



【专家简介】朱蕾,医学博士,主任医师/教授(二级),博士生导师。担任全国呼吸病学名词审定分委员会主任,《中华结核和呼吸杂志》《复旦学报(医学版)》《中华危重病急救医学》等学术期刊编委或副主编。致力于创立并完善以呼吸生理为基础,以呼吸功能检查、呼吸支持技术和综合治疗为核心的呼吸病和呼吸危重症诊治理论体系。著有《临床呼吸生理学(1~2版)》《临床肺功能(1~3版)》《机械通气(1~5版)》《机械通气简明教程》《体液代谢的平衡与紊乱(1~2版)》《围术期重症监测与治疗》《呼吸病学名词》等著作。

成人肺通气功能测定与诊断规范

朱蕾^{1△} 连宁芳² 侯丽丽³

(¹复旦大学附属华东医院呼吸与危重症医学科 上海 200040; ²福建医科大学附属第一医院呼吸与危重症医学科 福州 350005; ³上海交通大学医学院附属第一人民医院呼吸与危重症医学科 上海 200080)

【摘要】 本规范以既往发表的《成人常规肺功能测定规范》《成人肺功能诊断指南》为基础,结合最新研究成果与我国临床实践需求,旨在解决既往肺通气功能测定和诊断指南中的未解问题。系统阐述现代肺功能仪的特点和定标要求;规范通气功能的程序,包括测定要求、操作流程、质量控制和注意事项;建立通气功能参数正常值标准、通气功能诊断标准和损害程度分级标准,阐述特殊通气异常的特征。

【关键词】 肺通气功能; 测定; 诊断; 质量控制; 成年人

【中图分类号】 R563 【文献标志码】 A doi:10.3969/j.issn.1672-8467.2026.04.018

Standards for pulmonary ventilation function testing and diagnosis in adults

ZHU Lei^{1△}, LIAN Ning-fang², HOU Li-li³

(¹Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Huadong Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China; ²Department of Respiratory and Critical Care Medicine, the First Affiliated Hospital, Fujian Medical University, Fuzhou 350005, Fujian Province, China; ³Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Shanghai General Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200080, China)

【Abstract】 This paper builds upon the previously published “guidelines for pulmonary function testing in adults” and “guidelines for the diagnosis of pulmonary function in adults”. Integrating the latest scientific evidence and China-specific clinical realities, it systematically addresses unresolved issues in existing guidelines or consensus documents. This document comprehensively elaborates on features and calibration requirements of modern pulmonary function testing devices; standardizes the ventilatory function assessment protocols, including testing requirements, standardized methodologies, quality control measures, and clinical precautions; establishes interpretation frameworks for normal reference values of ventilatory parameters, diagnostic criteria for ventilatory dysfunction, classification of impairment severity, and characterization of specific ventilatory abnormalities.

[△]Corresponding author E-mail:tfzhu@126.com

网络首发时间:2026-01-26 15:38:30 网络首发地址:https://link.cnki.net/urlid/31.1885.R.20260123.1412.002

【Key words】 pulmonary ventilation function; measurement; diagnosis; quality control; adult

常规肺功能测定包括肺容积、通气功能及一氧化碳弥散量(diffusion capacity for carbon monoxide, D_LCO)测定。其中,通气功能测定是基础评估手段,临床应用最广泛^[1-3]。近年发布的肺通气功能测定与诊断共识或指南推动了肺功能测定的推广,但也存在一定问题,导致一定程度的理论与实践混乱。故本规范旨在系统阐述肺通气功能测定与诊断,提供完整的测定和诊断标准指南。

概述 通气功能测定包括静息通气功能和用力通气功能测定,前者主要是潮气量(tidal volume, VT)、呼吸频率(respiratory rate, RR)、每分钟通气量(minute ventilation volume, VE)测定;后者主要是用力肺活量曲线(forced vital capacity curve, FVC曲线)及相应参数、最大呼气流量容积(maximum expiratory flow volume, MEFV)曲线及相应参数的测定。肺活量(vital capacity, VC)曲线及相应参数测定也是常规内容。这些项目直接由肺量计或/和流量计测定。早期测定仪器为单筒肺量计和机械流量计,前者也称为容积型肺量计,直接测定VC曲线和FVC曲线,后者直接测定MEFV曲线。现代肺功能仪通过电子流量计同步测定FVC曲线、MEFV曲线及相应参数,可单独测定VT、VC曲线及相应参数。如此测定时的流量计也称为流量型肺量计,能自动描计呼吸波形和计算测定结果,故该类测定方法称为流量计法或肺量计法^[4-5]。

常规肺功能测定的核心装置不仅包括流量计,也包括至少两种气体分析仪,故不能称为肺量计,必须称为肺功能测定仪;通气功能测定也不能称为肺量计测定或肺量计法测定,相应的质量控制(质控)不能称为肺量计质控。将FVC曲线与MEFV曲线分别制定测定规范和质控标准,或忽视VC测定规范和质控标准也是不合适的;尽管为同步测定,FVC曲线、MEFV曲线的重要性和质控要求也有一定差别,需适当阐述^[6]。常规测定呼气过程,但有时通气功能以吸气异常为唯一或主要表现,需加做最大吸气流量容积(maximum inspiratory flow volume, MIFV)曲线。

肺功能诊断具有一定会诊性质,需兼顾诊断原则和具体标准,并与病史结合。本文规范仅涉及肺

活量和通气功能的内容,且未涉及最大自主通气量(maximal ventilation volume, MVV),故通气功能诊断有一定欠缺或不能给出完善的诊断结论,将在诊断标准部分重点阐述。

本文作者曾于《中华结核与呼吸杂志》《临床肺功能(第2、3版)》《临床肺科杂志》等阐述过相关内容^[7-10]。早期版本问题较多,近期修订后内容逐渐完善,兼顾科学性与实用性。然而,现有规范均聚焦常规肺功能,应用不便,故本文以《临床肺功能(第3版)》“成人常规肺功能测定规范、成人肺功能诊断指南”为基础制定单独通气功能测定和诊断规范^[8]。体容积描记仪(体描仪)虽也可测定通气功能,但不是主要测定内容,亦不介绍,可参考本规范应用。

重要术语

校准或定标(calibration) 是对不完全相同条件下的测定项目和测定试剂等进行的标准化处理^[11-12]。肺功能测定环境的海拔高度、大气压、温度、湿度等经常变化,不同批号的标准气浓度也常有差异,且受环境影响,进而影响肺功能测定结果的稳定性,为此进行的标准化处理称为定标或校准,主要包括环境定标、容积定标、标准气校准等^[13-14]。校准和定标的英文表达相同,含义不同,在肺功能测定中可同等对待。

生理条件 即体温、大气压和饱和水蒸气状态(body temperature and pressure saturated, BTPS),指正常体温(37℃)、标准大气压(760 mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa,下同)、饱和水蒸气(47 mmHg)状态,是对环境状态进行标准化处理的一种方法。

肺功能测定仪 习惯称为肺功能仪,用于测定和评估呼吸系统功能的医疗器械的统称,有多种类型,主要用于检测和评估肺容积、通气功能和换气功能。

标准肺功能仪 能完成肺容积、通气功能和一氧化碳弥散量测定的肺功能仪。

简易肺功能仪 仅能测定VC曲线及相应容积参数,FVC曲线、MEFV曲线及相应参数的肺功能仪。体积小、携带方便者也称为便携式肺功能仪。是目前肺量计的标准类型。

流量计 用于测量流体在管道或开放通道中流动速率的仪器,大体分机械流量计和电子流量计

两种,前者基本淘汰,后者有多种类型。

电子流量计 习惯称为流量计,用于测量流体流量的仪器,通过电子技术实现流量检测、信号处理和显示等功能。电子流量计通常结合传感器技术和电子信号处理技术,能够提供高精度、高可靠性和实时的流量测量数据,是现代肺功能仪的核心部件。

肺量计法 通过肺量计或流量计测量肺部吸入和呼出气体流量和容积的方法,主要用于肺活量和通气功能的测定。

肺通气功能测定 用于评估肺通气功能的医学检查方法。通过测量一系列呼吸波形和参数,评估肺部与外界环境之间进行气体交换的能力,协助临床评价、诊断和治疗。

用力肺活量曲线 受检者在最大吸气后用力呼气时,呼出气容积随时间变化的波形图。是最基础和最重要的通气功能测定项目,主要用于评估肺通气功能和气流受限程度。

MEFV曲线 受检者在最大吸气后的用力呼气过程中,呼出气流量随呼出气容积变化的波形图。主要用于评估肺通气功能、气流受限情况和测定质量。

最大自主通气量 在一定时间内(通常为12 s或15 s,换算为60 s),受检者以最快速度和最大深度自主呼吸所能达到的最大通气量。是评估肺通气功能和呼吸肌耐力的重要参数,能够反映呼吸系统的最大工作能力。

肺功能仪的检查、保养和维修 安装好肺功能仪后,必须确认应用国人的正常预计值公式,并能溯源^[15-16];使用一定时间后(标准肺功能仪一般1~2年;不同简易肺功能仪差别较大,需参考说明书)需对肺功能仪进行保养和维修,即使校准或测定结果变化不大也需检修,以保障各部件的性能稳定。

肺功能检查的适应证和禁忌证

适应证 (1)肺部疾病的诊断和鉴别诊断:具体指征是慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)的诊断、支气管哮喘的辅助诊断;长达数周或以上的胸闷、呼吸困难、咳嗽;较长时间的运动能力减退。少数情况下短时间内发病者也需要测定,特别是症状明显,体征或影像学检查缺乏阳性发现者。(2)评价通气功能障碍的类型和严重程度。(3)评价呼吸系统疾病病情的动态变化和随访治疗效果。前述情况是基本检查内

容。(4)评价劳动能力的丧失程度。(5)评估麻醉、手术的可行性和术后可能的并发症。肺功能检查已成为创伤较大手术或高危患者手术的常规检查,如心脏手术、肺部手术、上腹部手术、老年人或COPD患者的其他手术或气管镜检查。(6)高危人群,如吸烟或被动吸烟、严重大气污染、职业暴露、年龄 ≥ 40 岁人群的体检。(7)高原活动、太空或高空飞行、深海活动人群的体检。(8)运动医学、航空航天医学、航海医学的研究。(9)呼吸系统疾病或病情的流行病学调查。

绝对禁忌证 (1)严重低氧血症患者。除非床旁监测,因需停止吸氧,可导致低氧血症迅速加重;用力呼吸容易加重脑、心脏等缺氧。(2)气胸及气胸愈合1个月内的患者。(3)不稳定型心绞痛患者、4周内的心肌梗死患者、高血压危象或顽固性高血压患者。(4)1个月内的脑卒中或颅脑手术、眼睛手术、胸腔或腹腔手术的患者。(5)2周内咯血史或有活动性消化道出血的患者。(6)预约当天已行内窥镜检查 and 活检的患者。前述疾病状态下,用力呼吸或屏气容易导致疾病加重或诱发出血。(7)有活动性呼吸道传染病或感染病的患者,如开放性肺结核、流行性感、急性肺炎的患者,容易导致交叉感染。(8)有习惯性流产的孕妇。用力呼吸或屏气容易导致流产。(9)已确诊患胸主动脉瘤或脑动脉瘤,且未有效治疗的患者。用力呼吸或屏气容易诱发动脉瘤破裂。(10)未控制的甲状腺功能亢进或有癫痫发作的患者。用力呼吸容易诱发疾病加重或发作。

相对禁忌证 (1)张力性肺大疱患者。(2)有较严重心血管疾病的患者,如严重腹主动脉瘤、严重主动脉瓣狭窄、心绞痛、严重高血压、频发室性早搏。(3)颞颌关节易脱臼患者。(4)严重疝气、痔疮、重度子宫脱垂患者。(5)中、晚期妊娠妇女。前述疾病或生理状态下,用力呼吸或屏气容易导致疾病加重或流产。(6)插胃管或气管切开的患者。用力呼吸或屏气有脱管风险。(7)鼓膜穿孔患者。容易发生漏气,且急性者病情可能加重;慢性者需堵塞耳道后测定。(8)配合较差或体弱无力的患者,如偏瘫、面瘫、脑瘫、智障、耳聋、高龄老年、重症肌无力患者。前述情况多不能完成可接受的肺功能测定,肺功能解读有较大困难。(9)明显胸痛、腹痛、面痛、头痛的患者;剧咳患者;压力性尿失禁患者。该类患者难以完成规范测定,解读更困难。

肺通气功能测定前的准备和注意事项

测定前的校准 通气功能测定主要校准流量计,适合于简易或标准肺功能仪、体描仪等几乎各种类型肺功能仪,后两者还分别有标准气和压力传感器的校准等。

校准的必要性 肺功能仪经出厂、转运、安装、更换等过程后可能会出现变化;使用一段时间后容易因污垢、磨损等原因出现传感器性能下降;或每日环境条件变化,导致流量、容积等参数的基线不稳定或测定误差增大,故需要校准^[1,11]。

校准内容 通气功能测定实质是对受检者吸入或呼出气流量或容积的测定,气体变化遵循理想气体运动方程,故需首先校准环境的温度、湿度、大气压、海拔高度等参数;其次是校准流量计,即校准测定流量与实际流量、测定容积与实际容积之间的误差。还需校准计时器,以保障与时间有关的容积或流量参数等的准确测定^[11]。

校准的项目和要求 (1)环境定标:有环境参数自动传感器者需定期比较传感器测得的数据与经过计量的温湿度压力计之间的误差,并对传感器读数进行修正;反之,需每日测定前读取环境温度、湿度、大气压、海拔高度,并输入。环境定标是流量计校准或参数计算等的先决条件。肺容积和通气功能测定结果校正为BTPS。每日测定前至少完成一次环境定标;若环境状态的变化幅度过大,如环境温度变化超过2℃或相对湿度变化超过10%,需重新输入环境参数定标;若为室外测定,需根据环境状态变化多次定标。(2)定标筒的校准:目前常规用标准3L定标筒,需专业部门或专业技术人员完成。推荐1年校准1次;若使用频繁,推荐半年校准1次,误差 $\leq 0.5\%$ ^[12]。(3)容积的校准:①校准的范围:容积校准有10%、3%或3.5%等误差范围。10%是指在定标过程中原始实测值与标准值之间可以被修正的允许差异范围;3%是指验证过程中经定标修正后的测量值与标准值之间的允许差异范围;0.5%是指定标筒允许的容积差异范围,容积定标用定标筒,因此定标后的容积误差应 $\leq 3.5\%$ ^[13]。②校准的环境条件和气路要求:定标筒、肺功能仪应置于相同环境,并远离致热源及低温物品,也应避免直接用手握持筒身,以避免高温或低温引起过大的容积变化,导致测量误差^[13];还应确保肺功能仪气路的完好,以免因堵塞、漏气等

原因导致测量误差。③校准的过程和要求:包括容积定标、定标验证和流量的线性检验。容积定标:首先在静止状态下对流量计进行零点校正,获得零点偏差值;然后容积定标,获得校准系数。流量计的实测值加上零点偏差值,再乘以校准系数即为显示的测定值^[4]。定标验证:容积校准后进行,一般在0.5~12 L/s流量范围内,采用低(0.5~1.5 L/s)、中(1.5~5 L/s)、高(5~12 L/s)流量推拉定标筒,至少操作3次,主要检验流量计的精确性。流量的线性检验:与定标验证同步完成,主要检验流量计的响应水平。每日测定前皆需容积校准,若任何前述步骤未能通过,需重新容积校准;若仍不能通过,需检修流量计^[14]。需要说明的是:不同参数测定或测定的不同时段常需要不同的流量范围,如VC测定需要中、低流量;FVC曲线和MEFV曲线同步测定的起始部分需要高流量,中晚期部分需要中、低流量,因此通过不同流量的验证和检验可满足全部测定需要。一般现代肺功能仪的容积定标、定标验证和流量的线性检验组合完成,一旦完成容积定标,将进入定标验证,显示不同流量的定标验证图形和数据;然后进入流量的线性检验,显示相应的图形和数据。全部通过即可测定。(4)时间的校准:计算机内置计时器自动计时,稳定性高;校准难度大,需专业人员完成,建议半年或1年校准1次。

测定的基本要求

环境状态的要求 测定场所应宽敞,通风良好;温度、湿度相对稳定,理想值分别为18~24℃和50%~70%,因此肺功能室最好安装温度、湿度控制设备。

操作者的要求 操作者是决定肺功能检查质量的重要或关键因素,对其知识和能力有较高要求。(1)知识和技术要求:操作者应具备基本的呼吸生理和病理生理知识,掌握检查的适应证和禁忌证,以及各项检查的具体操作要求和质控要求;掌握各项检查的波形图和参数的意义。(2)指导技巧:通气功能检查是主观性最强的肺功能项目之一,对操作者的示范方式有更高要求。操作者需向受检者演示每项检查的吸气和呼气动作,适当运用肢体语言;若操作者指导技巧不足,则受检者可能难以领会,多次重复检查仍不符合要求。(3)操作过程中的质控要求:操作者能对受检者的用力程度、配合水平、完成质量迅速做出基本判断;能够实时观察

波形图和读取数据,评价其可靠性及可能的问题,从而迅速决定是否需要重复检查。

抢救设备的要求 尽管检查的安全性高,但仍可能发生严重意外事件的可能,如支气管哮喘急性发作、晕厥、严重心律失常,因此肺功能室必须备有急救车、抢救药物和设备。肺功能室宜靠近病房或急诊室,设置在呼吸科最合理,便于有经验的医务人员及时处置突发事件。野外、家庭检测难以备足抢救措施,需对受检者有充分评价,并严格控制检查时间和检查次数。

预防和控制交叉感染的要求 受检者反复呼吸或用力呼吸容易诱发或加重咳嗽;悬浮的咳嗽飞沫污染检查环境、设备、物品、人员,容易导致交叉感染;若受检者有呼吸道传染病则危害更大。通风是基本要求,首选开窗通风,常规使用专用呼吸过滤器;也可适当选用排气扇、空气过滤净化器等净化设备。

肺功能检查工作负荷的要求 与国外医院每日有限的检查人次不同,国内流行病学调查、健康体检、临床检查(主要是三甲医院)的数量巨大,因此,检查室、技术员、流量计等皆面临较大的工作负荷,并可能明显影响测定结果。(1)检查室的负荷:除基层或野外,单纯通气功能检查相对较少,更多是常规肺功能检查或其他肺功能检查的一部分。过多的测定人次将导致室内空气氮或甲烷、一氧化碳等标示气体浓度和二氧化碳浓度升高、氧浓度降低,可能影响技术员的身体健康和测定结果的准确性,除前述通气要求外,还要求1人测定时最多3人观摩。(2)技术员的耐受负荷:技术员反复示范用力吸、呼气动作必然导致过度通气和急性呼吸性碱中毒,可能诱发脑血管收缩和脑供氧减少;频繁用肢体示范容易发生明显体力消耗,影响示范的准确性,并可能影响身体健康,因此应安排好技术员的测定顺序,高强度工作一定时间后应适当休息。(3)流量计的工作负荷:尽管不同流量计均符合行业标准,但实际性能常有一定差别,尤其是便携式肺功能仪,与标准肺功能仪的结构不同,流量计缺乏防护和加热装置,呼出的水蒸汽容易在流量计上凝结,降低其性能。建议采取下述措施:①若短时间内需要测定的人次较多,宜更换流量计或增加肺功能仪,并重新进行环境定标和容积的校准。②简易肺功能仪测定3~4人次/h,不超过6人次/h;标准肺功能仪测定6~8人次/h,不超过10人次/h。(4)说

明:电子流量计有多种类型,其中超声流量计的热度较高,多认为其性能更优越,影响因素更少。事实上,何种类型的性能皆主要取决于工艺水平,故仍推荐采用前述要求。

测定前的准备 (1)选择简易或标准肺功能仪,或体描仪,需注意准备程序不完全相同。(2)连接好肺功能仪,包括已经消毒的连接管路,以及采样管、流量计及电磁阀,后者常规组装成可拆卸的固定配件;平时与大气相通,测定时根据吸、呼气流量变化自动开闭,保障合适的气体单向流动。标准肺功能仪还需连接好气体分析仪,安装钠石灰,连接标准气储气袋备用;要求储气袋适当充盈,避免出现明显张力或用力呼吸时完全吸瘪。准备好咬口、鼻夹等配件。(3)检查当天受检者避免饮用浓茶、咖啡、碳酸饮料;检查前应进食,但2 h内避免进食过多;检查前1 h避免吸烟;休息15~20 min检查。检查前需了解受检者的病史,有呼吸系统疾病者应注明用药情况;注明胸部影像学检查结果,最好阅片;确定是否有检查的绝对或相对禁忌证,前者应劝退,并通知预约部门或医师,后者应控制测定次数,达测定要求或受检者有明显不适感即尽早终止,避免继续测定,并在报告中注明。(4)受检者穿宽松单衣或方便更换的衣服,以免限制呼吸运动。(5)建议在休息室或观察室集中观看操作示教录像,模仿检查动作,从而更好、更快地掌握平静及用力呼吸要求。应告知受检者有多项测定,每项测定前须认真观摩和领会技术员的示范要求,以提高测定的依从性。(6)肺功能检查一般要求上午8—10时检查;若在其他时间检查,需注明,复查也应在相同的时间段。(7)检查前输入受检者的编号、姓名,以示区别和储存;输入性别、年龄、身高、体重,用于肺功能参数正常预计值的计算^[15-16]。

肺通气功能测定的程序和质量控制

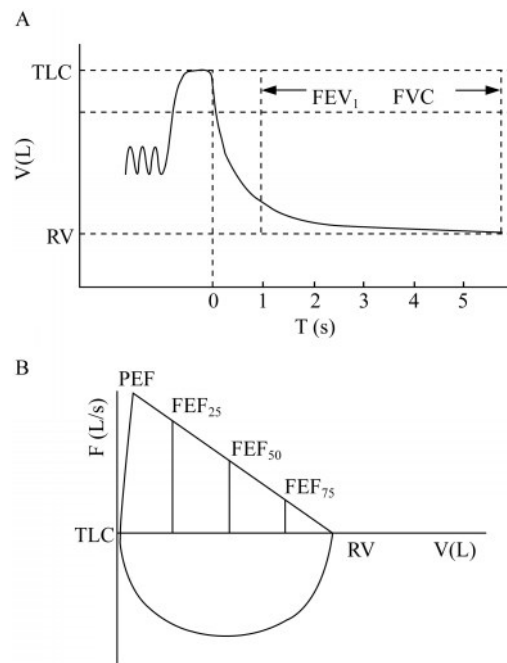
潮气量、肺活量曲线及相关参数的测定

潮气量及相关参数的测定 (1)测定步骤:①令受检者按要求坐位,口含咬口,夹上鼻夹,练习并习惯经口平静呼吸,至少有1 min稳定的自主呼吸,绘出平直的静息呼气末基线。②VT取至少3次稳定静息呼吸的平均值,RR为1 min的呼吸次数, $VE=VT \times RR$ 。③拿去鼻夹,取出咬口,测定完毕。(2)质量控制:至少有1 min稳定的自主呼吸,VT差值 ≤ 100 mL,并描出平直的静息呼气末基线;若未达要求,应在报告中标明。

VC曲线及相应参数的测定^[8] (1)完成VT测定后进行或直接测定。(2)具体测定步骤:①按要求令受检者坐位或站位,口含咬口,夹上鼻夹,平静呼吸;②描记3~4次稳定的平静呼吸曲线,且出现平直的静息呼气末基线后,令受检者呼气末用力深吸气,达极限后,用力深慢呼气,随后平静呼吸2~3次;③拿去鼻夹,取出咬口,测定完毕;④休息1~2 min再次测定。(3)测定次数及相应计算:至少有3次可接受的、2次可重复的VC测定,VC取最大值;深吸气量(inspiratory capacity, IC)、补吸气容积(inspiratory reserve volume, IRV)、补呼气容积(expiratory reserve volume, ERV)从VC曲线中获取,其结果皆取3次可接受VC测定的平均值。(4)质量控制:VT、VC是其他各参数计算的核心,决定各测定结果的可靠性,有明确、严格的要求。①静息潮气呼气末基线稳定,即在正常功能残气量(functional residual capacity, FRC)位呼吸;②至少有3次稳定的潮气呼吸波形显示,且3次VT的差值均 ≤ 100 mL,达要求后进行VC测定;③VC曲线平滑;④测定VC时要求受检者充分吸气和呼气,具体标准是吸气末曲线和呼气末曲线皆自然出现平台,即分别达肺总量(total lung capacity, TLC)位和残气容积(residual volume, RV)位,符合前述测定要求的VC称为可接受的VC;⑤至少完成3次可接受的VC测定,且至少2次最佳VC测定的差值 $\leq 5\%$ 或150 mL(取较大值),若未达要求则应标明;⑥夹鼻夹、口含咬口呼吸时,受检者容易呼吸增强,即使呼气末基线平直,也可能出现ERV、IRV降低,应标明。(5)说明:目前大多数肺功能仪不能显示完整的1分钟呼吸,难以计算出准确的VT及相应参数,故除非特殊设置,VT、VE、IC、IRV、ERV的测定值均不可靠,仅VC可用于评价。

实际检测图形显示和参数计算 内置电脑自动描记检查的波形图和计算各参数的实测值(BTPS校正)及占预计值的百分比;直接在屏幕上显示波形图和数据,并储存和打印。具体程序为:(1)根据平静呼吸曲线绘出静息呼气末基线;(2)静息潮气呼气的容积为VT;(3)用力深吸气后的用力深呼气容积为VC;(4)静息呼气末基线上的用力吸气容积为IC;(5) $IRV = IC - VT$;(6)静息呼气末基线下的用力呼气容积为ERV;(7)自动进行BTPS校正;(8)自动计算测定值占预计值的百分比。

FVC曲线与MEFV曲线的同步测定和质量控制 坐标轴的要求 不同坐标比例会导致相同肺功能的客观评价标准不同,不利于质控和诊断,故要求纵、横坐标轴的比例固定,且符合视觉习惯。(1)FVC曲线:横坐标为时间(time, T),单位为s,每一距离单位是相对值,不一定表示1 s;纵坐标为容积(volume, V),每一距离单位表示1 L。不同肺功能仪的显示基本相同。(2)MEFV曲线:横坐标为V,每一个距离单位表示1 L;纵坐标为流量(flow, F),每一个距离单位表示1 L/s。不同肺功能仪的显示差别较大,推荐纵坐标与横坐标的比例为1:4(图1)^[5,17]。



A: FVC curve; B: MEFV curve. TLC: Total lung capacity; RV: Residual volume; FEV1: Forced expiratory volume in first second; FVC: Forced vital capacity curve; PEF: Peak expiratory flow; FEF: Forced expiratory flow.

图1 FVC曲线与MEFV曲线同步测定示意图

Fig 1 Schematic diagram of simultaneous measurement of FVC curve and MEFV curves

测定程序 测定VC后进入该测定:(1)令受检者平静呼吸3次后用力深吸气,短暂屏气;然后做最大力量、最快速度呼气,直至呼尽。具体包括以下步骤:①静息潮气呼吸;②从FRC位快速深吸气至TLC位;③吸气末短暂屏气;④爆发性用力呼气至RV位;⑤深吸气;⑥恢复平静呼吸2~3次。(2)拿去鼻夹,取出咬口,测定完毕。(3)休息1~2 min后再次测定。

质量控制 (1)吸气充分:即达TLC位。具体

标准为受检者已尽最大吸气努力,感吸气充足,不能继续吸气;客观标准为通气功能正常或限制性、轻度阻塞性通气功能障碍受检者的吸气肺活量(inspiratory vital capacity, VCI) $\geq 95\%$ VC;中、重度阻塞性通气功能障碍患者缺乏客观标准,需综合评价。(2)吸气末短暂屏气:FVC曲线出现短暂平台,具体标准为平台时间0.25~2 s。(3)起始呼气呈爆发性:①FVC曲线从屏气迅速转为呼气,呈锐利拐点,该拐点为呼气起始点。MEFV曲线的起始无顿挫,上升支陡直,出现锐利尖峰;呼气起始的客观标准为呼气流量上升支切线与横坐标的夹角(β 角) ≥ 80 度(图2)^[17]。②若起始呼气的爆发性欠充分,则FVC曲线的屏气与开始呼气的拐点圆钝;MEFV曲线的上升支稍显顿挫或欠陡直,或无锐利尖峰。常规采取外推法评价,即分别沿FVC曲线的屏气平坦段、呼气段的最大斜率画延长线,两者交点为呼气起始点。呼气起始点前的呼出气容积称为外推容积(extrapolated volume, EV), $EV \leq FVC$ 的5%或150 mL(取较大值)为符合要求的客观标准。现代肺功能仪可自动计算EV和确定呼气起始点^[1]。(4)呼气早期曲线的下降支平滑:FVC曲线和MEFV曲线的早期下降支皆平滑,在呼气后1~1.5 s内,未出现吸气、咳嗽等动作或漏气等情况。(5)呼气中、后期曲线的下降支平滑或基本平滑:FVC曲线的中、后期下降支平滑;MEFV曲线的中、后期下降支平滑或基本平滑,未出现明显影响测定结果的吸气、屏气、咳嗽等动作或漏气、舌体堵塞咬口器等情况。(6)呼气充分:FVC曲线终末自然回归至基线,即容积变化 < 25 mL、时间 > 1 s;对阻塞性或以阻塞为主的混合性通气功能障碍的成人患者而言,推荐呼气时间 ≥ 7 s^[18]。MEFV曲线终末自然回归至基线水平,即流量下降至 < 0.025 L/s、时间 > 1 s;未出现漏气、舌体后坠堵塞、声门过早关闭等导致呼气流量迅速下降至0的情况。前述要求限制呼气时间 ≥ 7 s的患者,流量常不能达标准,应标明。强调在不同呼气阶段,一般MEFV曲线达标,FVC曲线即能达标。(7)呼气结束标准:①FVC曲线达呼气充分或推荐标准,伴或不伴MEFV曲线达呼气充分标准,取决于通气功能类型^[18-19]。②受检者不应或不能有效完成呼气。尽管鼓励充分呼气,但若受检者出现明显不适感应立即停止呼气;若发生晕厥、胸痛等状况,应终止测定,及时治疗,并注意采取保

护性措施,报告中也应标明。

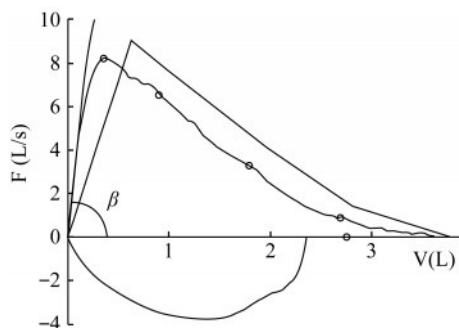


图2 MEFV曲线坐标尺度及可接受的MEFV曲线

Fig 2 Coordinate scale of MEFV curve and acceptable MEFV curve

测量次数 至少测定3次,每2次间隔1~2 min,直至有3条可接受的曲线;或重复测定已达8次;或受检者不愿意或不能够再次测定。

测定曲线的质量评价要求 (1)符合吸气充分、爆发性呼气起始的标准^[20]; (2)符合呼气早期下降支的标准,其后也未出现明显影响结果的咳嗽等情况; (3)符合呼气充分标准; (4)测定过程中未发生漏气; (5)呼气过程中未出现吸气或咳嗽动作。符合(1)和(2)的曲线为有用的曲线,全部符合要求的曲线为可接受的曲线。

测定曲线的可重复性评价 原则上有3条可接受的曲线时进行重复性评价。选择最佳的2条FVC曲线及对应的MEFV曲线进行重叠打印,若曲线重叠,说明重复性好;反之说明重复性不佳。推荐选择评价FVC曲线重复性的客观标准,具体参见《临床肺功能(第3版)》表6-1^[8]。

最终测定曲线的选择和测定结果的计算 由于FVC曲线参数是评价通气功能的必要条件,MEFV曲线参数的重要性低得多,且缺乏重复性评价的客观标准,故建议重点或单一评价FVC曲线,选择与最佳FVC曲线同步测定的MEFV曲线。在达A级的FVC曲线中,选择最佳的FVC曲线及对应的MEFV曲线;若未达A级要求,则选择1条最佳的可重复、可接受或有用的FVC曲线及其对应的MEFV曲线。尽管如此,目前肺功能仪一般会自主选择FVC+第1秒用力呼气容积(forced expiratory volume in first second, FEV₁)最大的1条曲线及其同步测定MEFV曲线用于全部有关参数的计算、显示、储存、打印,故需要技术人员和审核医师额外评价。

FVC曲线测定、评价和选择的注意事项 (1) FVC与VC:①正常或限制性通气功能障碍受检者:气道阻力正常或基本正常,理论上 $VC=FVC$ 。由于快速用力呼气导致气体压缩(尽管有限),VC常略高于FVC;实际常规测定VC后再测定FVC,随着受检者依从性提高,FVC可 $>VC$ ^[18],但两者的差异应 $\leq 5\%$ 或150 mL;否则说明测量误差过大,需重新测定。②阻塞性通气功能障碍受检者:轻度和部分中度阻塞患者,由于用力慢呼气或快呼气皆能充分呼出气体,VC、FVC皆正常,且两者基本相等;随着阻塞加重,患者不能充分快速呼气,FVC下降, $FVC < VC$,不能用两者差异 $\leq 5\%$ 或150 mL评价是否达标。(2) FVC与用力吸气肺活量(forced inspiratory vital capacity, FVCi):尽管FVCi一般不在屏幕显示,也不出现在肺功能报告中,但测定MIFV曲线等项目时普遍存在。对于正常或限制性通气功能障碍的受检者,呼气相与吸气相的气道阻力接近, $FVC=FVCi$,因此FVCi也可以评价FVC的完成质量,推荐标准与VC相同;对于阻塞性通气功能障碍受检者,呼气相气道阻力多明显大于吸气相, $FVC < FVCi$;对于胸腔外非固定型大气道阻塞者, $FVC > FVCi$ ^[21]。(3)一秒率(FEV_1/FVC):对于正常或限制性通气功能障碍受检者, FEV_1/FVC 正常,后者常快速完成呼气, FEV_1/FVC 偏高。轻度阻塞性通气功能障碍受检者能充分呼气,FVC正常或基本正常;呼气流量减慢, FEV_1 降低, FEV_1/FVC 下降。随着阻塞程度加重,患者用力呼气受限,FVC轻度下降;呼气流量显著减慢, FEV_1 明显下降, FEV_1/FVC 明显下降。严重阻塞时,患者用力呼气持续严重受限,FVC明显下降,且可能超过 FEV_1 的下降幅度, FEV_1/FVC 下降幅度减小或有所回升,因此 FEV_1/FVC 下降能准确反映气流阻塞存在,但不一定能准确反映气流阻塞的严重程度。(4)一秒率分母的选择:部分欧美学者认为健康成人的FVC测定能在6 s完成,故提出用6秒用力呼气容积(forced expiratory volume in six seconds, FEV_6)评价FVC结束的完成质量,推荐用 FEV_1/FEV_6 取代 FEV_1/FVC ,且能保障诊断的准确性^[22-23],部分肺功能仪有该参数。由于缺乏循证医学依据,该参数的价值受到广泛质疑。作者研究国人的结果显示,阻塞性通气功能障碍患者完成FVC的时间明显延长,导致胸腔内压持续增大,容易诱

发脑缺血、缺氧等,为避免或减少测定风险,应控制测定时间,但用 FEV_1/FEV_6 取代 FEV_1/FVC 有较高的漏诊率,用7秒用力呼气容积(forced expiratory volume in seven seconds, FEV_7)取代FVC、用 FEV_1/FEV_7 取代 FEV_1/FVC 可有效避免漏诊,又不影响测定的安全性^[18,24];对于正常和限制性通气功能障碍的受检者,多数完成FVC的时间短于7 s或6 s,若强行更长时间用力呼气,也容易导致脑缺氧等。因此为保证通气功能诊断的准确性和测定的安全性,对于阻塞性或以阻塞为主的混合性通气功能障碍患者,推荐用 FEV_1/FEV_7 取代 FEV_1/FVC 诊断气流阻塞;其他情况下皆选择 FEV_1/FVC 。部分学者认为用 FEV_1/VC 取代 FEV_1/FVC 更合适。 FEV_1 、FVC在一项测定中完成,影响因素小;国内较多单位每日测定数量巨大, FEV_1 、VC在两项测定中完成,出现问题的概率更大,故不推荐应用 FEV_1/VC 。

肺通气功能诊断

通气功能参数的正常值

肺功能参数正常值的评价标准 由于人种等因素影响,世界各地肺功能参数的正常预计值公式不同,健康人群高限(upper limit of normal, ULN)和低限(lower limit of normal, LLN)理论上是最科学的评价标准,被美国胸科协会/欧洲呼吸学会(American Thoracic Society/European Respiratory Society, ATS/ERS)采用。但由于与实际情况差别过大,并未获得呼吸疾病临床诊治指南的认可,如COPD是最常见的气流阻塞性肺疾病,其全球防治倡议(Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease, GOLD)完全忽视UIP和LIP,采用吸入气道扩张剂后 $FEV_1/FVC < 70\%$ 的固定值作为定性诊断标准,采用 FEV_1 占正常预计值的百分比($FEV_1\%$ pred)作为严重度的分级标准。我国的肺功能参数评价主要采用实测值占正常预计值的百分比,少部分核心参数曾长期没有标准,综合分析给出诊断,不少单位通气功能的定性诊断用GOLD标准;自从本文作者提出1秒率的正常值标准,全国趋向规范。近年来通气功能减退的严重度分级多采用ATS/ERS标准或GOLD标准,皆与 D_LCO 分级标准不一致,较混乱。

通气功能参数正常值的问题 选择无临床症状、无高危因素的“健康人”是建立正常预计值公式

的基本要求,但对肺功能参数有明显欠缺。调查显示该类健康人群中有较高比例的气流阻塞者,如此建立的正常预计值公式尽管对均数的影响有限,但标准差加大,ULN升高,LLN降低,容易导致诊断错误,这可能是ATS/ERS于2005年出版指南并时隔14年后才更新指南,但仍不被GOLD等接受的原因之一^[1,25-26]。

中国的正常预计值公式 中国分别由东北、西北、华中、华东、东南、西南六大地区于1988年各自制定预计值公式;其后虽多次进行大规模的流行病学调查,但均未能制定出完整的新预计值公式。赵蓉雅等^[16]的研究结果显示1988年版的肺通气功能参数正常预计值公式仍然最合理,且各地区的相关性和一致性非常好,仍能继续使用,并以此为基础计算出1秒率的正常预计值^[9,27]。

通气功能参数的正常值范围 不同种类肺功能参数的选择标准不同。(1)绝对值参数:肺活量和通气功能参数降低为异常,其正常值范围取实测值占正常预计值百分比 $\geq 80\%$ 。(2)相对值参数:主要为 FEV_1/FVC ,且随年龄增大逐渐下降,但并非直线相关关系。小儿肺容积小,呼气时间短, FEV_1/FVC 常 $\geq 95\%$,健康青年人多 $\geq 85\%$;进入老年后下降幅度减小,研究结果显示健康老年人的平均值约为 80% ,其中 ≥ 70 岁的男性为 $(80.2 \pm 4.5)\%$,女性为 $(81.8 \pm 5.6)\%$ ^[28],少部分可降至 70% ,因此GOLD把 $FEV_1/FVC < 70\%$ 作为定性诊断标准,对以中老年为主的COPD患者有较高的准确度,但仍需注意在低龄人群的高漏诊率和高龄人群的过度诊断。任为英等^[27]统计国人 FEV_1/FVC 的LLN,换算为占正常预计值的百分比($FEV_1/FVC\%pred$) $\geq 92\%$ 为正常,由于排除了年龄影响,更具科学性,已在国内广泛应用^[3-4,9]。

通气功能诊断的类型及标准 包括通气功能正常和通气功能障碍,后者分为阻塞性、限制性、混合性3种基本类型。

通气功能正常 指通气功能参数或核心参数(FVC 、 FEV_1 、 FEV_1/FVC)的测定值皆在正常范围内; VC 正常有重要的辅助诊断价值。若部分参数的测定值接近正常值低限,习惯称为通气功能基本正常。

阻塞性通气功能障碍 气流呼出和/或吸入受限引起的病理生理状态。(1)诊断原则:以 FEV_1/FVC

降低, TLC 无降低或升高为原则;结合病史(如慢性咳嗽病史,影像学有肺气肿改变等)有助于准确诊断。因此用单纯通气功能检查进行诊断是有欠缺的,应用范围受限。(2)具体标准:为便于临床应用,给出具体诊断标准是必要的,但需重视与诊断原则和病史的结合。① $FEV_1/FVC\%pred < 92\%$ 是基本诊断标准,若 FVC 占预计值的百分比($FVC\%pred$) $\geq 80\%$ 可直接诊断;若 $FVC\%pred < 80\%$,无法与混合性通气功能障碍鉴别,需加做 TLC 检查和结合病史(后同,不赘述)。② $FEV_1/FVC\%pred$ 明显降低,但 $\geq 92\%$; FEV_1 占预计值的百分比($FEV_1\%pred$) $< 80\%$; VC 、 FVC 正常。主要见于基础肺功能较差的轻度阻塞患者。同样若 $FVC\%pred < 80\%$,无法与混合性通气功能障碍鉴别。③ $FEV_1/FVC\%pred$ 明显降低,但 $\geq 92\%$, FEV_1 正常低限; VC 、 FVC 正常,反映小气道功能的参数明显下降,包括用力呼气中期流量(forced expiratory flow at 25%~75% of FVC exhaled, FEF_{25-75})、用力呼出50%肺活量呼气流量(forced expiratory flow at 50% of FVC exhaled, FEF_{50})、用力呼出75%肺活量呼气流量(forced expiratory flow at 75% of FVC exhaled, FEF_{75}),主要见于基础肺功能良好的轻度阻塞患者。此类情况与小气道功能障碍相似,诊断需慎重,应结合病史,比如患者为青年,有反复发作的哮喘史, $FVC\%pred$ 接近或超过 100% ,结合病史可诊断为轻度阻塞性通气功能障碍;若无吸烟史,也无任何不适,且为老年人,可诊断为通气功能基本正常或小气道功能障碍。④ FEV_1/FVC 正常, VC 、 FVC 、 FEV_1 下降。即单纯通气功能检查符合限制性通气障碍的标准;病史和胸部影像学检查无限制性肺疾病的表现,MEFV曲线中、末部分有凹形改变,低容积流量下降幅度更大。重复呼吸法或体描法测定 TLC 正常,称为非特异性通气功能障碍。该类情况少见,可能与用力呼气导致小气道陷闭等有关,需与限制性通气功能障碍鉴别。(3)说明:前3种情况的核心是 FEV_1/FVC 下降(提示有阻塞),若 FVC 、 VC 正常(无限制),就可诊断阻塞性通气功能障碍,不一定测定 TLC ;反之必须有肺容积测定;第4种情况也必须有肺容积测定。因此部分指南或肺功能仪单用通气功能参数诊断通气功能类型是有明显欠缺的。(4)注意事项:①肺功能参数结果的正常或异常是统计学意义

上的,因此实测值接近正常临界值时,对核心参数的评价必须结合病史。②支气管舒张试验(bronchodilator test, BDT)原则上可用于各种阻塞性通气障碍患者,但主要用于:a.初次诊断,评价阻塞的可逆性,协助临床诊断,指导临床治疗;b.有可逆性气流阻塞,治疗后仍有阻塞,随访可逆性变化,为调整治疗方案提供依据。单纯随访肺功能,无需加做BDT。

限制性通气功能障碍 肺扩张和/或回缩受限引起的病理生理状态。基本诊断标准:FVC%pred<80%、FEV₁/FVC正常;若MEFV曲线无低容积凹型改变,可直接诊断;若有明显凹型改变,需与非特异性通气功能障碍鉴别。

混合性通气功能障碍 同时存在气流呼出和/或吸入受限以及肺扩张和/或回缩受限的病理生理状态。FEV₁/FVC%pred<92%、FVC%pred<80%,伴VC%pred<80%,可能是混合性通气障碍,或中、重度阻塞性通气功能障碍,即单纯通气功能检查难以诊断混合性通气功能障碍,应有肺容积检查和结合病史。

小气道功能障碍 是生理学和临床常用的通气功能诊断名称,指小气道病变或肺弹性下降导致小气道气流呼出受限,达不到阻塞性通气功能障碍标准的病理生理状态,大体有3种表现。

典型表现 常规通气功能参数主要是FVC、FEV₁、FEV₁/FVC正常;反映小气道功能的参数,主要是FEF₂₅₋₇₅、FEF₅₀、FEF₇₅至少有两项下降至正常预计值的80%以下。呼气峰值流量(peak expiratory flow, PEF)、用力呼出25%肺活量的呼气流量(forced expiratory flow at 25% of FVC exhaled, FEF₂₅)正常,MEFV曲线低容积部分呈凹形改变有重要的辅助诊断价值。对于FEF₂₅₋₇₅、FEF₅₀与FEF₇₅,国内外无一致的临界值标准(有的提出小于预计值的65%或60%^[5]),且皆缺乏循证医学依据;鉴于价值有限,作者推荐与其他通气功能参数一致的标准,即占正常预计值的百分比≥80%为正常。常见于老年人、COPD高危患者、支气管哮喘缓解期患者等。

非典型表现 对于限制性通气功能障碍患者,若FEF₅₀、FEF₇₅的下降幅度显著大于PEF、FEF₂₅,MEFV曲线低容积部分呈凹形改变,则提示小气道呼出气流受限,可以诊断为限制性通气功能障碍合

并小气道功能障碍。

其他 大气道阻塞也可合并小气道功能障碍,但前者的影响大得多,再诊断小气道功能障碍并无实际意义;专业人员若缺乏足够的呼吸生理学知识则难以进行正确鉴别,不宜下诊断。

通气功能障碍的分级

现状与问题 MVV是反映通气功能最科学的参数,但受检者测定的依从性低,重复性较差。MVV与FEV₁呈较好的正线性相关关系,可用后者换算,但无实际价值,故目前直接用FEV₁评价。不同学术团体的分级标准不完全相同,ATS/ERS(2005版/2019版)的通气功能障碍分5级^[1,25],即轻度:70%≤FEV₁%pred;中度:60%≤FEV₁%pred≤69%;中重度:50%≤FEV₁%pred≤59%;重度:35%≤FEV₁%pred≤49%;极重度:FEV₁%pred<35%。COPD的通气功能分4级^[29],即轻度:FEV₁%pred≥80%;中度:50%≤FEV₁%pred<80%;重度:30%≤FEV₁%pred<50%;极重度:FEV₁%pred<30%。

然而,五级分类法无循证医学依据,且中度和中重度的分级范围皆为10%,轻度的分级范围取决于LLN,重度差值为15%。四级分类法仅限于COPD,主要问题是无LLN或其他正常值标准,其他与五级分类法类似;且两者最严重程度的分级也不一致。2022年的国外指南推荐Z值的三分法与传统方法差别过大,需要进一步探讨^[30]。

推荐标准 正常肺通气和换气是高度一致、密切相关的过程,两者采用差别较大的分级标准并不合适;FEV₁与呼吸困难或运动能力的相关性较低,过度分级并无必要;临床实践习惯采用三级分类法;LLN的可靠性差,争议度大,且国内外皆缺乏公认的LLN;Z值的核心问题与LLN类似。因此,我们推荐占正常预计值百分比的三级分类法,即轻度:60%≤FEV₁%pred<80%;中度:40%≤FEV₁%pred<60%;重度:FEV₁%pred<40%。

用FEV₁取代MVV定量评价使可操作性增强,但准确性下降,特别是FEV₁在正常低限时。而定性诊断和分级定量诊断选择的参数不同,容易出现两者结果的不一致。符合阻塞性或限制性通气功能障碍标准的患者中,FEV₁%pred≥80%并不少见,宜诊断轻度通气功能障碍。无论如何选择,用单一参数定性或定量诊断具有较大的局限性,在核

心参数结果处于临界值时,结合总体肺功能测定及病史诊断是必要的。

通气功能障碍的几种特殊情况

大气道阻塞 肺功能概念中的大气道是指气管和主支气管。大气道横截面积小,轻微阻塞即可出现高容积呼气或/和吸气流量的显著下降,MEFV曲线或MIFV曲线常有比较特征性的变化,与中、小气道(周围气道)阻塞差别较大,患者的临床特点、评价和治疗等也有较大差别,故应尽可能给出诊断^[8]。(1)胸廓内非固定性大气道阻塞:胸廓内大气道阻塞随吸呼气时相变化。用力吸气时胸腔负压显著增大,阻塞气道扩张,局部阻力明显降低,高容积吸气流量基本正常或仅轻度下降,故MIFV曲线基本正常或变化较轻,吸气峰流量(peak inspiratory flow,PIF)基本正常或轻度下降。用力呼气时胸腔高负压迅速逆转为较高的正压,阻塞气道回缩,局部阻力显著增大,MEFV曲线高容积流量明显下降,表现为一定程度的平台。 $FEF_{50}/$ 用力吸入50%肺活量的吸气流量(forced inspiratory flow at 50% of FVC inhaled, FIF₅₀)明显<1。因常规测定MEFV曲线,该类型比较容易发现和诊断。(2)胸廓外非固定性大气道阻塞:胸廓外气道阻塞随吸呼气时相变化。用力吸气时胸腔负压明显增大,阻塞部位上游气道负压显著增大,在巨大负压作用下导致阻塞气道回缩,局部阻力明显增大,高容积吸气流量明显下降。用力呼气时胸腔负压迅速逆转为较高的正压,阻塞部位上游气道正压显著增大,进而导致阻塞气道扩张,局部阻力显著降低,高容积呼气流量基本正常或仅轻度下降,故MEFV曲线基本正常或变化较轻,PEF基本正常或轻度下降;MIFV曲线高容积流量明显受限,表现为不是很陡直的平台,PIF显著下降, FEF_{50}/FIF_{50} 明显>1。因常规不测定MIFV曲线,该类型容易漏诊或误诊。(3)固定性大气道阻塞:大气道阻塞不随吸呼气时相变化,MEFV曲线和MIFV曲线的高容积流量皆明显受限,两者组成基本对称的梯形;PEF和PIF明显下降, FEF_{50}/FIF_{50} 接近或等于1。由于气道是弹性良好的软性器官,任何病理条件下其内径几乎均受用力吸呼的影响,因此该型罕见。(4)一侧主支气管不完全性阻塞:患侧支气管阻力明显增大,气流进出气道明显受限;健侧支气管阻力正常,气流进出正常。用力呼气时,健侧支气管的气流量迅速上

升至较高的峰值,并迅速完成呼气;患侧支气管呼出气流显著降低、减慢,故MEFV曲线初始部分表现为流量较大、时间较短的曲线,终末部分表现为流量显著降低、时间较长的曲线。吸气相变化类似,MEFV曲线与MIFV曲线组成“双蝶形”改变。常规仅测定MEFV曲线,且与周围气道阻塞的图形相似,容易误诊。

气流阻塞的可逆性 (1)可逆性气流受限:可根据BDT后 FEV_1 的改善率、PEF昼夜波动率或日变异率等判断。一般 FEV_1 改善率 $\geq 12\%$ 伴绝对值增加 ≥ 200 mL为阳性,即气流阻塞有可逆性^[8]。(2)不完全可逆性气流受限:BDT后, FEV_1 改善率等达不到阳性标准。临床上BDT假阳性、假阴性皆多见,结合MEFV曲线评价的价值更大。由于气道扩张剂或糖皮质激素通过扩张周围气道收缩的平滑肌或/和改善周围气道的充血、水肿引起气道扩张,故推荐BDT后低容积流量升高作为BDT阳性的必备条件。

致谢 中国医学装备协会呼吸病学装备技术专委会肺功能装备学组对本文给予支持。

作者贡献声明 朱蕾 论文撰写和修订。连宁芳 数据收集和整理,论文修订。侯丽丽 数据收集,论文修订。

利益冲突声明 朱蕾是本刊编委,未参与此文的同行评议和终审决策。没有其他利益冲突需要声明。

参 考 文 献

- [1] Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, et al. Standardization of spirometry 2019 update. An official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 200(8):e70-e88.
- [2] Haynes JM, Kaminsky DA. The American Thoracic Society/European Respiratory Society acceptability criteria for spirometry: asking too much or not enough? [J]. *Respir Care*, 2015, 60(5):e113-e114.
- [3] 中华医学会,中华医学杂志社,中华医学会全科医学分会,等.中国常规肺功能检查基层指南(2024年)[J]. *中华全科医师杂志*, 2025, 24(2):121-137.
- [4] 中华医学会呼吸病学分会肺功能专业组.肺功能检查指南(第二部分)——肺量计检查[J]. *中华结核和呼吸杂志*,

- 2014,37(7):481-486.
- [5] 中华医学会. 常规肺功能检查基层指南(2018年)[J]. 中华全科医师杂志, 2019, 18(6): 511-518.
- [6] Culver BH, Graham BL, Coates AL, *et al.* Recommendations for a standardized pulmonary function report. an official american thoracic society technical statement[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 196(11): 1463-1472.
- [7] 朱蕾. 临床肺功能(第2版)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014.
- [8] 朱蕾. 临床肺功能(第3版)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2023.
- [9] 朱蕾, 陈荣昌. 成人肺功能诊断规范中国专家共识[J]. 临床肺科杂志, 2022, 27(7): 973-981.
- [10] 朱蕾, 金美玲, 顾宇彤, 等. 关于常规肺功能测定程序标准化和质量控制的建议[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2015, 38(10): 730-737.
- [11] Haynes JM, Ruppel GL. Should spirometer quality control be treated like other laboratory devices?[J]. *ERJ Open Res*, 2019, 5(1): 00249-2018.
- [12] Madsen F. Validation of spirometer calibration syringes[J]. *Scand J Clin Lab Invest*, 2012, 72(8): 608-613.
- [13] McCormack MC, Shade D, Wise RA. Spirometer calibration checks: is 3.5% good enough?[J]. *Chest*, 2007, 131(5): 1486-1493.
- [14] Miller MR, Sigsgaard T. Prevention of thermal and condensation errors in pneumotachographic recordings of the maximal forced expiratory manoeuvre[J]. *Eur Respir J*, 1994, 7(1): 198-201.
- [15] 连宁芳, 朱蕾, 李丽. 中国各地区肺功能参数预计值的比较[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2013, 12(5): 489-493.
- [16] 赵蓉雅, 朱蕾, 李丽, 等. 1988年上海地区成人肺功能正常预计值公式的适用性检验[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2011, 34(8): 586-589.
- [17] Lian N, Li L, Ren W, *et al.* Angle beta of greater than 80 degrees at the start of spirometry may identify high-quality flow volume curves[J]. *Respirology*, 2017, 22(3): 527-532.
- [18] 连宁芳, 李丽, 杨敬平, 等. 成人用力肺活量测定的结束标准研究[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2020, 43(6): 520-524.
- [19] Aggarwal AN, Das S, Agarwal R, *et al.* Utility of forced expiratory time as a screening tool for identifying airway obstruction and systematic review of English literature[J]. *Lung India*, 2018, 35(6): 476-482.
- [20] Hankinson JL, Eschenbacher B, Townsend M, *et al.* Use of forced vital capacity and forced expiratory volume in 1 second quality criteria for determining a valid test[J]. *Eur Respir J*, 2015, 45(5): 1283-1292.
- [21] Brusasco V, Pellegrino R, Rodarte JR. Vital capacities in acute and chronic airway obstruction: dependence on flow and volume histories[J]. *Eur Respir J*, 1997, 10(6): 1316-1320.
- [22] Mehrparvar AH, Mirmohammadi SJ, Hashemi SH, *et al.* Bronchodilator response of FEV₆ and FEV₃ as surrogates of forced vital capacity[J]. *Tanaffos*, 2014, 13(1): 20-25.
- [23] Perez-Padilla R, Wehrmeister FC, Celli BR, *et al.* Reliability of FEV₁/FEV₆ to diagnose airflow obstruction compared with FEV₁/FVC: the PLATINO longitudinal study[J]. *PLoS One*, 2013, 8(8): e67960.
- [24] 朱蕾. 肺功能诊断的争议与对策[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2015, 38(6): 405-407.
- [25] Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, *et al.* Standardisation of spirometry[J]. *Eur Respir J*, 2005, 26(2): 319-338.
- [26] Bowerman C, Bhakta NR, Brazzale D, *et al.* A race-neutral approach to the interpretation of lung function measurements[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2023, 207(6): 768-774.
- [27] 任为英, 朱蕾, 赵蓉雅, 等. 上海市成人肺功能医学参考值范围的初步研究[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2012, 11(3): 253-256.
- [28] Ren WY, Li L, Zhao RY, *et al.* Age-associated changes in pulmonary function: a comparison of pulmonary function parameters in healthy young adults and the elderly living in Shanghai[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2012, 125(17): 3064-3068.
- [29] 中华医学会呼吸病学分会慢性阻塞性肺疾病学组, 中国医师协会呼吸医师分会慢性阻塞性肺疾病工作委员会. 慢性阻塞性肺疾病诊治指南(2021年修订版)[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2021, 44(3): 170-205.
- [30] Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, *et al.* ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests[J]. *Eur Respir J*, 2022, 60(1): 2101499.

(收稿日期: 2025-06-22; 编辑: 张秀峰)