

· 诊疗方案 ·

肺功能检查指南——肺容量检查

中华医学会呼吸病学分会肺功能专业组

一、概述

肺容量是指肺内气体的含量,即呼吸道与肺泡的总容量,反映了外呼吸的空间。呼吸过程中,随着呼吸肌肉运动、胸廓扩张和回缩,肺容量随之发生变化。肺容量是肺通气和换气功能的基础,具有重要的临床意义。当胸肺疾病和累及呼吸肌的疾病引起肺脏体积改变、胸廓和肺脏弹性回缩力变化时,肺容量也会发生变化。肺量计可检查不含残气的容量(如肺活量)等指标,但完整的肺容量检查需要通过体积描记法或气体稀释法进行测定。对不能配合肺功能检查的患者,放射影像或肺核素检测也可用于肺容量的估算。

二、肺容量检查的适应证和禁忌证

肺容量检查几乎总是与肺量计检查组合在一起进行,但两者的适应证有所不同(表 1)^[1-3]。肺容量检查的禁忌证与肺量计检查相似,详见肺功能检查指南(第二部分)——肺量计检查^[3]。

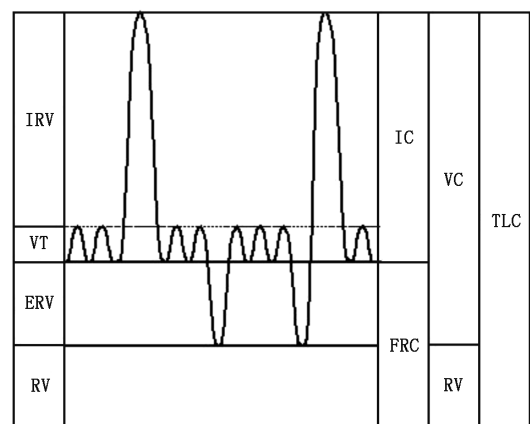
表 1 肺容量检查的适应证

[1]	诊断或评估限制性肺部疾病及其严重程度
[2]	鉴别通气障碍的类型,即阻塞性和限制性肺部疾病
[3]	评估治疗干预的效果
a)	支气管舒张剂,糖皮质激素 ^[4-5]
b)	肺移植术 ^[6] 、肺切除术,肺减容术 ^[7]
c)	放疗或化疗对肺容量的影响
[4]	肺量计检查结果异常的患者进行麻醉手术风险综合评估
[5]	在阻塞性肺疾病,确定是否存在过度充气或气体滞留及其程度 ^[8]
[6]	对比体积描记法和气体稀释法所测肺容积,评估气体滞留的程度 ^[9]
[7]	其他肺功能检查结果的标准化(比气道传导)

三、检查指标

肺容量指标可包括 4 个基础容积,即潮气容积(VT)、补吸气容积(IRV)、补呼气容积(ERV)和残

气容积(RV),基础肺容积互不重叠且不可分解^[10-13]。基础肺容积的组合则构成 4 个常用的肺容量,即深吸气量(IC)、肺活量(VC)、功能残气量(FRC)和肺总量(TLC)^[10-13]。详见图 1 和表 2。



注:IRV:补吸气容积;VT:潮气容积;ERV:补呼气容积;RV:残气容积;IC:深吸气量;FRC:功能残气量;VC:肺活量;TLC:肺总量

图 1 肺容量及其各构成部分

四、检查方法及质量控制标准

临床上,检查方法分为直接检测的肺容量和间接检测的肺容量两大类。前者可通过肺量计直接检测,包括 VT、VC、IRV、ERV 和 IC;后者含有肺量计无法直接检测的残气量部分,需通过标记气体分析或体积描记法等方法间接换算出来,包括 RV、FRC 和 TLC。

(一)肺量计检查直接检测的肺容量

1. 检查方法:受试者在平静状态下,不需快速用力,只需最大努力吸气和完全呼气。有 3 种检查方法^[14]:(1)呼气肺活量(EVC):受试者在放松的状态下从 TLC 位开始,呼气至 RV 位所能呼出的气量(图 2A)。(2)吸气肺活量(IVC):测量方法与 EVC 相似,受试者在放松的状态下从 RV 位开始,深吸气至 TLC 位所能吸入的气量(图 2B)。(3)分次肺活量:将分别测定的 IC 和 ERV 相加称为分次肺活量(图 2C)。正常人的吸气肺活量和呼气肺活量

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2015.04.005

基金项目:国家科技发展计划项目(2012BAI05B01, 2013BAI09B09, 2015BAI12B10)

通信作者:韩江娜, Email: janet_han2000@hotmail.com; 高怡, Email: misstall2@163.com

表 2 肺容量的常用指标

分类	指标	缩写	含义	计算公式
基础肺容积	潮气容积	VT	平静呼吸时每次吸入或呼出的气体容积	无
	补吸气容积	IRV	平静吸气后用力吸气所能吸入的最大气体容积	无
	补呼气容积	ERV	平静呼气后用力呼气所能呼出的最大气体容积	无
	残气容积	RV	深呼气后肺内剩余的气体容积	无
组合肺容量	深吸气量	IC	平静呼气末所能吸入的最大气量	$IC = VT + IRV$
	肺活量	VC	最大吸气末所能呼出的最大气量	$VC = IRV + VT + ERV$ 或 $VC = IC + ERV$
	功能残气量	FRC	平静呼气末肺内所含的气量	$FRC = ERV + RV$
	肺总量	TLC	最大深吸气后肺内所含总的气体容量	$TLC = IRV + VT + ERV + RV$ 或 $TLC = RV + VC$ 或 $TLC = FRC + IC$

基本相同,但气道阻塞疾病患者的吸气肺活量大于呼气肺活量,且吸气肺活量对于这类患者来说,更容易配合和测定。

2. 质量控制:平静呼气末基线平稳,至少 3 个潮气呼吸的呼气末肺容积误差 $<0.10\text{ L}$,基线升高提示呼吸偏离 FRC 位或有漏气;在 RV 位和 TLC 位均出现平台;至少进行 2 次测定,2 次之间休息 1 min 以上;最佳值与次佳值之间的误差 $<0.15\text{ L}$ 。检查前需进行肺量计校准,确保仪器运行正常,详见肺功能检查指南(第二部分)——肺量计检查^[3]。

(二)肺量计检查不能直接检测的肺容量

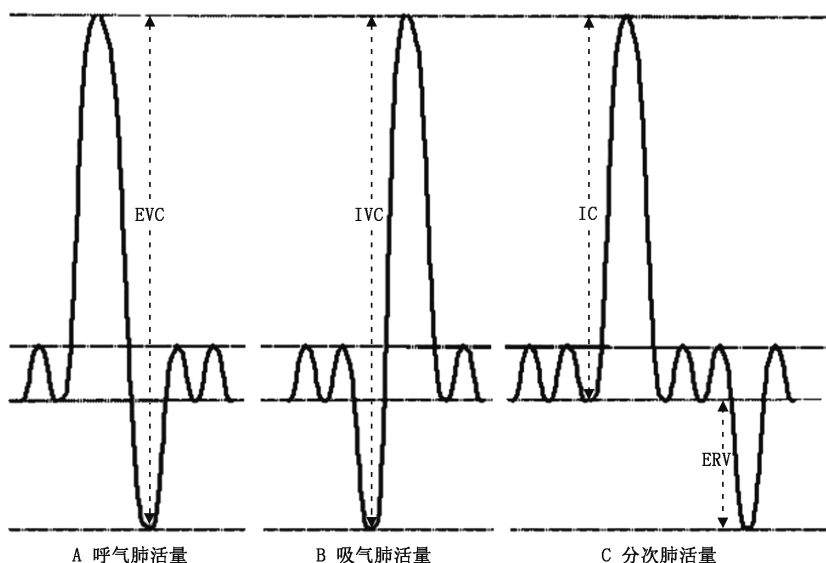
如前所述,FRC、RV 和 TLC 不能用肺量计直接测定,需用其他方法间接测定。方法分为两大类:体积描记法和气体稀释法。体积描记法是经典的肺容量测定技术^[15],具体操作方法和质量控制详见肺功能检查指南——体积描记法肺容量和气道阻力检查。气体稀释法按测试系统的不同,分为密闭式和开放式;按呼吸方法的不同,又分为重复呼吸法和单

次呼吸法。密闭式的方法需储气箱或储气袋,只需测定混合气体的浓度,对气体分析仪的响应速度要求不高。开放式的方法采用快速气体分析仪,可实时测定气体浓度的变化。体积描记法测定的是胸腔内气体容积(TGV 或 V_{TG}),平静呼气末胸腔内气体容积相当于 FRC。重复呼吸法测定的肺容量是 FRC,然后再根据肺量计检查得到的肺容量指标计算出其他指标,如: $RV = FRC - ERV$, $TLC = FRC + IC$ 等。单次呼吸法测定肺泡含气量(VA),加上解剖死腔可得出 TLC,再换算其他肺容量的指标,如 $RV = TLC - VC$, $FRC = TLC - IC$ 等。

1. 重复呼吸法检测功能残气量:重复呼吸法常以氮气(N_2)或氦气(He)作为标示气体。因为 N_2 和 He 不参与气体交换与代谢,化学性质稳定。采用 N_2 和 He 作为标示气体测定肺容量的方法分别称为氮冲洗法和氦稀释法^[16]。

重复呼吸法的检查原理与仪器校准:(1)检查原理:根据质量守恒定律,在密闭空间内的气体浓度

与容积的乘积恒定。因此,氮冲洗法的测定是通过重复吸入 100% 氧气(O_2),使肺泡气中原含有的 N_2 逐渐冲洗稀释,测定冲洗前、后肺内 N_2 浓度以及呼吸气量,可计算出冲洗前的 FRC^[17]。而氦稀释法则是通过吸入已知 He 浓度和体积的气体,根据 He 被肺容积稀释的程度计算出 FRC^[18]。(2)仪器校准:包括环境、流量/容量和气体校准。①环境校准需录入室内温度、湿度、大气压等参数,将室温室压自然呼吸状态的气体指标换算为 BTPS 状态。流量/容量校准参见肺功能指南(第二部分)——肺量计检查^[3]。②气体分析仪校准



注:潮气容积(VT)、补吸气容积(IRV)、补呼气容积(ERV)和残气容积(RV)

图 2 直接检测的肺容量

的具体操作和要求请参照仪器使用手册。混合气体的浓度必须符合仪器的标准要求。③推荐每月 1 次通过肺功能室健康工作人员进行生物学验证。④每隔 6 个月对氮气及氦气分析仪的线性度进行校准。

氮冲洗法检查:(1)仪器的技术要求^[19]:①氮分析仪在量程范围(0~80%)应呈线性,精确度 $\leq 0.2\%$,分辨率 $\leq 0.01\%$,95%的响应时间 ≤ 60 ms。②控制受试者从吸入室内空气转换为纯氧的呼吸阀的死腔应 < 100 ml。③在潮气呼吸吸入纯氧时,氧源控制阀的触发压力应 < 0.2 kPa,氧气流量应达 6 L/s,阻力应 < 1.5 cmH₂O $\cdot$ L⁻¹ $\cdot$ s⁻¹(1 cmH₂O = 0.098 kPa)。(2)氮冲洗法的操作步骤:①向受试者详细解释操作过程,并强调在检查过程中须避免口角漏气。②让受试者用口含紧咬口器,上鼻夹,平静呼吸室内空气 30~60 s,待潮气呼气末基线平稳(至少 4 个呼吸周期)。③于平静呼气末迅速转动三通阀,使受试者转换为吸入纯氧,并指导受试者继续平静和均匀呼吸。④持续检测呼出气 N₂ 浓度,直至 N₂ 浓度曲线显示 N₂ 浓度逐渐下降至连续至少 3 个呼吸周期的 N₂ 浓度 $< 1.5\%$,则可认为 N₂ 冲洗完全,终止测定。(3)氮冲洗法的质量控制及注意事项^[19]:①检查前需先测量 VC、IC、ERV 等用肺量计直接测定的肺容量指标,用以换算间接肺容量指标,测试必须符合质量控制标准,否则影响计算结果。②吸入纯氧过程中如果漏气会影响检查结果。为此,鼓膜穿孔者需使用耳塞。胸腔闭式引流者需夹闭引流管。使用带有唇齿挡板的咬口器,有助于避免受试者口角漏气。佩戴假牙者,若感觉舒适则无需取出假牙。测试曲线有助于判断有无漏气,正常情况下曲线显示 N₂ 浓度连续且均匀地下降(图 3),若 N₂ 浓度骤然升高,提示漏气。一旦出现漏气,应立即终止检查,重新测定。③肺内残余气体将影响下次测试结果。为此,2 次测试之间至少间隔 15 min;严重气道阻塞或肺大疱患者,需间隔更长时间,甚至达 1 h^[20],以充分清除肺内残余气体。④氮冲洗时间,健康人大概在 3~4 min 之内完成,但气道阻塞者需时更长,严重者可达 7~10 min,直至 N₂ 浓度稳定在 $< 1.5\%$ 后,才终止测定。部分肺部气体分布不均的患者,冲洗时间 7 min 以上,呼出气 N₂ 浓度仍可能无法达到 $< 1.5\%$,可能影响对肺容量的准确判断,需在检查报告中加以说明,以便结合临床综合分析。④ 2 次或多次重复测定之间误差应 $< 10\%$,取 FRC 平均值,用于计算其他肺容量。⑤如果只有一次满意的测定,结果评析时需要注意结合

临床。

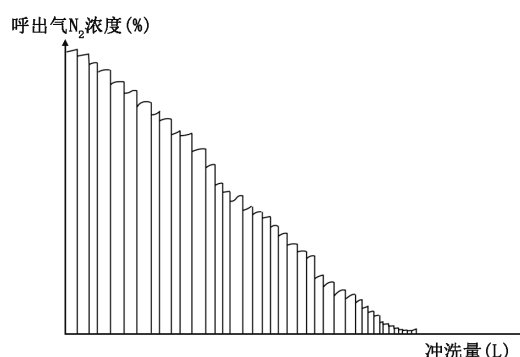
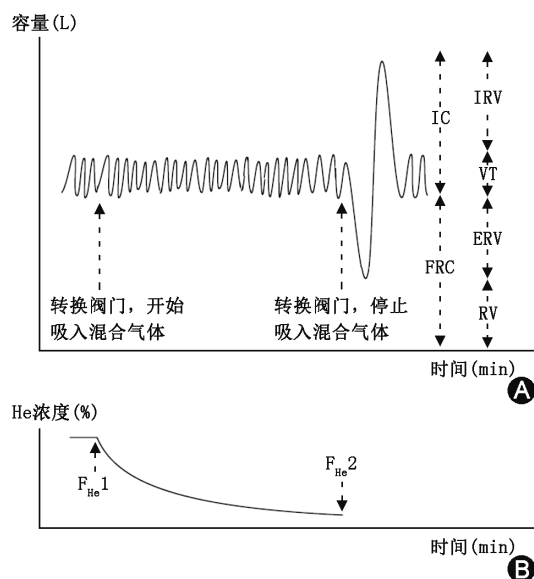


图 3 氮冲洗法的示意图

氦稀释法检查:(1)仪器的技术要求^[19]:氮分析仪的量程范围是 0~10%,分辨率 $\leq 0.01\%$,95%的响应时间 ≤ 15 s。呼吸阀和咬口器的死腔应 < 100 ml。(2)仪器的质量控制:①检查二氧化碳吸收剂(钠石灰)和水吸收剂(硅胶或氯化钙)的状态,有些吸收剂带有颜色指示,当颜色变化时提示吸收能力降低或消失,需及时更换。②使用压缩气体钢瓶,需核对气体成分与浓度是否符合仪器使用手册的要求,检查接口有无漏气,并调节减压阀至仪器使用手册指定的合适压力。③检查测试的呼吸回路有无漏气,如呼吸管道的安装是否紧密,重复呼吸贮气袋的连接是否密封,吸收剂盒盖是否拧紧等。(3)氦稀释法的操作步骤:因仪器的类型和自动化程度的不同而各有差异,但基本过程如下:①仪器自动排空重复呼吸贮气袋,以空气或 O₂ 冲洗数次后,按预置的容积以 He-空气或 He-O₂-N₂ 混合气充盈贮气袋。②向受试者详细解释操作过程,并强调在检查过程中须避免口角漏气。③受试者取坐位,用口含紧咬口器,上鼻夹,平静呼吸室内空气 30~60 s,待潮气呼气末基线平稳(图 4A)。④于平静呼气末迅速转动三通阀,使受试者转换为吸入重复呼吸贮气袋内含有 He 的混合气体,并指导受试者进行潮气呼吸均匀持续吸入测试气体(图 4A),吸入的氦混合气体在肺与测试系统中分布。重复呼吸期间,根据 O₂ 的消耗量,仪器自动补偿适量的 100% O₂,使贮气袋内 O₂ 浓度保持恒定。⑤持续检测 He 浓度的变化,直至 He 浓度曲线下降至呈水平状,浓度变化 $< 0.2\%$,并保持 30 s 以上(图 4B),则可认为氦平衡完全。此时再次转动三通阀,停止吸入测试气体。⑥然后测定 ERV 和 IC,为计算 RV 和 TLC 所用。(4)氦稀释法的质量控制及注意事项^[19]:①仪器测试系统的死腔容积应作矫正,包括呼吸回路、咬口



注: F_{He1} : 混合气体中 He 的初始浓度; F_{He2} : 平衡时 He 的最终浓度。潮气容积 (VT)、补吸气容积 (IRV)、补呼气容积 (ERV) 和残气容积 (RV)

图 4 重复呼吸氦稀释法的示意图

器、过滤器以及 CO_2 和 H_2O 吸收剂的容积。②为避免漏气,鼓膜穿孔者需使用耳塞,胸腔闭式引流者需夹闭引流管。配合欠佳者必要使用带有唇齿挡板的咬口器。佩戴假牙者,若感觉舒适则无需取出假牙。③检查后需测量 VC、IC、ERV 等指标,必须符合质量控制标准,否则影响间接肺容量指标的换算结果。④ 2 次测试之间至少间隔 15 min,严重气道阻塞或肺大疱患者,需间隔更长时间,以充分清除肺内残余气体。⑤氦稀释的时间,健康人较短,气道阻塞和肺内气体分布不均者需时较长,严重者可达 7 ~ 10 min。⑥ 2 次或多次重复测定之间误差应 < 10%,取 FRC 平均值,用于计算其他肺容量。⑦由于成人的 RV 和 TLC 在 1 d 内的变异相对小,而且重复测定耗费更多的成本和时间,因此只有在临床或研究需要的时候,才进行 2 次以上 FRC_{He} 的测定^[19]。如果只有一次满意的测定,结果评析时需要注意结合临床。

2. 单次呼吸法测定肺泡容积: 单次呼吸法肺容量常与一氧化氮弥散量测定同时进行^[18,20-22]。由于 He 或甲烷 (CH_4) 不参与气体交换,常作为单次呼吸法的标示气体。受试者平静呼吸数个呼吸周期后,呼气到 RV 位,在从 RV 位到 TLC 位的吸气过程中,吸入含有一氧化氮和 He (或 CH_4) 的混合气体,吸气到 TLC 位并屏住呼吸 8 ~ 10 s,然后快速呼气,收集肺泡气进行分析。从稀释前后肺泡 He 或 CH_4 的百

分浓度计算出肺泡容积 (VA), 肺泡容积加上解剖死腔得出 TLC,再换算其他指标,如 $RV = TLC - VC$, $FRC = RV - ERV$ 等。具体的操作方法和质量控制详见肺功能检查指南——肺弥散功能检查^[23]。

五、检查方法的选择

单次呼吸气体稀释法是通过单次呼吸时在肺内分布的气体浓度来计算肺容量的,由于气体平衡的时间较短,仅适合于健康人或轻度通气功能障碍的患者。在严重气道阻塞的患者,由于吸入气体时间及屏气时间短,气体来不及进入或均匀分布在所有肺泡,肺容量的测定值常显著低于其真实值。

重复呼吸气体稀释法则要求肺内气体在一定时间内与肺功能仪内气体达到所谓“充分混合”或“恒定”,测定的是与气道沟通的肺容量,由于气体平衡的时间较长,其测定值较单次呼吸气体稀释法更为准确。但对于气道陷闭性的疾病 (如慢性阻塞性肺疾病),由于肺内通气分布不均,标示气体不易进入肺大疱和通气不良的区域,重复呼吸法气体稀释法难以达到真正的“平衡”,肺容量的测定值也常常低于其真实值。

体积描记法测定的是胸腔内可被压缩的所有气体容积,除了与气道沟通的肺容量外,还包括了无通气肺区的肺容积,如肺大疱和气道陷闭滞留的气量等。因此,体积描记法测定肺容量的结果更为准确,目前认为是肺容量检查的“金标准”,并具有测试速度快,测试完成一次后可马上重复测试等优点。但在严重气道阻塞时由于口腔压低于肺泡压,测得的 FRC 可能高于真实值。且仪器设备费用高、占地面积大、设备复杂,暂时未能在基层医院推广应用。

对于肺通气功能正常者或限制性通气障碍者,气体稀释法和体积描记法的结果相近,两种方法均可选用。但对于阻塞性通气障碍者,气体稀释法所测得的 FRC 低于体积描记法^[24],肺容量会被低估;两种方法测定结果的差值实际上反映了肺内滞留气体的程度。因此,对于气道阻塞严重、肺内气体分布严重不均的患者,建议采用体积描记法。对于尚无条件开展体积描记法的实验室,在采用气体稀释法时,应充分考虑到气道陷闭导致肺容量被低估的可能,需结合临床资料对结果进行分析。尤其是使用单次呼吸气体稀释法,对于慢性阻塞性肺疾病等气体陷闭疾病的检查需谨慎评估。

六、肺容量检查的结果评析

1. 常用指标及正常值: 评估肺容量的常用指标

包括 VC、FRC、RV、TLC 和 RV/TLC。肺容量的正常值受种族的影响,并随年龄、身高、体重、性别和体位等因素而变化^[1,25-30]。其中身高是最重要的相关变量^[19]。不同国家或同一国家不同区域的正常值^[31]均有差异,因此推荐根据肺功能室的地理位置相应区域选取预计值方程。如果使用仪器自带的国外预计值公式,分析结果时应考虑种族差异。肺容量指标的正常范围是预计值方程的 95% 可信区间,低于正常范围的下限 (LLN) 和高于正常范围的上限 (ULN) 均为异常。由于根据预计值方程计算 LLN 和 ULN 的方法较为繁琐,故临床上把肺容量指标的正常范围简化为占预计值百分比的方式来评价。各种肺容量指标的变异情况不同,因此正常范围也各异:VC、TLC 的正常范围一般为预计值 $\pm 20\%$,而 FRC、RV 的变异较大,对其正常范围有不同意见:预计值 $\pm 20\% \sim 35\%$,甚至 40%。但这种方法存在一定的偏差,应予以注意。RV/TLC 尚无公认的标准,一般认为健康青年应为 20% ~ 35%,并随年龄增加而增高^[32]。在临床结果的评估中,应注意 TLC 的减低如果早于 RV 的减低,会引起 RV/TLC 的增高,与慢性阻塞性肺疾病中 RV/TLC 增高的意义是不同的。

2. 不同类型肺功能异常的鉴别:一般需同时结合时间肺活量指标 (FEV_1 、 FEV_1/VC) 和肺容量指标 (VC、RV、FRC、TLC、RV/TLC) 的变化来判断肺功能障碍是限制性、阻塞性还是混合性。①限制性肺功能障碍:指肺扩张和回缩受限引起的肺功能障碍。特征是 TLC 下降, FEV_1/VC 正常或升高。F-V 曲线呈典型的凸形,V-T 曲线的呼气平台提前出现, FEV_1/VC 正常或升高,通常 VC、RV、FRC、TLC 等肺容量的指标也下降^[33]。VC 与用力肺活量 (FVC) 相近。②阻塞性肺功能障碍:指呼吸气流受限引起的肺功能障碍,最大流量的下降幅度超过呼出的最大容量 (即 VC) 的下降,即 FEV_1/VC 下降。F-V 曲线呈典型的阻塞型改变,呼气相降支向横轴凹陷,V-T 曲线显示呼气时间延长, FEV_1/VC 下降^[34]。由于 FVC 较 VC 更加依赖流速以及之前的容量,且 FEV_1/VC 对发现阻塞性通气功能障碍更为敏感,因此与慢性阻塞性肺疾病全球防治倡议 (GOLD) 中气流受限的定义不同,国际上肺功能学界通常采用 FEV_1/VC 而不是 FEV_1/FVC 来定义阻塞性通气障碍。轻度阻塞时,由于深慢呼吸代偿,VC、RV、FRC、TLC 等肺容量的指标可在正常范围。中度阻塞时,呼气流量下降, FEV_1 呈中度下降,缓慢呼气可呼出

所有吸入气体,VC 可正常或基本正常;当呼吸代偿不能维持正常的肺容积时,开始出现 RV、FRC、TLC 和 RV/TLC 等肺容量指标的轻度升高,而且常常 RV/TLC 升高会比 TLC 更明显。重度阻塞时,呼气流量显著下降, FEV_1 亦显著下降,并出现气道陷闭,即使缓慢呼气也不能呼出所有气体,VC 下降,RV、FRC、TLC 和 RV/TLC 等肺容量指标明显升高。吸入支气管舒张剂后气道舒张,气体陷闭得以改善,FVC 的改善可比 FEV_1 更为明显^[35]。③混合性肺功能障碍:指同时存在限制性和阻塞性因素的肺功能障碍。分析时可先明确阻塞存在,即 FEV_1/VC 下降,若 TLC 亦降低应判断合并限制性肺功能障碍。此时,VC、FRC、RV 可降低或在正常低限水平。④非特异性肺通气功能障碍:当 FEV_1/FVC 及 TLC 正常,但 FEV_1 和 (或) FVC 下降时,既不属于限制性,也不属于阻塞性改变,受试者的临床特点和影像学改变无特异性,可判断为非特异性肺通气功能障碍^[36]。

3. 注意事项:应结合临床资料对各项肺容量指标进行综合分析,单纯判断某一项指标正常或下降是没有意义的。当出现肺容量检查结果与用力肺活量检查结果不相符,或与临床情况不相符时,首先要排除操作的质量问题,其次需注意不同肺容量检查方法对结果的影响。

撰写组专家 (按姓氏汉语拼音顺序排列):高怡 [广州医科大学附属第一医院广州呼吸疾病研究所 (呼吸疾病国家重点实验室、呼吸疾病国家临床医学研究中心)];韩江娜 (中国医学科学院北京协和医院);蒋雷服 (南京医科大学第一附属医院);李琦 (首都医科大学附属北京胸科医院);梁斌苗 (四川大学华西医院);刘志军 (中南大学湘雅二医院);逯勇 (首都医科大学附属北京朝阳医院-北京呼吸疾病研究所);阙呈立 (北京大学第一医院);邵池 (中国医学科学院北京协和医院);宋元林 (复旦大学附属中山医院);孙铁英 (卫生部北京医院);孙兴国 (国家心血管病中心心肺功能检测中心);汪涛 (华中科技大学同济医学院附属同济医院);王惠妩 (新疆医科大学第一附属医院);谢燕清 [广州医科大学附属第一医院广州呼吸疾病研究所 (呼吸疾病国家重点实验室、呼吸疾病国家临床医学研究中心)];杨文兰 (上海市肺科医院);张程 (贵州省人民医院);赵桂华 (河南省人民医院);赵海涛 (沈阳军区总医院);赵明华 (新疆维吾尔自治区人民医院);郑劲平 [广州医科大学附属第一医院广州呼吸疾病研究所 (呼吸疾病国家重点实验室、呼吸疾病国家临床医学研究中心)];周明娟 (广东省中医院)

参 考 文 献

- [1] Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, et al. Lung volumes and

- forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society [J]. Eur Respir J, 1993, 16(Suppl):5-40.
- [2] 中华医学会呼吸病学分会肺功能专业组. 肺功能检查指南(第一部分)——概述及一般要求[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2014, 37(6):402-405.
- [3] 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.
- [4] 陈瑞, 陈荣昌, 安嘉颖, 等. 深吸气量对严重慢性阻塞性肺疾病患者吸入支气管舒张剂疗效评价[J]. 广东医学, 2008, 29(9):1483-1484.
- [5] 楼翰健. 深吸气量在慢性阻塞性肺疾病患者应用支气管扩张剂联合激素吸入疗效评估中的意义[J]. 实用医学杂志, 2009, 25(1):12-13.
- [6] 刘锦铭, 杨文兰, 姜格宁, 等. 肺移植对 5 例慢性阻塞性肺疾病患者肺功能的影响[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2005, 28(8):509-512.
- [7] 李伟阳, 王厚强, 周建平, 等. 胸腔镜肺减容术治疗重度肺气肿的临床疗效[J]. 实用医学杂志, 2010, 26(16):2975-2976.
- [8] 严英硕, 周燕斌, 郭禹标. 吸气肺活量对肺气肿评级的影响[J]. 实用医学杂志, 2007, 23(3):318-319.
- [9] 王杨, 罗秀芬, 赖莉芬. 体描法与一口气法测定正常人和 COPD 病人 FRC 的比较[J]. 医学临床研究, 2008, 25(10):1820-1821.
- [10] 刘桂蕊, 王枢传, 李潭溪. 临床肺功能指南[M]. 天津:天津科学技术出版社, 1988.
- [11] 穆魁津, 林友华. 肺功能测定原理与临床应用[M]. 北京:北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社, 1992.
- [12] 朱蕾, 刘又宁, 于润江. 临床肺功能[M]. 北京:人民卫生出版社, 2004.
- [13] 郑劲平, 陈荣昌. 肺功能学-基础与临床[M]. 广东:广东科技出版社, 2007.
- [14] 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.
- [15] Jaeger MJ, Otis AB. Measurement of airway resistance with a volume displacement body plethysmograph [J]. J Appl Physiol, 1964, 19(4):813-820.
- [16] Ruppel GL. Manual of pulmonary function testing. 9th edition [M]. Elsevier: Health Sciences Division, 2008:1-512.
- [17] Newth CJ, Enright P, Johnson RL. Multiple-breath nitrogen washout techniques: including measurements with patients on ventilators[J]. Eur Respir J, 1997, 10(9):2174-2185.
- [18] 李丽, 杨延杰, 宋元林. 功能残气量和肺一氧化碳弥散量测定的技术规范和质控[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2012, 35(10):794-796.
- [19] Wanger J, Clausen JL, Coates A, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes[J]. Eur Respir J, 2005, 26(3):511-522.
- [20] Emmanuel G, Briscoe WA, Courmand A. A method for the determination of the volume of air in the lungs: measurement in chronic pulmonary emphysema[J]. J Clin Invest, 1961, 40(2):329-337.
- [21] 郑劲平. 一口气呼吸法肺弥散功能测试的质量控制及注意事项[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2007, 30(10):723-725.
- [22] 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.
- [23] 中华医学会呼吸病学分会肺功能专业组. 肺功能检查指南——肺弥散功能测定[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2015, 38(3):164-169.
- [24] Andersson LG, Ringqvist I, Walker A. Total lung capacity measured by body plethysmography and by the helium dilution method. A comparative study in different patient groups[J]. Clin Physiol, 1988, 8(2):113-119.
- [25] Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, et al. Interpretative strategies for lung function tests[J]. Eur Respir J, 2005, 26(5):948-968.
- [26] 冯遼, 陈莉, 韩少梅, 等. 成年人腰臀比和静态肺容量的关系[J]. 中国病理生理杂志, 2009, 25(12):2394-2398.
- [27] Borsboom GJ, Van Pelt W, Quanjer PH. Pubertal growth curves of ventilatory function: relationship with childhood respiratory symptoms[J]. Am Rev Respir Dis, 1993, 147(2):372-378.
- [28] Degroot EG, Quanjer PH, Wise ME, et al. Changing relationships between stature and lung volumes during puberty [J]. Respir Physiol, 1986, 65(2):139-153.
- [29] Salome CM, King GG, Berend N. Physiology of obesity and effects on lung function[J]. J Appl Physiol, 2010, 108(1):206-211.
- [30] Michels A, Decoster K, Derde L, et al. Influence of posture on lung volumes and impedance of respiratory system in healthy smokers and nonsmokers[J]. J Appl Physiol, 1991, 71(1):294-299.
- [31] 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.
- [32] 任卫英, 李丽, 赵蓉雅, 等. 上海地区健康中老年人肺功能特点分析[J]. 中华老年医学杂志, 2014, 33(5):488-491.
- [33] American Thoracic Society. Idiopathic pulmonary fibrosis: diagnosis and treatment. International consensus statement. American Thoracic Society (ATS), and the European Respiratory Society (ERS) [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2000, 161(2 Pt 1):646-664.
- [34] Vestbo J, Hurd SS, Agustí AG, et al. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2013, 187(4):347-365.
- [35] 张富强, 郑劲平, 王佳泓, 等. 慢性阻塞性肺疾病支气管舒张试验后肺容量和呼气流量反应的差别[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2010, 33(2):109-113.
- [36] Hyatt RE, Cowl CT, Bjoraker JA, et al. Conditions associated with an abnormal nonspecific pattern of pulmonary function tests [J]. Chest, 2009, 135(2):419-424.

(收稿日期:2015-01-20)

(本文编辑:吕小东)