換気、灌流、拡散、ガス運搬

概説と機能解剖

- 酸素化と換気は別の概念である
  - 肺胞換気が二酸化炭素排出を決める
- 伝導気道は加温、加湿、濾過を行う
  - 大きな気道は軟骨、小さな気道は平滑筋
- I型肺胞上皮細胞が薄い拡散面を作る
- II型細胞はサーファクタント産生と修復
- 境界面：上皮、間質、内皮、血漿、赤血球膜
- 肺循環は通常、低圧かつ低抵抗
  - 気管支動脈が少量の生理的シャントを作る

換気と死腔

- 分時換気量は一回換気量と呼吸数の積
- 解剖学的死腔は伝導気道内に残る
- 肺胞死腔は換気されるが灌流がない
- 肺胞換気はまず死腔量を差し引く
  - 500ミリリットル12回で毎分4.2リットル
  - 250ミリリットル24回で毎分2.4リットル
  - 同じ分時換気量でも排出能は低い
  - 機序の説明であり設定の指示ではない
- 依存部肺胞は小さいがコンプライアンスが高い

肺胞気と分圧

- 加湿により吸入酸素分圧が低下する
- 肺胞酸素は吸入酸素、気圧、二酸化炭素に依存
- 高地では濃度でなく気圧が低下する
- 低換気は二酸化炭素を上げ酸素を下げる
  - 連動する変化が純粋な低換気を区別する

拡散

- 表面積、拡散係数、分圧勾配で上昇する
- 膜が厚いほど低下する
- 二酸化炭素は溶解度が高く拡散しやすい
- 肺気腫は交換表面積を破壊する
- 線維症と肺水腫は拡散距離を延長する
- 一酸化炭素は毛細血管内分圧が低い
  - 肺気腫、線維症、貧血、肺血管疾患で低値
  - 肺胞出血では高値となり得る

酸素運搬

- 含量はヘモグロビン、飽和度、溶解酸素
- 分圧は拡散と飽和度を決める
- 協同的結合により解離曲線はS字状
  - 平坦部は肺での飽和度を保つ
  - 急峻部は組織での酸素放出を促す
- 右方移動：二酸化炭素、酸、熱、2,3-BPG
- 貧血は飽和度正常でも含量を下げる
- 一酸化炭素は部位占拠と親和性上昇を起こす
- メトヘモグロビンは鉄が酸化され結合できない

換気血流比

- 全肺平均は大きな局所差を覆い隠す
- 肺尖部は換気より灌流の低下が大きい
- 肺底部は灌流が優位で比率が低い
- 低酸素性肺血管収縮が血流を振り向ける
  - 広範囲の低酸素は肺動脈圧を上げる
- シャントは換気を伴わない灌流である
  - 肺胞虚脱、液体や膿、心内右左シャント
  - 酸素投与への反応は不完全である
- 死腔は有効灌流を伴わない換気である
- 較差は不均衡やシャントで増大する

二酸化炭素運搬と酸塩基

- 溶存、カルバミノ、主に重炭酸として運ぶ
- 炭酸脱水酵素が赤血球内で反応を促進
- ヘモグロビンが緩衝し塩化物と交換される
- 肺では酸素化が反応を逆転させる
- 急性低換気は二酸化炭素上昇とpH低下
- 過換気は二酸化炭素低下とpH上昇

運動、高地、胎児循環

- 心拍出量、換気、灌流、拡散能が協調して増える
- 混合静脈血酸素は低下し動脈血は維持
- 息切れだけでは障害部位を特定できない
- 高地の低酸素は呼吸性アルカローシスを生む
  - 腎臓が数日かけて重炭酸を排泄する
  - 高地肺水腫と脳浮腫の危険がある
  - 重症では下山と酸素投与を優先する
- 胎児のガス交換は胎盤で行われる
  - 胎児ヘモグロビンは酸素親和性が高い
  - 出生：肺拡張、胎盤分離、シャント閉鎖

臨床的解釈とオキシメータの限界

- 低酸素血症には五つの機序がある
- 高二酸化炭素血症の主な機序は低換気
- 酸素投与下の正常飽和度は換気を保証しない
- 正常な二酸化炭素値も不適切なことがある
- オキシメータは拍動性光吸収から推定する
  - 低灌流、体動、異常ヘモグロビンで精度低下
- 二酸化炭素、pH、含量は測定しない
- 安心できる数値が悪化を覆してはならない