

生理と機能

I. 肺機能検査の位置づけ

1. 換気力学的検査

肺気量
努力性呼出曲線
フローボリューム曲線
最大換気量
コンプライアンス
抵抗
クロージングボリューム

2. ガス交換

肺拡散能
血液ガス

II. 臨床肺機能検査

1. 肺気量

(1) 肺気量分画の名称

Volume

一回換気量 tidal volume (TV)
予備吸気量 inspiratory reserve volume (IRV)
予備呼気量 expiratory reserve volume (ERV)
残気量 residual volume (RV)

Capacity

肺活量 vital capacity (VC)
最大吸気量 inspiratory capacity (IC)
機能的残気量 functional residual capacity (FRC)
全肺気量 total lung capacity (TLC)

BTPS (body temperature, ambient pressure, and saturated with water vapor)

ATPS (ambient temperature and pressure, saturated with water vapor)

STPD (standard temperature and pressure, dry)

(2) 予測値 性、年齢、体格

(3) 測定法

原理を理解する

- a. ヘリウム希釈法
- b. 窒素洗い出し法
- c. ボディプレチスモグラフィ法

*もし換気の悪い肺胞があると、abで測定した肺気量は低くなる。

2. 努力性呼出曲線

最も一般的なルーチン検査

簡単に閉塞性障害を検出

肺活量 Forced Vital Capacity (FVC)

一秒量 Forced Expiratory Volume in 1 second (FEV_1)

一秒率 $FEV_1\%$

Tiffeneau $FEV_1/VC \times 100 \%$

Gaensler $FEV_1/FVC \times 100 \%$

正常 —— 70%

$\%FEV_1$

予測値に対する%

最大中間呼気流量 Maximum Midexpiratory Flow

(MMF, MMEF, MEF, FEF25-75%)

努力に依存しない

早期病変の検出

ピークフロー Peak Expiratory Flow Rate (PFR)

呼気の中で最も大きな流量

喘息の管理に有用.

3. フローボリューム曲線

Isovolum Pressure Flow Curve (IVPF)

同肺気量 (isovolume) での圧と流量の関係

努力に無関係に一定の値

V_{max}

何故?

Equal Pressure Point Theory (EPP)

Waterfall Theory

Wave Speed Theory

末梢気道の抵抗と肺胞の弾性収縮量によって流量は決まる

特徴

再現性

末梢気道病変

パターン認識

4. 最大換気量 MBC, MVV

一定時間に換気できる最大の量

呼吸のどの部位に病変があっても異常値

5. コンプライアンス

一定の圧により肺がどれだけ膨らむか

静肺コンプライアンス (Cst)

息を止めて測る

低下 拘束性障害

上昇 肺気腫

動肺コンプライアンス (Cdyn)

呼吸しながら測る

健常者では

$Cst = Cdyn$ (呼吸数 < 90)

気道抵抗の高い人

呼吸数が増すにつれて低下

最大吸気位食道内圧 $Pes \cdot max$

TLC での食道内圧

高い 拘束性障害

低い 肺気腫

食道バルーン

6. 抵抗

気流のある2点間の圧較差を流量で割ったもの

気道抵抗 (Raw) $P = Paw - Pao$

肺抵抗 (Rl) $P = Ppl - Pao$

呼吸抵抗 (Rrs, Zrs) $P = Pbs - Pao$

コンダクタンス 抵抗の逆数
空気の流れやすさ

末梢気道抵抗

全体の 10% 以下

‘silent zone, quiet zone’

7. クロージングボリューム (CV)

CV とは末梢気道の閉塞が開始する肺気量

測定原理の理解

評価

CV/VC 約 10 %

CC/TLC

ΔN_2 第3相の傾き

8. 肺拡散能

ガスを肺胞から赤血球へ運ぶ能力

拡散能は以下の因子の影響を受ける

- (1) 肺胞膜の厚さ
- (2) 被覆細胞の厚さ
- (3) 毛細管壁の透過性
- (4) 血漿の通過しやすさ
- (5) 赤血球膜の通過しやすさ

その他に

ガス交換に与る肺胞の数

換気の均一性

血流との一致 (V/Q balance)

CO を指標として測定

9. 血液ガス

動脈血ガス分析の読み方

まず、 PaO_2 より低酸素血症の有無を確かめる。この時 $PaCO_2$ の上昇があれば肺胞低換気が原因である。これは換気の不足による PaO_2 の低下であるため CO_2 も排出されないので $PaCO_2$ の上昇を伴う。 $PaCO_2$ が正常かまたは低下しており $A-aDO_2$ が拡大しているときは、100%酸素を吸入し $A-aDO_2$ の変化をみる。酸素吸入後も $A-aDO_2$ が不変であればシャントを考える。これは混合静脈血が肺で酸素化されずに体循環系に直接流入するものである。健常者でも心拍出量の 3~5%があるが、病的肺ではシャント率は異常に増加し、酸素化されない血液が増えるため PaO_2 の低下、 $A-aDO_2$ の開大が生じる。したがって、酸素投与を呼んでも、それに見合うだけの PaO_2 の上昇が見られない。酸素吸入により $A-aDO_2$ が改善すれば、拡散障害か換気・血流比不均衡が原因であり、 DL_{CO} により鑑別する。拡散障害は肺胞毛細管膜肥厚により肺胞内酸素が血液へ移行する速度が障害されるものである。四番目の原因として、換気血流比の不均衡分布があげられる。肺胞でのガス交換は、肺胞換気量(VA)と血流量(Q)との比、VA/Q に影響される。例えば、換気が血流に対して十分にある領域ではVA/Q比が高く PaO_2 は上昇するが、換気が十分でないところではVA/Qが低く、 PaO_2 は上がらない。不均衡分布は正常でもみられるが、生理的範囲を超えてVA/Qの異常が見られ酸素飽和度の低い血液が多くなると、全体として PaO_2 は低下してくる。