

5 呼吸器系のしくみと働き (151)

1・呼吸の種類

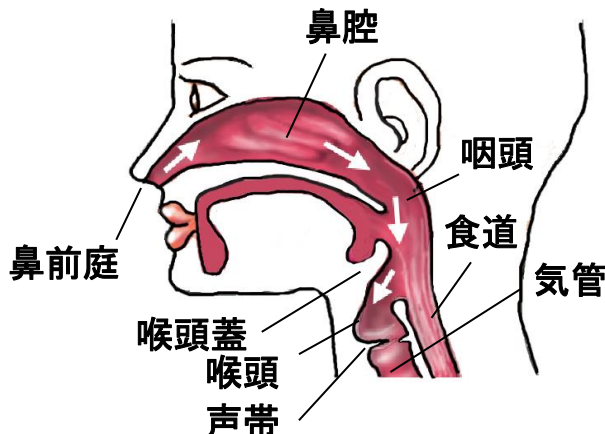
- ・換気とは 呼吸によって空気を入れ替えること。
- ・呼吸とは 外界から酸素を取り入れ、二酸化炭素を排泄して、ガス交換すること。

外呼吸	肺で行われる酸素と二酸化炭素のガス交換である。(空気と血液とのガス交換)
内呼吸	血液によって運ばれた酸素は、細胞が必要とする細胞エネルギー(ATP)を産生するために、ミトコンドリアで利用される。(血液と細胞とのガス交換)

2. 呼吸系と気道の構成 (151 (図))

上気道	鼻腔	鼻中隔で左右に分かれ、空気を暖め、湿気を与える。鼻中隔前下部にあるキーゼルパツハ部位には血管網があり、鼻出血の好発部位である。 ① 嗅部(嗅細胞による嗅覚:嗅神経)、② 呼吸部は線毛上皮により異物排除
	副鼻腔	副鼻腔(鼻腔と連絡)線毛上皮 上顎洞、前頭洞、蝶形骨洞 篩骨洞(p78)
	咽頭	のど・鼻腔と口腔の接点、ワルダイエル咽頭扁桃輪(リンパ小節集団)
	喉頭	喉頭蓋は誤飲防止の蓋、甲状軟骨(声帯ヒダ:発声・ノド仏:喉頭隆起)
下気道	気管	長さ約10cm、直径2cm、第4~5胸椎の高さで、右気管支(角度25度太く短く傾斜が急)と左気管支(角度45度)が分岐する。気管軟骨は馬蹄形の軟骨で管腔の閉鎖を防ぐ役割を持つ。後部は食道に接し、軟骨を欠く(膜性壁)。
	気管支	主気管支 右葉気管支・左葉気管支 ↓ 区域気管支 終末細気管支 (軟骨を欠く) 呼吸細気管支 ガス交換機能
	肺	肺泡管 “ 肺泡囊 “ 肺 胞(肺泡まで気道という)
		気道のはたらき 1・吸気、呼気の通路 2・吸気への加温、加湿 3・気道上皮による異物処理(線毛エスカレーター) 4・有毒ガス・ホコリの吸入防止 5・発声

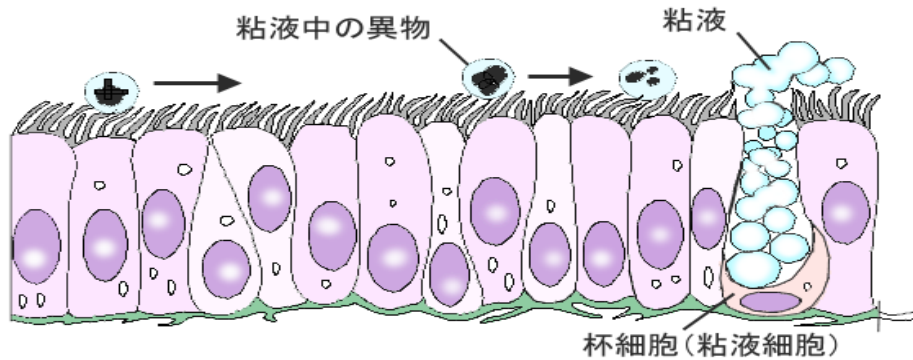
1) 鼻腔と喉頭の構造 152 (図)



気道の粘膜上皮

鼻	鼻前庭 鼻部	重層扁平上皮 多列線毛上皮
咽頭	鼻部	多列線毛上皮
	口部 喉頭部	重層扁平上皮 重層扁平上皮
喉頭	喉頭蓋	重層扁平上皮
	声帯	重層扁平上皮
気管	気管支	多列線毛上皮
肺	肺泡	肺胞上皮

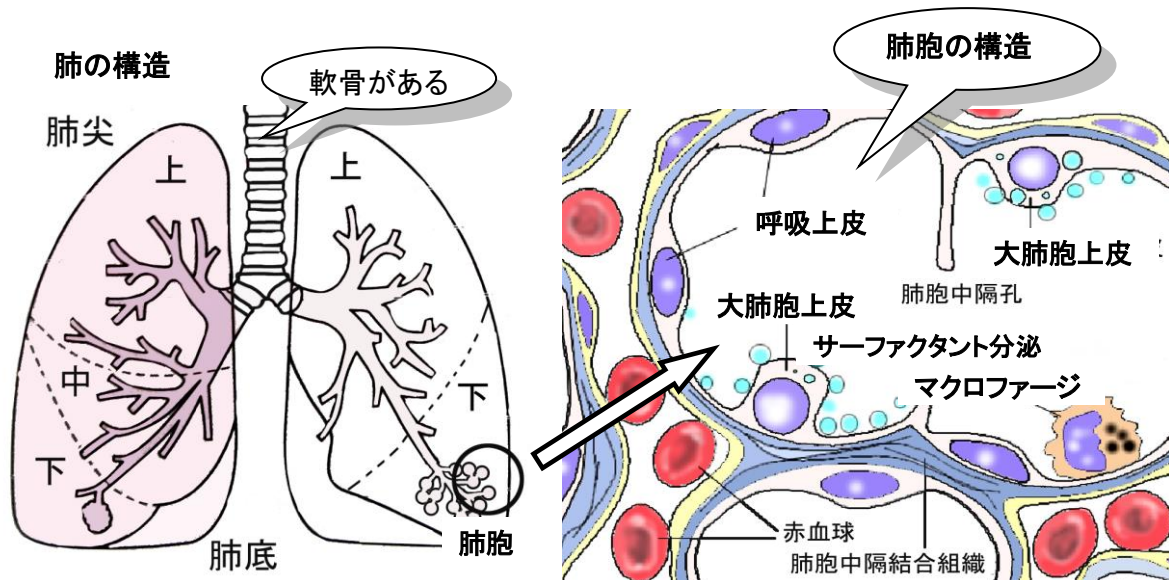
(1) 鼻腔と気管の**線毛上皮**(線毛エスカレーターの異物排出作用)と粘液細胞の働き



3. 肺のしくみ (156 (図))

胸 膜	壁側胸膜(肋膜) 胸腔表面を被う。(単層扁平上皮の中皮細胞からなる漿膜) 臓側胸膜 肺の表面を被う(単層扁平上皮の中皮細胞からなる漿膜)
肺 門	気管支、肺動静脈、気管支動静脈、リンパ管、神経が入り出る。
肺 尖	肺尖部は 鎖骨より2~3cm上方 にある。
肺 底	肺底は横隔膜に接する。
肺の血管	機能血管 肺動脈・肺静脈 (肺動脈の収縮期圧は 25mmHg と低い) 栄養血管 気管支動脈 (胸大動脈から分岐し、圧が高い)
肺 葉	右 3葉 (右の肺のほうが大きい) 水平裂と斜裂 上葉・中葉・下葉 左 2葉 斜裂 上葉・下葉
肺 胞	ガス交換機能 呼吸上皮 (I型上皮: 扁平肺胞上皮) ガス交換作用
	肺サーファクタント* 大肺胞上皮 (II型上皮: 界面活性物質を分泌 *)

*胎生34週で分泌が完成され、これ以前の未熟児出生では分泌障害で呼吸窮迫症候群(肺胞拡張不全)を起こす。90%のリン脂質と10%のタンパク質によって構成されている。

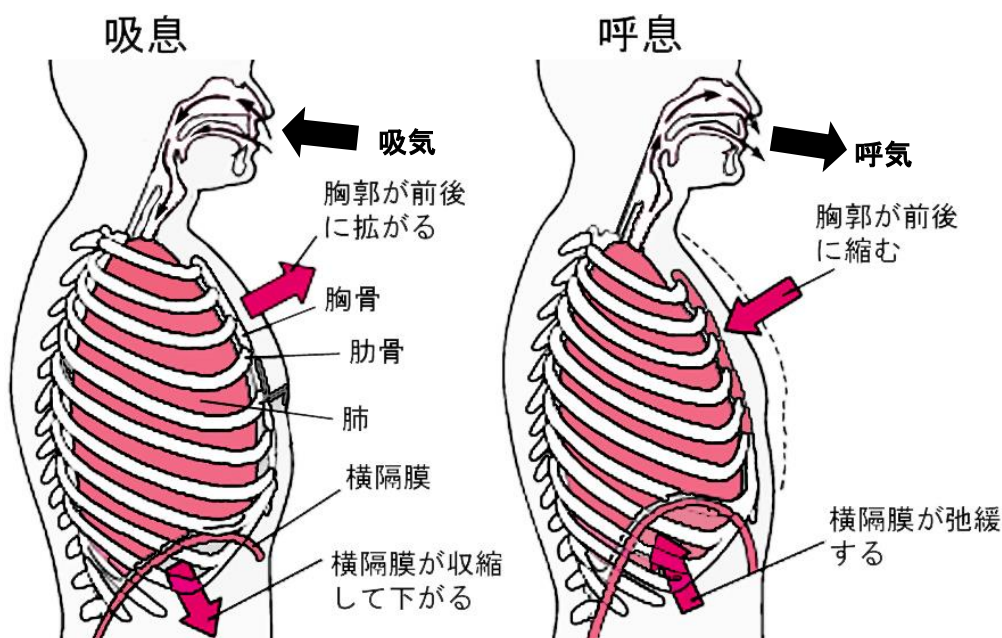


4. 呼吸運動 (159)

1) 胸郭(胸腔)の構成

胸骨	胸骨柄、胸骨体、剣状突起
肋骨	1~12(真肋1~7、仮肋8~10)
肋間筋	内肋間筋、外肋間筋は骨格筋で随意筋
胸椎	脊柱の1~12
横隔膜	胸腔と腹腔を隔てる骨格筋の膜で随意筋(呼吸の主要な筋)

2) 横隔膜と肋間筋の運動(160 (図))



3) 呼吸筋 (横隔膜と肋間筋)

吸気	横隔膜と外肋間筋の収縮	横隔膜の収縮(下がる)と、外肋間筋の収縮で胸郭を前後に広げ、肺が膨らんで吸気となる。
呼気	・横隔膜と外肋間筋の弛緩	・横隔膜を元に戻し、胸郭を狭める
	・肺の弾性収縮力	・安静時呼気は肺の弾性収縮力で縮まる。
	・内肋間筋の収縮	・激しい運動時に使用する。普段は使われない

4) 胸腔内圧の変化

吸気時の内圧	胸腔は拡大すると陰圧はさらに強くなる。	-5~10cmH2O
呼気時の内圧	呼息でも胸腔は陰圧である。*	-2~4cmH2O

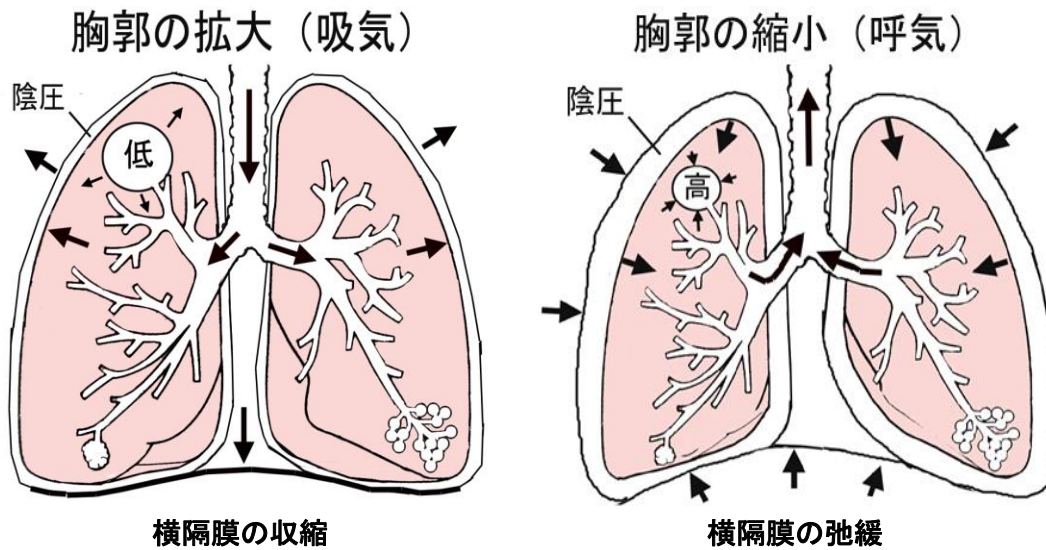
注意: 胸腔内には気体は存在しない。

胸腔内圧 \longrightarrow 吸息でも呼息でも大気圧より常に陰圧である。

*努力呼吸や激しい運動時では陽圧となる。

5) 吸息と呼息の肺胞内圧 (160 (図))

吸気	大気圧 > 肺胞内圧 (-1cmH2O)	肺が膨らんで肺胞内圧が陰圧となり吸気となる。
呼気	大気圧 < 肺胞内圧 (+1cmH2O)	肺が収縮して肺胞内圧が陽圧となり呼気となる。



6) 肺には筋肉がないので、自立的な呼吸運動はできない。

肺の呼吸運動 → 自ら収縮できるが、自ら肺を膨らませることができない

肺の弾性収縮力

7) 呼吸方法

胸式呼吸	肋間筋による胸郭の変動	女子に多い
腹式呼吸	横隔膜の上下運動(胸腔容積を大きくできる)	男性・新生児多い

5. 呼吸運動の神経性調節

1) 呼吸中枢

呼吸中枢	延髄 (吸息中枢と呼息中枢)、橋(呼吸のリズム中枢)		
呼吸神経	横隔神経	横隔膜の収縮と弛緩	頸髄 C3~C5 から出る
	肋間神経	肋間筋の収縮と弛緩	胸髄 Th1~11 から出る

2) 自律神経による調節

交感神経	気管平滑筋を弛緩 (β_2 刺激薬)	換気促進
副交感神経	気管平滑筋収縮(気管支喘息発作は夜間に多い)、粘液分泌	換気低下

3) 化学的呼吸調節 (CO_2 の増加や pH の低下を感知して換気を調節するシステム)

中枢性化学受容器	延髄(主要な受容器)	CO_2 増加 (pH 低下) を感知
末梢性化学受容器	頸動脈小体(舌咽神経) 大動脈小体(迷走神経)	延髄へ O_2 低下 酸素分圧 (PaO_2) の刺激は弱い

(1) 換気を促進させる要因

- ① CO₂ 増加 → 最も強い呼吸刺激
- ② pH 低下(アシドーシス)
- ③ 体温上昇(発熱)
- ④ 代謝促進(運動)
- ⑤ 低酸素(酸素飽和度の低下)

(2) 換気を抑制させる要因

- ① 高酸素
- ② CO₂ 低下
- ③ pH 上昇(アルカローシス)
- ④ 体温低下
- ⑤ 代謝低下

CO₂ナルコーシス(昏睡): 高 CO₂血症による呼吸麻痺(呼吸中枢の感受性の低下)の状態、呼吸刺激は**低酸素**である。高濃度酸素吸入を行うと酸素分圧が上昇し、呼吸が停止する。

4) 呼吸性酸塩基障害

(1) 呼吸を原因としたアシドーシス

- 呼吸性アシドーシス(pH 7.35以下)
- ・CO₂貯留、捨てられない!
- ・低換気、慢性閉塞性肺疾患
- ・PaCO₂: 45mmHg 以上 (正常 35~45)

(2) 呼吸を原因としたアルカローシス

- 呼吸性アルカローシス(pH 7.45以上)
- ・CO₂捨て過ぎ!
- ・過換気
- ・PaCO₂: 35mmHg 以下

6. 呼吸の随意的調節と反射的調節

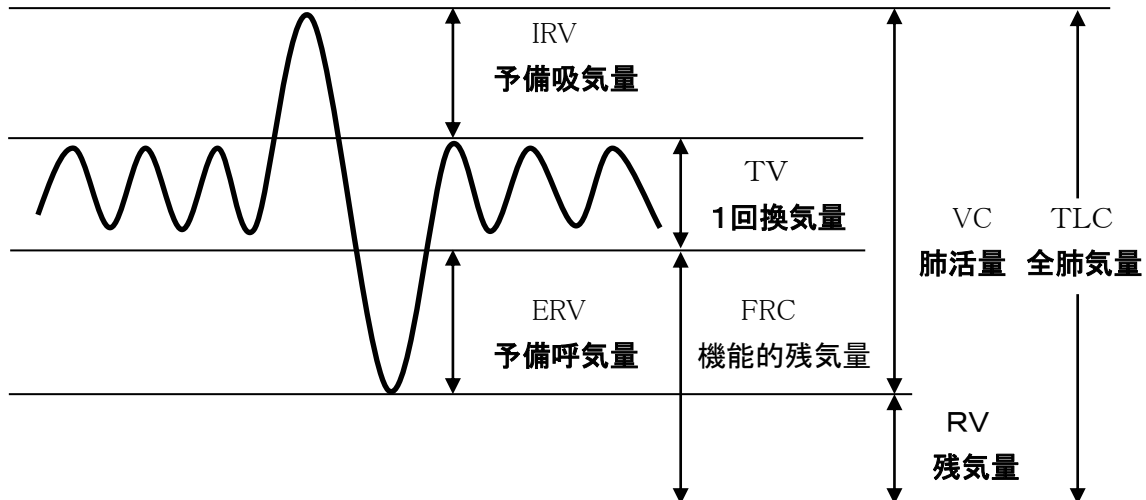
1) 随意的な調節

随意的呼吸停止	意識的に呼吸の停止(横隔膜、肋間筋は随意筋)ができる(息こらえ)が、その時間は PaCO ₂ の上昇によって制限される。
----------------	---

2) 反射性調節 大脳半球中枢刺激→延髄の呼吸中枢へ

呼吸の不整変化	感情 ・おどろき ・心配 ・シャククリ(横隔膜の急激な収縮)
皮膚知覚	温度上昇(呼吸促進)、冷水を浴びる(呼吸の一時的停止)
気道粘膜の異物	咳(気管) ・ くしゃみ(上気道:鼻粘膜) 自然免疫の異物排除作用

7. 肺気量と肺活量の測定 検査法:スパイロメトリー法 (162)

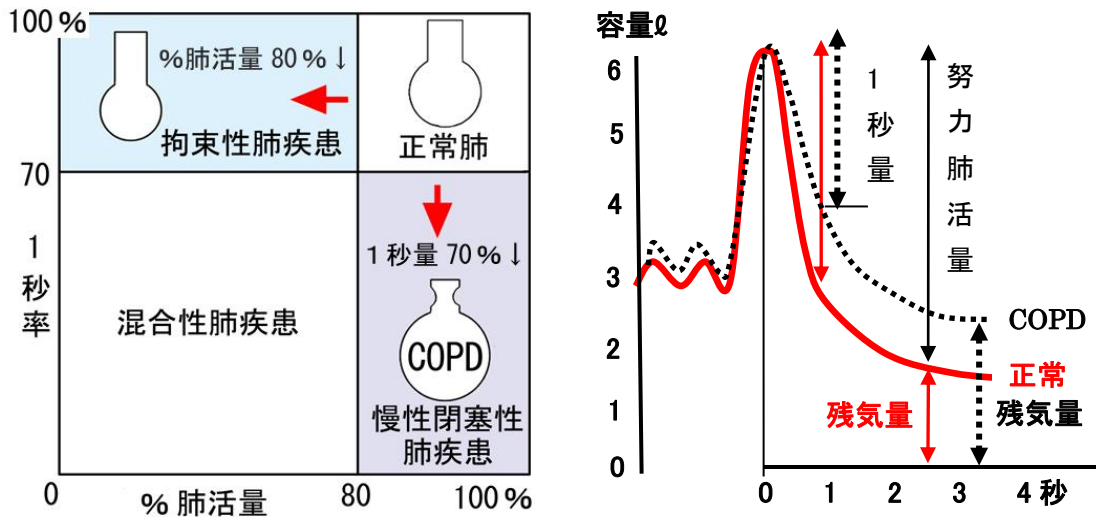


1) 肺気量分画(162)

1回換気量	0.5ℓ	平常の呼吸における1回の呼気量(運動時は7~10倍)
予備吸気量	2.0ℓ	普通の吸気終末から更に吸気できる最大の吸気量
肺活量	3.5ℓ	最大吸気位から最大呼気量位までの気量
予備呼気量	1.0ℓ	普通の呼気終末から更に呼気出来る最大の呼気量
残気量	1.5ℓ	最大呼気してもなお肺や細気管支などに残るガス量
機能的残気量	2.5ℓ	平常の呼気終末で肺に残るガス量
全肺気量	5.0ℓ	最大吸気して肺のなかにある総ガス量 (肺活量+残気量)
肺活量とは	①1回換気量+予備吸気量+予備呼気量 = 3.5ℓ (♂4.0ℓ、♀3.0ℓ) ②全肺気量(5.0ℓ) - 残気量(1.5ℓ) = 3.5ℓ	

2) 努力肺活量と1秒量、1秒率(162)

肺活量	胸いっぱいに取り込みゆっくりと、全てをはき出した気量
努力肺活量	胸いっぱいに取り込み最大限に一気に、全てをはき出した気量
%肺活量	年齢、性別から算出された予測肺活量(基準値)に対する実測肺活量の%
1秒量	努力肺活量のうちの最初の1秒間で呼息できた気量
1秒率	努力肺活量に対する1秒量の割合%

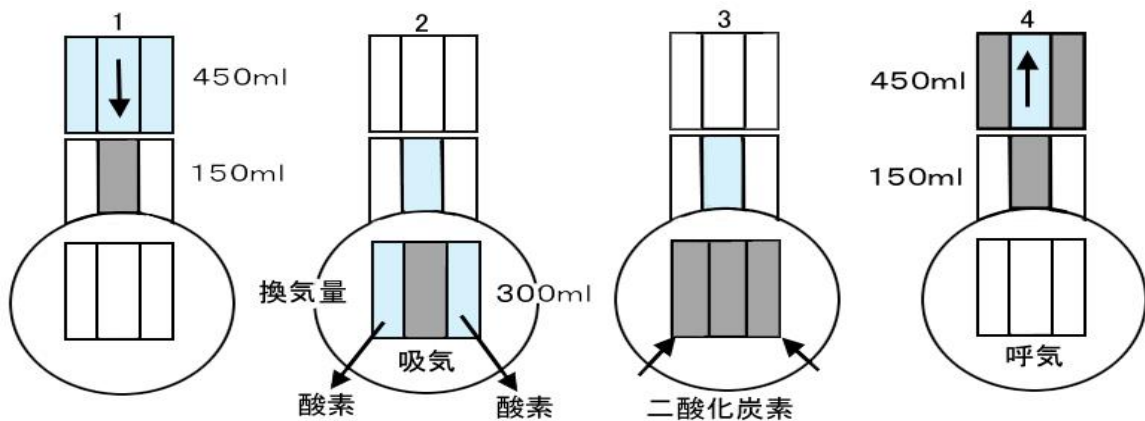


	慢性閉塞性肺疾患(COPD)	拘束性肺疾患
疾患の種類	肺気腫、慢性気管支炎、(喘息)	間質性肺炎、肺線維症、癒着
原因	気道の閉塞、肺胞の破壊	肺の硬化(結合組織増加)
%肺活量	正常	低下(80%以下)
1秒率	著しい低下(70%以下)	ほぼ正常
安静時吸気	吸気は正常	吸息が困難(全肺気量低下)
安静時呼気	呼息が困難(残気量増加)	呼息は正常

3) 呼吸数と換気量 (161)

呼吸数	成人 16-20回/分 新生児 40-60回/分 乳児 30-50回/分	吸気1秒-呼気1秒-休憩2秒で約4秒のサイクルを繰り返す。
1回換気量	一回の呼吸で出入りする空気量(1回換気量) 450ml~500ml	
毎分換気量	1回換気量450ml×呼吸数20回=9000ml	
死腔	1本の管を利用するとガスが往復し吸ったガスの一部はガス交換に関わることなく吐き出される。この ガス交換に関与しない気道スペース を死腔と呼ぶ。気道内に残るガスの量は150mlとされる。 死腔量150ml×呼吸数20回=3000ml 実際の毎分換気量9000ml-死腔量3000ml=6000ml	
肺胞換気量	300ml×20回/分=6000ml(有効ガス交換量)	

4) 1回換気量と死腔



- a. 1回換気量**450ml**は気道上の死腔量によって450mlの全てが肺胞に入るわけではない。
- b. 吸気によって肺胞内に入り、ガス交換に関与する気量は死腔量を差し引いた**300ml**である
- c. 吸気中の酸素は肺胞から血中に拡散する。(肺胞換気量=1回換気量-死腔気量)
- d. 血中から炭酸ガスが肺胞中に拡散移動する。
- e. 呼気は肺胞中のガスを押し出すが死腔内に残ってしまう。呼気中には炭酸ガスが多い。

8. ガス交換のしくみ

1) 空気の組成と圧力 (水銀柱の高さ mmHg=Torr:トリチェリ/イタリア人)

空気の組成	窒素79% 酸素21% 二酸化炭素 0.04%
空気の圧力は	760mmHg(密閉した細い試験管に水銀を入れて計測):1 気圧
酸素の圧力は	760×0.21/100=約 159mmHg
窒素の圧力は	760×0.79/100=約600mmHg 合計 760mmHg(1 気圧)
二酸化炭素の圧力	760×0.04=約 0.3mmHg

2) 肺胞内のガス交換

肺胞内 37 度 100%水蒸気圧 = 47mmHg (約 50mmHg)
 (100%の酸素を吸っても肺胞内に水蒸気圧47mmHgがあるため100%とはならない)
肺胞内酸素分圧(約 100mmHg*) = 159mmHg - 50mmHg

3) 吸気と呼気ガス分圧 mmHg

	吸気(気道内)	肺胞気	呼気	肺胞より呼気の方が酸素が多い。
酸素	159mmHg	100mmHg	116mmHg	
二酸化炭素	0.3mmHg	40mmHg	32mmHg	

呼気は肺胞気より気道内空気の混合のために酸素は高く、二酸化炭素は低くなる。

4) 酸素分圧の高さの順位 (mmHg)

①吸気 159 ②呼気 116 ③肺胞 100 ④動脈血 95 ⑤静脈血 40

5) 血液ガス分圧(動脈血で実測できるのは PaO₂・PaCO₂・pH の3つ)

ガス分圧	動脈血(基準値)	静脈血
動脈血酸素分圧 PaO ₂	95mmHg (80~100)	40mmHg
動脈血酸素飽和度 SaO ₂	98% (95% 以上)	75%
二酸化炭素分圧 PaCO ₂ (呼吸因子)	40mmHg (35~45)	45mmHg
重炭酸イオン HCO ₃ ⁻ (代謝因子)	24mEq/l (22~26)	26mEq/l
pH [HCO ₃ ⁻]/[PaCO ₂]	7.4 (7.35~7.45)	≒7.37

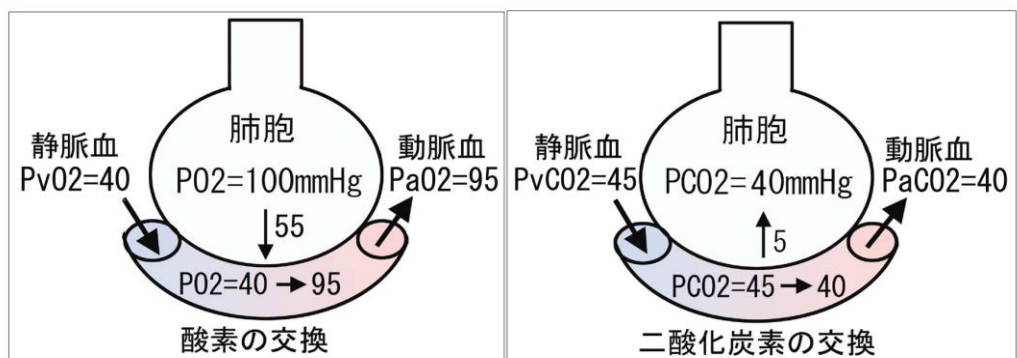
7) 酸素吸入の適応

酸素吸入の適応となる動脈血酸素分圧 60~70mmHg か SaO₂ 90%以下

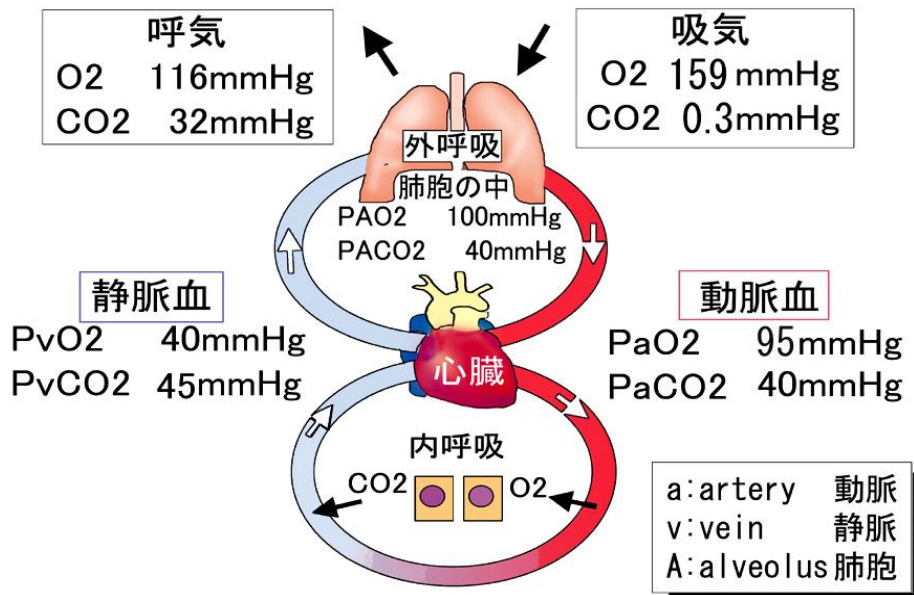
6) 血液ガスの異常

PaO ₂ の低下	肺胞の拡散障害	PaO ₂ 60mmHg 以下	} 呼吸不全
PaCO ₂ の上昇	換気障害	PaCO ₂ 45mmHg 以上	

8) 呼吸のガス交換は圧勾配の 拡散 によって行われる。



9) 血液ガス分圧(164)



9. 血液中のガスの運搬(164)

1) 酸素の運搬

血漿への溶解	0.3%
Hb との結合	20.7ml/血液100ml中 (飽和度98%/酸素分圧100mmHgの時)

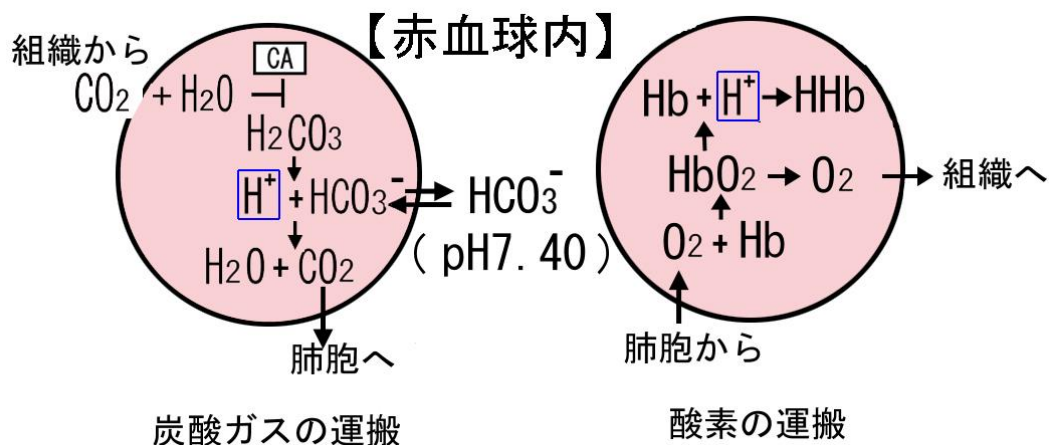
酸素解離を促進する要因(酸素解離曲線は右方移動する)

酸素解離の促進要因 ① PaCO₂上昇、② pHの低下、③ PaO₂低下、④ 体温の上昇

2) 炭酸ガス(二酸化炭素)の運搬

炭酸ガスは3つの方法で運ばれる

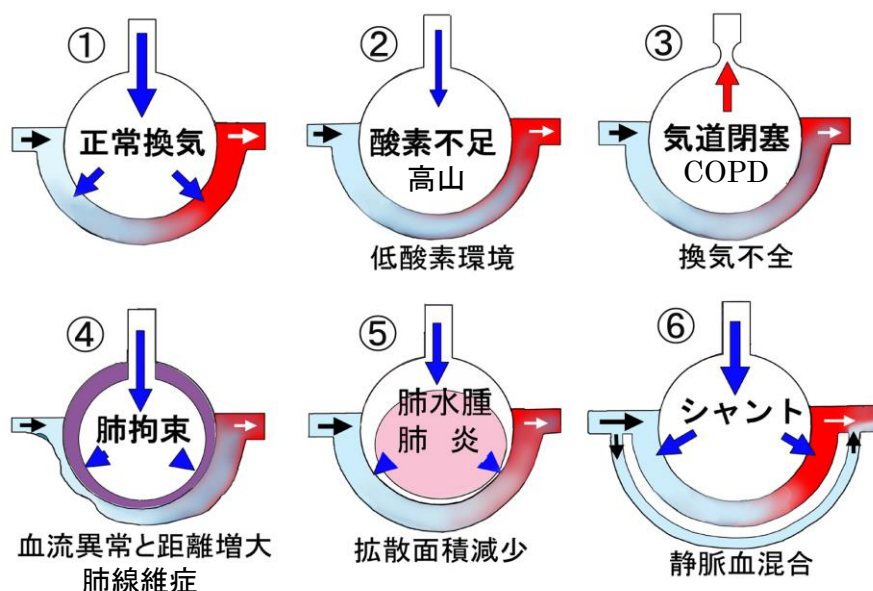
1) 重炭酸イオン	70%	血液中 CO ₂ の多くは重炭酸イオン HCO ₃ ⁻ として運搬
2) カルバミノ化合物	20%	二酸化炭素と結合したヘモグロビン
3) 炭酸ガス	10%	一部が血漿に溶解



血液ガスの運搬

酸素の運搬	酸素は脱酸素化 Hbと結合して赤血球内で HbO ₂ となる。HbO ₂ の O ₂ は末梢組織で放出され、残った Hb は H ⁺ と結合して緩衝する。
二酸化炭素の運搬	CO ₂ は組織液から赤血球に入り、炭酸脱水酵素 (CA) の作用で炭酸 H ₂ CO ₃ となる。さらに H ⁺ と HCO ₃ ⁻ となり、HCO ₃ ⁻ は赤血球内で飽和すると血漿中に出る。肺に運ばれて H ₂ O と CO ₂ となって排出される。

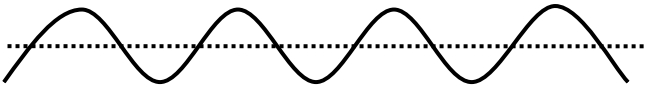
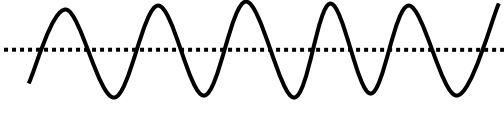
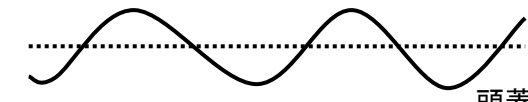
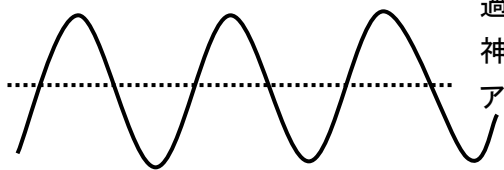
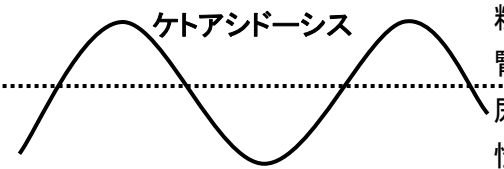
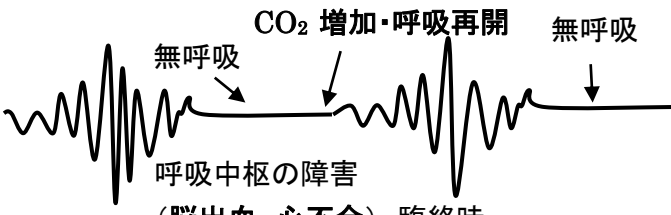
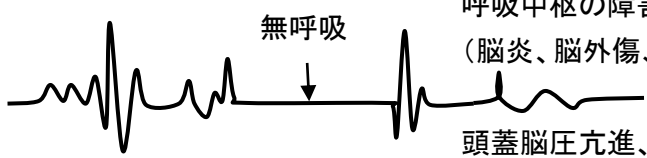
10. 酸素が不足する原因(換気血流比不均等)



①正常換気	肺胞のガス拡散と血流が正常で静脈血は酸素化されて動脈血となる
②酸素不足	低酸素により静脈血が完全に酸素化されない。
③気道閉塞	気道の閉塞(粘液など)により低換気となる。
④肺胞壁肥厚	肺胞と毛細血管との距離が増大し、拡散障害を起こし、酸素化されない
⑤拡散面積減少	肺水腫、肺炎などの浸出物のために拡散面積が減少
⑥短絡路	酸素化されない静脈血との混合で動脈血酸素分圧が低下

呼吸	病的呼吸	呼吸
頻呼吸	深さが変わらず呼吸数が増加(25回以上/分)	肺炎、発熱
徐呼吸	深さが変わらず呼吸数が減少(12回以下/分)	睡眠・麻酔
多呼吸	深さ増加、呼吸数増加	高熱
過呼吸 (過換気症候群)	呼吸数正常、深さが増加 、1回換気量が増える。 CO₂の過剰排泄(呼吸性アルカローシスを起こす) 過呼吸・運動後の呼吸など、過換気……精神性不安	過換気症候群 神経症
無呼吸	安静時で呼吸が一時的に停止 睡眠時無呼吸症候群	

病的呼吸 (呼吸数、深さ、リズムの異常)

<p>正常呼吸 呼吸数 12~16 回/分</p>	
<p>頻呼吸 呼吸数 25 回以上/分 深さ 正常</p>	 <p>肺炎、発熱</p>
<p>徐呼吸 呼吸数 12 回以下/分 深さ 正常</p>	 <p>頭蓋内圧亢進 糖尿病、睡眠薬、</p>
<p>過呼吸(過換気) 重要 呼吸数 正常 深さ 増加(深呼吸状態)</p>	 <p>過換気症候群 神経症、代謝性 アシドーシス</p>
<p>クスマウル呼吸 重要 呼吸数 減少、規則的呼吸 深さ 増加</p>	 <p>ケトアシドーシス 糖尿病昏睡 腎臓の代償 尿毒症、代謝 性アシドーシス</p>
<p>チェーンストーク呼吸 重要 呼吸数 無呼吸を入れる が規則的呼吸 深さ 徐々に深く、浅く</p>	 <p>呼吸中枢の障害 (脳出血、心不全) 臨終時</p>
<p>ビオー呼吸 重要 呼吸数 無呼吸を入れた 不規則なあえぎ呼吸 深さ 不安定</p>	 <p>呼吸中枢の障害 (脳炎、脳外傷、 頭蓋脳圧亢進、</p>