

少与 V_c 关系较大, V_c 减少, 导致 DL_{CO} 下降。Mionard 等^[6]观察到肺气肿患者 D_m 和 V_c 都减少, 但是他们观察的病例都是比较严重并伴明显缺氧的肺气肿患者。Chou 等^[7]报道了体位对慢支和肺气肿患者 DL_{CO} , D_m 和 V_c 的影响, 在慢支组和肺气肿组 DL_{CO}/V_A (V_A 肺泡通气量) 和 V_c 均下降, 但肺气肿组比慢支组下降更明显。慢支组 DL_{CO}/V_A , V_c 仰卧位明显高于垂直位, 而 D_m 在仰卧位下降, 说明体位改变主要影响 V_c 。肺气肿组虽 DL_{CO} , V_c 下降, 但体位改变对其 DL_{CO} , D_m 和 V_c 无明显影响, 可能是肺毛细血管床广泛异常所致。(3) 我们还研究了系统性红斑狼疮 (SLE) 患者 D_m 和 V_c 的变化^[8]。结果发现所研究的 24 例 SLE 患者中, DL_{CO} , DL_{CO}/V_A , D_m 和 V_c 均下降, 而其它肺通气功能, 肺容量各指标在正常范围, DL_{CO} 两种成分, 以 D_m 下降更明显, 说明 SLE 患者早期弥散功能主要由 D_m 异常所致。随着非特异性炎症的发展, 波及肺间质造成肺毛细血管损害时, 才会出现 V_c 降低。(4) 气胸对 D_m 和 V_c 影响^[9], 结果显示, 气胸时肺的通气功能和弥散功能均受到损害, 肺复张后通气功能迅速恢复, 但弥散功能 DL_{CO} 和 D_m 恢复较慢。临床上部分气胸患者肺复张后仍存在一定时间的低氧血症, 主要与弥散功能障碍有关, 即与 D_m 有关, 而与肺泡通气量、通气/血流比例均无关。

Mckenzie 等^[10]对反复强耐力训练的男运动员进行了弥散功能和氧饱和度 (SaO_2) 测定。结果显示, 运动期间 SaO_2 轻度降低, 且第一次运动 (SaO_2 9114%) 与第二次运动 (SaO_2 9116%) 之间 SaO_2 下降无明显差异。而 DL_{CO} 及其成分 D_m 和 V_c 在第一次运动后明显下降, 第二次运动其 DL_{CO} , D_m , V_c 进一步下降, 认为 DL_{CO} , D_m , V_c 运动后的改变与运动期肺气体交换和肺水积聚有关。第二次运动后 SaO_2 没有进一步下降, 提示 DL_{CO} 改变更大程度与血液再分布有关, 而与肺水肿关系较小。Sheel 等^[11]提出 DL_{CO} 运动后的下降主要由于 V_c 下降, 而与需氧量无关。

Mattaner 等^[12]研究了慢性心力衰竭和心脏移植后 D_m 的变化, 慢性心力衰竭时, DL_{CO} 下降主要由于限制性通气功能障碍所致, 同时 V_c 增加, D_m 下降。心脏移植后, DL_{CO} 仍下降, 主要由于 D_m 异常所致, 心脏移植不能逆转肺血流动力学异常已造成的肺泡毛细血管膜的病理改变。也有学者发现慢性心力衰竭时, D_m 下降导致 DL_{CO} 下降, 血管紧张素转换酶抑制剂 (ACEI) 可改善慢性心力衰竭患者的膜弥散功能 D_m ^[13]。

综上所述, 肺弥散功能是肺功能的一个敏感指标, D_m 和 V_c 能进一步明确弥散功能障碍主要出现在哪一环节, 从而有针对性地指导临床医师作出相应处理。

5 参考文献

- 穆魁津, 林友华, 主编. 肺功能测定血量及临床应用. 北京医科大学中国协和医科大学联合出版社, 1992. 148.
- Morrison NJ, Abboud RT, Muller NL, et al. Pulmonary capillary volume in emphysema. *Am Rev Respir Dis*, 1990, 141(1): 53~61.
- 谢灿茂, 容中生, 李志平, 等. 广东地区成人膜弥散量和肺毛细血管血量正常值测定. *中华医学杂志*, 1996, 76(1): 61~62.
- Forster RE, Dubois AB, Briscoe WA, et al. The lung physiologic basis of pulmonary function tests. 3th ed. Chicago: Yr BK Puc, 1986. 190~222.
- Xie CM, Rong ZS, Li ZP, et al. Measurements of membrane diffusing capacity and pulmonary capillary blood volume in normal subjects and patients with mild emphysema. *Chin Med J*, 1996, 109(11): 840~847.
- Mionard J, Guenard H. Determination of lung capillary blood volume and membrane diffusing capacity in patients with GOLD using the NO₂CO

method. *Eur Respir J*, 1990, 3(3): 318~324.

- Chou KC, Chang SC, Chang HI, et al. Body position membrane diffusing capacity and pulmonary capillary blood volume in chronic bronchitis and pulmonary emphysema. *Chung Hua I Hsueh Tsa Chih Taipei*, 1999, 62(4): 209~216.
- 谢灿茂, 曾勉, 李志平. 系统性红斑狼疮肺毛细血管血量和膜弥散量的变化. *新医学*, 1998, 29(增刊): 2~3.
- 曾勉, 谢灿茂, 李志平, 等. 气胸对膜弥散量和肺毛细血管血量影响的临床研究. *中华结核与呼吸杂志*, 1999, 22(4): 242~244.
- McKenzie DC, Lama JL, Potts JE, et al. The effect of repeat exercise on pulmonary diffusing capacity and EI_H in trained athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 1999, 31(1): 99~104.
- Sheel AW, Coutts KD, Potts JE, et al. The time course of pulmonary diffusing capacity for carbon monoxide following short duration high intensity exercise. *Respir Physiol*, 1998, 111(3): 271~281.
- Mattaner B, Lampert E, Charloux A, et al. Lung membrane diffusing capacity, heart failure and heart transplantation. *Am J Cardiol*, 1999, 83(1): 62~67.
- Guazzi M, Agostoni P. Angiotensin-converting enzyme inhibition restores the diffusing capacity for carbon monoxide in patients with chronic heart failure by improving the molecular diffusion across the alveolar capillary membrane. *Clin Sci Colch*, 1999, 96(1): 17~22.

(收稿: 2001-06-05)

脉冲振荡肺功能技术的临床应用

郑劲平

强迫振荡技术 (FOT) 测定呼吸阻抗在 1956 年由 Dubois 提出, 此后数十年逐渐受到人们的重视并应用于临床, 相继发展了单频振荡、多频振荡、伪随机噪音振荡、随机噪音振荡及脉冲振荡 (IOS) 等技术。IOS 于 1996 年开始应用于临床, 其优点包括: (1) 操作简便、耗时短; (2) 患者只需口咬口器, 无需食道气囊等入侵装置; (3) 患者无需用力呼吸或作呼吸暂停、屏气等动作, 受被检查的影响较少; (4) 适用对象广泛 (老年人、重症病人及儿童甚至婴幼儿均可应用); (5) 可提供多种呼吸生理和呼吸动力学参数, 利于对呼吸系统疾病的研究。

1 呼吸阻抗测定原理

IOS 基于强迫振荡原理, 外置的 IOS 信号源 (脉冲发生器产生矩形电脉冲) 从口腔给予, 加到整个呼吸系统上, 经快速傅立叶转换, 被分解为无数个不同频率的正弦波, 叠加在被检者自主静息呼吸上, 其气道压力和流速被连续记录并进行频谱分析, 即可推算出一系列呼吸阻抗值, 包括粘性阻力 (简称阻力)、弹性阻力 (其倒数为顺应性) 和惯性阻力, 以及各种阻力的分布和频率依赖性、容积依赖性和流速依赖性分析, 并使分析测试短时完成。

2 IOS 检测内容

2.1 呼吸阻抗参数 (1) 呼吸总阻抗 (Z_{rs})。 (2) 呼吸阻抗中的粘性阻力部分 (R)。 R₅ 指振荡频率为 5Hz 时的气道阻力, 代表总气道阻力; R₂₀ 指振荡频率为 20Hz 时的气道阻力, 代表中心

作者单位: 510120 广州医学院广州呼吸疾病研究所

气道阻力: $R_5 - R_{20}$: 总气道阻力与中心气道阻力之差, 代表外周气道阻力。(3) 电抗 (X), 为呼吸阻抗中的弹性阻力和惯性阻力之和。 X_5 为振荡频率为 5Hz 时的弹性阻力, 代表外周弹性阻力。(4) 响应频率或共振频率 (F_{res}), 即在该频率点弹性阻力与惯性阻力因方向相反而相互抵消, 呼吸阻抗 = 粘性阻力。

212 频谱分析图 频谱分析图即对外加脉冲振荡信号的呼吸波进行频谱分析后得到的 R 及 X 曲线图。不同的振荡频率下气道粘性阻力反映的部分不同, 低频段反映总气道阻力, 高频段反映中心气道阻力。曲线 X 在低频时主要表现为弹性阻力, 随着频率的增加, 弹性阻力减少, 惯性阻力增加, X 从负到正。

213 结构参数图 结构参数图是根据实测数据并结合频谱图及电学模型, 求解方程组所得的肺结构参数, 包括中心阻力 (R_c)、外周阻力 (R_p)、上呼吸道和胸壁的惯性阻力 (L_z) 和肺与胸廓的弹性阻力 (E_{rs})。通过图示形象直观地描述呼吸过程中各阻力的分布。

214 阻抗容积图 (Z - V 图) Z - V 图是分析阻抗与容积依赖性的关系曲线。

215 阻力的容积依赖性和流速依赖性关系 呼吸阻抗与功能残气位有关, 即有容积依赖性, 又与呼吸流速有关, 即有流速依赖性。其关系图可由 Intra-breath 图反映。可分别在频率 5, 10, 15, 20Hz 等不同频率下分析。

3 临床应用

IOS 按欧洲胸科协会的 FOT 测试标准测试, 一般适合于临床诊断用的测定范围是 5 ~ 35Hz 频率下的呼吸阻抗。

311 阻塞性通气障碍的特点 阻塞性通气功能障碍常见于支气管哮喘的发作期、COPD 病人及过敏性肺炎、泛细支气管炎等病人, 其 IOS 特点为: (1) 气道阻塞明显的病例 R_p 和 R_c 升高 (R_p 较明显), 但早期病例结果可正常; (2) 吸气末 R 和 X 通常正常, 呼气末 R 增加, X 降低; (3) 有流速依赖性, 吸气相 R 升高, X 降低, 呼气过程更加显著, 特别在 5Hz 时具有特征的 R 和 X 的流量增加梯度, 这些改变在最大呼气时非常明显, 此时应考虑呼吸肌的影响作用; (4) 平静呼吸时 R 和 X 随容积而变化, 且在 VC 呼吸方式过程中更加明显, 常高于正常人数倍。

IOS 测定是诊断哮喘、慢性阻塞性肺部疾病 (COPD) 及其他气道阻塞性疾病、判断病情轻重的一个有用工具。在各项参数中, 共振频率 (F_{res}) 较为敏感, 其特异性随病情加重而增大, 频谱分析图显示出阻抗的频率依赖性, $R_5 - R_{20}$ 增大提示外周气道阻塞。 X_5 亦下降明显, 外周气道阻力增高, 或可伴有一定程度的中心阻力增高和肺顺应性下降。

312 气道高反应性的特点 气道反应性增高者 (如支气管哮喘) 在支气管激发试验后表现为 Z_{rs} 及 R 明显增高, 其中以 R_5 增高最大, R_5 与 R_{20} 的差值增大; X_5 亦显著增大, 响应频率明显右移。其敏感性相当或优于体描法气道阻力, 优于 FEV_1 。对阻塞气道的可逆性评价 (支气管舒张试验), 则上述指标的结果相反。

313 气体分布异常的特点 气体分布异常主要见于肺气肿、肺大泡等病人, 其 IOS 特点为: (1) 通常有上述气道阻塞的表现; (2) 在频谱图中显示低频区阻力较高, 随频率的增加 R 呈明显的非线性下降; (3) R 和 X 有明显的流速依赖性, 吸气相比较小, 而呼气相明显; (4) 呼气末 R 显著增加, X 显著降低; (5) 阻力 - 容积关系图以及电抗 - 容积关系图呈特征性的三角形; (6) 后者结果与体积描记仪的呼气环一致。

COPD 年老患者因多合并有肺气肿, 故也可有气体分布异常的改变特征。

314 上气道阻塞的特点 上气道阻塞常见于喉癌、气管异物、气管肿瘤、气管软化塌陷、气管外压变形等疾病, 其 IOS 特点为: (1) 气道阻力增加, R 水平抬高, $R_5 - R_{20}$ 无明显变化; (2) X_5 负值减少, X_{35} 正值增高, X 曲线呈特征性的弓背向上弧形, 或可有凹陷切迹; (3) 结构图可示 L_z 增大, 提示气道惯性阻力增大; (4) F_{res} 可偏小。我们的临床实践发现 X 曲线呈特征性的弓背向上弧形, 或有凹陷切迹者有较大的临床指导意义。

315 限制性通气功能障碍的特点 限制性通气功能障碍常见于胸腔积液、气胸、胸廓畸形、肺纤维化等疾病, 其 IOS 特点为: (1) 在 VC 状态下 dR/dV 和 dX/dV 的梯度加大; (2) 在正常呼吸状态下 dR/dV 的 $dXdV$ 的关系反向, 大部分出现在低频段; (3) 吸气末 R 增加, X 降低, 更趋向于负值。

特发性肺纤维化患者主要是弹性阻力 (X_5) 和共振频率 (F_{res}) 增加, 其变化与常规肺功能检查中肺容积、弥散和血氧分压存在明显相关性。胸腔积液患者在阻力容积/流速依赖性关系图上表现为低频段或全频段吸气末与呼气末阻力及电抗差值增大, 并出现位置颠倒。

4 注意事项及前景

411 IOS 测定与常规通气功能检测结果可互补 临床习惯上以常规的用力通气功能判断患者的肺功能, 作出阻塞性功能障碍的评价, 但此种判断忽略了通气驱动压的作用。直接测定气道阻力的方法更为敏感和精确。我们在实际检测中发现, 有些通气功能检测正常的受试者, 其 IOS 的 R 及 X 指标已有较大改变, 提示 IOS 较为敏感。此外, IOS 除测定气道粘性阻力外, 尚包括整个呼吸系统的弹性阻力和惯性阻力, 测定的指标及其临床意义与常规通气功能不同, 应从多角度分析。IOS 测定与常规通气功能检测两者结合对呼吸生理和功能异常的判断更为全面。

IOS 结果与 FEV_1 , VC_{max} , $MMEF$ 的相关呈低 ~ 中度相关, 与 FEV_1/VC 比较, 气道阻塞越严重, R_5 异常发生率越高, $R_5 - R_{20}$ 差异越大。

412 儿童的 IOS 结果与成人间有较大的差异 健康成人正常呼吸时粘性阻力几乎没有频率依赖性, 如出现频率依赖性为气道阻塞和气体分布不均的标志; 儿童却不然。由于儿童的气道口径较细, 呼吸总阻抗和气流阻力较成人; 总气道阻力与中心气道阻力的差值亦较大, 即外周气道阻力大; 上述表现与成人气道阻塞的表现相似; 另外儿童的肺容量较少, 肺弹性回缩力较大。随身高、年龄的增长, 肺容量增大, 气道口径增粗, 呼吸总阻抗和气流阻力逐渐减少; 对呼吸阻抗的影响因素中, 身高是最主要的因素, 次为年龄, 而体重的影响最弱; 故用 IOS 检测儿童判断其肺功能时, 一定要采用儿童相应的预计值作参考。本人通过对 382 例 6 ~ 14 岁儿童正常值的研究, 发现国外预计值对我国儿童的正常值预计存在较大偏差, 低龄组偏差更大, 因而建议采用我们自己的预计值。

413 前景 IOS 因在临床上应用时间较短, 对研究结果的判断以及与临床的关系和合理的解释仍有待进一步研究。由于脉冲振荡技术独具特色, 检查简捷、病人配合少, 无创测量, 适用广泛, 并可用于测定鼻阻力, 了解鼻腔对通气的影响。IOS 在临床上的应用将有更广阔的前景。

(收稿: 2001 - 06 - 05)