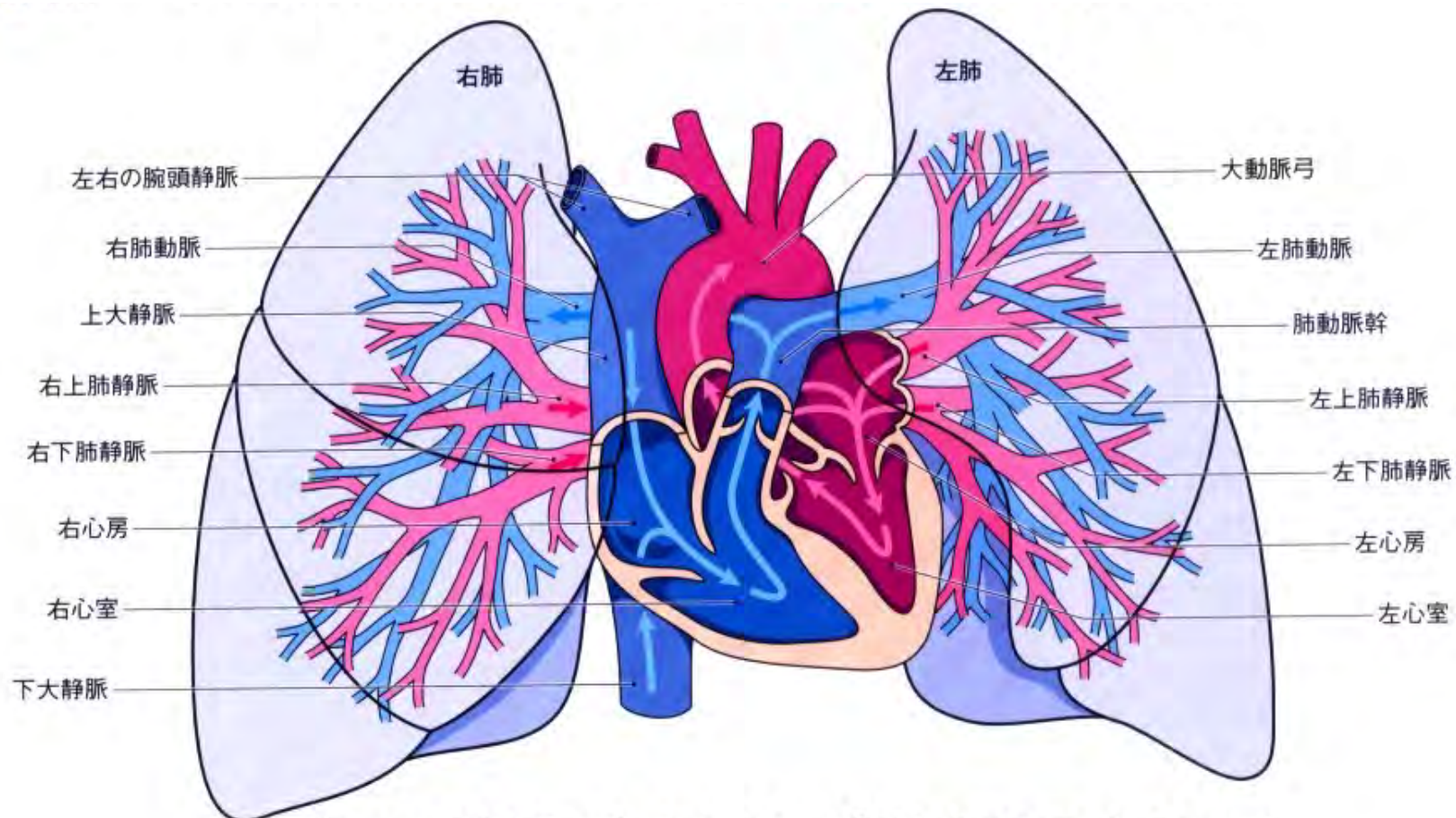


肺循環

担当： 血管分子生理学（第一生理学） 吉岡 和晃



全身の静脈血は必ず肺循環を通る。

気管支動静脈は栄養血管で、**体循環系**に属する。

図1 肺の血管系

気管支動脈によって供給される血液の大部分は体循環に戻らず、肺静脈に注ぐことに注意。

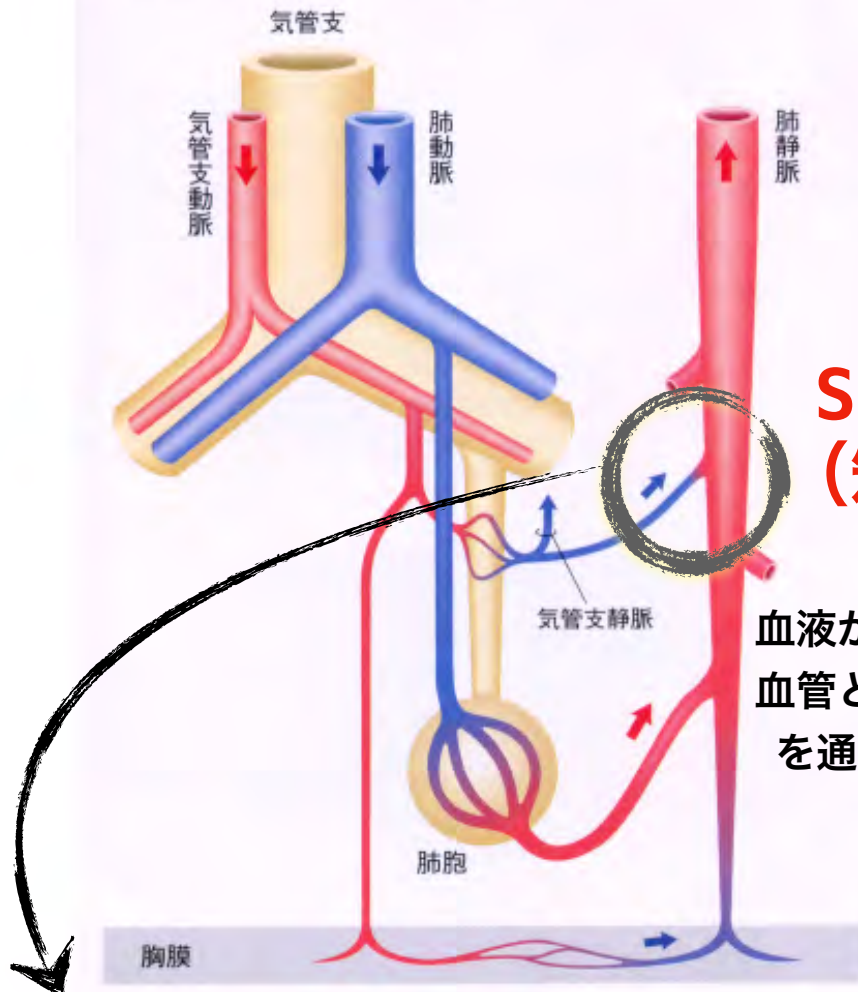
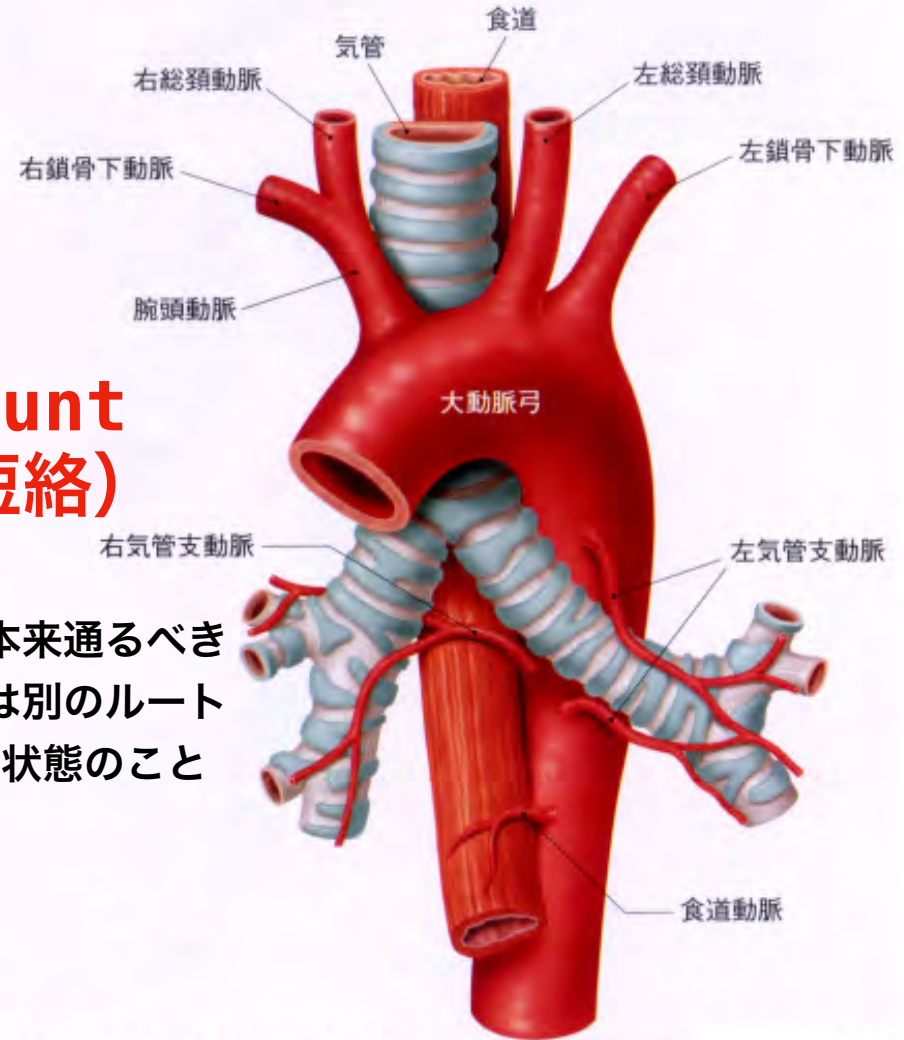


図2 気管支動脈

気管分岐部付近の胸大動脈から起こる。左は通常2本ある。右は肋間動脈から分岐すること多い。



Shunt (短絡)

血液が本来通るべき
血管とは別のルート
を通る状態のこと

解剖学的シャント（真性シャント）：肺胞気・動脈血酸素分圧較差（AaDO₂）の1要因

気管支静脈は、肺胞を通らずに（酸素化されないまま）直接左心系に流入する。

右左シャント

肺循環は広大な毛細血管床を持つ**低圧系**である。

図3 肺循環と体循環の比較

右心からと左心からの
心拍出量はほぼ等しい

血流動態は全く異なる

肺循環 低圧系

平均動脈圧 10~20 mmHg

血管抵抗 45~90 dyn·sec/cm³

圧勾配 = 肺動脈圧 - 左房圧
= 15 - 3 = 12 mmHg

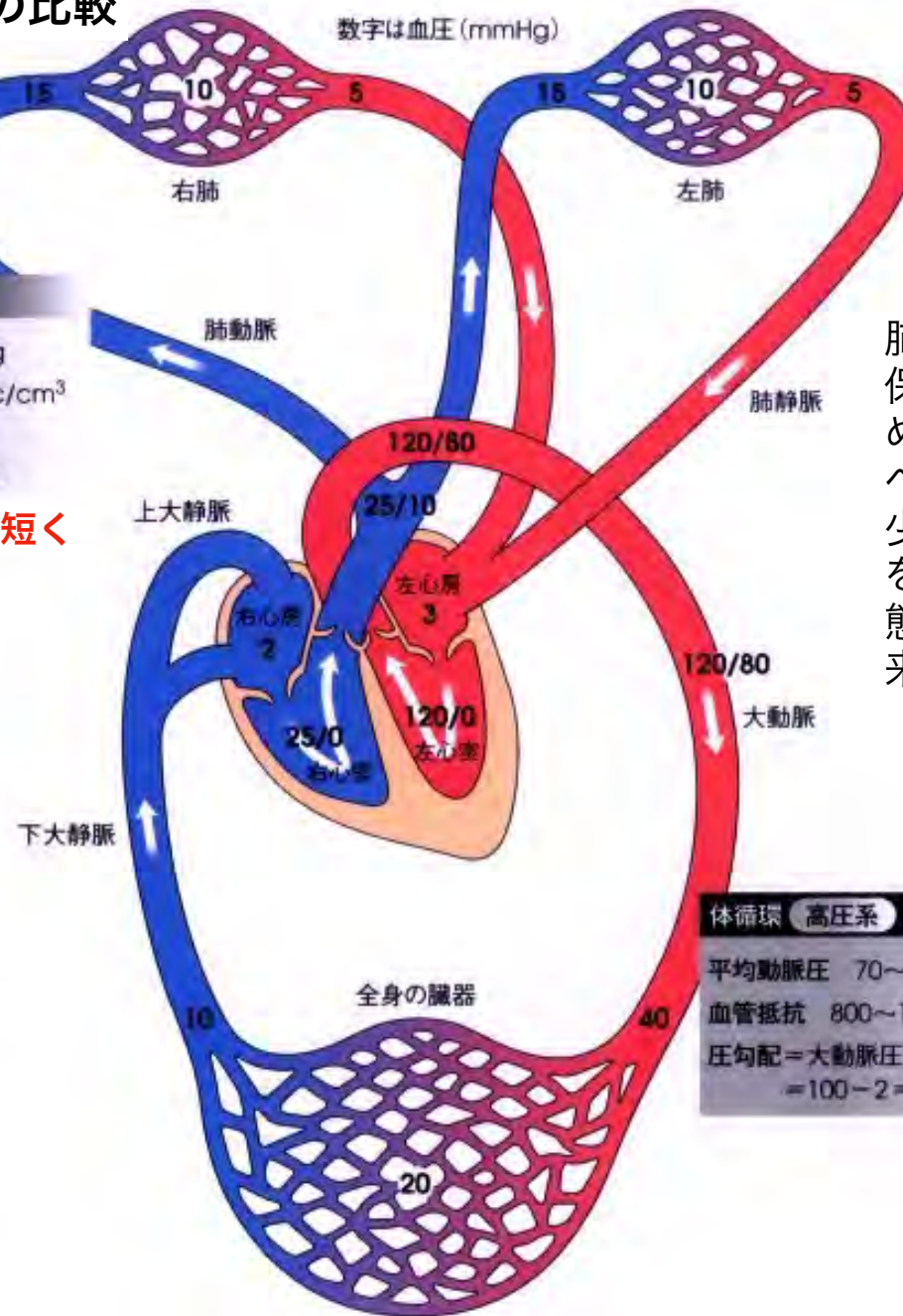
肺動脈は体循環系の動脈と比べて、**長さが短く**
内径が大きいので、血管抵抗が小さい

肺循環系は血管抵抗が低い
(体循環系の 1 / 10 以下)

肺血管は伸展性に富み、
血流量の変化を柔軟に受
けとめる。

(肺動脈壁は大動脈壁の 1 / 3)

(大動脈に比べ平滑筋に乏しい)



肺動脈圧は低圧に保たれているため、間質や肺胞腔への血漿の漏出を少なくでき、肺胞を比較的乾いた状態に保つことが出来る。

体循環 高圧系

平均動脈圧 70~105 mmHg

血管抵抗 800~1400 dyn·sec/cm³

圧勾配 = 大動脈圧 - 右房圧
= 100 - 2 = 98 mmHg

運動により、血流量が増大しても、
① 肺血管の受動的拡張、② 閉じていた毛細血管の再開通
により、血管抵抗は減少し、肺動脈圧の上昇はわずかである。

図4 肺毛細血管床の拡大

肺毛細血管床の面積は広大で、しかもかなりの予備能を持つ。血流量が増大すると、閉じていた毛細血管が開く。

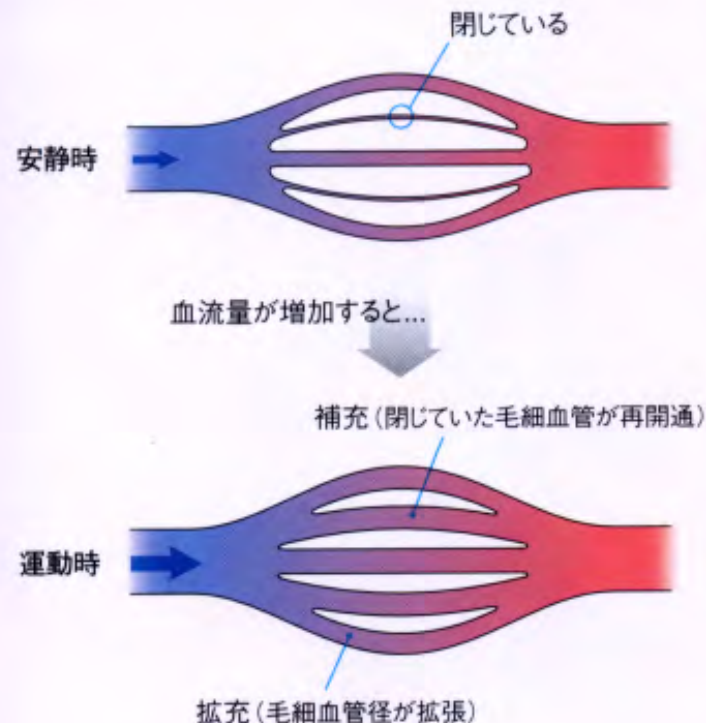
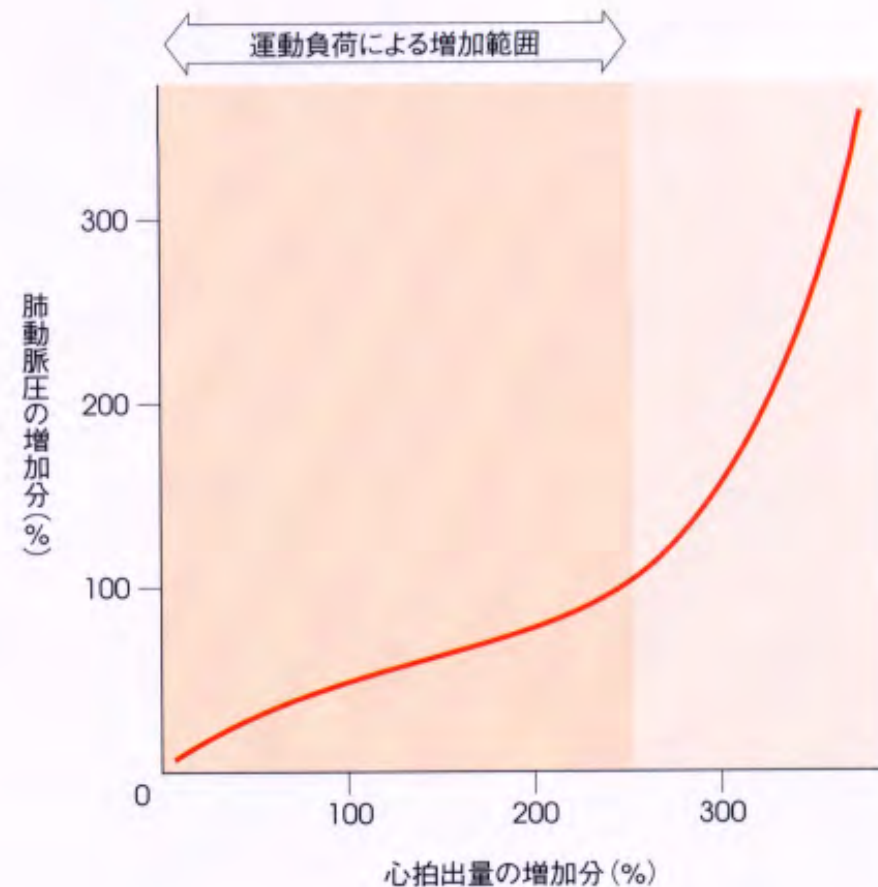


図5 心拍出量と肺動脈圧の関係



呼息時（肺胞が縮小）

肺胞外
毛細血管

肺胞毛細血管

広がる = 血管抵抗↓

狭くなる = 血管抵抗↑

肺胞外の毛細血管は
周りから陰圧で引っ張られている
肺が縮小するに従い胸腔内圧は
陰圧の程度少なくなる

吸息時（肺胞が膨張）

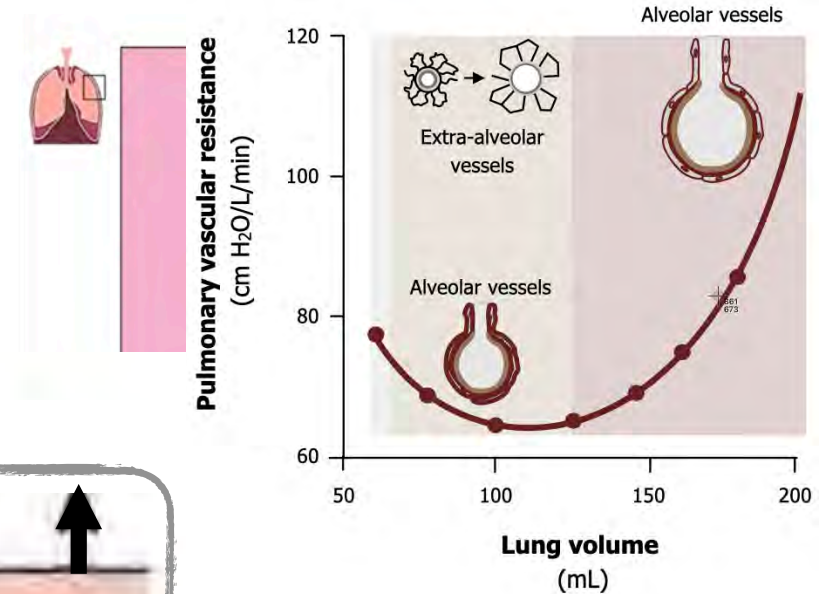
肺胞外
毛細血管

肺胞毛細血管

狭くなる = 血管抵抗↑

広がる = 血管抵抗↓

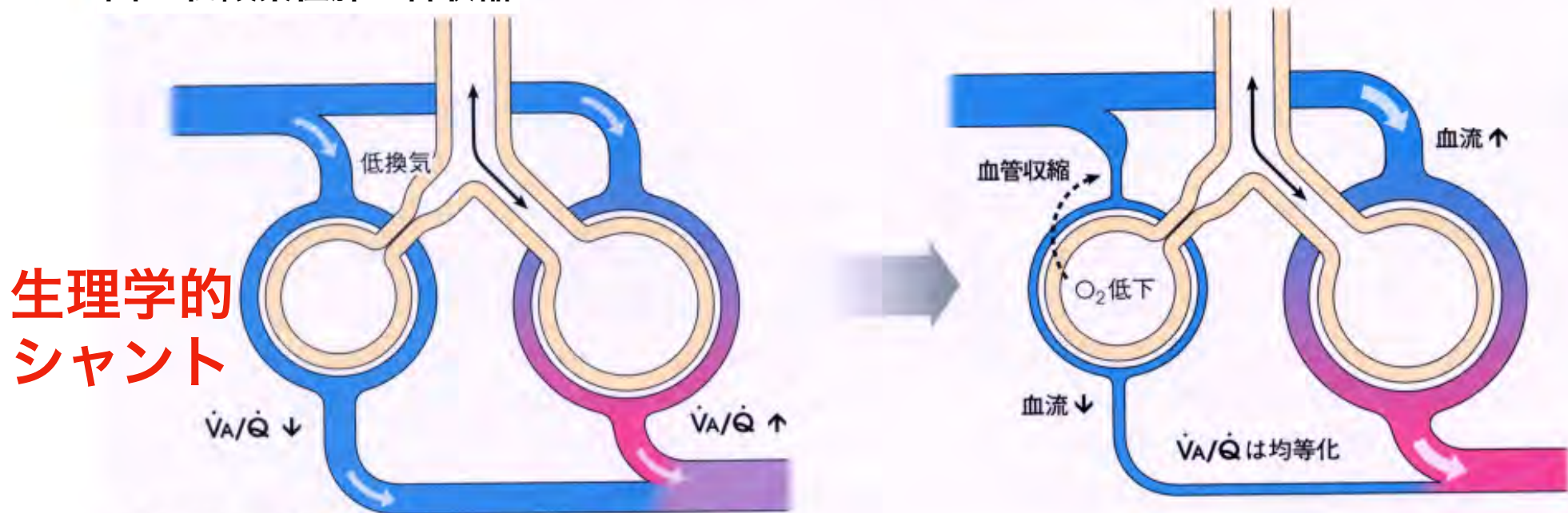
肺が拡張するに従い胸腔
内圧の陰圧の程度が大き
くなる



低酸素性肺血管収縮 hypoxic pulmonary vasoconstriction; HPV

肺血管は、一般の体血管とは異なり、低酸素により血管は収縮し、血管抵抗は増大する。

図7 低酸素性肺血管収縮

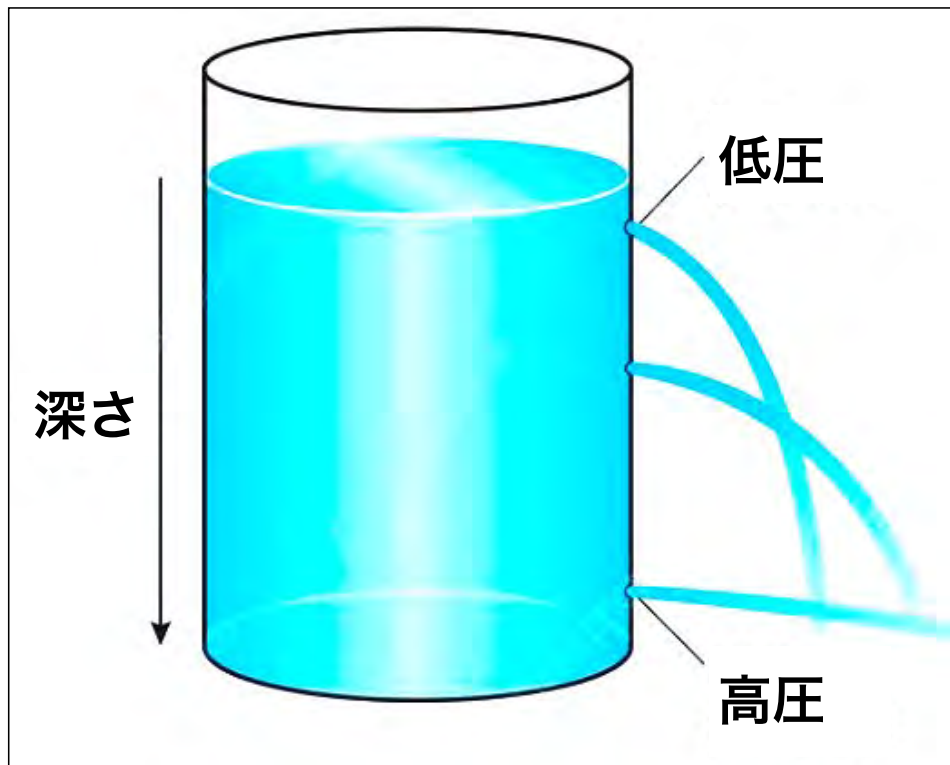


生理的意義：

1. 換気が悪くて低酸素状態に陥っている部分に行く血流を減らし、換気の良い部分に行く血流を増やすことにより、肺でのガス交換率を良くする。
2. 出生児の胎児循環（肺を殆ど通らない）から、出生後の肺循環への切り換えに対応する（肺呼吸により、急に肺に酸素が多くなると、肺血管が拡張し血流は肺に向かう）。

静水圧

Hydrostatic pressure

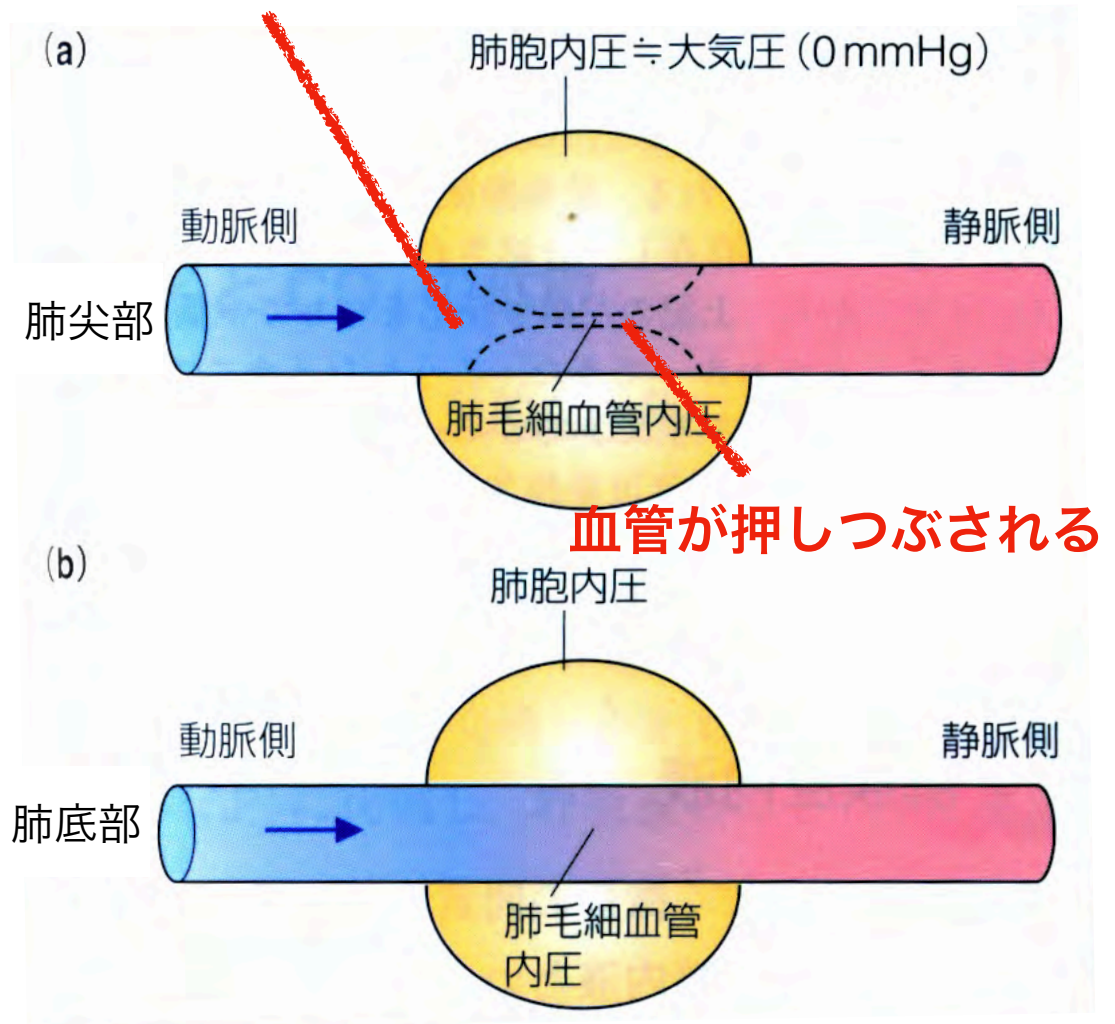


静止している水の圧力 (=水圧)

$$p = \rho \times g \times H$$

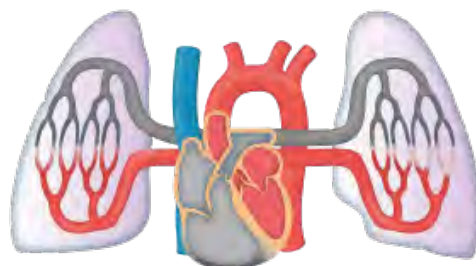
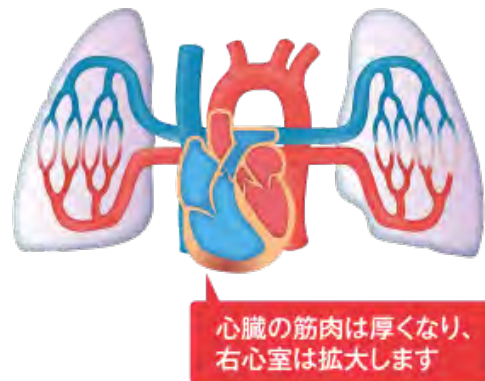
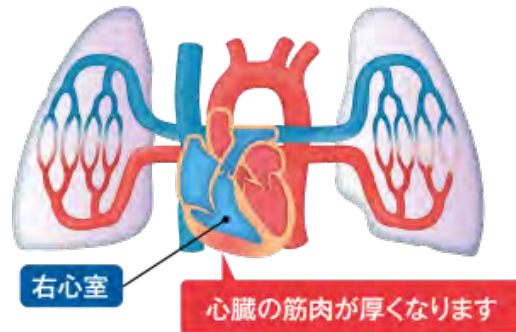
水の密度 重力加速度 水深

肺尖部の毛細血管では、拡張期の肺動脈内圧は、0mmHg (大気圧) 以下となる



平均肺動脈圧 ≥ 25 mmHg
(安静時)

”肺高血圧が続くと右心不全をきたす”



肺動脈圧が上昇すると、肺に十分な血液を送るためには、右心室がより強い力で血液を押し出す必要となる。そのため、**右室肥大**が生じる。

“心臓リモデリング”

この状態が続くと、右心室の収縮力が弱くなり、拡大したままになる（**右心拡大**）

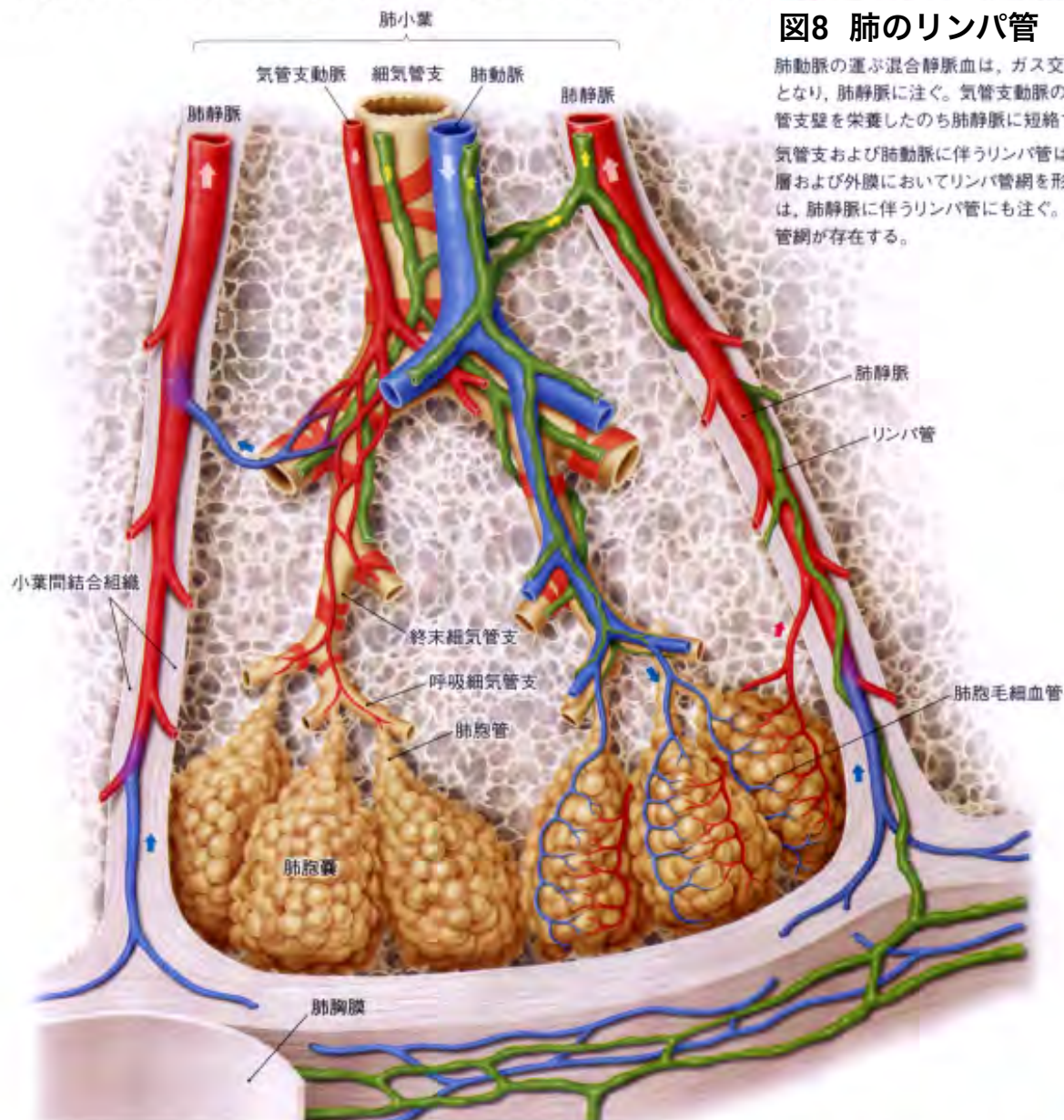
やがて、右心室は機能低下を招き、**右心不全**に至る。これは、肺に十分な血液を送ることが出来なくなる。その結果、全身の血液不足が起こり、様々な症状が現れる。

効率的なガス交換のためには、肺泡を乾いた状態に保つことが重要である。

図8 肺のリンパ管 Pulmonary lymphatic vessels

肺動脈の運ぶ混合静脈血は、ガス交換によって動脈血となり、肺静脈に注ぐ。気管支動脈の血液の一部は、気管支壁を栄養したのち肺静脈に短絡する。

気管支および肺動脈に伴うリンパ管は、それぞれ粘膜下層および外膜においてリンパ管網を形成する。その一部は、肺静脈に伴うリンパ管にも注ぐ。胸膜下にもリンパ管網が存在する。



間質の液体成分が増加すると、間質のJ受容器が刺激され、過換気となる。液体の重力の影響で下肺野や背部に多く溜まり、コンプライアンスが低下するため下肺野の容量が低下し、換気・血流比の不均衡分布が著しくなる。

また、酸素が毛細管血に至までの距離が離れてしまうので、拡散能が低下し、低酸素血症になる。

肺胞内（肺実質）への水の漏出量 > リンパ管の排出量
（肺の外側（胸膜腔）に液体が溜まって肺を圧迫して苦しくなる状態 → 胸水）

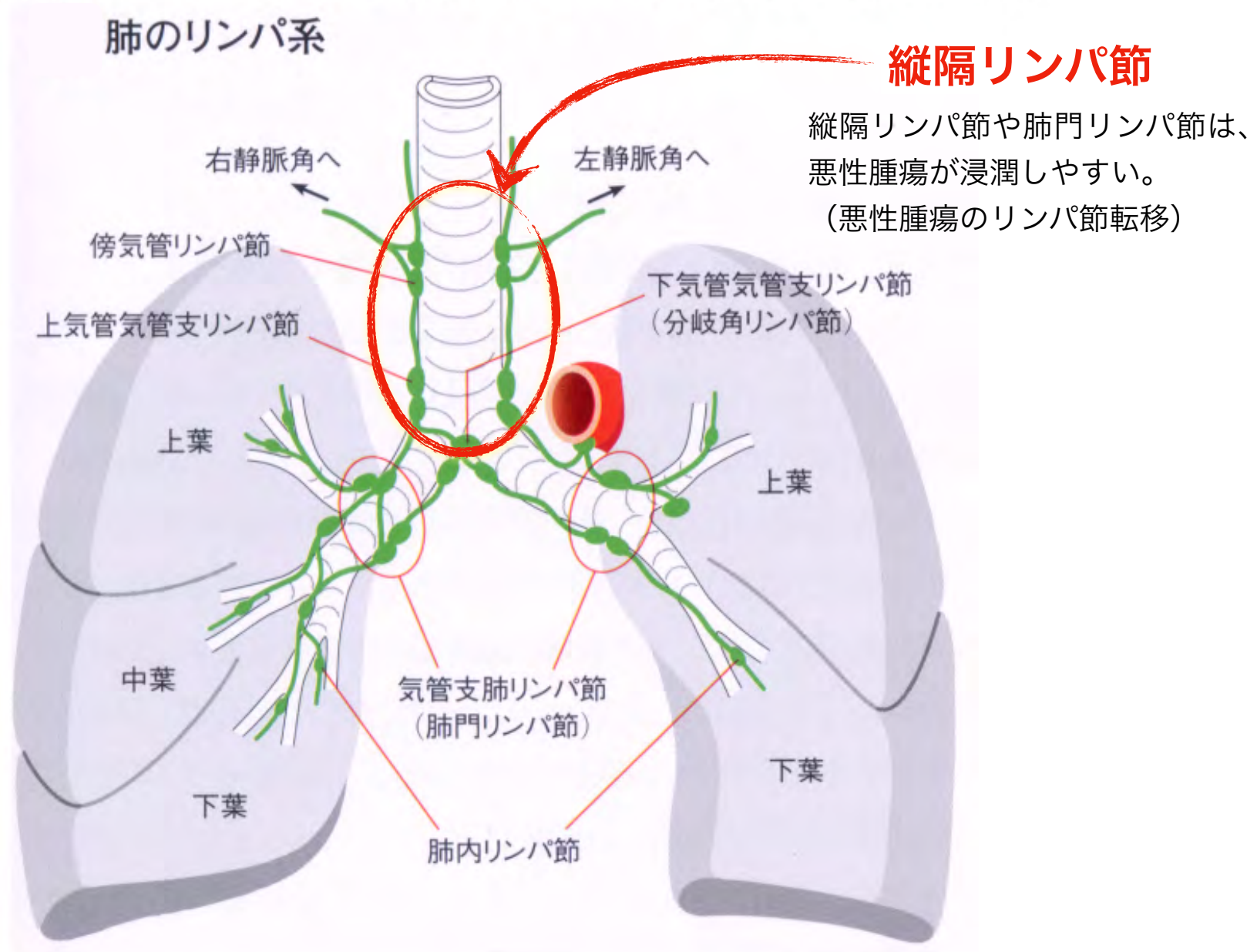
Pulmonary edema



肺水腫

edema = 浮腫

肺内のリンパは肺門リンパ節に集まる。



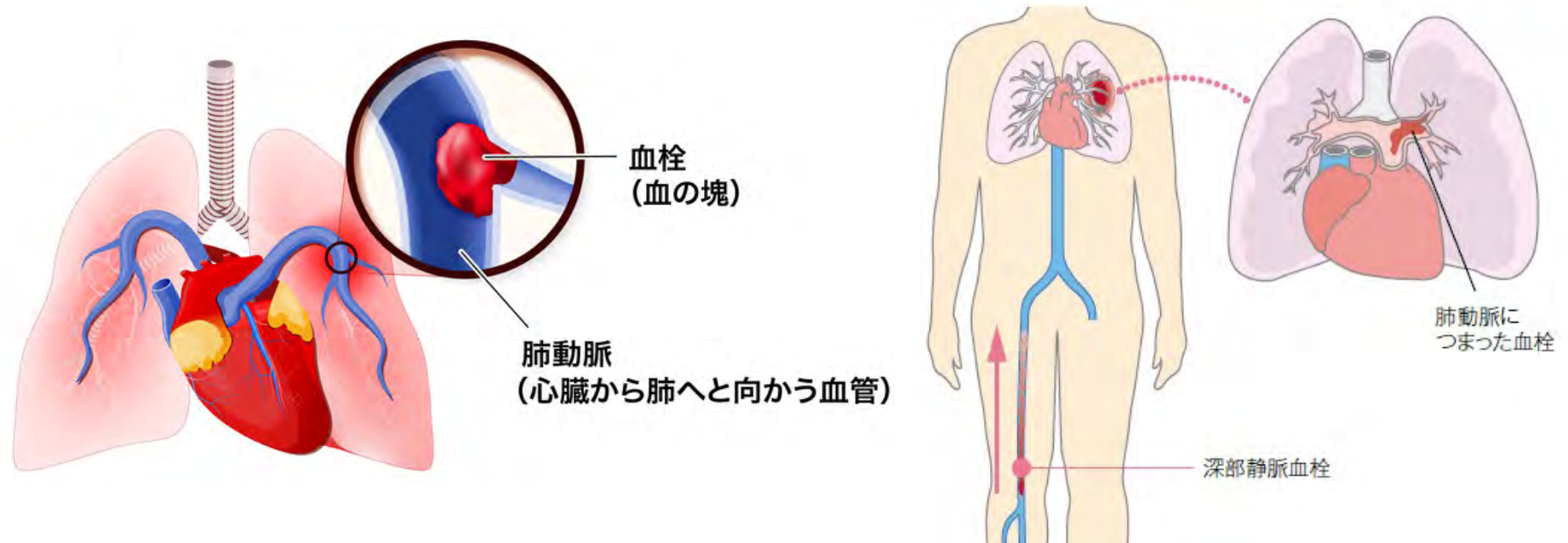
血液濾過機能

肺はフィルターとして**血栓**を濾過して除く役目もある。

これが機能しなければ、血栓は脳動脈や心臓の冠状動脈に詰まり梗塞を引き起こし、危険である。

肺塞栓症

Pulmonary embolism

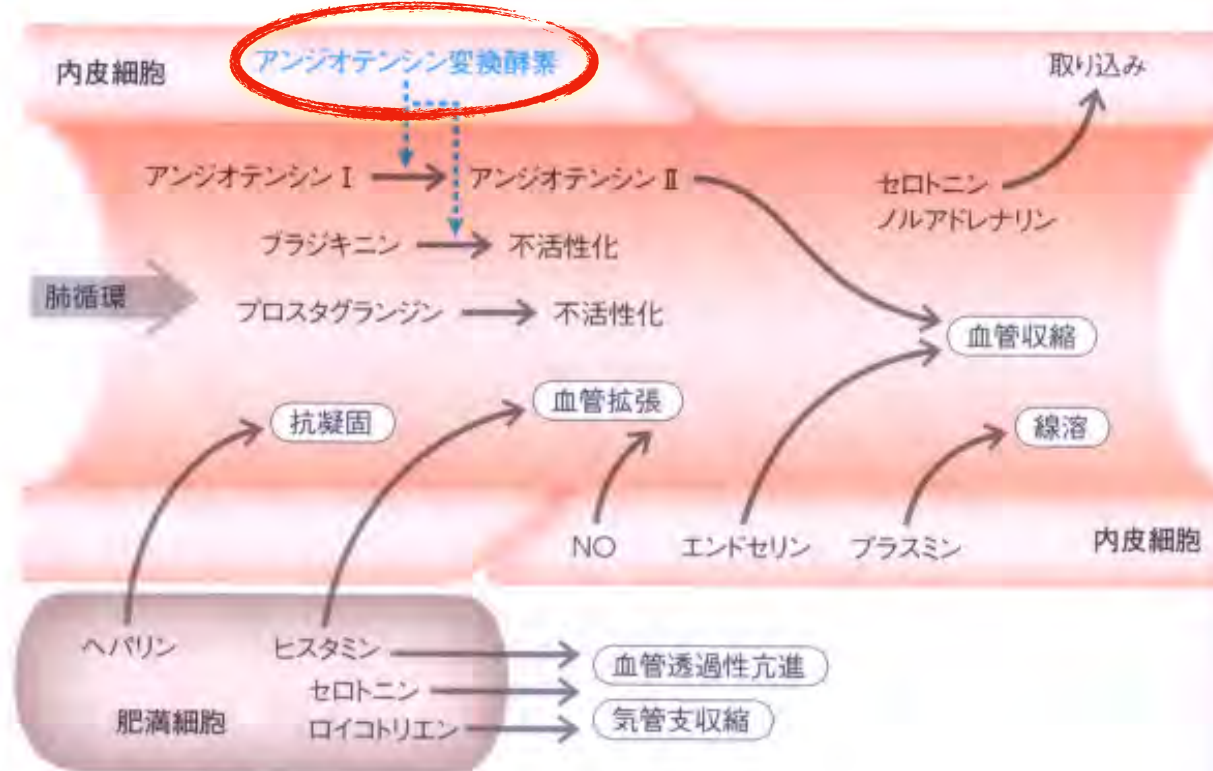


急性肺動脈血栓塞栓症
(エコノミークラス症候群)

肺は代謝と感染防御にも重要な役割を果たしている。

多くの血管作動性物質が肺循環で代謝される。

図9 肺の代謝機能



肺血管内皮細胞に存在するアンジオテンシン変換酵素 (angiotensin converting enzyme (ACE)) の働きで、アンジオテンシン I は活性型のアンジオテンシン II になり、体血圧を調節する（血圧を上げる）。

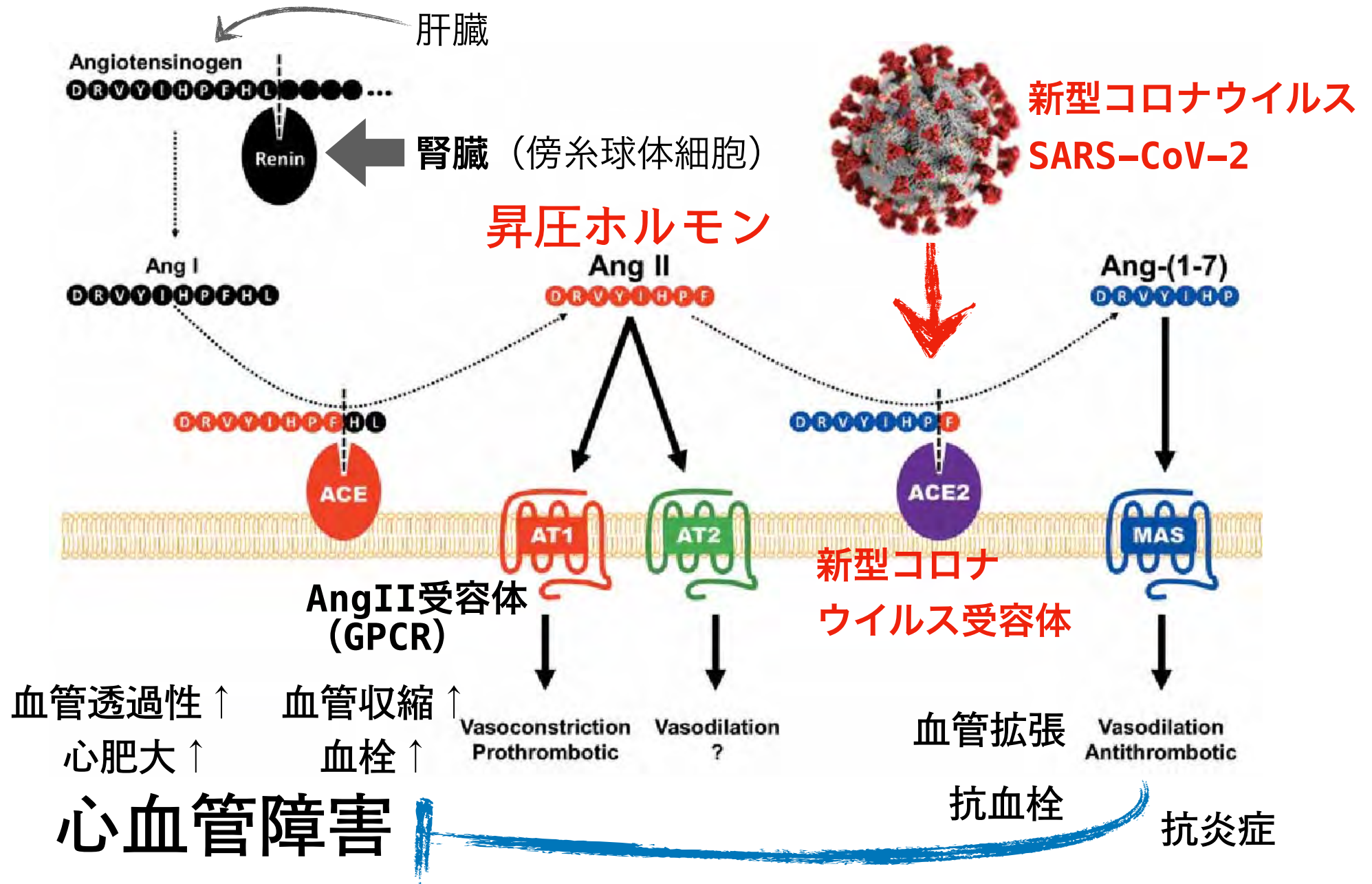
ACE は同時にブラジキニンを不活性化する。このため、高血圧症の治療薬である ACE 阻害剤は、ブラジキニンの代謝が抑制され、肺内に増加するために、副作用としてしばしば咳がみられる。

気管支喘息と生理活性物質

気管支喘息ではヒスタミン、セロトニン、プロスタグランジン、ロイコトリエンが肺で産生される。また呼気中に NO が増加する。

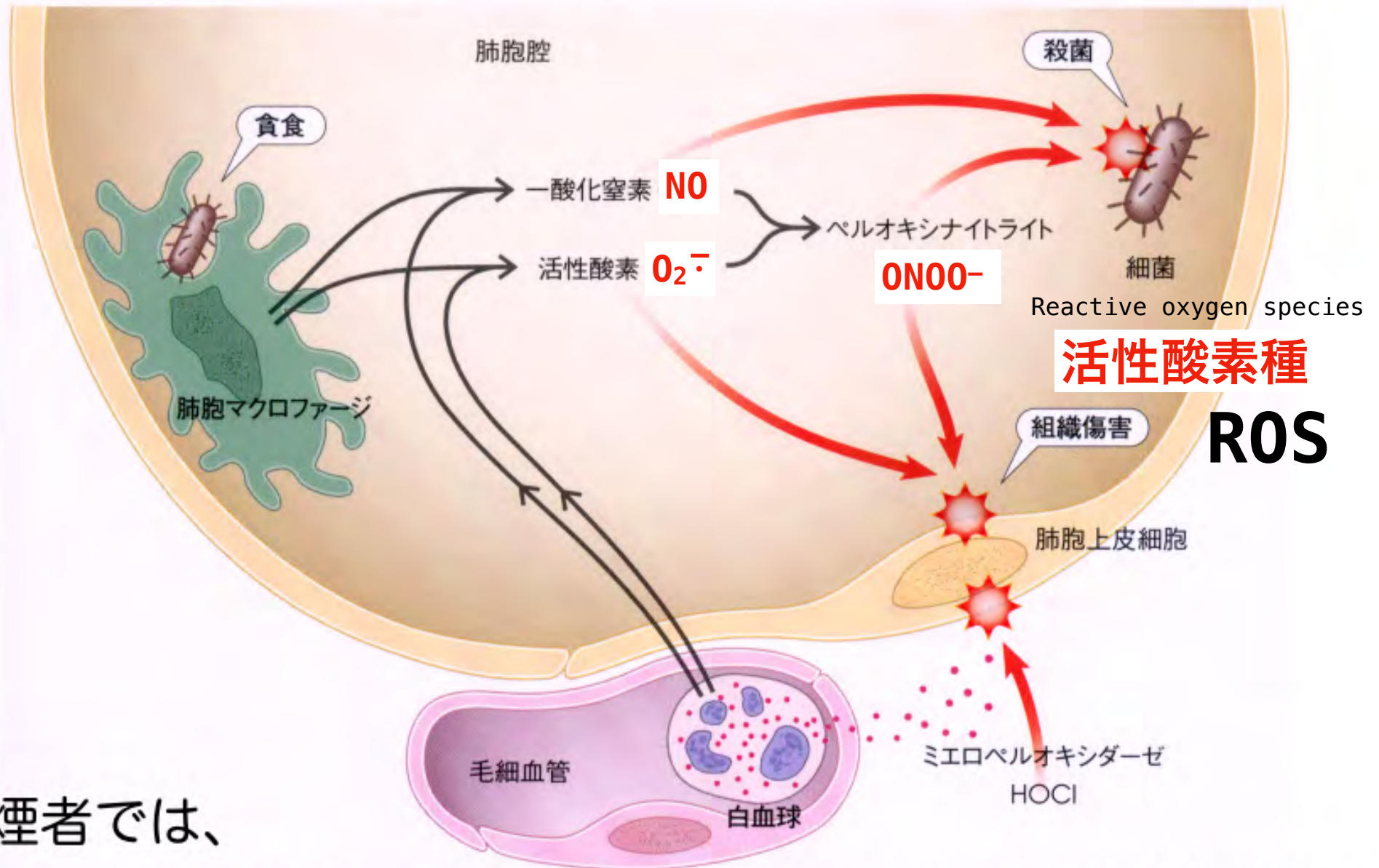
アンジオテンシン変換酵素

Angiotensin-converting enzyme (ACE)



呼吸器系の感染防御はマクロファージが担っている。

図10 肺泡マクロファージによる殺菌と組織傷害



喫煙者では、

タバコの煙に含まれる化学物質が到達・沈着する細気管支付近を中心に炎症を起こし、次第に肺泡を破壊していく（小葉中心型肺気症）。

肺胞でのガス交換は**拡散**による。

図11 ガス拡散の法則

ガスの拡散量は、拡散面積、ガス分圧差、ガスの溶解度に比例し、膜の厚さ（拡散距離）に反比例する。

$$\dot{V} = \frac{K \cdot \alpha \cdot A \cdot \Delta P}{X} = D \cdot \Delta P$$

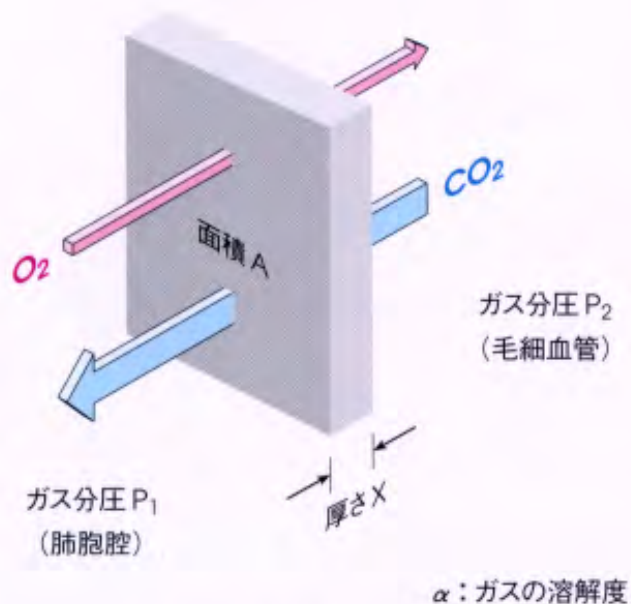
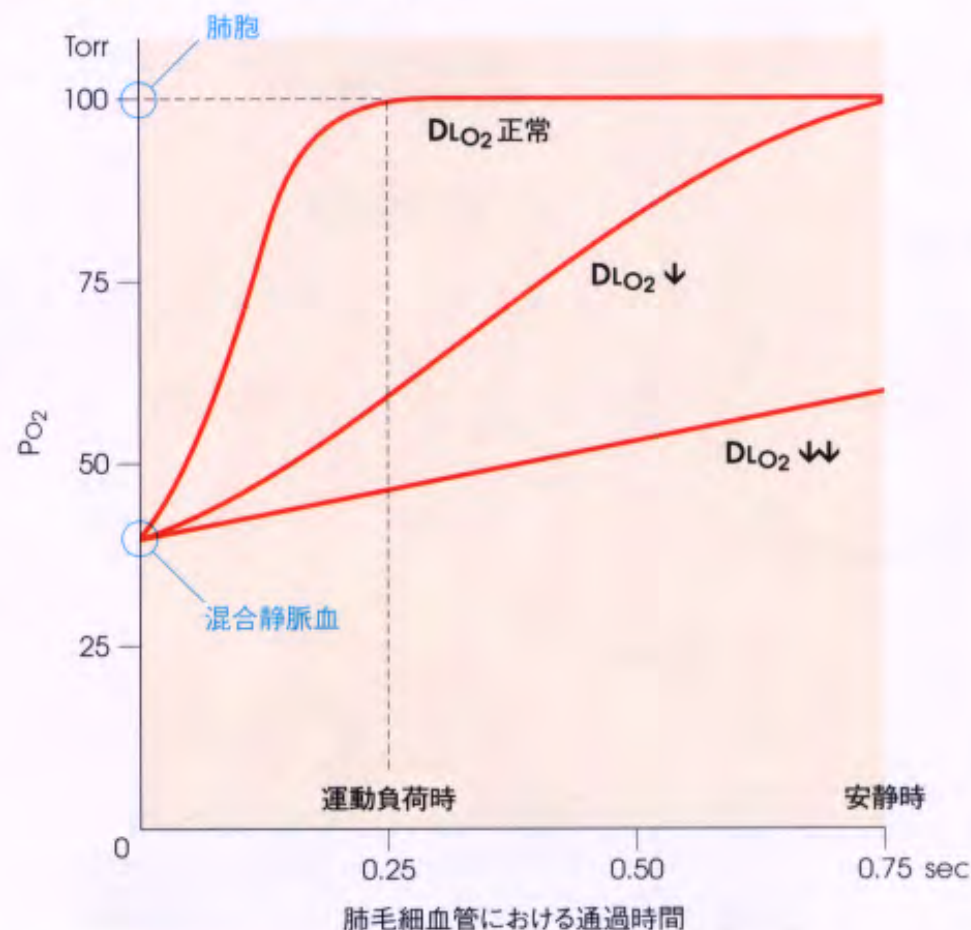


図12 肺における**酸素拡散能** DL_{O_2}



肺拡散能が低下する疾患

肺繊維症では肺の間質が厚くなるため、膜厚 X が厚くなり、肺拡散能が低下する。慢性肺気腫では肺胞が破壊され、拡散面積 A が少なくなるために肺拡散能が低下する。

局所肺気量は肺尖部で大きく、換気は肺底部で多い。

図14 重力の影響

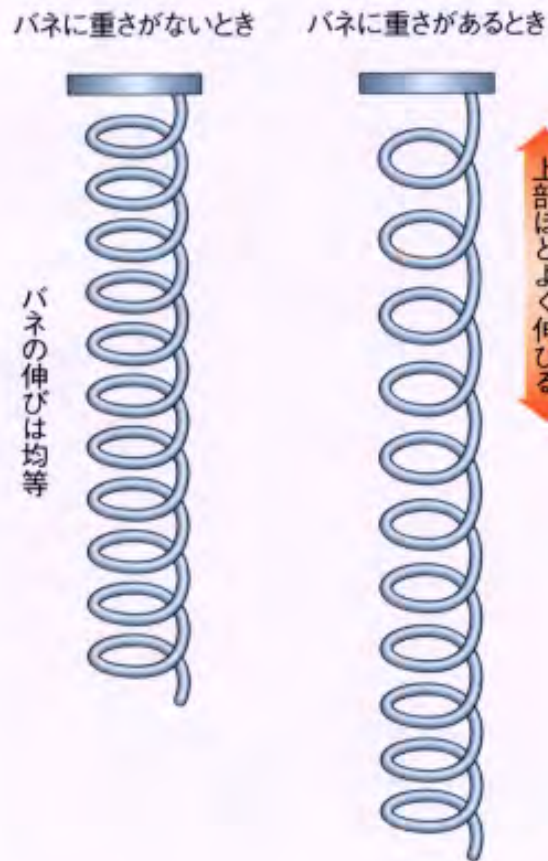
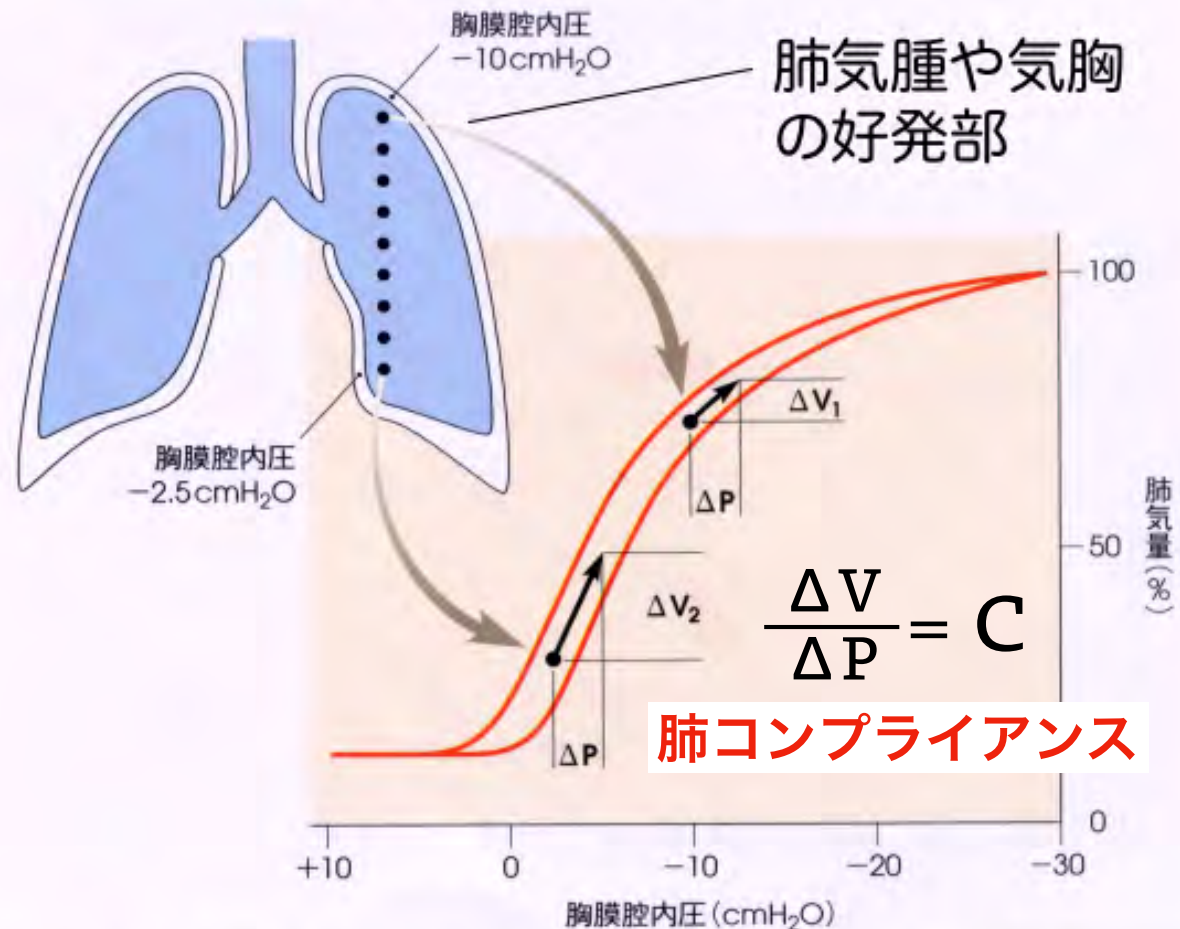


図15 換気量の不均等分布（立位）



換気を行うための胸腔内圧（胸膜腔内の陰圧）の変化の大きさは、肺尖部でも肺底部でも同じであるが、肺尖部よりも肺底部の方が圧－量曲線の傾きが大きいため、肺の換気は、肺尖部で少なく、肺底部で多く、不均等分布が見られる。

局所血流は肺尖部で少なく、肺底部で多い。

重力の影響は肺血管内圧にも及ぶ。

図16 血流量の不均等分布（立位）

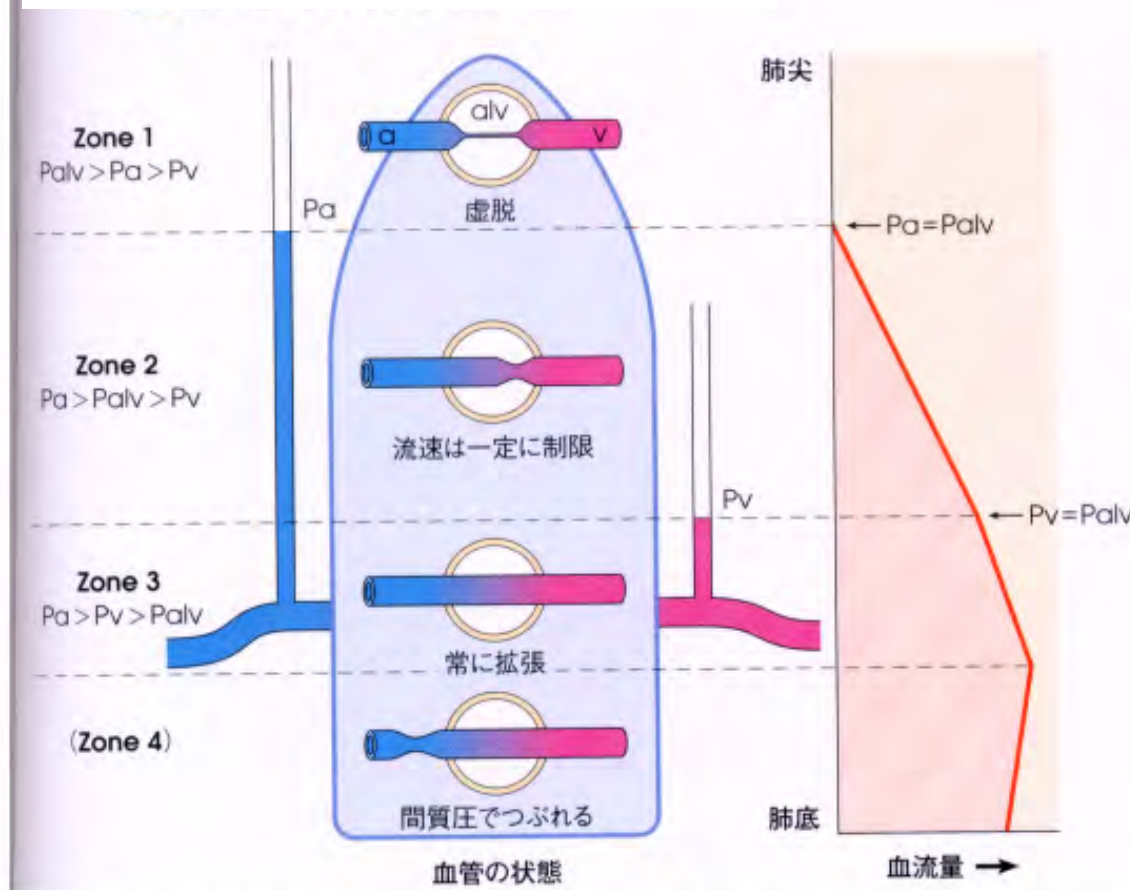
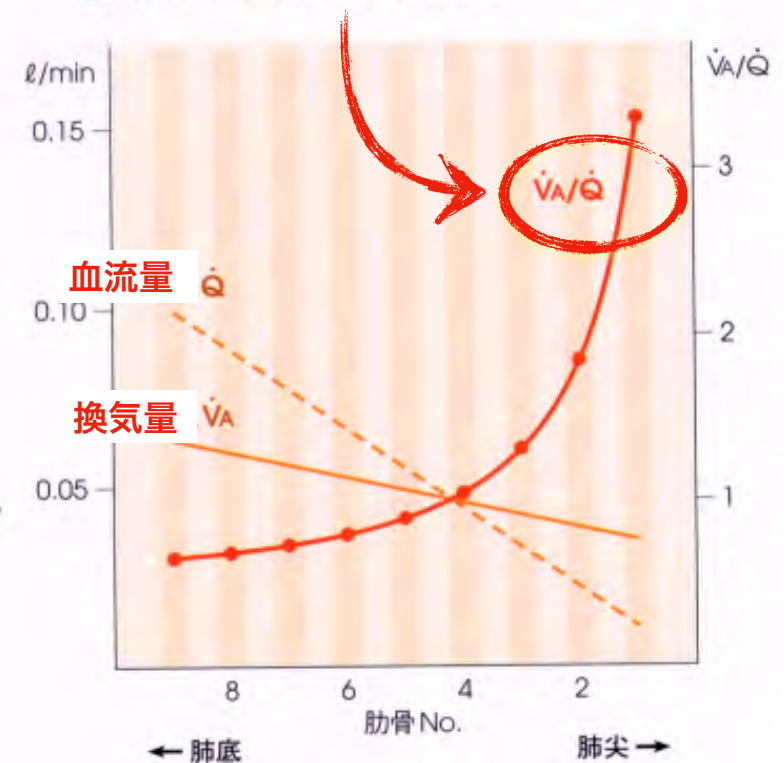


図17 換気・血流比の不均等分布



重力などのために換気・血流比の不均等が生じる。
換気・血流比は肺尖部で大きく、肺底部で小さくなる。

換気・血流比の不均等は、臨床上、最もよく見られる低酸素血症の原因



低酸素血症の原因は、 低換気、拡散障害、シャント、換気・血流比不均等分布

図18 呼吸不全

低酸素血症

の症状：

頭痛

運動能力低下

判断力低下

錯乱

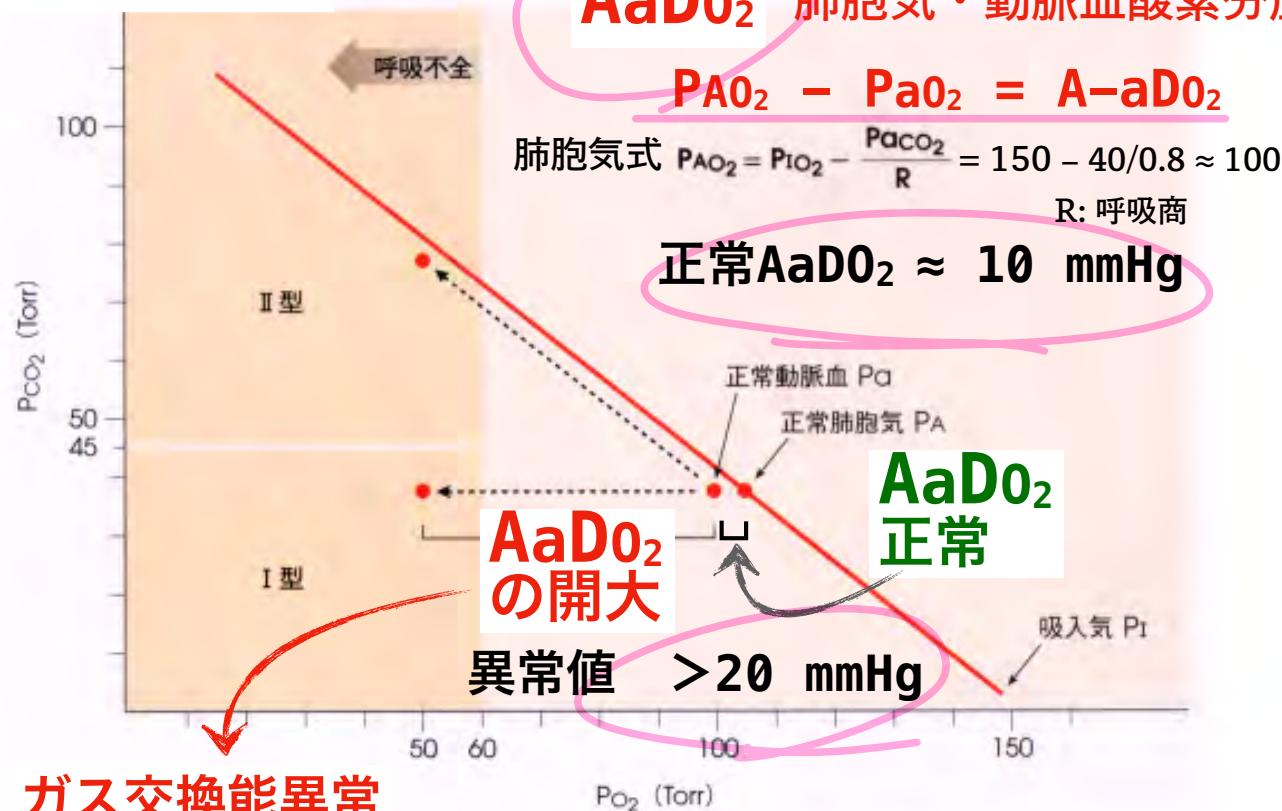
意識消失

血圧低下

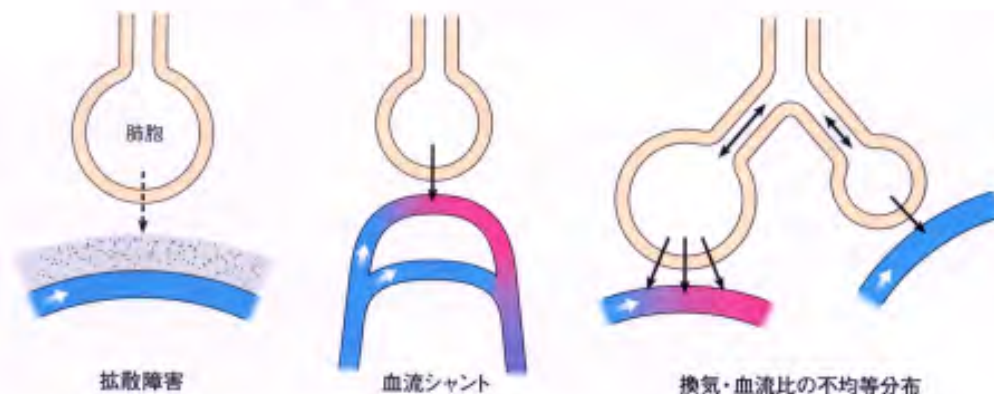
頻脈

呼吸不全：

室内気吸入時の Pa_{O_2} が60Torr以下となる呼吸障害。またはそれに相当する呼吸障害を呈する異常状態



ガス交換能異常
の指標



呼吸不全



呼吸不全病態の分類

