹

1.交通大学医学院附属上海儿童医学中心(上海 200127);2.复旦大学附属儿科医院(上海 201102);
3.首都儿科研究所附属儿童医院(北京 100020);4.首都医科大学附属北京儿童医院(北京 100045);
5.天津儿童医院(天津 300074);6.南京医科大学附属南京儿童医院(江苏南京 210008);7.苏州大学
附属儿童医院(江苏苏州 215004);8.广州市妇女儿童医疗中心(广东广州 510623);9.温州医科大学
附属育英儿童医院(浙江温州 325027);10.重庆医科大学附属儿童医院(重庆 400014);11.中国医科
大学附属盛京医院(辽宁沈阳 110004)

儿童呼吸系统疾病无论是发病率还是病死率在儿科各系统疾病中均占第一位。肺功能检测在儿童呼吸系统疾病的临床和科研中占有重要地位。6岁以上儿童能较好地配合肺功能检测,检测方式及报告解读主要参照成人;6岁以下,尤其是4岁以下儿童,由于难以配合常规检测,缺乏合适的检测方式,故一直存在较多争议,但这部分儿童正处于肺发育及呼吸道疾病的高发期,准确的肺功能检查对其疾病的治疗、预后,以及呼吸生理研究都有很大的意义。

我国开展儿童肺功能检测已有十多年,并于2009年5月成立了中国儿童肺功能协作组。为规范指导国内儿童肺功能检测,便于临床医师对儿童肺功能检测结果的解读,中国儿童肺功能协作组讨论形成本共识。

1 儿童肺功能检测的临床应用

肺功能检测是临床胸、肺疾病及呼吸生理评估的重要内容,能够确定并量化呼吸系统功能的缺陷和异常,有助于确定肺功能异常的类型(如阻塞性或限制性),追踪病程中肺功能损害程度。肺功能检测对于早期检出肺、气道病变,鉴别呼吸困难原因、病变部位,评估疾病严重程度及其预后,评定药物或其他治疗效果,评估手术耐受性及监护危重患儿等均必不可少。由于其能为临床提供大量的信息,尤其是在儿童哮喘及慢性咳嗽的诊断及鉴别诊断中具有重要的作用,肺功能检测在儿科中越来越受到重视。

1.1 哮喘

支气管哮喘是发病率最高的儿童慢性疾病之一,其反复发作的咳、喘、呼吸困难给患儿及家长造成了巨大的心理、经济压力。如何给予最恰当的评估和治疗

在国内外的哮喘指南均有详细的描述^[1-3],而其中绝大多数指南均指出必须以一秒用力呼气容积(forced expiratory volume in one second, FEV1)作为主要的实验室客观监测指标,评价哮喘发作的严重程度及控制情况。如间歇状态和轻度持续,FEV1占预计值>80%;中度持续,FEV1占预计值60%~79%;重度持续,FEV1占预计值<60%。在治疗随访过程中,如何减药、何时停药都需要经过肺功能的客观评价。2008年中国儿童哮喘诊断和防治指南指出,应每3~6个月对患儿进行一次评估,内容主要包括临床症状及肺功能检测等^[2]。哮喘患儿治疗药物减量或停药前,可以通过用力通气肺功能进行疗效的评估;但在治疗1年以上,尤其是2~3年以上准备停药的患儿,必须选择特异度更高的检查,如支气管激发试验。若患儿气道高反应性已明显好转,可以考虑停药,此时停药后再复发的概率要比盲目停药低很多。

1.2 慢性咳嗽

临床出现反复咳嗽达4周以上称为慢性咳嗽^[4],其原因复杂,而其中又以咳嗽变异性哮喘所占比例最高,但诊断困难。2008年中国儿童哮喘诊断与防治指南指出,在临床基础上可以通过气道可逆性试验(支气管激发试验、支气管舒张试验)来帮助确诊^[2]。

1.3 呼吸功能的评价

临床上呼吸系统病变或其他系统疾病如心脏、血液、结缔组织病、胸廓畸形等都会累及肺部,从而导致呼吸功能受损。肺功能检测能在早期就给以提示。

1.4 呼吸困难原因的鉴别

肺功能检测,尤其是支气管舒张试验、支气管激发试验,同时配合心电图等其他检查,能明确诊断呼吸困

通信作者:张皓 电子信箱:zhang123hao2004@163.com

难(如胸闷、大叹气、喘憋等)的真正原因。

1.5 肺部病变程度的评估

肺部病变的严重程度往往在肺功能上会有非常客观的反映,病变性质也会有所体现,如哮喘、支气管肺炎以阻塞性病变为主,大叶性肺炎、肺不张、婴儿支气管肺发育不良、间质性肺病等则以限制性病变为主。

1.6 大小气道阻塞的鉴别诊断

大小气道阻塞临床表现都为咳嗽、喘息或呼吸困难。如婴幼儿急性喉炎、先天性喉喘鸣、哮喘等均会导致喘憋、呼吸困难,前两者是喉部大气道的阻塞,后者则是中小气道尤其是小气道的阻塞,通过婴幼儿潮气呼吸肺功能检测能迅速得出结论,从而辅助临床甄别。

1.7 肺功能检测在手术前后的应用^[5]

肺功能检测是评估外科,尤其是心胸外科和腹部手术适应证的重要方法之一,可用于评估患儿能否耐受手术、耐受全麻、手术过程及围手术期内风险度,用于预测术后可能并发症的发生、手术后生命质量、术后康复等。

1.8 危重病人的监护

呼吸系统静态顺应性可作为简便的辅助判断儿童呼吸系统疾病严重程度及监测病情变化的肺功能指标。临床上应用肺表面活性物质可以增加顺应性;机械通气时患儿产生最大肺顺应性的呼气末正压(positive end expiratory pressure, PEEP)压力为最佳PEEP,因为这时可以产生最大的氧转运和最小的死腔。

血气分析是婴幼儿时期一项很重要的肺功能检测,在以往婴幼儿肺功能检测设备缺乏情况下,是判断婴幼儿呼吸功能状态的最主要手段。婴幼儿时期肾功能未完全成熟,排酸能力较差,可通过过度通气来代偿,且由于肺泡组织弹性差,闭合容量相对较大,故婴幼儿二氧化碳分压(PaCO_2)偏低。 PaCO_2 和氧分压(PaO_2)的变化可反映通气功能,单纯的 PaO_2 变化可反映换气功能,右向左分流的先天性心脏病、肺炎患儿可有 PaO_2 下降,严重感染如腺病毒肺炎,可引起 PaCO_2 上升。

1.9 呼吸肌功能检查

各种原因引起呼吸肌运动能力和功能暂时性下降,称为呼吸肌疲劳,主要表现为吸气肌疲劳。检测指标主要是最大吸气压(maximal inspiratory pressure, MIP)、最大呼气压(maximal expiratory pressure, MEP)。MIP、MEP可基本反映全部吸气肌、呼气肌的功能^[5]。

1.10 其他

肺功能参数与患儿身高、体质量、年龄、性别密切相关,尤其是身高。如果患儿生长发育差,其肺功能将会(明显)低于同龄儿童。另外,良好的运动能力与良好的肺功能状态密切相关。喘息儿童,尤其是喘息急

性发作时,往往无法耐受运动。

2 常用肺功能检查方法

儿童肺功能检查有很多方式,目前在国内及国际上应用较为广泛的有:常规通气法,潮气呼吸法,阻断法,体描法(大儿童,婴幼儿),胸腹腔挤压法,弥散法,脉冲振荡法,气道反应性测定(激发试验,舒张试验)等。对于不同的年龄,应选择不同的方式,见表1。

不同的检查方法各有优势,但不能同时涵盖所有方面,如:脉冲振荡只能获得阻力及继之所推算出来的顺应性,得不到肺的容量;常规通气可获得容量、流速指标,但不能得到阻力的参数;小婴儿中的阻断测试,只能测知阻力和顺应性,而不能获得功能残气;婴儿体描可测得阻力、功能残气,而不能得到流速等指标。所以若有可能,同一儿童可进行几种方式的检测以获得最多的数据来协助评价。4岁以上儿童在上述检查基础上,又衍生出支气管激发试验、支气管舒张实验,可以进行气道高反应和气道可逆性的检查。

3 肺功能检测的要求

理想的肺功能检测需要既可以灵敏、特异地区分有无异常,又可以进行稳定的长期随访,从而获知儿童至成人的变化,同时还要简单、安全、重复性好。但实际上往往难以达到如此理想的效果。影响肺功能检测结果的主要因素:①仪器,如死腔、流速容量传感器的精密度、流速分辨率等;②定标系统,每天的环境定标、容积定标等;③大龄儿童的配合度;④婴幼儿是否安静入睡;⑤预计值的选取。

3.1 检测前准备

3.1.1 校正 保持检测环境温度、湿度相对恒定,每天开机后首先进行容积、外界温度、湿度、大气压的校正,以达到BTPS (body temperature and pressure saturated)状态,即正常体温(37°C)、标准大气压(760 mmHg)、饱和水蒸气的状态,同时进行容积校正^[6](大龄儿童用1~3 L的定标筒,婴幼儿用100 ml的定标筒),容积误差应在 $\pm 2.0\% \sim \pm 3.0\%$ 的范围内。

3.1.2 患儿准备 常规测体质量、身高(精确到0.5 cm)。胸廓畸形影响身高测量时,可通过测量臂距来估算身高。记录性别、出生年月,放松衣服。检测年长儿时,需讲解检测方法和要求以及配合要领。婴幼儿检测一般在进食后30 min进行,以防止胃食道反流。对于不配合的年幼儿童可先用水合氯醛($30 \sim 50 \text{ mg/kg}$,最大剂量不超过 100 mg/kg)口服或灌肠镇静催眠,新生儿可待其自然睡眠。鼻塞的儿童可鼻腔滴入血管收缩剂(0.5%麻黄素1、2滴)缓解鼻塞,减少鼻腔阻力,安静睡

表1 不同年龄肺功能检测方法

年龄	常用检测方法	主要参数
<2岁	潮气呼吸法	VT/kg, PTEF, TEF25, TEF50, TEF75, TFVL, TPTEF/TE, VPEF/VE
	阻断法	RrsSO, CrsSO, RrsDO, CrsDO
	婴幼儿体描仪法	Reff, sReff, FRCp, Geff, sGeff
	部分胸腹腔挤压法	V ^{max} FRC, PEFV
2~3岁	潮气呼吸法	
3~5岁	脉冲振荡法	Zrs, Z5, R5, R10, R15, R20, X5, Fres
	潮气呼吸法	
>5岁	常规通气法	VC, FVC, FEV1, FEV1/VC, MMEF, MVV, FEF25, FEF50, FEF75, FVL
	脉冲振荡法	
>10岁	体描仪法(年长儿)	RTGV, TLC, RV, RAW
	弥散法	DLco, DLco/VA(KCO), VA
	常规通气法	
	脉冲振荡法 体描仪法(年长儿)	

注: VT/kg, 每公斤体质量潮气量; PTEF, 潮气呼吸呼气峰流速; TEF25、TEF50、TEF75, 呼出25%、50%、75%潮气量时的呼气流速; TFVL, 潮气呼吸流速-容量环; TPTEF/TE, 达峰时间比; VPEF/VE, 达峰容积比; RrsSO, 单阻断时的气道阻力; CrsSO, 单阻断时的呼吸系统顺应性; RrsDO, 双阻断时的气道阻力; CrsDO, 双阻断时的呼吸系统顺应性; Reff, 有效气道阻力; sReff, 特殊有效气道阻力; FRCp, 功能残气量(体描仪方法测); Geff, 有效气道传导率; sGeff, 特殊气道传导率; V^{max}FRC, 功能残气位时最大呼气流速; PEFV, 部分用力呼气流速-容积曲线; Zrs, 呼吸阻抗; Z5, 外加频率为5 Hz时的呼吸总阻抗; R5、10、15、20, 外加频率为5 Hz、10 Hz、15 Hz、20 Hz时的气道黏性阻力; X5, 5 Hz时的电抗值; Fres, 共振频率; VC, 肺活量; FVC, 用力肺活量; FEV1, 1秒用力肺活量; FEV1/VC, 1秒率; MMEF, 最大呼气中期流量; MVV, 每分最大通气量; FEF25(50、75), 呼出25%(50%、75%)肺活量时的呼气流速; FVL, 流速-容量环; RTGV, 平静呼气末胸廓内气量(功能残气量); TLC, 肺总量; RV, 残气量; Raw, 气道阻力; DLco, 一氧化碳弥散量; DLco/VA(KCO), 比弥散; VA, 有效肺泡容积

眠后开始操作。检测体位多用仰卧位和侧卧位, 尤其是仰卧位。儿童仰卧时头略后仰, 面罩罩住口鼻并压紧, 不能漏气。随访时, 儿童必须取前次检测同一体位。由于每天不同时间段肺功能检测结果有差异, 故建议尽量在同一时间段前后2 h检测。

3.2 仪器的要求

目前尚未对儿童肺功能检测仪器有确切的量化指标, 但对死腔量、敏感度、流速解相等都有比较高的要求。以Jaeger婴幼儿肺功能检测仪为例, 新生儿、小婴儿专用流速传感器, 流速0~800 ml/s, 流速分辨率0.5 ml/s, 系统死腔1.3 ml; 婴幼儿专用流速传感器, 流速0~1500 ml/s, 流速分辨率1.0 ml/s, 系统死腔1.7 ml。

3.3 肺功能室抢救设备的要求

肺功能室必须备有氧气、加压面罩等抢救设备, 进行支气管激发试验时必须要有经验的医师在场。以防检测过程中出现紧急情况, 如婴幼儿检测时面罩可能压迫三叉神经导致呼吸骤停, 支气管激发试验可诱发严重哮喘等。

4 正常预计值的选取

预计值是指同年龄、同性别、同身高、同体质量的正常儿童的检测值, 不同预计值选择将影响检测

结果的判断^[7]。儿童肺功能的大部分参数与身高呈正相关, 小年龄儿童的性别差异小。此外, 不同仪器的预计值也有差异^[8]。预计值的选择要点: ①选择大样本量的; ②选择当地或最邻近地区的; ③避免选用成人或年龄差异很大的预计值。

必须强调的是, 肺功能检测提供给医师的应该是原始资料、具体数据, 而不仅仅是结论, 这样才能使医师从具体的数据中得到更多的信息, 更准确地对疾病进行诊断和鉴别诊断。

5 肺功能检测

5.1 肺容量的测定

5.1.1 原理 肺内气体的含量即为肺容量。在呼吸周期中, 肺容量随着进出肺的气体量而变化, 其变化幅度主要与呼吸深度有关。

5.1.2 主要参数及结果判断 肺容量主要包括4种基础肺容积(lung volume)及4种复合肺容量(lung capacity)^[9](图1)。基础肺容积: ①潮气量(tidal volume, VT), 指平静呼吸时, 每次吸入或呼出的气量; ②补吸气量(inspiratory reserve volume, IRV), 平静吸气后再用力吸入的最大气量; ③补呼气量(expiratory reserve volume, ERV), 平静呼气后再用力呼出的最大气量; ④残气量

(residual volume, RV), 为补呼气后, 肺内不能呼出的残留气量。由2个或2个以上的基础肺容积所组成复合肺容量, 包括: ①深吸气量(inspiratory capacity, IC), 指平静呼气后能吸入的最大气量(VT+IRV); ②肺活量(vital capacity, VC), 最大吸气后所能呼出的最大气量(IC+ERV), 若不讲求速度的称为慢肺活量, 而用力快速呼气所得的肺活量称之为用力肺活量, 正常情况下二者相等, 有阻塞性通气功能障碍时前者大于后者; ③功能残气量(functional residual capacity, FRC), 指平静呼气后肺内所含气量(ERV+RV); ④肺总量(total lung capacity, TLC)深吸气后肺内所含有的总气量(VC+RV)。肺容量随年龄、性别、身高和体质量的不同而变化, 一般以占预计值的百分比来表达。实测值占预计值80%以上为正常, 60%~79%为轻度下降, 40%~59%为中度下降, <40%为重度异常。

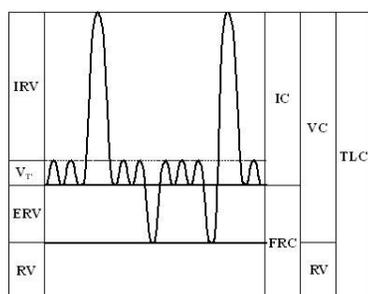


图1 肺容量

5.1.3 正常预计值 目前尚无权威的中国儿童肺容量的正常预计值, 主要参照国外儿童标准。

5.1.4 临床意义 肺容量受吸气肌力量、胸廓和肺的弹性回缩力及呼气相气道陷闭等的影响。肺容量减低见于肺扩张受限、肺组织损害等。功能残气量改变常与残气容积改变同时存在。阻塞型肺部疾患如支气管哮喘、肺气肿等可伴残气容积增加。限制性肺部疾患主要见于胸廓疾病、弥漫性肺间质纤维化、肺占位性疾病等肺容量减少的疾病, 部分患儿可同时出现残气容积减少^[5]等情况。

5.1.5 检测方法 受检者站立位, 含一次性(或消毒)咬口, 夹鼻夹, 经口作平静呼吸, 然后作用力呼吸测定。可有2种测定程序: 一种是当潮气曲线稳定后, 于平静呼气末做用力最大深吸气, 再慢慢用力最大呼气至残气位, 再用力吸气; 另一种是平静吸气末用力呼气, 再用力吸气, 再用力慢慢呼气至残气位。儿童中一般提倡前者, 连续3~5次。

5.1.6 注意事项 除达到肺功能检测要求外, 对于年幼儿童, 呼气时间并不一定要达到6s以上, 呼气容积线出现呼气平台(容积变化<30ml), 持续时间≥1s, 也可视为满足质控标准; 检测次数3~5次, 次数过少不能

作出重复性判断, 过多可能会导致受试者的疲劳甚至低CO₂血症, 出现头晕甚至呼吸困难等。

5.2 肺通气功能测定

5.2.1 原理 肺通气是肺与外界环境之间的气体交换过程, 从鼻腔到肺泡、肺泡到鼻腔的气体传送, 需要动力克服阻力, 肺泡与外界环境的压力差是肺通气的直接动力, 呼吸肌的舒张收缩运动是肺通气的原动力。通气功能测定为肺功能测定的最基本内容, 也是一系列肺功能检查中的初始项目。2007年美国胸科协会(ATIS)/欧洲呼吸协会(ERS)专家委员会制定了联合指南^[10], 统一了肺通气功能的检查和判断标准。

5.2.2 主要参数及结果判断 ①用力肺活量(forced vital capacity, FVC, 又称时间肺活量), 是深吸气至肺总量(total lung capacity, TLC)位后以最大用力、最快速度所能呼出的全部气量, 是肺容量测定的重要指标之一(图2); ②FEV₁, 是指最大吸气到TLC位后, 用力快速呼气, 在第一秒钟内的所呼出的最大气量。FEV₁既是容量指标, 也是流速指标。故对于肺容量的改变或是否存在阻塞性病变均有重要的诊断价值; ③一秒率(FEV₁/VC%或FEV₁/FVC%), 是用来判断气道阻塞的重要指标, 但若同时存在限制性病变, 其变化可能被掩盖。正常值一般在80%以上, 年幼者可>90%; ④呼气峰流速(peak expiratory flow, PEF), 用力呼气时的最高流速, 可反映大气道功能; ⑤最大呼气中段流量(maximum mid-expiratory flow, MMEF)(图3), 是指用力呼出肺活量25%~75%的平均流量, 是判断气道阻塞(尤为小气道病变)的主要指标之一。将FVC曲线按容积分为4个等份, 取其中间2/4段的肺容量bc与其所用的呼气时间ab两者之比值, 即为MMEF; ⑥用力呼气流速(forced expiratory flow, FEF), FEF₂₅、FEF₅₀、FEF₇₅, 为呼出25%、50%、75%肺活量时的呼气流速, FEF₂₅反映呼气早期流速, FEF₅₀、FEF₇₅反映呼气中后期流速, 其临床意义与MMEF相似; ⑦每分最大通气量(maximal voluntary ventilation, MVV), 是一项综合评价肺储备能的可靠力指标, 是能否耐受胸腹部手术的重要评价指标之一。参照ATIS/ERS指南^[10], FVC、FEV₁、PEF、

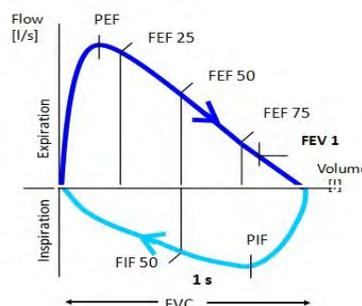


图2 流速-容量环

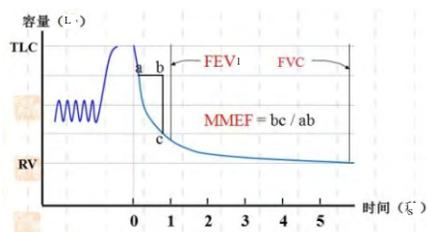


图3 最大呼气中期流量

MVV \geq 80% 预计值为正常, MMEF、FEF50、FEF75 \geq 65% 预计值为正常。临床上若进一步细分, 则前者 60%~79% 为轻度下降, 40%~59% 为中度下降, <40% 为重度异常; 后者 55%~64% 为轻度下降, 45%~54% 为中度下降, <45% 为重度异常。

5.2.3 正常预计值 同 5.1.3。

5.2.4 临床意义 肺通气功能测定对于反映气道病变、肺容积改变等具有相当重要的意义, 目前已广泛应用于临床诊断、治疗、药物疗效及手术安全性的评估等方面。流速-容量环(flow volume loop, FVL, 图 2) 显示流速随容量的变化, 可以直观地反映肺功能是否正常, 是否存在阻塞性病变和(或)限制性病变及其程度, 以及检测的质量、患儿配合是否良好等。

5.2.5 检测方法 参照 5.1.5 肺容量测定。测量 MVV 时, 先平静呼吸 4、5 次, 待呼气容积基线平稳后, 以最深呼吸幅度、最大呼吸速度持续重复呼吸 12 s 或 15 s, 最后乘以 5 或 4 得到每分钟的值, 一般 2 次 MVV 的检测差异需 <10%。

5.2.6 注意事项 参照 5.1.6。以最大的力量、最快的速度迅速呼气, 使 PEF 尖峰迅速出现, 外推容积尽量小。呼气无中断、无咳嗽、无声门关闭、无双吸气, 使曲线平滑。吸气相同样应尽最大努力, FVL 闭合。两次最佳 FVC 及 FEV1 的变异率应 <5%。呼气持续时间不同年龄段均不一致, 应鼓励患儿呼气至最大限度(可伴以儿童游戏程序), 出现呼气平台, 并尽量能达到 1s。哮喘患儿不建议 MVV 测定, 以免引起哮喘发作。

5.3 脉冲振荡法

5.3.1 原理 脉冲振荡(impulse oscillometry system, IOS)肺功能检测是基于强迫振荡技术的基础上发展起来的, 属于更先进的连续脉冲振荡。其原理是将振荡源产生的矩形电脉冲振荡信号通过外置的扬声器叠加在受试者的自主呼吸上, 矩形脉冲信号经过快速傅立叶转换(fast fourier transform, FFT)可以分解成无数个不同频率不同波长的正弦波, 通过连续测定呼吸道对其响应后反馈的压力和流速, 经过数字化转换后由计算机进行记录并进行频谱分析, 演算出不同频率、不同性质的呼吸阻抗值(Z), 包括黏性阻力(R)、弹性阻力(C)及惯性阻力(I)^[11]。由于频率低、波长长的声波, 能

量较高, 故可到达远端小气道; 反之只能到达近端大气道。它与传统的常规用力通气肺功能检测方法最大的不同就是除包含受试者自主呼吸信号外还有外置信号源。

5.3.2 主要参数及结果判断 IOS 报告内容主要包括参数部分、频谱分析图、结构参数图及频谱微分均值图。①Z, Z5 代表 5 Hz 时的呼吸总阻抗, 是黏性阻力、弹性阻力和惯性阻力的向量之和; ②R, 呼吸阻抗中黏性阻力部分, R5, 外加频率为 5 Hz 时的气道阻力。由于外加振荡频率低时, 波长长、能量大, 被吸收的少, 振荡波能到达全肺各部分, 因此定义 R5 为气道总阻力, R5 实测值和预计值的比较随儿童年龄增大逐渐由 120% 趋近于成人的 150%; R20, 外加频率为 20 Hz 时的气道阻力, 由于外加振荡频率高时, 波长短、能量小, 被吸收的多, 振荡波达不到细小的支气管, 因此定义 R20 为中心气道阻力, R20 实测值和预计值的比较随儿童年龄增大逐渐由 120% 趋近于成人的 150%; ③R5-R20, 为周边气道阻力; ④X, 呼吸阻抗中弹性阻力和惯性阻力之和, 也称电抗; X5, 5 Hz 时的电抗值, 由于低频时 X 主要表现为弹性阻力, 惯性很小, 可忽略不计, 所以定义 X5 为周边弹性阻力。X5 < 预计值 - 0.2 Kpa/(L·s) 为异常; ⑤Fres, 共振频率。随频率增加, X 从负到正值, 即惯性逐渐增加, 当 X 位于零点时表示该频率点的弹性阻力等于惯性阻力, 即共振频率, 也称之为响应频率(response frequency, RF)。儿童随年龄增长, Fres 一般由 25 趋近于成人的 15。目前多数医院采用的正常值为: R5 < 120% 预计值; R20 < 120% 预计值; X5 > 预计值 - 0.2 Kpa/(L·s); Fres < 预计值 + 10 Hz。

5.3.3 正常预计值 “3~14 岁天津地区脉冲振荡正常值的测定”^[12] 为目前国内外较大样本的参考值。

5.3.4 临床意义 儿童处于生长发育阶段, 肺功能也随其生长发育不断完善。由于随年龄、身高、体质量增加, 肺容量增大, 气道管径增粗, 所以气道阻力也逐渐减低。肺容量增大及支气管平滑肌发育完善又使肺弹性回缩力增加, 所以肺顺应性逐渐增加, Fres 逐渐减低。成人 Fres 正常值在 10 Hz 左右, 而儿童则波动范围很大。3 岁时可高达 24 Hz, 14 岁时下降为 12 Hz, 接近成人。因此儿童 Fres 很难用均值表示。阻塞性通气功能障碍, 以哮喘为例, R5 可增高, R20 基本正常, R5 与 R20 差值加大, X5 绝对值增大, Fres 后移, 提示周边小气道阻力增高, 肺顺应性减低^[13]。说明哮喘发作时不仅有气道阻力的增加, 而且还影响到肺的弹性阻力。哮喘发作缓解后, 气道阻力下降, R5、X5 和 Fres 各指标即可有不同程度改善, 其中 X5 和 Fres 最先恢复正常。限制性通气功能障碍时, X5 绝对值增大, Fres 后移非常明显, 而 R5、R20 基本正常。提示病变以肺顺

应性减低为主,是限制性通气功能障碍的主要特征。

5.3.5 检测方法 患儿取坐位,放松,头保持水平位或微微向上,含住咬口,双唇裹紧,夹鼻夹,检测者双手轻压患儿两颊,患儿作均匀平静呼吸,待基线平稳后进入数据采集,每次采样时间30~60 s。

5.3.6 注意事项 检测过程中避免咳嗽、发声、吞咽等动作;患儿舌应放于咬口之下;避免穿过紧的衣服。

5.4 潮气呼吸法

5.4.1 原理 通过面罩上的流速传感器,分析平静呼吸时的容量、气体流速和胸腹腔运动。

5.4.2 主要参数及结果判断 ①VT,为校正体质量对VT的影响,一般以ml/kg表示。婴幼儿VT一般为6~10 ml/kg。限制性病变及某些严重阻塞性病变的患者可出现VT下降。②达峰时间比(TPTEF/TE),到达呼气峰流速的时间与呼气时间之比,是反映小气道阻塞的一个最主要指标^[14,15]。有气道阻塞的低气道传导性患者,TPTEF/TE下降。阻塞越重,比值越低。正常为28%~55%;轻度阻塞:23%~27%;中度阻塞:15%~22%;重度阻塞:<15%。③达峰容积比(VPEF/VE),到达呼气峰流速的容积与呼气容积之比,是反映气道阻塞的另一个主要指标,其变化基本与TPTEF/TE同步。正常范围为28%~55%;轻度阻塞:23%~27%;中度阻塞:15%~22%;重度阻塞:<15%。在阻塞性通气功能障碍的患者,其比值下降,阻塞越重,比值越低,其与达峰时间比的相关性可达到90%以上。④FVL,健康婴幼儿FVL图形近似椭圆形,小婴儿更为明显。随月龄增大,呼气高峰后移,降支抬高,呼气曲线渐趋圆滑,环增宽。小气道阻塞性病变患者最大气流速度降低、呼气时间延长,图形呈矮胖型;阻塞越重,呼气的下降支斜率越大,甚至呈向内凹陷。限制性病变患儿FVL图形呈瘦长型,是由于VT减少之故。大气道阻塞(如上呼吸道梗阻、喉气管疾病)病变者可出现明显异常的FVL;吸气支和呼气支都可能异常,尤其是呼气支;同时往往会出现VT下降以及TPTEF/TE、VPEF/VE的增高。

5.4.3 正常预计值 “1 002例4岁以下小儿潮气呼吸流速-容量环正常值的研究”^[16]是目前国内及国际上最大样本量的潮气呼吸肺功能检查正常预计值。Nguyen等^[17]发表的153例正常婴幼儿的预计值是目前国际上最新的数据。

5.4.4 临床意义 由于潮气呼吸肺功能指标TPTEF/TE、VPEF/VE等,能敏感地反映婴幼儿呼吸系统疾病(小气道病变),尤其是哮喘引起的气道阻塞性病变,而且无需儿童配合,重复性好,为在婴幼儿喘息的诊断和治疗中替代成人FEV1/VC等肺功能参数提供了可能。在大气道阻塞中,FVL可呈现敏感、特殊的异常表

现,所以可作为大气道阻塞的筛查手段。

5.4.5 检测方式 儿童需在安静入眠后检测,带面罩,通过流速传感器测得流速-容量指标,选取5次(每次15~20次呼吸)最佳(呼吸曲线最平稳)检测结果,取其平均值。

5.4.6 注意事项 患儿呼吸平稳后开始记录数据;每次检测(呼吸次数不低于15次)结果主要参数(以TPTEF/TE、VPEF/VE为参考)之间的差异<10%;面罩不能漏气。

5.5 阻断法

5.5.1 检测原理 阻断法是在吸气末阻断气流,以检测气道阻力和呼吸系统顺应性。呼吸系统顺应性的倒数是肺和胸壁的弹性回缩力之和:1/Crs(呼吸系统顺应性)=1/CL(肺)+1/Cw(胸壁)^[13]。儿童呼吸系统顺应性较成人差,约为1~2 ml/(kg·cmH₂O)。呼吸肌完全放松时的顺应性曲线(压力-容量曲线)呈S型,在等肺容积时(中度通气)顺应性最大。气道阻力为单位流量所需要的压力差。气道总阻力(Rrs)按部位可分为:气道阻力(Raw)、肺阻力(Rtiss)、胸廓阻力(Rw),Rrs=Raw+Rtiss+Rw^[13]。气道阻力的大小取决于管径大小(与半径的4次方成反比)和气体流速,故儿童气道阻力大于成人,婴幼儿气道阻力约为成人的10倍。

5.5.2 主要参数及结果判断 目前阻断测试主要用于研究,尚无临床诊断标准。①RrsSO,指单阻断时呼吸系统的阻力;②CrsSO,单阻断时呼吸系统的顺应性;③RrsDO,双阻断时呼吸系统的阻力;④CrsDO,双阻断时呼吸系统的顺应性。

5.5.3 正常预计值 目前缺乏大样本量的正常预计值,仅有国外小样本量的预计值,Nguyen等^[17]发表的153例正常儿童的预计值是目前国际上最新的数据。

5.5.4 临床意义 呼吸系统静态顺应性可作为简便的辅助判断儿童呼吸系统疾病严重程度及监测病情变化的肺功能指标。正常儿童顺应性随年龄增长而增加,与身高呈明显正相关,这与肺容积增加有关。气道管径随发育而增大,气道阻力随年龄而递减。婴幼儿肺炎、喘息时气道阻力增加。阻断技术在婴儿尤其是在新生儿和瘫痪儿童是一项简单、非侵入性的测定阻力和顺应性的方法,其在阻力的测定上和体描仪法一致,但比后者简单、安全。

5.5.5 检测方法 目前最常用的阻断方法是可引起Hering-Breuer反射的阻断测试及体积描记法,可直接测定<2岁婴幼儿气道的阻力和顺应性。阻断分为单阻断和多阻断2种,目前多用单阻断。单阻断检测中,气道于吸气末瞬间被阻断,其随后的呼气是被动的,通过被动呼气可描绘出流速容量曲线并得出一条斜率。

通过气流阻断时呼吸道开口处的压力除以呼气量,即得出顺应性。被动呼气流速-容量曲线(F-V曲线)的斜率等于呼气时间常数的倒数。通过公式:阻力=时间常数/顺应性,即可计算出阻力。多阻断中,在呼气时多次阻断气道,在口腔测压。描绘出V-P曲线,最合适的线的斜率就是呼吸系统顺应性,同样可通过公式得到阻力值。整个阻断时间持续<100 ms。因为这段时间很短,不会引起觉醒反射,即使能够感受到,也不可能马上触发抵抗此阻断的自主呼吸。多阻断不牵涉到FVL呼气支的情况,但它也有个特殊的问题,若呼气末水平(expiratory end level, EEL)不稳定,会增加V-P斜率的差异。患儿睡眠后开始测试。通过电脑在吸气末给予一个短暂的阻断,在吸气肌和呼气肌完全放松的情况下,肺泡内压与气道开口压瞬间达到平衡,用此时的气道开口压除以阻断前瞬间的气流速度(通过流速传感器获得)即得到气道阻力($R_{int}=P_{\text{肺泡}}/V$)。

5.5.6 注意事项 ①阻断阀必须在10 ms之内能关闭呼吸通道,同时持续约100 ms;②连续进行5次以上阻断,然后选取3次差异<20%的测试结果;③阻断时间应标准,未达到压力平台的数据都应丢弃;④一般2次阻断之间至少要间隔10次以上平静呼吸,使EEL水平比较稳定,并且不易刺激阻断时主动呼气的出现。

5.6 体积描记仪法

5.6.1 原理 年长儿童具有较好的理解和配合能力,且身高和体质量与成人逐渐接近,可使用成人体积描记仪(体描仪)进行相应项目测定。因儿童使用体描仪较少,以下资料都来自成人研究。成人体积描记仪按其原理和构件组成为3种,即压力型、容积型和流量型,其中以压力型使用最为普遍,但目前以流量-容积型多见。依据波尔定律,当气体的温度和质量均恒定时,其压力(P)和容积(V)的乘积(K)为一常数,即 $P_1V_1=P_2V_2=K$ ^[5]。当人体在密闭的体描箱内呼吸时,其胸腔内气压力(肺泡压)和容积变化导致体描箱内气体压力和容积的改变。以压力型体描仪为例,其组成包括仓体、流量计、位于流量计近端的和嵌于体描箱壁的两个压力传感器,分别测定浅快呼吸(使口腔压力与肺泡压达到平衡)过程中的呼吸流量、口腔压和仓压的变化。由口腔压-仓压曲线通过计算获得平静呼气末的胸腔内气容积(intrathoracic gas volume, TGV, 简称V_{tg}),即功能残气量(functional residual capacity, FRC)。再由流量-仓压曲线和口腔压-仓压曲线通过计算获得气道阻力(Raw)。测定FRC后,再通过测定其他肺容积参数,进一步获得RV、TLC等。

5.6.2 正常预计值 体描仪测定的平静呼气末胸腔气容积,即FRC,与年龄、身高和体质量的关系如下:

$V_{tg}=0.00172A+0.0231(H+W)-1.2254$ ^[1],其中V_{tg}单位为升(L),A为年龄(岁),H为身高(cm),W为体质量(kg)。体描仪测定的Raw,与年龄、身高和体质量的关系如下: $R_{aw}=(0.00267A)+(-0.0111H)+(0.00269W)+2.7442$ 。

5.6.3 临床意义 FRC、RV、TLC增高见于哮喘等导致的肺气肿;其降低在儿童最常见于肺实质损伤或占位性病变,如肺炎、肺间质纤维化、胸腔积液,亦常见于胸外科肺叶切除手术。Raw为严格定义上的气道阻力(使用肺泡压),与食管气囊法测定的肺阻力(使用经肺压)意义不同,也不同于脉冲震荡法测定的呼吸阻力(包括胸壁阻力和肺阻力),其增高见于各种原因引起阻塞性通气功能障碍。另外Raw与肺容积呈双曲线关系,其倒数(称气道传导率),即单位驱动压力所产生的流量,却与肺容积呈线性相关。若以比气道传导率(单位容积的气道传导率)表示,则不受测定时肺容积的影响,适于不同个体间相互进行比较。

5.6.4 检测方法 ①受试者进入测定仓,各部件安装连接完毕后,关闭仓门,再关仓壁通气口,受试者放松,平静呼吸;②在平静呼气末,令受试者作浅快呼吸,频率1~2 Hz,流量(2±0.5)L/s,记录3个流量-仓压曲线;③在浅快呼气末,关闭气道阀门,并让受试者继续保持浅快呼吸,记录3个口腔压-仓压曲线;④打开气道阀门,进行肺活量、深吸气量、补呼气量等测定,获得 $TLC=TGV+深吸气量$ 和 $RV=TGV-补呼气量$;⑤重复②~④步骤,共测定3次,取平均值。

5.6.5 注意事项 测量前常规对流量计、口腔压传感器、仓压传感器分别进行定标。受试者勿穿紧身衣服,测量前向受试者介绍检查过程和要求,测量过程中,受试者坐直,保持头颈部直立位,双手按压颊部,避免嘴角漏气。

5.7 体积描记仪法(婴幼儿)

5.7.1 原理 婴幼儿在密闭的体描箱内呼吸时,胸腔内压力和容量的变化与箱内的压力和体积变化是一致的。通过波尔定律 $P_1V_1=P_2V_2$ 可计算出平静呼气末胸腔肺容积(V_{tg}),即功能残气量(FRC_p)。通过流速传感器,在气道通口处直接测定流速,间接测得肺泡压,进而计算出Raw。

5.7.2 主要参数及结果判断 目前婴幼儿体描测试主要用于研究,尚无临床诊断标准。①VT下降表明存在限制性病变或漏气或肺顺应性差。②FRC_p反映胸廓弹性回缩力和肺弹性回缩力之间的平衡情况,主要作用是防止呼气时肺泡萎陷和对吸入气体进行缓冲,稳定肺泡气体PCO₂在一定生理需要范围。阻塞性肺疾病、气体陷闭等可引起FRC_p增加。FRC_p过多,吸入气

过分稀释,使肺泡 PO_2 减低,影响氧的弥散。阻塞性肺气肿时,肺弹性回缩力下降,FRC_p增高,提示肺泡过度通气。③有效气道阻力(R_{eff})是气体通过呼吸道时的摩擦力,其大小取决于呼吸道的管径和长度。 R_{eff} 是吸气或呼气时单位气体流速变化时所需的跨肺压变化,以单位时间流量所需的压力差表示。④特殊有效气道阻力(sR_{eff}),体描箱测定真实的阻力变化即特殊有效气道阻力,即: $sR_{eff}=R_{eff}\times FRC_p$ 。⑤有效气道传导率(G_{eff}),是气道阻力的倒数,即单位驱动压所能引起的流量($sG_{eff}=1/sR_{eff}$)。

5.7.3 正常预计值 目前缺乏国内研究的正常预计值。国外15个月内健康婴幼儿FRC_p预计方程^[18]是: $FRC_p = 2.36 L^{0.75}\times W^{0.63}$ 。L是顶跟长度(cm),W是体重(kg);2岁内Raw的回归方程^[19]= $4.53 - 0.007\times FRC$ 。但样本量均较小。Nguyen等^[17]发表的153例正常儿童的预计值是目前国际上最新的数据。

5.7.4 临床意义 气道阻力能客观、直接反映气道口径的变化,较少受其他因素影响,是检测气道阻塞性病变的最好方法。通常以FRC位的 R_{eff} 为准。儿童的气道阻力较成人高,5岁以下幼儿可为成人的2~5倍。患儿出现气道炎症时, R_{eff} 、 sR_{eff} 增高。

5.7.5 检测方法 检测时先进行箱压和容量校标,婴儿睡眠后仰卧于密闭的体描箱内,颈部稍向后伸展,面罩罩住口鼻,不能漏气。按顺序测定气道阻力和FRC_p。

5.7.6 注意事项 体描箱放置需避免阳光,远离空调开口,测定时尽量避免开关门窗。患儿呼吸平稳后开始测定。关闭箱盖,保证不漏气;面罩不能漏气。测定时要密切观察。

5.8 弥散法

5.8.1 原理 肺弥散功能(D_L)是指某种肺泡气通过肺泡毛细血管膜途径到达血液内与血红蛋白(Hb)结合的能力。一氧化碳(CO)透过肺泡毛细血管膜的速率与氧气(O_2)相似,是测定气体弥散功能的理想气体。目前利用CO进行肺弥散功能检测的方法很多,以一口气呼吸法^[20]最为常用。

5.8.2 主要参数及判断 CO弥散量(DL_{CO})和CO弥散量/肺泡通气量(DL_{CO}/V_a)占预计值80%~120%为正常,60%~79%为轻度下降,40%~59%为中度下降,20%~39%为重度下降,<20%为极重度下降。

5.8.3 正常预计值 由于肺弥散功能测定配合要求较高,一般>10岁儿童才能做,故参照成人正常预计值。

5.8.4 临床意义 凡能影响肺泡毛细血管膜面积与弥散能力、肺泡毛细血管床容积以及CO与Hb者,均能影响CO弥散量,使测定值减低或增高。左向右分流的先天性心脏病、世居高原者、运动状态、左心衰竭、仰卧

位、早期的红细胞增多症,由于肺毛细血管流量增加,均能使弥散量增加。肺间质病变、肺部感染、胸廓畸形、胸腔积液等可引起弥散量减少。

5.8.5 检测方法 受试者戴上鼻夹,口含咬嘴后平静呼吸,待潮气基线平稳后,指导其呼气至残气位,继之吸入含有0.3% CO、10% He、20% O_2 以及 N_2 平衡的混合气体^[21],随后受试者吸气至肺总量位,屏气10 s(± 2 s)后呼气至残气位。吸气时应快速均匀,使吸气容量(V_i)>90%肺活量(VC),吸气时间应<2.5 s(气道阻塞者不超过4 s)^[9];屏气时间多采用10 s,根据病情可适当缩短,但至少不低于7 s^[22];呼气应平滑、不用力、无犹豫和中断,整个呼气时间不超过4 s(采样时间<3 s)。

5.8.6 注意事项 受试者年龄>10岁,检查应在餐后2 h,静坐10 min后进行。检查前停用支气管扩张剂,禁止吸氧10 min。作弥散功能检查前,一般先行通气功能检查,了解VC。测受试者Hb值,以备Hb校正之用。检查过程中无漏气。在吸气、屏气、呼气过程中无顿挫或阶梯样呼吸动作。屏气过程中Valsalva(声门关闭情况下用力呼气,胸腔内正压增加)或Muller动作(声门关闭下用力吸气,胸腔内负压增加),可造成 DL_{CO} 下降或增加。检查至少2次,2次间的变异系数<10%,数值不超过平均值 ± 3 ml/(min·mmHg),测试最多不超过5次,报告均值。2次检查中间间隔时间>4 min,保证检测气体从肺内充分排除。

5.9 快速胸腹腔挤压法

5.9.1 原理 快速胸腹腔挤压(rapid thoracoabdominal compression, RTC)肺功能测定技术在发达国家始于20世纪90年代初,由于RTC技术检测程序复杂及出于对安全的担忧,2008年国内才引进该技术,应用于儿科临床及研究。RTC技术使用可充气夹克包裹患儿胸腹,对胸腹进行快速挤压,完成相应测定。有部分用力呼气流速-容积曲线(partial expiratory flume curve, PEFV)和完全用力呼气流速-容积曲线(full expiratory flow-volume curve, FEFV)2种测定方法。前者在吸气末迅速给夹克加压,强迫受试者呼气,模拟用力呼气过程,获得功能残气位的最大呼气流速($V'_{max_{FRC}}$);后者先使受试者被动吸气至肺总量,然后于被动吸气末,再按PEFV的方法进行被动呼气,这样就描绘了一个被动的自肺总量位(TLC)至残气量位(RV)的完整呼气流速-容积曲线,目前国内尚未开展。

5.9.2 主要参数及结果判断 目前部分胸腹腔挤压测定技术主要用于研究,尚无临床诊断标准。主要参数为 $V'_{max_{FRC}}$ 。

5.9.3 正常预计值 目前我国尚缺乏部分胸腹腔挤压技术的正常参考值,暂时可参考国外文献报道结果^[23]。

5.9.4 临床意义 RTC主要用于疑难气道疾病的诊断、长期使用药物的疗效观察、慢性肺病的监测以及临床科研等。PEFV技术设备相对简单,操作相对容易,其获得的肺功能参数($V'_{\max_{FRC}}$)结果可靠,已成为评价婴幼儿周围气道功能的常用方法,并可用于婴幼儿支气管舒张试验和支气管高反应性测定,但其变异系数较大(11%~36%)。曲线上的其他参数及曲线的形状临床意义不明确。

5.9.5 检测方法 测量需要在患儿镇静睡眠后,仰卧于平板上展开的夹克中,颈部轻微上仰伸展。将可充气夹克将自腋窝至肋骨上缘胸腹全部包住,松弛地系上系带,婴儿胸腹部与夹克间留置两手指空隙,以使婴儿胸部运动不受限制,双上肢置于夹克外。夹克充气管与气库连接,流速仪与面罩连接,面罩扣住婴儿的口鼻,不能漏气。设定起始库压。在患儿平静呼吸5~10次后,在吸气末迅速给夹克充气加压,强迫婴儿呼气,描绘流速-容积曲线,然后逐渐增加库压,直至 $V'_{\max_{FRC}}$ 达到极限,即继续增加压力 $V'_{\max_{FRC}}$ 不升或降低。

5.9.6 注意事项 RTC测定技术较复杂,操作者需要经过严格训练方能掌握使用。常规对流速仪进行定标,检查气囊是否坚固。气囊放置位置正确,不能折叠,气囊中可暂时充些气体,以使挤压时气囊内压力分布均匀。塑料气囊放置于夹克中后,通气管要牢固插紧。气库和夹克压之间存在压力损耗,但不应超过50%,超过50%提示在气库和夹克之间存在漏气。在吸气相,夹克内的平均压力较为一致,如果低于所设压力值的80%,则无法进行下一步检测。夹克在吸气终末快速充气正常情况下,通常可在呼出30%的潮气量之前达到PEF,即 $V_{PEF}/V_T < 30%$,如果超过这个值,提示获得PEF延迟,本次检测无效。选择3次检测中的最佳测定作为最终结果。

5.10 支气管激发试验

5.10.1 原理 支气管激发试验是通过吸入抗原或非特异性刺激物来诱发气道平滑肌收缩以及气道炎症反应的一种方法。以刺激前后肺功能指标的改变,判定气道收缩程度,对气道反应性作出定性或定量的判断。

5.10.2 主要参数及判断 以FEV1为检测指标的结果判断,包括定性和定量判断。定性判断:①激发试验阳性,在试验过程中FEV1下降大于基础值20%或最低激发累积剂量(Dmin) < 2 U或体检双肺出现哮鸣音时可判断为激发试验阳性;②激发试验阴性,如果吸入最大浓度后这些指标仍未达到上述标准,则激发试验阴性。无论激发试验结果阴性或阳性,均应排除影响气道反应性因素。对于结果可疑者(如FEV1下降15%~20%或Dmin $2 \sim 5$ U,无气促喘息发生),可 $2 \sim 3$ 周后复

查,必要时2个月后复查。定量判断:①累积激发剂量(PD)是目前常用的定量指标。PD₂₀FEV1是指使FEV1下降20%时累积吸入刺激物的剂量。依PD₂₀FEV1(组织胺)可分4级, $< 0.1 \mu\text{mol}$ (0.03 mg)为重度气道高反应性(bronchial hyper-responsiveness, BHR), $0.1 \sim 0.8 \mu\text{mol}$ (0.03~0.24 mg)为中度BHR, $0.9 \sim 3.2 \mu\text{mol}$ (0.25~0.98 mg)为轻度BHR, $3.3 \sim 7.8 \mu\text{mol}$ (0.99~2.20 mg)为极轻度BHR。以Astograph法激发试验(原理同脉冲振荡法)的主要参数包括^[24]:①呼吸阻力基础值(resistance of respiratory system at control, Rrs cont)和呼吸传导率基础值(conductance of respiratory system at control, Grs cont),Rrs cont指吸入生理盐水时的呼吸阻力,Grs cont指吸入生理盐水时的呼吸传导率,Rrs和Grs互为倒数关系。②最低激发累积剂量(Dmin),指开始吸入至呼吸阻力(Rrs)开始升高至基础阻力2.0倍时的激发剂累积剂量,每吸入1 mg/ml的乙酰甲胆碱1 min为1 U,表示气道敏感性,其值越小,气道对刺激反应的敏感性越高,反之则越低。目前国内儿童判断标准为,Dmin < 2 U支气管激发试验阳性, $2 \sim 5$ U气道反应性明显增高, $5 \sim 7$ U气道反应性增高。③呼吸传导率下降率(SGrs),指单位时间内呼吸传导率(Grs)的下降幅度, $SGrs = \Delta Grs / \Delta t$,代表气道反应性,SGrs值越大,说明气道反应性越高,反之则越低。④PD₃₅,指吸入乙酰甲胆碱后Rrs较Rrs cont升高35%所需乙酰甲胆碱的累积剂量,其意义同Dmin。

5.10.3 临床意义 适用于对支气管哮喘的诊断,哮喘严重程度及预后评估,研究哮喘的发病机制,了解其他可能伴有气道反应性增高的疾病的气道反应性^[9]。

5.10.4 检测方法 分为直接激发试验和间接激发试验。直接激发试验最常用的激发药物为磷酸组胺和乙酰甲胆碱。先测定患儿基础肺功能,激发前FEV1应 $> 70%$ 预计值。患儿从最低浓度起依次吸入浓度递增的激发药物,直至肺功能指标达到阳性标准或出现临床阳性症状,给予吸入支气管扩张剂使肺功能恢复至(接近)基础水平。若患儿吸入最高浓度激发剂仍呈阴性反应,停止激发剂吸入,也给予吸入支气管扩张剂。检测方法主要分为2种:①以FEV1为检测指标,如Chai氏测定法(间断吸入法)、Yan氏测定法(简易手握式雾化吸入法)、Cockcroft测定法(潮气吸入法)等。先以用力呼气方法测定基础的FEV1,然后吸入浓度逐渐增高的组胺或乙酰甲胆碱。每一浓度记录1次FEV1,当FEV1较基础值下降 $\geq 20%$ 或体检出现哮鸣音时或已吸至最高浓度后,予吸入支气管扩张剂沙丁胺醇,然后电脑会自动算出PD₂₀,了解是否支气管激发试验阳性及其程度。②采用强迫振荡技术连续描记呼吸阻力,如

Astograph法,患儿平静呼吸,先吸入生理盐水,记录基础阻力值,后连续吸入不同浓度的乙酰甲胆碱,同时不断监测Rrs。整个雾化系统包括12个雾化罐,第1罐为生理盐水,第12罐为支气管扩张剂,第2~11罐为浓度依次倍增的乙酰甲胆碱(49~25 000 $\mu\text{g/ml}$)。每种浓度吸入1 min。以吸入生理盐水时的阻力为基础阻力,然后逐渐吸入浓度倍增的乙酰甲胆碱,仪器自动连续记录阻力的变化,当Rrs升高到基础水平的2倍或体检出现哮鸣音时或已吸至最高浓度后,吸入支气管扩张剂沙丁胺醇,最后由电脑自动计算出Dmin和PD35,了解是否支气管激发试验阳性及其程度^[25]。间接激发试验主要通过刺激支气管内炎性细胞使其释放多种能间接引起支气管狭窄的介质,作用于支气管平滑肌上特异性受体而引起气道收缩。常用的有:运动激发、过度通气激发、高渗盐水或蒸馏水激发(渗透压改变)及特异性抗原刺激如尘螨、花粉吸入等。目前间接激发试验不论在成人还是儿童应用都很少,尤其是儿童尚没有规范的量化标准。而且特异性抗原刺激危险性较大,可诱发严重的哮喘^[26]。

5.10.5 注意事项 受试者情绪放松,受试前至少休息15 min。了解受试者是否曾做过激发试验及其结果,是否有严重的气道痉挛发生,并作体格检查,排除激发试验的禁忌证。近4周内无呼吸道感染。试验前停用可能干扰检查结果的药物:吸入性短效 β_2 受体兴奋剂抗胆碱能药停用4~6 h、长效24 h;吸入性抗胆碱能药停用8 h,口服短效 β_2 受体兴奋剂或茶碱停8 h,长效或缓释型停用24~48 h以上,抗组胺药停用48 h,色甘酸钠停用24 h,抗白三烯药物停用96 h,口服糖皮质激素停48 h,吸入停12~24 h,并避免剧烈运动、冷空气吸入2 h以上;避免吸烟、咖啡、可口可乐饮料等6 h以上。绝对禁忌证:①对激发剂过敏;②基础肺功能严重损害($\text{FEV}_1 < 60\%$ 预计值);③不能解释的荨麻疹;④不宜做用力肺功能检查的患者(肺大泡、气胸)。相对禁忌证:①基础肺功能呈中度阻塞($\text{FEV}_1 < 70\%$ 预计值),可改行支气管舒张试验。 FEV_1 在60%~70%预计值时,若一定需要,在严密观察和监护下仍可考虑予以激发试验。②肺功能检查已经诱发病道阻塞,在未吸入激发剂下(通常是吸入生理盐水) FEV_1 下降 $>20\%$ 或Astograph中气道阻力未达到基础阻力的1.7倍,此时双肺已出现哮鸣音,则停止检测予吸入支气管舒张剂。③癫痫需用药物治疗。④正在使用胆碱酶抑制剂的患者不宜用乙酰甲胆碱做激发剂。

5.11 支气管舒张试验

5.11.1 原理 支气管舒张试验又称为气道可逆试验,用于测定气流阻塞的可逆程度,是用于支气管哮喘诊

断和鉴别诊断的重要方法。支气管平滑肌痉挛是引起气流阻塞的重要原因之一,应用吸入性支气管舒张剂(通常为速效 β 受体激动剂)可迅速缓解支气管痉挛和改善气流阻塞,支气管舒张试验即应用这一原理来了解气流阻塞可逆性(或称为气流受限可逆性)的程度。

5.11.2 主要参数及结果判断 FEV_1 改善率计算公式为: $[\text{FEV}_1(\text{后}) - \text{FEV}_1(\text{前})] / \text{FEV}_1(\text{前})\%$ 。若 FEV_1 改善率 $\geq 12\%$ 判定为阳性^[27]。

5.11.3 临床意义 临床疑诊哮喘但症状不典型者,支气管舒张试验阳性提示存在可逆性气流受限,有助于哮喘诊断。近年来将脉冲振荡、潮气呼吸法用于支气管舒张试验也见诸报道^[28-30],尚有待进一步临床验证。

5.11.4 检测方式 应用最大用力呼气流量容积曲线(MEFV)方法测定基础肺通气功能(常规通气测定方法),若基础肺功能异常($\text{FEV}_1 < \text{预计值} 70\%$),即给予吸入速效支气管舒张剂(如沙丁胺醇),吸入后15 min再次测定肺通气功能,计算 FEV_1 的改善率,若 FEV_1 改善率 $\geq 12\%$ 判定为阳性^[28]。

5.11.5 注意事项 吸入支气管舒张剂的方法可采用雾化吸入或气雾剂吸入方式;不同年龄段儿童雾化吸入0.5%硫酸沙丁胺醇溶液剂量分别为: < 4 岁0.25 ml,4~8岁0.5 ml,~12岁0.75 ml, > 12 岁1 ml,加生理盐水至总量为2 ml进行雾化吸入。若应用沙丁胺醇气雾剂,吸入剂量为100~200 μg (按不同年龄)。

参考文献:

- [1] Bateman ED, Hurd SS, Barnes PJ, *et al.* Global strategy for asthma management and prevention: GINA executive summary [J]. *Eur Respir J*. 2008, 31(1):143-178.
- [2] 中华医学会儿科分会呼吸学组,中华儿科杂志编辑委员会. 儿童支气管哮喘诊断与防治指南 [J]. *中华儿科杂志*, 2008, 46(10):745-753.
- [3] British Thoracic Society, Scottish Intercollegiate Guidelines Network. British guidelines on the management of asthma [J]. *Thorax*, 2003, 58(Suppl 1):ii-iv.
- [4] 中华医学会儿科分会呼吸学组,中华儿科杂志编辑委员会. 儿童慢性咳嗽诊断与治疗指南 [J]. *中华儿科杂志*, 2008, 46(2):104-107.
- [5] 朱蕾,刘又宁,于润江. 临床肺功能学 [M]. 北京:人民卫生出版社,2004:26-34.
- [6] 郑劲平,高怡. 肺功能检查实用指南 [M]. 北京:人民卫生出版社,2009:25-28.
- [7] Subbarao P, Lebecque P, Corey M, *et al.* Comparison of spirometric reference values [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2004, 37(6):515-522.
- [8] Mazurek H, Willim G, Marchal F, *et al.* Input respiratory impedance measured by head generator in preschool children [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2000, 30(1):47-55.

- [9] 郑劲平,陈荣昌.肺功能学—基础与临床[M].广州:广东科技出版社,2008:42-43.
- [10] Beydon N, Davis SD, Lombardi E, *et al.* An Official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2007, 175(12): 1304-1345.
- [11] Al-Mutairi SS, Sharma PN, Al-Alawi A, *et al.* Impulse oscillometry: an alternative modality to the conventional pulmonary function test to categorise obstructive pulmonary disorders [J]. *Clin Exp Med* 2007, 7(2): 56-64.
- [12] 万莉雅,张琴,范永琛,等.天津市3-14岁儿童脉冲振荡法呼吸阻抗正常值的测定[J].中华结核和呼吸杂志, 2002, 25(3), 192-194.
- [13] Larsen GL, Morgan W, Heldt GP, *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.
- [14] Devulapalli CS, Haaland G, Pettersen M, *et al.* Effect of inhaled steroids on lung function in young children: a cohort study [J]. *Eur Respir J*, 2004, 23(6): 869-875.
- [15] Beydon N, Pin I, Matran R, *et al.* Pulmonary function tests in preschool children with asthma [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2003, 168(6): 640-644.
- [16] 张皓,肖现民,郑珊,等.1002例4岁以下小儿潮气呼吸流速-容量环正常值的研究[J].临床儿科杂志,2006,24(6):486-489.
- [17] Nguyen TT, Hoo AF, Lum S, *et al.* New reference equations to improve interpretation of infant lung function [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2013, 48(4): 370-380.
- [18] Stocks J, Quanjer PH. 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(3): 492-506.
- [19] Tepper RS, Williams T, Kisling J, *et al.* Static compliance of the respiratory system in healthy infants [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2001, 163(1): 91-94.
- [20] Macintyre N, Crapo RO, Viegi G, *et al.* Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung [J]. *Eur Respir J*, 2005, 26(4): 720-735.
- [21] Leathart GL. Steady-state diffusing capacity determined by a simplified method [J]. *Thorax*, 1962, 17: 302-307.
- [22] Hoo AF, Dezaux C, Hanrahan JP, *et al.* Sex-specific prediction equations for V' max (FRC) in infancy: a multicenter collaborative study [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2002, 165(8): 1084-1092.
- [23] Meyer M, Scheid P, Riepl G, *et al.* Pulmonary diffusing capacities for O₂ and CO measured by a rebreathing technique [J]. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 1981, 51(6): 1643-1650.
- [24] 黄剑峰,张皓,王立波.慢性咳嗽患儿呼吸道高反应的危险因素[J].实用儿科临床杂志,2012,27(4):275-276.
- [25] Mochizuki H, Arukawa H, Tokuyama K, *et al.* Bronchial sensitivity and bronchial reactivity in children with cough variant asthma [J]. *Chest*, 2005, 128(4): 2427-2434.
- [26] 张皓.儿童肺功能检测的临床意义[J].中国实用儿科杂志,2010,25(5):366-368.
- [27] Global Initiative for Asthma. Global strategy for asthma management and prevention [EB/OL]. http://www.ginasthma.org/local/uploads/files/GINA_Report_2011-May4.
- [28] 刘传合,李硕,宋欣,等.脉冲振荡肺功能支气管舒张试验阳性标准的确定[J].中华儿科杂志,2005,43(11):839-842.
- [29] Bussamra MH, Cukier A, Stelmach R, *et al.* Evaluation of the magnitude of the bronchodilator response in children and adolescents with asthma [J]. *Chest*, 2005, 127(2): 530-535.
- [30] 王俊平,张皓,王立波,等.支气管舒张试验在0-6岁喘息性疾病诊断中的作用[J].中国实用儿科杂志,2006,21(10): 52-55.

(收稿日期:2013-07-08)

(本文编辑:梁 华)