

## 2 ガス交換の生理と病態

大阪大学医学部附属病院集中治療部

妙中信之

呼吸不全とは「外呼吸の障害により、動脈血ガスが異常な値を示し、そのために生体が正常な機能を営み得なくなった状態」と定義される。外呼吸は、呼吸中枢と化学受容体により調節制御を受け、神経系により情報伝達され、胸郭・呼吸筋、気道、肺胞、間質、肺循環よりなる効果器が正常のガス交換を行って営まれる。外呼吸の障害は、このうちの少なくともひとつが異常を示した場合に起こるが、大きく換気の障害と肺におけるガス交換の障害とに分類することができる。

### 1. 低換気と過換気

動脈血炭酸ガス分圧を指標として考えると、生体の炭酸ガス産生量に対して肺胞換気量が不足している場合を低換気、過剰の場合を過換気ということができる。肺胞低換気の場合、高炭酸ガス血症と、室内空気吸入時には低酸素血症を招く。過換気は、動脈血炭酸ガス分圧の低下により、脳血流や冠血流の減少などを起こすことがある。

分時換気量が保たれていても死腔換気が増加している場合には肺胞低換気が招来される。死腔には解剖学的死腔と肺胞死腔とがあり、両者を合わせて生理学的死腔と呼ぶ。肺胞死腔は、たとえば末梢気道の狭窄によりair trappingが起こり肺胞が拡張し肺胞壁が破れて気腫状になった肺気腫の場合には増加する。また、重症ARDSや重症肺炎などで、高い気道内圧の人工呼吸を余儀なくされると、人工呼吸そのものにより肺が圧外傷を受けて肺胞死腔は増加する。この場合には、分時換気量を増加させても肺胞換気量が十分でなければ、高炭酸血症が招来されるようになる。

### 2. 換気・血流の不均等分布

換気が適正に行われている場合、肺におけるガス交換を障害するものは、換気・血流の不均等分布である。無気肺のように換気が全くない部分を流れる血液は、肺胞気とガス交換を全く行わず肺を素通りして動脈血に流入する。換気が全くないが血流のみがある場合が肺内シャントである。肺内シャントがある場合、吸入酸素濃度を増加させても動脈血酸素分圧はあまり上昇しない。換気・

血流分布が正常の肺胞に高濃度酸素が到達しても、その部分の肺胞に流れる血液中に取り込まれる酸素の量には限りがあり（ヘモグロビンの酸素飽和度は酸素分圧を上げて100%以上にはならない）、シャント部分に流れる血液中の酸素の不足を補い得ないからである。しかし、換気・血流分布の正常な肺胞を過換気するとその部分の血液の炭酸ガス含有量は限りなく0に近づくため、シャント部分に流れる血液に過剰な炭酸ガスが含まれていてもそれを補うことが出来るからである。したがって、肺内シャントの場合には、動脈血酸素分圧は低下するが炭酸ガス分圧は上昇しない。

また、血流が全くなく換気だけがある肺胞が出来ることもあり、この部分は換気を行ってもガス交換にはあずからない肺胞死腔となる。肺胞死腔は前述のごとく肺胞低換気の原因となる。呼吸不全をきたす病的な肺では、さまざまな換気血流比を持った肺胞が存在しており、特に低酸素血症の重要な原因となっている。

### 3. 急性呼吸不全をきたす病態

急性呼吸不全をきたす病態のうち頻度の高いものは、低換気、無気肺、心原性肺水腫、肺炎、ARDSなどである。

無気肺の場合には閉じた肺胞が肺内シャントとなって低酸素血症の原因となる。肺胞容積が小さくなった肺胞では、血流に比較して換気が少なくなり、換気・血流の不均等分布となって低酸素血症の原因となる。肺炎では、肺胞内に病原微生物が侵入し、肺胞内に白血球や水分の浸出が起こって肺胞がつぶれ、肺内シャントや換気・血流の不均等分布をきたして低酸素血症を招来する。心原性肺水腫やARDSでは、前者では静水圧により、後者では血管内皮細胞の透過性亢進により、肺胞内に水分の浸出（漏出）が起こり、肺内シャントや換気・血流の不均等分布が起こって低酸素血症が招来される。

以上のように、肺疾患では、換気の障害や換気・血流の不均等分布がその病態を形成している。