

Inspiration

for your safe and skilful use of
artificial ventilators based on deeper understanding.

臨床MEインフォメーション

No.1

コメディカルのための 人工呼吸器

人工呼吸器は集中治療領域ではなくてはならない治療機器の一つとなっている。しかるに「難しい」とか「わからない」といったイメージを持たれているコメディカルの方が多い。人工呼吸器の正確な理解を得る早道は呼吸生理の基礎をしっかりとご理解頂くことにある。その意味で、本誌では専門医の諸先生に「呼吸生理の基礎」について詳細に解説頂いた。また、ITを活用した安全点検システム (MARIS™) についても論評頂いている。コメディカル向けの呼吸器専門誌「inspiration」の発刊に当たっての記念特集としたい。

人工呼吸器入門



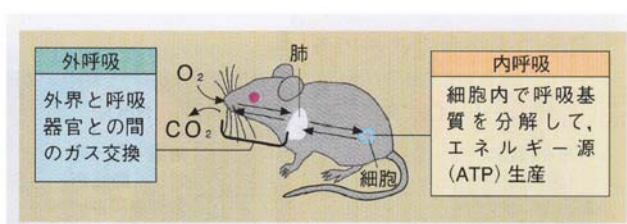
九州大学医学部附属病院救急・集中治療部 助教授 財津 昭憲

1 呼吸¹⁾

呼吸には内呼吸と外呼吸とがある¹⁾〈図1〉。外呼吸は外界から酸素 (O₂) を体内に取り入れ、体内から二酸化炭素 (CO₂) を外界に出すガス交換のことである。しかし、呼吸の本質は外呼吸にあるのではなく、内呼吸と呼ばれる細胞内で呼吸基質 (有機物) を分解して化学エネルギーをATPの形のエネルギー源

として蓄積する異化反応にある〈図2〉¹⁾。生体はこのATPを利用して生命活動を行っている。酸素は化学活性が強く、嫌気的なヒト細胞にとっては有害であるが、好気的なミトコンドリアを巧妙に利用して19倍ものATP産生に成功している〈図2〉。多細胞生物である我々の個々の細胞で酸素を効率良く利用するために作りあげた器官が呼吸器系であり、血液循環器系である。

外界と体内とで酸素と二酸化炭素とのガス交換をする外呼吸の場が肺胞で、実際にエネルギーを創り出す内呼吸の場は個々の細胞である。その両者を効率良く結ぶものが循環である。循環には、1) 肺と全身の組織毛細血管を血液で素早く大量輸送で繋ぐ閉鎖循環系と、2) 局所毛細血管から個々の細胞までリンパ液で運搬する開放血管系がある〈図3〉。呼吸管理は外呼吸から循環と内呼吸まで含めたもので



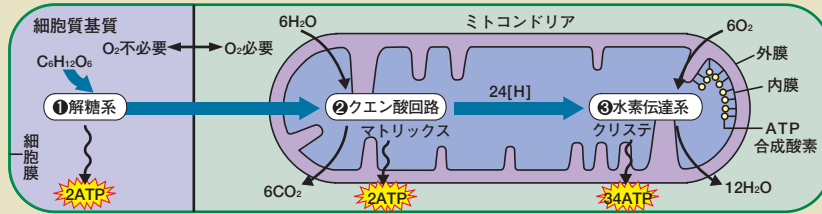
〈図1〉 内呼吸と外呼吸¹⁾

6 呼吸の3つの反応系—解糖系, クエン酸回路, 水素伝達系

呼吸基質を分解しエネルギーをとり出す際に酸素を用いる場合を、好気呼吸とよぶ。酸素を用いない嫌気呼吸に比べ、エネルギー効率(ATP合成能力)が非常に高い(約19倍)。

グルコースを呼吸基質としたときの反応

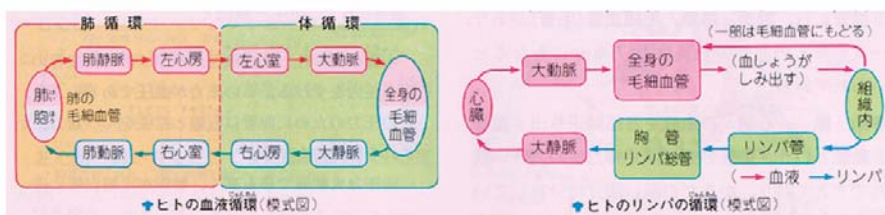
反応式	$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 12H_2O + 688kcal$
グルコース	二酸化炭素
1モル (180g)	6モル (146.7g) ¹⁾
モル数	6モル
38モルのATP合成 ²⁾	
関係する反応系	解糖系 クエン酸回路 水素伝達系 クエン酸回路 水素伝達系



- ◎O₂がなくても解糖系は進行する=嫌気呼吸
- ◎O₂がないとミトコンドリア内の反応系は進行しない=好気呼吸
- ◎CO₂はクエン酸回路で発生する。
- ◎O₂は呼吸の最後の反応系(水素伝達系)で使われる。
- ◎グルコース1モル(180g)が完全に酸化されると38モルのATPが合成される。

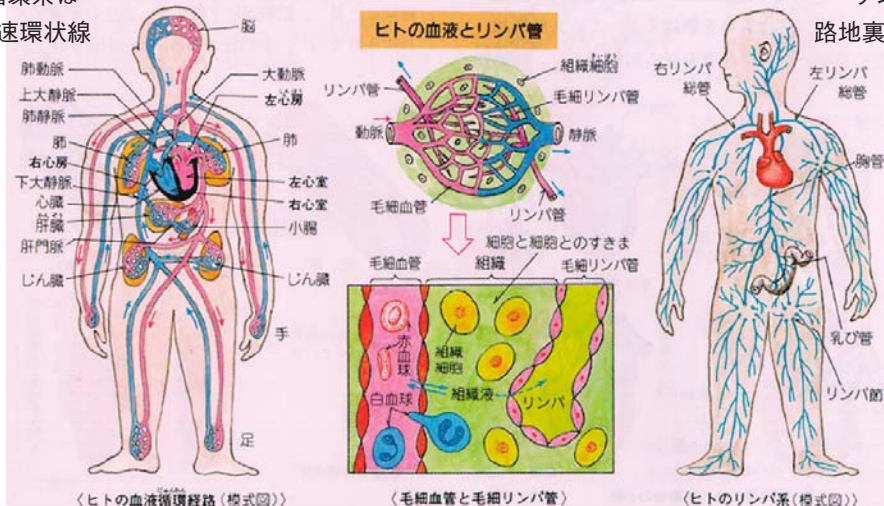
①) 酸素の体積は25℃, 1気圧の状態(気体の体積は絶対温度に比例)で示す(0℃, 1気圧で気体1モルは22.4L)。⇒巻末資料p.220 ②) 1モルのATPをADPから合成するのに必要なエネルギーは約7.3kcal。

〈図2〉細胞における内呼吸¹⁾



閉鎖循環系は
都市高速環状線

リンパ管系は
路地裏生活一般道路



〈図3〉ヒトの体液循環(閉鎖血管系とリンパ管系)

あるが、人工呼吸器は外呼吸のそのまたごく一部分を担うものである。

2 呼吸器の構造^{2, 3, 4)}

外呼吸を行う器官が呼吸器である。ヒトは肺呼吸を行っている。肺は縮むだけで膨らむ力を持っていない。肺を膨らます力は胸郭と呼吸筋により生み出される胸腔内圧の陰圧である。ヒトの呼吸器は胸郭、気管気管支樹と肺、胸膜、呼吸筋から形成される。

1) 胸郭・胸膜・胸膜腔²⁾ 〈図4〉

胸郭は胸椎、肋骨、胸骨が連結して作る籠状の骨

格である。この内側を胸腔と呼ぶ。胸郭の上部入り口は第1胸椎、第1肋骨、胸骨柄で囲まれた胸郭上口²⁾で、下部は横隔膜により腹腔から境される。

肺は胸腔内に存在し、心臓を挟む左右の胸腔を満たす大きな器官で、胸郭上口から気管気管支樹で吊り下げられている〈図4〉。肺の表面は胸膜で包まれ、肺門部で反転し胸腔の内腔を裏打ちする臓側胸膜となり、完全密封された袋状となっている。この両胸膜の間の僅かな隙間を胸膜腔と呼んでいる。胸腔内圧とはこの胸膜腔内の圧力のことである。

2) 気道: 上気道と下気道(気管気管支樹)

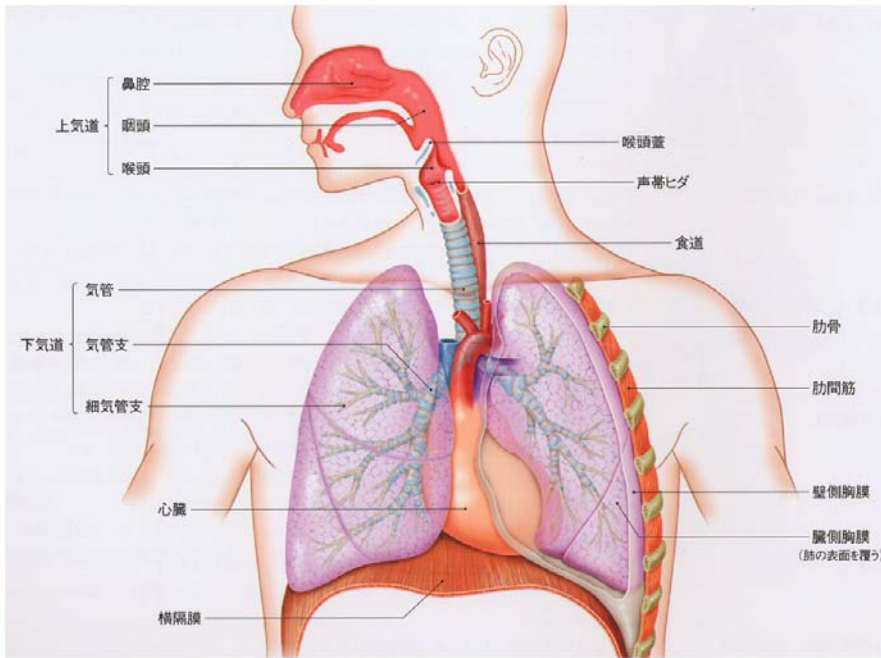
ガス交換を行う場である肺胞と外界を結ぶガスの

3) 末梢気道と肺実質^{3, 4)}

〈図5~9〉

末梢気道はその形態から細気管支、終末細気管支、肺胞管、肺胞囊、肺胞に分類される〈図5, 6〉。小気管支に続く細気管支は一層の立方線毛上皮細胞に内腔全面を被われ、気道壁には軟骨は無く、肺胞底が気道壁を取り巻いている〈図7〉。細気管支は肺実質内で幾度も二分岐して終末細気管支に到達する。終末細気管支は気道壁の一部に肺胞を持った呼吸細気管支を分岐する。肺細動脈は気管支樹の分岐と全く同じに

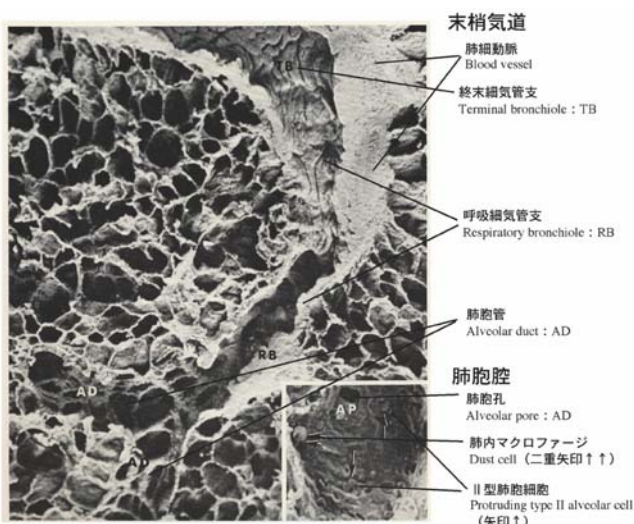
分岐して終末細気管支まで併走する。呼吸細気管支は気道壁内面を無線毛立方上皮細胞で被われており、気道壁の平滑筋束の一部が疎となり輪走筋と縦走筋との隙間にドーム状に気道上皮が落ち込んだ肺胞腔の窪みが形成され、外側に丸く突出する。末梢に行くほど窪みは深くなり、それにつれて無線毛立方上皮細胞は扁平化しI型肺胞上皮細胞になる。呼吸細気管支が分岐するにつれて肺胞の数が増し、立方上



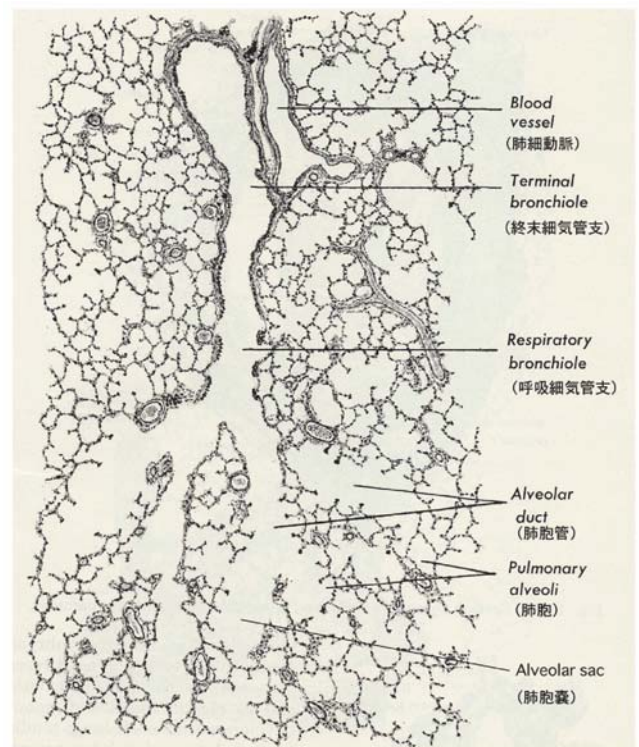
〈図4〉 ヒトの呼吸器系の基本構造²⁾

通り道が気道である。気道は声帯の上部か下部かで上気道、下気道に大別される。上気道は声帯より上部の鼻腔、咽頭腔、喉頭腔で形成される〈図4〉。

下気道は気管気管支樹と呼ばれる樹状構造をしており、形態学的に肺実質の外にある中枢気道と肺実質の内に埋もれている末梢気道に分けられる。中枢気道は肺実質外に存在するため気道を支持する軟骨を気道壁内に有し、気道の内面は多列線毛上皮で被われている。中枢気道は気管、主気管支、葉気管支、区域気管支、亜区域気管支から小気管支へと二分岐を繰り返し樹枝状を呈し、小気管支はさらに数次の分岐を繰り返して末梢に行くほど軟骨は部分的になり、多列線毛上皮の高さは低くなる。肺実質に到達して細気管支を分岐して終わる。



〈図5〉 ヒト肺の末梢気道の立体微細構造³⁾



〈図6〉 ヒト肺の末梢気道の縦断面図³⁾

皮が被っている平滑筋束は細くなり、やがて肺胞管を分岐する〈図5, 6, 7〉。肺胞管は気道壁全面に肺胞が開口し、気道壁は輪走筋と縦走筋との網目だけになり、扁平上皮に被われる〈図5~8〉。その肺胞管も数度分岐して終端が丸く膨らんでその壁に肺胞が開口している肺胞嚢で終わる。肺胞の入り口にはすべて平滑筋が存在する。

末梢気道壁には平滑筋束だけで気道を支持する気道軟骨はない。末梢気道の開存は肺実質の肺胞張力と臓側胸膜との距離、すなわち、肺容量が決め手になる。肺容量が大きくなると末梢気道は開き、小さくなると末梢気道が閉じる。また、肺気腫で肺胞張力が弱くなると末梢気道は閉塞する。

肺動脈は終末細気管支まで気道と全く同じ分岐を繰り返しながら併走し、呼吸細気管支レベル以下の肺胞上皮に接して毛細血管網を形成する〈図5, 6, 8〉。

この毛細血管網は一つの終末呼吸細気管支から分岐する呼吸細気管支、肺胞管、肺胞嚢のすべての肺胞を包み込んでおり、呼吸の一単位として解剖学的には肺細葉と呼んでいる〈図8〉。隣り合う細葉が接する場所に肺細小静脈が形成され、細葉間隙を縫って肺細静脈が次々に集められて肺静脈となる。呼吸生理学では解剖学的肺胞ではなく、この肺細葉を肺胞と呼んでいる。

肺胞壁は毛細血管網で構成され〈図8〉、その表面を扁平なI型肺胞上皮が被って、空気血液関門を形成している〈図5, 7, 8, 9〉。I型肺胞上皮の間に肺表面活性物質を分泌する立方型のII型肺胞細胞も見られる〈図5, 8, 9〉。空気血液関門は肺胞腔、表面活性物質、組織間液、肺胞上皮、基底膜、血管内皮、血漿、赤血球により形成される〈図9〉。

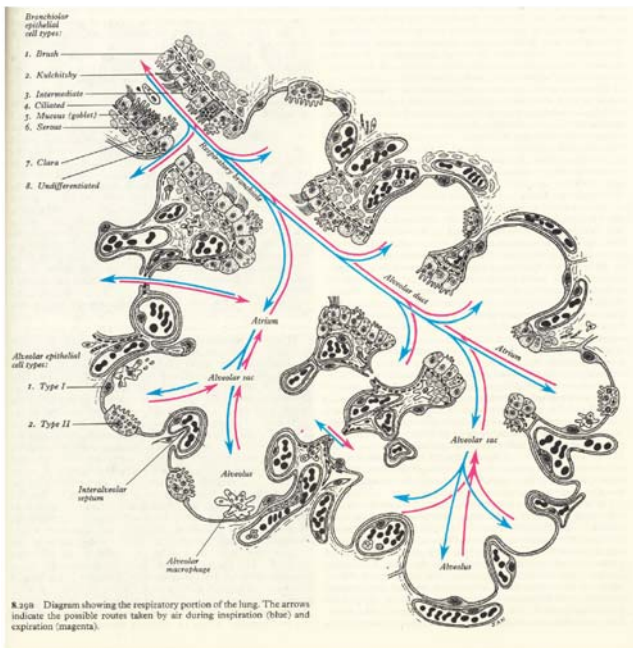
3 肺胞における血液ガス交換²⁾

肺胞におけるガス交換は受動輸送のガス拡散によって行われる。すなわち、新鮮なガスが運び込まれば、自ずと肺胞腔とその肺胞毛細血管網に流れて来た赤血球との間でガス分圧勾配に従ってガスは移動する。

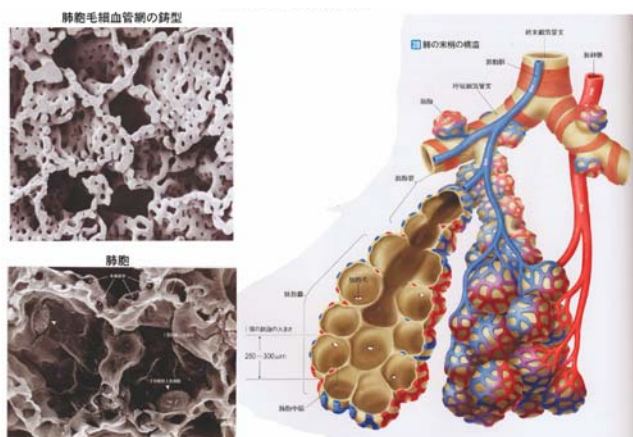
ガス交換は拡散面積を拡大すればするほど良くなる。すなわち、大きな肺胞1個よりもより小さくても肺胞の数が多くなればなるほど、同じ肺容量でも肺胞表面積は大きくなるからである。ヒトの肺胞は直径 $280\mu\text{m}$ で、総数は3億個(3×10^8)に小分けされ、肺胞の総面積は 90m^2 でテニスコートの半面もある¹⁾。

次に、肺胞腔と赤血球との距離(ガス拡散距離)が、短ければ短いほどガス拡散は効率良く行われる。

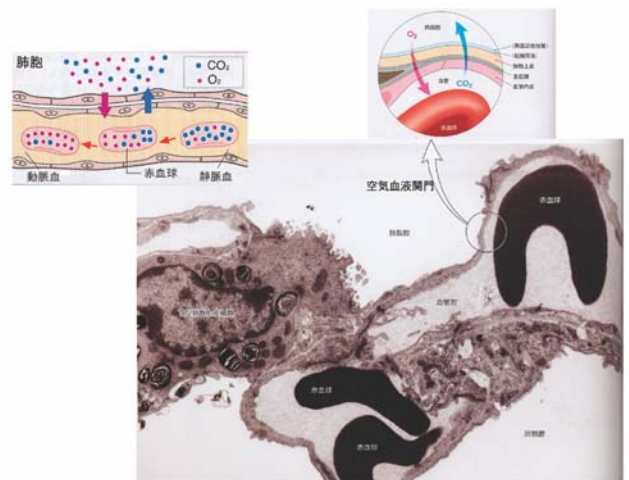
ガス拡散量(\dot{V})は、拡散係数(K)、拡散面積(A)、ガス分圧差(ΔP)、ガス溶解度(α)に比例し、膜の厚さ(拡散距離)に反比例する²⁾。



〈図7〉細気管支上皮細胞分類のイラスト⁴⁾



〈図8〉肺の末梢構造²⁾ 肺胞毛細血管網の鋳型と肺胞



〈図9〉空気血液関門におけるガス交換^{1,2)}

$$\begin{aligned} \dot{V} &= (K \cdot \alpha \cdot A \cdot \Delta P) / X \\ &= \{(K \cdot \alpha \cdot A) / X\} \cdot \Delta P = D \cdot \Delta P \\ D &= K \cdot \alpha \cdot A / X \end{aligned}$$

Dを拡散能diffusing capacityと呼ぶ。

肺胞気から赤血球中のヘモグロビン分子へ酸素は拡散により移動する。移動の途中には、肺胞腔、肺表面活性物質層、組織間液、肺胞上皮、基底膜、血管内皮、血漿、赤血球膜、ヘモグロビン分子を通過せねばならない。しかし、広い拡散面積A（90 m²、テニスコートの半面の広さ）と薄い膜厚X（平均0.5 μm）、血漿や赤血球細胞内の攪拌による運搬、ヘモグロビン分子と酸素との早い反応速度のおかげで、健康人では拡散による影響はほとんど無視できる。

拡散係数Kはガス分子量の平方根に反比例する（Grahamの法則）。そこで、二酸化炭素と酸素の拡散能を比較する。二酸化炭素の分子量は44で、二酸化炭素溶解度（αCO₂）は0.567である。一方、酸素の分子量は32で、酸素の溶解度（αO₂）は0.0239である。ゆえに、二酸化炭素の拡散係数（DLCO₂）／酸素の拡散係数（DLO₂）= (0.567/√44) / (0.0239/√32) = (0.567・√32) / (0.0239・√44) = 20.2なので、拡散能は二酸化炭素が酸素の20倍もあり、肺胞を通過しやすいことが分かる²⁾。

いずれにせよ、呼吸運動で肺胞に新鮮なガスが届き、肺胞気が外界に排出される肺胞換気が行われ、肺血流さえあれば、自然に肺胞ではガス交換は行われる。

4 呼吸運動（胸郭、呼吸筋、胸腔、肺）

呼吸運動は胸郭腔を拡大したり、縮小したりして、胸腔の陰陽圧を創り出す運動のことである。胸郭腔の拡大と縮小に関与する主要な筋肉は肋間筋と横隔膜であり、これらを呼吸筋と呼ぶ²⁾。この他に安静呼吸時には働いてはいないが、深呼吸や努力呼吸をす

るときに働く筋肉を呼吸補助筋と呼ぶ。

1) 安静呼吸

安静呼吸では、1) 内肋間筋が収縮して肋骨を引き下げることで胸腔容量を減少させ、2) 同時に肺組織弾性力で肺が縮むことと肺胞内のガスが押し出される。肺が縮むことで胸腔内に陰圧が発生し、弛緩している横隔膜はドーム状に引き上げられる。安静時には呼吸筋の働きはわずかで、安静呼吸は弾性エネルギーにより受動的に行われている²⁾。

安静呼吸は、1) 主に横隔膜が収縮してドームの突出が平坦化し引き下げられ、2) 補助的に外肋間筋が肋骨を引き上げることで胸腔容量が増加し陰圧が形成される。胸腔内陰圧が肺組織弾性力に打ち勝って肺胞をふくらませるので、気道系を通じて外界からガスが流入して肺は膨らむ。肋骨の移動による呼吸を胸式呼吸、横隔膜の移動による呼吸を腹式呼吸という²⁾。

2) 深呼吸

深呼吸時には肋間筋や横隔膜のほかに、さまざまな呼吸補助筋が使われる。深い吸気には、1) 主な吸気筋である横隔膜と外肋間筋が強く収縮するだけでなく、2) 胸鎖乳突筋、斜角筋、大胸筋、前鋸筋などが収縮して大きく肋骨を引き上げる²⁾。

深い呼気時には、1) 内肋間筋を強く収縮させるだけでなく、2) 腹壁筋（外腹斜筋、内腹斜筋）を強く収縮させることで腹圧を高め、横隔膜をさらに挙上させる。

3) 努力呼吸

激しい運動の後や肩で息をしている努力呼吸状態では、僧帽筋や肩甲骨挙筋で鎖骨や肩甲骨を挙上させることで胸郭の拡張を助けている²⁾。



ハイ・パフォーマンス! 普及タイプ!

コンパクトスタイルのベンチレータ登場!

NEW FACE!



- **判りやすい操作**
日本語表示とダイレクトメニューアクセスメニュー
- **多彩な換気モードで患者状況に対応**
V-CMV/V-SIMV/P-SIMV/SPONT
- **安全機能が充実**
各種アラーム/バックアップ換気/内蔵バッテリー

新生児/小児/成人用人工呼吸器
eVent インスピレーション
医療用具承認番号: 21400BZY00394000

● 医用電子機器の総合メーカー

FUKUDA DENSHI 本社/東京都文京区本郷 3-39-4
フクダ電子ホームページ <http://www.fukuda.co.jp>

5 肺胞換気

外界と肺胞とは気道で結ばれており、肺胞気圧と大気圧とに圧力差が生じるとガスの移動が起こる。吸気は大気圧より肺胞内圧が低い状態にあるので、肺胞に向かってガスが流れる（吸気：大気圧>肺胞内圧）。逆に、呼気は大気圧より肺胞内圧が高い状態にあるので、肺胞から外界に向かってガスが流れる（呼気：大気圧<肺胞内圧）。大気圧は常に零なので、吸気時には肺胞内圧は陰圧となり、呼気時には陽圧となっている。この肺胞内圧のリズミカルな変動は呼吸筋と胸郭が創り出した胸郭腔の増減により生み出された胸腔内圧の変動がその原動力である。

1) 胸腔内圧の変動

胸腔内圧の変動は肺組織弾性や気道抵抗に抗して呼吸筋や呼吸補助筋の力により胸郭腔の大きさを変えることで生み出される。ゆえに胸腔内圧は肺胞内圧と肺組織弾性抵抗力と気道抵抗力との和と等しい。

● 胸腔内圧 = 肺胞内圧 + 肺組織弾性抵抗力 + 気道抵抗力

- ・ 肺組織弾性力はいつも肺が縮む方向に働き、肺容量に依存する関数である（肺組織弾性抵抗力 = 肺コンプライアンス × 肺容量）。
- ・ 気流が存在すると気道壁との摩擦で、気流を妨げる気道抵抗力が生じる（気道抵抗力 = 気道抵抗 × 気流速）。

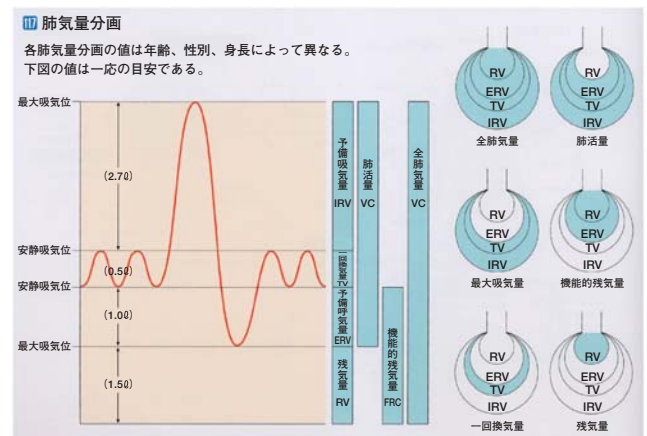
呼吸運動で胸郭腔の大きさをリズミカルに増減させ、胸腔内圧の変動を生み出す。その変動が肺胞に伝わり、肺胞内圧をリズミカルに変動させる。肺胞内圧の変動が開放している気道を通じてガスの移動を起こす。ガスが塊として肺胞を出入りすることで肺胞は換気される（肺胞換気）。

2) 肺気量分画²⁾〈図10〉

肺に含まれるガス量を肺気量と呼ぶ。肺気量は次の4つの呼吸レベルで、1) 呼吸筋を使用しないでリラックスした安静呼気位、2) 自然に息を吸い込んだ安静吸気位、3) 最大に吸い込んだ最大吸気位、4) 最大に吐き出した最大呼気位で区分される。各呼吸レベル間の肺気量は、1) 最大吸気位と安静吸気位との差を予備吸気量(inspiratory reserve volume : IRV)、2) 安静吸気位と安静呼気位との差を一回換気量(tidal volume : TV)、3) 安静呼気位と最大呼気位との差を呼気予備量(expiratory reserve volume : ERV)、4) 最大呼気位でもまだ肺内に残っているガス容量を残気量(residual volume : RV)と呼ぶ。次に、二つ以上のvolumeの和をcapacityと言う。すなわち、安静呼気位の肺気量 (ERV + RV) が機能的残気量

(functional residual capacity : FRC)であり、最大吸気位での肺気量(IRV + TV + ERV + RV)は全肺気量(total lung capacity : TLC)である。最大吸気位から呼出できる最大容量(IRV + TV + ERV)を肺活量(vital capacity : VC)と呼ぶ。

成人男性の安静時の一回換気量は0.5L程度である。肺活量は最大吸気位から最大呼気位の差で、成人男性で約4.2Lである。ゆえに肺活量は安静時一回換気量の7～9倍の予備力を持っている。さらに、成人男性の残気量は約1.5Lなので、全肺気量は5.7Lである。一回換気量で交換される肺内ガスは最大に見積もっても全肺気量の10%以下である。ゆえに、肺内ガスの急激な変化は起こりにくい。

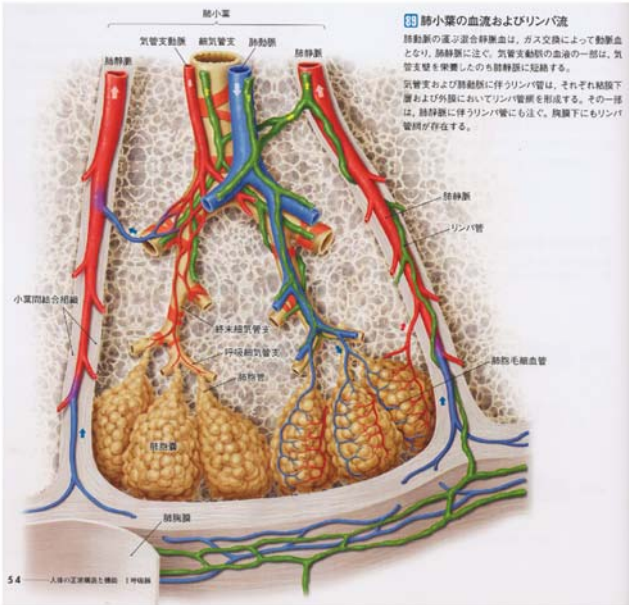


〈図10〉 肺気量分画²⁾

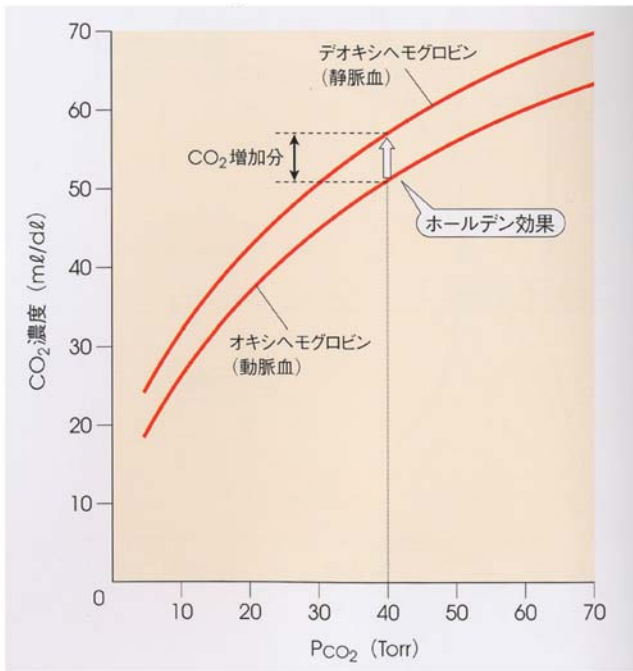
3) 死腔換気量と肺胞換気量

ガス交換の場は肺胞である。気道は肺胞と外界との繋ぎ役で直接はガス交換に関与しない空間なので、解剖学的死腔と呼ばれている。肺胞から見れば、気道では呼気の最後に肺胞気が残る、次の吸気の最初にそのガスを肺胞に送り込み、肺胞気ガスがただ行ったり来たりto and froする空間で、その存在は換気効率を悪くしている。一回換気量は解剖学的死腔をまず換気し、その残りが肺胞を換気する（肺胞換気量 = 一回換気量 - 解剖学的死腔量）。肺胞でガス交換をおこなうためには解剖学的死腔よりも大きな一回換気量で換気する必要がある。成人男子の解剖学的死腔は約0.15Lであるので、一回換気量は0.5Lなので、解剖学的死腔の3倍で安静呼吸をしている。解剖学的死腔の効果は換気効率を悪くしているが、裏返してみれば急激な肺胞ガス組成の変化を抑え、熱や水分の損失を減らすことに役立つ空間でもある。

一回換気量を小さくすると、肺胞換気量が小さくなるので、同じ肺胞換気を維持するために頻呼吸を余儀なくされ、呼吸に使用されるエネルギー量が増



〈図11〉 肺小葉の血流およびリンパ流²⁾



〈図12〉 CO₂解離曲線²⁾

える。総体的なエネルギー効率、すなわち、換気効率が落ちる。

また、逆に一回換気量を増やしていくと、肺胞換気量は大きくなるが、肺胞中心部のガスは肺胞毛細血管とは接触できず、結局、ガス交換には預かれず、ただ無駄に肺胞を膨らませるだけである。無駄な肺胞壁の拡張は無駄なずり応力を肺胞壁に加え、肺胞断裂の元になる。肺胞換気量のうちガス交換に役立っているものを有効肺胞換気量と呼び、役立っていないものを肺胞死腔換気量と呼ぶ。

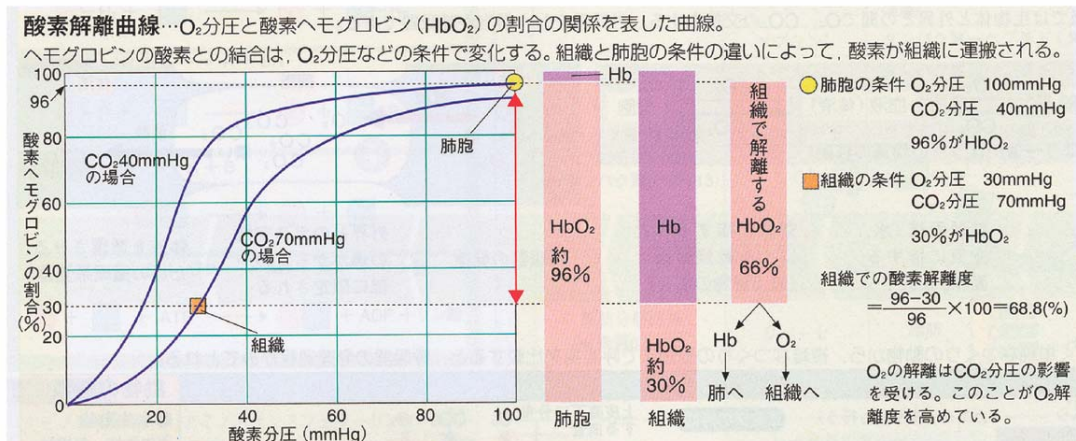
$$\begin{aligned} \text{一回換気量} &= \text{解剖学的死腔量} + \text{肺胞換気量} \\ &= \text{解剖学的死腔量} + (\text{有効肺胞換気量} \\ &\quad + \text{肺胞死腔換気量}) \end{aligned}$$

ヒトはガス交換効率の最も良い一回換気量で換気し、呼吸回数で調節している。

4) 換気・血流比率不均等 (過換気肺胞と低換気肺胞)

個々の肺胞は構造的に並列に配置され、換気も血流も個々に独立している²⁾ 〈図11〉。成人男性の安静時有効肺胞換気量は4L/分である。その時の心拍出量は5L/分である。全体の換気・血流比率 (\dot{V}/\dot{Q}) は $4/5=0.8$ である。ゆえに、個々の肺胞の換気・血流比率の適正值は0.8で、大きすぎても、小さすぎてもガス交換に効率的ではない。

換気・血流比率が大き過ぎる肺胞は過換気肺胞 ($\dot{V}/\dot{Q} > 0.8$) と呼ばれ、肺胞死腔が多くなり、ガス交換に関与しない無駄な換気が行われる。このような過換気肺胞は重力の影響で血流量の少ない心臓よりも高い上層部の肺胞に多い。上層部の肺胞は肺胞血流量が少ないので、肺組織間液も少なく、ゆえに肺コンプライアンスは大きく、膨らみやすいので過換気肺胞になる。過換気肺胞が多くなると換気効率が悪くなる。



〈図13〉 O₂解離曲線²⁾

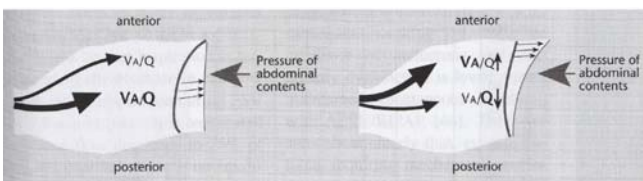
逆に、換気・血流比率が小さ過ぎる肺胞は低換気肺胞 ($\dot{V}/\dot{Q} < 0.8$) と呼ばれ、肺胞血流の一部が十分にガス交換されずに静脈血のまま肺胞を通過するので、肺内血流シャント（短絡）が形成される。このような低換気肺胞は重力の影響で血流が多くなる心臓より低い下層部の肺胞に多い。下層部の肺胞は肺胞血流量が多くなり、肺組織間液も多くなるので、肺コンプライアンスは小さくなり、膨らみにくいので低換気肺胞になる。低換気肺胞が多くなると肺酸素化が悪くなる。

二酸化炭素分圧 (PCO_2) と二酸化炭素含量 (CO_2 濃度) との関係を表す CO_2 解離曲線はほぼ直線関係にある (図12) ので低換気肺胞の高二酸化炭素血症は過換気肺胞の低二酸化炭素血症で相殺できる。しかし、酸素分圧 (PO_2) と酸素飽和度 (SO_2) との関係を示す酸素解離曲線は上に凸のS字状曲線を描く (図13) ので、正常換気肺胞と過換気肺胞とに酸素飽和度の差は殆ど無いので、低換気肺胞の酸素飽和度の不足を過換気で補うことは出来ない。

5) 自発呼吸と調節呼吸における換気・血流比率不均衡

患者が仰臥位で寝ている時、重力の影響で背部の肺血流は増加し、前胸部の肺血流は減少する。前胸部の肺コンプライアンスは大きく、背部の肺コンプライアンスは小さくなる。自発呼吸で換気が行われるなら、横隔膜は背部の方が前胸部に比べてより大きなストロークで動く (図14左) ⁵⁾ ので、血流の多い背側部の換気が大きくなり、換気・血流比率不均衡は是正される。

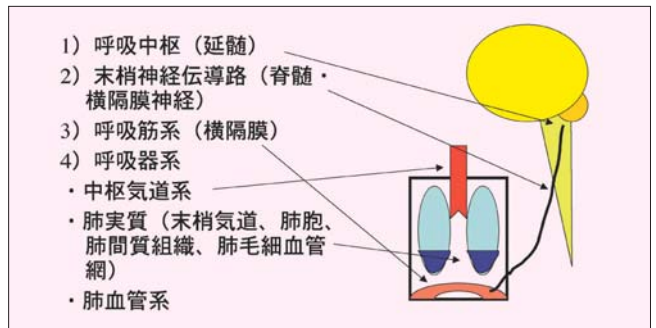
しかし、機械的人工呼吸による調節呼吸では全体的に同じ圧力が負荷される。肺血流の少なく、肺コンプライアンスが大きくて膨らみ易い前胸部の肺胞にガスはシフトして換気する (図14右)。このことにより過換気肺胞が増える。一方、肺血流の多い背部の肺胞の換気は膨らみ難く、あまり換気されないで低換気肺胞が増える (図14右)。そのため肺内シャント血液が増加し、肺の酸素化効率が低下する。すなわち、調節呼吸は換気効率も酸素化効率も共に悪くし、換気・血流比率不均衡をますます悪化させる。



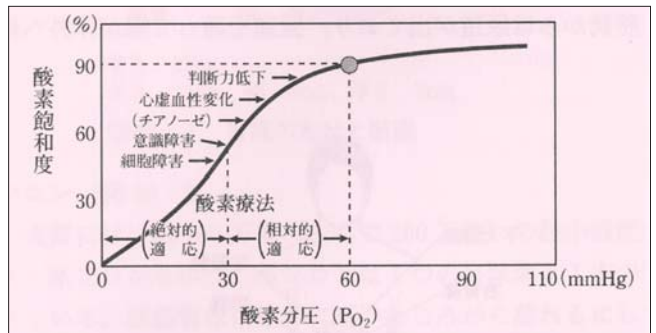
〈図14〉 自発呼吸と調節呼吸の違い ⁵⁾

6 急性呼吸障害

健康人は自発呼吸で $pH = 7.40 \pm 0.05$ で、動脈血二酸化炭素分圧 ($PaCO_2$) = 40 ± 5 mmHg の範囲内に厳密に調節されている。しかし、種々の原因で呼吸障害が起こされ (図15)、生命の危機的状態が訪れることがある。生命の危機は二酸化炭素の増加が直接の原因ではなく、低酸素血症が原因である。動脈血酸素分圧 (PaO_2) が急激に 60mmHg 以下になると何らかの症状を示し、30mmHg 以下になると意識障害や細胞障害を起こす (図16)。急性呼吸障害は肺における酸素の取り込みが不十分なために全身の細胞が酸素不足に陥り、好氣的代謝が営めずにエネルギー不足で生命の危機的状態になったものを言う。



〈図15〉 急性呼吸障害が起こる場所



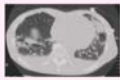
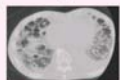
〈図16〉 酸素解離曲線と低酸素血症の症状

1) 急性呼吸障害の分類 (図17)

急性呼吸障害は、(1) 非肺実質障害である換気障害、(2) 肺実質の気道系障害で無気肺を主症状とする肺酸素化障害、(3) 肺実質の血管系障害で微小肺梗塞を主症状とする混合性呼吸障害に大別される。

(1) 換気障害

換気障害は肺実質には障害は無く、呼吸筋を含めた呼吸運動抑制が原因で有効肺胞換気が少なくなり、呼吸運動により肺胞に運び込まれる酸素より運び去

<ul style="list-style-type: none"> 1) 換気障害: $\text{PaCO}_2 > 45 \text{ mmHg}$, $\text{pH} < 7.35$ <ul style="list-style-type: none"> - 呼吸運動抑制による呼吸性アシドーシス (非肺実質障害) - 呼吸運動抑制の低換気に見合った $\text{PaCO}_2 \uparrow + \text{PaO}_2 \downarrow$ - 原因: 麻酔、麻薬、鎮静、中枢神経障害、頸髄損傷 	
<ul style="list-style-type: none"> 2) 肺酸化障害 (肺障害): $\text{M} = \text{PaO}_2 / \text{PaO}_2 > 1.5$ <ul style="list-style-type: none"> - 末梢気道閉塞による肺泡虚脱 (肺実質の機能的障害) - 呼吸運動亢進で過換気に見合った $\text{PaCO}_2 \downarrow + \text{PaO}_2 \downarrow$ - 原因: 沈下性無気肺、無気肺 	
<ul style="list-style-type: none"> 3) 混合性呼吸障害: $\text{V} = \text{PaCO}_2 \times \text{MV} \div (\text{BW} \times 4) > 1.5$ <ul style="list-style-type: none"> - 微小肺梗塞による肺泡死腔の形成 (肺実質の器質的障害) - 呼吸運動亢進で過換気だが、依然と $\text{PaCO}_2 \uparrow + \text{PaO}_2 \downarrow$ - 原因: ARDS、MOF、微小肺梗塞、肺気腫の急性増悪 	

〈図17〉急性呼吸障害の分類

られる酸素量が多いために肺胞内酸素量が低下し、逆に、二酸化炭素の体外への排出が悪いので肺胞内に二酸化炭素が蓄積した状態である。二酸化炭素の産生量と酸素の消費量との比が呼吸商 (R) である。肺内酸素は二酸化炭素の蓄積分に比例して消費 ($\dot{V}\text{O}_2 = \dot{V}\text{CO}_2 / \text{R} = \dot{V}\text{CO}_2 / 0.8 = 1.25 \cdot \dot{V}\text{CO}_2$) されているので、肺胞気酸素濃度が低下して低酸素血症になる。原因となる麻酔、麻薬、鎮静、中枢神経障害、頸椎損傷があり、臨床的に分時有効肺換気量が減少するような呼吸数の減少や浅い呼吸が観察され、血液ガス分析で $\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$ の低下と $\text{PaCO}_2 > 45 \text{ mmHg}$ の上昇と $\text{pH} < 7.35$ の呼吸性アシドーシスに伴う低酸素血症が診断の決め手である。原因が去るまでひたすら人工呼吸器による換気補助、もしくは、調節人工呼吸で延命しておれば良い。原因が永久に解決できなければ人工呼吸器を体の一部にすれば良い。すなわち、換気障害は人工呼吸器による換気補助の絶対適応である。

(2) 肺酸化障害 (肺障害)

肺酸化障害は肺実質の末梢気道の閉塞による局所的肺泡虚脱 (無気肺) の存在で肺内血流シャントが形成されることが低酸素血症の原因である。患者は低酸素血症 ($\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$) があるので、呼吸運動が亢進し、頻呼吸で分時換気量が増える。動脈血ガス分析で過換気に見合った低二酸化炭素血症 ($\text{PaCO}_2 < 35 \text{ mmHg}$) があるが、吸入気酸素濃度に見合わない低酸素血症 ($\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$) がある。原因は沈下性無気肺や無気肺の存在である。診断は臨床的には仰臥位よりは起坐位を好み、細胞外液過剰のサインである全身浮腫や胸壁浮腫があり、胸部X線写真で間質性肺水腫を示す横隔膜の挙上、心胸郭比の拡大、沈下性無気肺を示す下行大動脈の辺縁不鮮明、横隔膜辺縁不鮮明、肺水腫を示す両側肺門部蝶形陰影までくれば誰でも診断可能である。しかし、早期診断は胸部CTによる沈下性無気肺〈図17-2〉や血液ガス分析による換気効率は正常 ($\text{V index} =$

$\text{PaCO}_2 \times \text{分時換気量 (minute volume: MV)} / \text{体重 (body weight: BW)} / 4 < 1.5$) だが、酸素化効率の悪化 ($\text{M index} = \text{PAO}_2 / \text{PaO}_2 > 1.5$) を証明すれば良い。肺組織にとって細胞外液過剰による間質性肺水腫が原因で、肺実質の機能的障害で可逆的ではあるが、単なる酸素投与では改善しない。対症療法は持続陽圧自然呼吸 (continuous positive airway pressure breathing: CPAP) による酸素投与である。原因療法は過剰になっている肺内血管外水分量の正常化を目的にした水分電解質管理である。ゆえに、肺酸化障害には人工呼吸器は時間稼ぎの延命の道具に過ぎず、人工呼吸管理が長期化すると肺感染や高濃度酸素障害と肺圧容量損傷 (barotraumas, volutraumas) を引き起こし、混合性呼吸障害へと進行する。

(3) 混合性呼吸障害

混合性呼吸障害は肺実質の器質的破壊が進行し、末梢気道の閉塞と肺泡死腔の増大が起こり、換気効率の低下 ($\text{M index} > 1.5$) と酸素化効率の低下 ($\text{V index} > 1.5$) が併存している状態である〈図17-3〉。低酸素血症 ($\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$) があり、分時換気量は正常の倍以上に増加しているのに、それに見合った二酸化炭素の呼出が出来ていない。血小板減少やDICを合併している急性呼吸不全 (ARDS) 患者や多臓器不全 (MOF) 患者、肺梗塞患者、肺気腫の急性増悪患者で見られる。肺毛細血管内皮が傷害され、微小肺血栓が形成されるのが原因と思われる。対症療法は患者自身に PaCO_2 レベルの調節を任せた呼気終末陽圧をもった圧補助換気 (pressure support ventilation with positive end expiratory pressure: PSV+PEEP) による酸素投与と呼吸筋補助である。肺胞を破壊しないために、循環を抑制しない範囲の最高PEEPに設定し、最高気道内圧を低め (peak inspiratory pressure: PIP $\leq 25 \text{ cmH}_2\text{O}$) に抑えて、高二酸化炭素血症をも容認する (permissive hypercapnia)。さらに、循環管理、水分電解質管理、貧血管管理、DICの治療と多臓器不全の予防と治療、腸蠕動の維持と腸管管理、栄養管理が必要である。貧血 ($\text{Hb} < 12 \text{ g/dl}$) を改善し、 $\text{PaO}_2 \geq 60 \text{ mmHg}$ で、乳酸値の上昇がなければ、吸入気酸素濃度を低め ($\text{FiO}_2 < 0.6$) に抑える。酸素化能の改善は徹底した細胞外液管理である。しかし、根本治療は見つかってはいないし、残念ながら破壊された肺胞は元に戻せない。肺胞破壊の進行を止める可能性のある治療はSIRSやDIC治療と共通である。

7 人工呼吸

呼吸筋の代役を務めるのが人工呼吸器である。人工呼吸器に出来ることは、1) 吸入気酸素濃度の調

節、2) 呼吸リズムの創出、3) 従量式もしくは従圧式強制吸気のための駆動圧の創出、4) 吸気トリガーや呼気トリガーを持たせ吸気相にあわせた吸気補助、5) PEEPやCPAPの持続的気道内圧の調節、6) 加湿、噴霧ネブライザーや人工鼻による気道線毛運動の保持である。これらの機能を駆使して呼吸管理が出来る。酸素化が悪くなれば、吸入気酸素濃度の調節とPEEPやCPAPによる呼気終末肺容量の維持である。呼吸中枢抑制なら呼吸リズムの創出による強制吸気である。また、呼吸筋疲労があれば吸気呼気トリガーのある吸気補助である。

しかし、呼吸管理には必要だけれど、人工呼吸器には出来ないことは、1) 気道内分泌物の吸引による中枢気道の浄化、2) 酸素含量の正常化のための貧血治療、3) 肺血管外水分量の適正化のための体液管理、4) 肺血管透過性亢進を抑制するための炎症反応の抑制、5) 患者の意識レベルやバイタルサインの経時的観察である。

呼吸は、その字の如く、息を吐かせ（呼気相）、吐いて空いたスペースに息を吸い込ませる（吸気相）ことである。すなわち、一般の無呼吸患者は安静呼吸位には十分な吸気予備量を持った呼出状態で止まっている。だから、直ちに強制吸気を行っても何ら差し障りはない。しかし、細気管支レベルに狭窄を持つ細気管支炎患者、喘息患者や肺気腫患者では呼出障害があり、障害が強ければ強いほどAir trappingがあり、安静呼吸位には十分な吸気予備量がなくなっている。口元に高濃度酸素投しながら胸郭圧迫での呼出補助が有効である。

8 急性呼吸不全管理の要点

急性呼吸不全は何らかの原因で肺からの酸素の取り込みが不十分なため低酸素症となり、個々の細胞が酸素不足のため好気性代謝を営めずエネルギー不足による生命の危機的状態をいう。

その原因は、1) 吸入気酸素分圧が低い、2) 有効肺胞換気量が不足している、3) 虚脱肺胞（無気肺）がある、4) 肺胞死腔増大（肺梗塞）がある、5) 全身循環不全（低心拍出量症候群）がある、6) 貧血がある、7) 末梢循環不全（ショック）がある、に大別される。

急性呼吸不全の患者ではこれらの原因が複合的に絡み合っ、事態を複雑にしているが、結局は酸素運搬量が少なくなっている。酸素運搬量＝酸素含量×心拍出量＝（ヘモグロビン結合酸素量＋血漿溶存酸素量）×心拍出量＝ $\{(1.39 \times \text{ヘモグロビン濃度 (Hb)} \times \text{動脈血酸素飽和度 (SaO}_2\text{)} + 0.0031 \times \text{動脈血酸素分圧 (PaO}_2\text{)}\} \times \text{心拍出量 (CO)}$ の式で表される。酸素運

- 酸素運搬能の改善
 - 酸素運搬量 (Oxygen delivery)
 - = 酸素含量 × 心拍出量
 - = (Hb結合酸素 + 溶存酸素) × 心拍出量
 - = $\{(1.39 \times \text{Hb} \times \text{SaO}_2) + 0.0031 \times \text{PaO}_2\} \times \text{CO}$
- 1) 心拍出量の改善
- 2) 貧血 (循環赤血球量) の改善 (Hb > 12g/dl)
- 3) 酸素化効率の改善 ← 呼吸管理ほか

〈図18〉呼吸管理の実際

搬への貢献度は、1) 心拍出量、2) ヘモグロビン値、3) 動脈血酸素飽和度、4) 動脈血酸素分圧、の順であることをこの式は示唆している〈図18〉。

急性呼吸不全管理の要点は、生命の危機が迫っているのでまず対症療法で延命をはかり、時間稼ぎをしている間に原因を発見し原因療法を施して救命するだけである。対症療法は、1) 吸入気酸素濃度の調節、2) 呼気終末圧(PEEP)の適正負荷、3) 換気補助(PSV: pressure support ventilation)による呼吸筋運動補助、もしくは、4) 調節人工呼吸(CMV: controlled mechanical ventilation)による呼吸中枢代償である。根本療法は心不全を是正し、貧血を改善し、細胞外液量を適正化すれば治療可能な急性呼吸不全はすべて治る。急性呼吸不全が治らないのは、貧血を放置し、相対的過剰輸液を続け、肺血管外水分量が適正化されないか、器質的変化が来ているからである。

参考文献

- 1) 水野丈夫、辻英夫、石川秀樹、久力誠、小林秀明、小林裕光、野中繁：ビジュアルワイド図説生物、東京書籍 1999 東京
- 2) 牛木辰男、小林弘祐著：カラー図説 人体の正常構造と機能、I 呼吸器、日本医事新報社 2002 東京
- 3) Copenhaver WM, Kelly DE and Wood RL: Bailey's Textbook of Histology, 17th ed., The Williams & Wilkins Company, 1978, Baltimore
- 4) Williams P and Warwick R: Gray's Anatomy 36th ed., Churchill Livingstone, 1980, New York
- 5) Kuhlen R, Guttman J and Rossaint R: New forms of assisted spontaneous breathing. 1st ed., Urban & Fischer Verlag, 2001, Munich
- 6) 丸川征四郎：酸素療法、中外医学社 1991東京

チェックはお済みですか？

人工呼吸器の安全管理に！

○ガスの圧力、フロー、換気量、O₂濃度を測定
 ○コンパクト携帯型ボディ
 ○表示画面のカスタマイズ

フローアナライザ
PF-300



●医用電子機器の総合メーカー

FUKUDA DENZHI 本 社/東京都文京区本郷 3-39-4
 フクダ電子ホームページ <http://www.fukuda.co.jp>

呼吸生理の基礎



横浜市立大学医学部附属病院 集中治療部 大塚 将秀

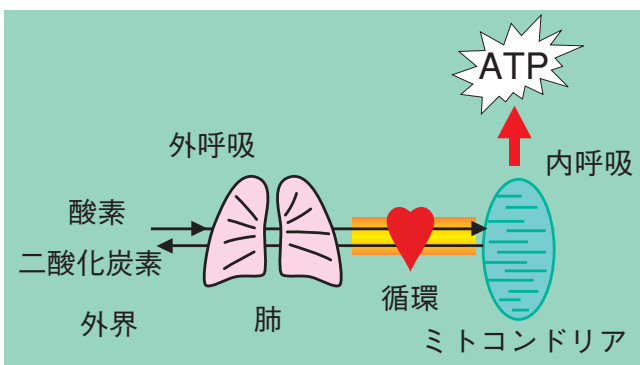
「呼吸は難しい」と敬遠してきた方を対象とした「呼吸の基礎の入門編」です。難しい数式は省き、呼吸の本質、ガス交換、ガス運搬について解説しました。

1 呼吸とは

動物は、外界から得たエネルギー源を燃焼させ、生じたエネルギーで生命活動を営んでいます。人間も例外ではありません。エネルギーを取り出すこの過程を呼吸といいます。

動物がまだ単細胞生物だったころは、呼吸に大きな仕掛けは必要ありませんでした。細胞膜を隔てた外はエネルギー源や酸素が豊富に存在する「外界」で、労せず必要な物質を得ることができたからです。しかし、多細胞化して個体の巨大化に伴い、体の中心近くの細胞周囲はエネルギー源や酸素が欠乏して、老廃物が溢れるようになりました。そこで、体の中の環境を均一にするために循環系が、増大したエネルギー需要を賄うためにエネルギー源や酸素を専門に取り込む消化器系と呼吸器系が発達しました。

広い意味では、外界からの酸素の取り込み、循環系による体全体への酸素の運搬、全身の細胞のミトコンドリアでの酸化反応と高エネルギーリン酸化合物の生成、発生した二酸化炭素の運搬、外界への二酸化炭素排泄のすべての過程を総合して「呼吸」と呼びます（図1）。これらのうち、外界と血液の間の酸素と二酸化炭素のガス交換のことを外呼吸、ミトコンドリアでの反応を内呼吸といいます。外呼吸のことを単に呼吸ということもあります。



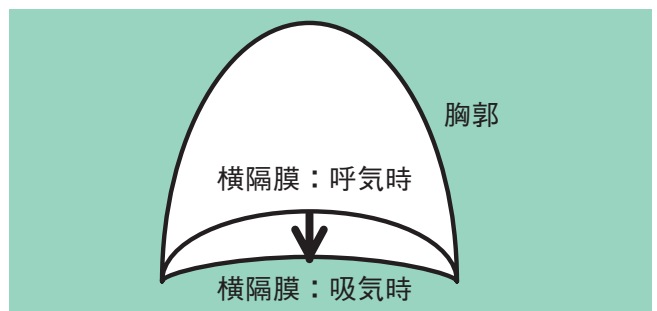
〈図1〉呼吸とはエネルギー産生系の全体を指す。

2 呼吸運動と換気

効率よくガス交換を行うために、人間は肺の中に外気を取り込みます。そして、ガス交換を終えると新しい外気と交換します。肺に外気を取り込むための運動を「呼吸運動」、肺の中のガスを新鮮な外気と交換することを「換気」といいます。

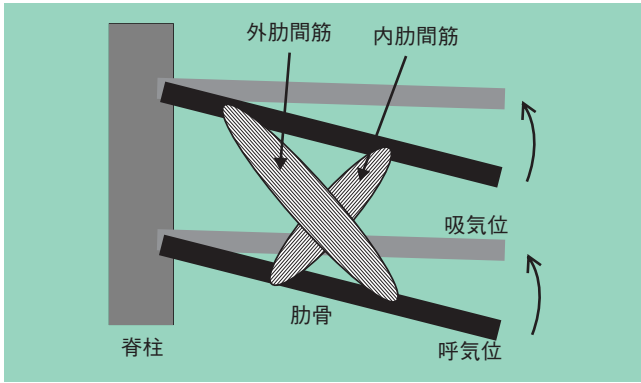
肺は、「胸郭」という密閉された容器の中にあります。胸郭は、骨や軟骨、靭帯、筋肉で構成されています。胸郭を構成する筋肉が収縮すると、その容量が変化します。胸郭は密閉されているため、容量が変化すると内部の圧力が変化し、肺は膨張と収縮を繰り返します。このとき、外界と交通している気道を通して、外気が入り出します。

呼吸運動の主体は、横隔膜です。横隔膜は、肋骨と胸壁でできたかご状の容器を下（尾側）から蓋していますが、弛緩時は上（頭側）に凸のドーム状をしています。収縮すると、中央部分が下方（尾側）に移動して胸腔内容量が増加します（図2）。横隔膜の面積は250cm²ほどで、安静吸気時には2cmほど尾側に移動します。容量の変化は250cm²×2cm=500cm³程度となります。



〈図2〉呼吸運動における横隔膜の動き 収縮により平低化し、胸腔内容量が増す。

呼吸運動には肋間筋も関与します。肋間筋は三層で構成されていますが、各層の筋線維の方向は互い違いになっています。外肋間筋と最内肋間筋が収縮すると、胸腔内容量を増加させる方向に肋骨が動きます。内肋間筋が収縮すると、胸腔内容量は減少し



〈図3〉呼吸運動における肋間筋の動き 外肋間筋が収縮すると、肋骨は広がるように挙上し、胸腔内容量が増す。

まず〈図3〉。

努力性呼吸となると、肋骨や胸骨、肩甲骨などに付着する多くの筋も呼吸に同調して収縮します。これらは呼吸補助筋とよばれますが、安静時には呼吸運動に関与しません。

気道の通過障害、呼吸筋の運動障害、胸郭の密閉性や剛性（一定の形を保つ性質）の低下、水や空気などの胸腔内貯留、肺の硬化や弾力性の消失があると換気が障害されます。

3 ガス交換

肺胞気と血液の間で酸素や二酸化炭素を受け渡すことを「ガス交換」と呼びます。エネルギー産生を継続して行うためには、肺胞に到達した酸素は血液中に移動し、全身から集められた二酸化炭素は肺胞内に排泄されなければなりません。ガス交換は、換気と並んで呼吸の重要な要素となります。

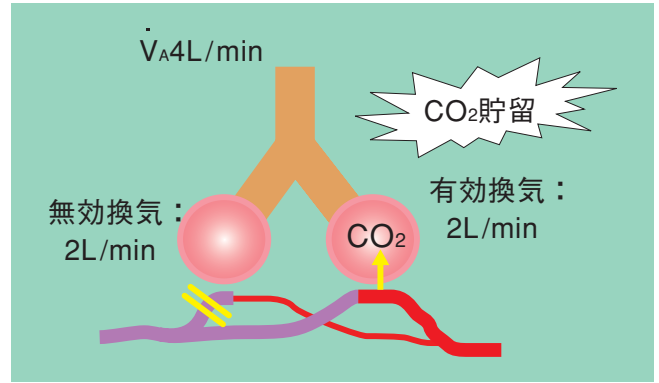
(1) 死腔 (しくう)

体内に取り込まれても、血液とガス交換することなく呼出されるガスの量です。二酸化炭素を受け取ることができない無駄な換気となるので、死腔が増大すると二酸化炭素の排泄能力が低下します。

外界と肺胞との間は「気道」で結ばれています。吸入した外気のうち、気道内容量分は肺胞に達することなく、次の呼気時に呼出されます。気道ではガス交換ができないので、気道内容量分は死腔になります。これを「解剖学的死腔」といいます。解剖学的死腔は、成人で約150mlといわれています。

外気が肺胞に達しても、その肺胞に血流が流れていなければ、ガス交換は行われずそのまま呼出されることとなります〈図4〉。これを「肺胞死腔」といいます。

解剖学的死腔と肺胞死腔を合わせて生理学的死腔



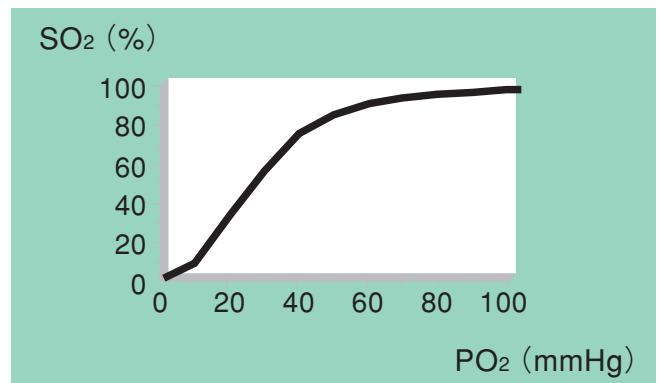
〈図4〉肺胞死腔 血流のない肺胞に充満した吸気は、ガス交換することなく呼出される。

といいます。換気効率を考えるとときに重要で、臨床で死腔といえばこれを指します。

死腔／一回換気量を死腔換気率 (V_D/V_T) といいます。死腔換気率は、通常0.3程度です。これが0.6程度以上となると、人工呼吸器による補助が必要になるといわれています。

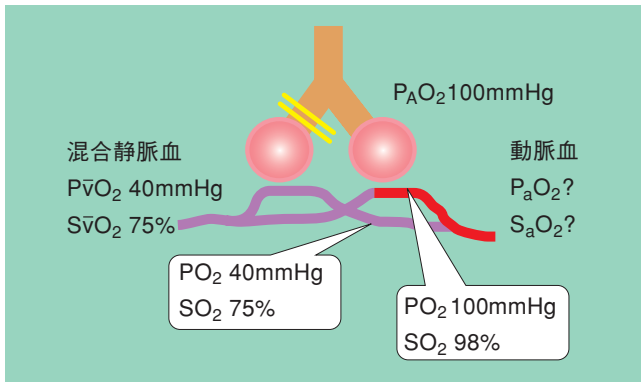
(2) シェント

肺でガス交換を行わずに左心房に還る血流をいいます〈図5〉。酸素化されない血液が動脈血に混合するため、動脈血酸素分圧が低下します。



〈図5〉シェント 換気のない肺胞を灌流した血液は、ガス交換することなく左心系に戻り、動脈血酸素分圧を低下させる。

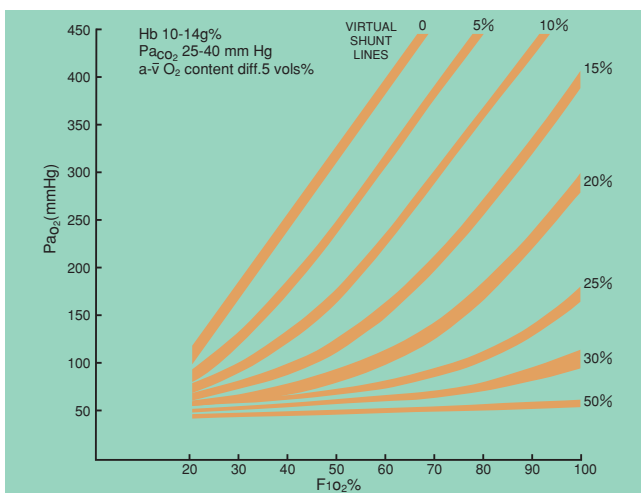
酸素はおもにヘモグロビンと結合して運搬されますが、酸素分圧とヘモグロビンに結合する酸素の量は、比例関係にはありません。この関係を表したグラフを酸素解離曲線といいますが〈図5〉。ここで、混合静脈血に相当する酸素分圧40mmHgの血液と十分酸素化された血液に相当する酸素分圧100mmHgの血液を同量ずつ混合したとします〈図6〉。分圧の単純平均は70mmHgですが、実際はずっと低値になります。分圧40mmHgのときの酸素飽和度は約75%、100mmHg



〈図6〉酸素解離曲線 酸素分圧とヘモグロビンに結合する酸素の量は比例しない。

のときは約98%です。したがって、等量を混合した血液の酸素飽和度は $(75+98) \div 2 = 86.5\%$ となります。これは約52mmHgの酸素分圧に相当します。つまり、酸素化が悪い血液が混合すると、予想以上に分圧が低下し、これは酸素解離曲線が曲線であることに起因するのです。

シャントと心拍出量の比をシャント率 (Q_s/Q_t) といいます。通常でも、シャント率は3-5%程度存在するといわれています。〈図7〉に、シャント率が変化したときの吸入酸素濃度と動脈血酸素分圧の関係を示します。シャント率が増すと、動脈血酸素分圧が低下します。吸入酸素濃度を増加させたときの動脈血酸素分圧の上昇度も悪化します。



〈図7〉等シャント曲線 シャント率上昇に伴い動脈血酸素分圧は低下する。(Benatar SR: Brit J Anaesth 45:711,1973より許可を得て引用)

(3) 換気血流比不均衡

換気と血流の比率(換気血流比)は、適切な値でなければ二酸化炭素の排泄障害や動脈血酸素分圧の低下が起ります。適切な比率は0.8程度とされています。換

気血流比が適切でないために生じるガス交換障害を、換気血流比不均衡といいます。人間の肺には、約3億個の肺胞があるといわれています。すべての肺胞で換気血流比が適切ならば、最も効率良くガス交換ができます。しかし、重力の影響や横隔膜が胸郭の尾側に偏って位置することなどから、実際には換気血流比が0.8から大きくはずれる肺胞が大多数を占めます。

(4) 拡散障害

酸素が肺胞内から赤血球まで移動するためには、肺胞上皮細胞、間質、血管内皮細胞、血漿、赤血球膜と多くの関門を通過します。これらのどこかに障害があると、酸素の取り込み障害が生じます。これを拡散障害といいます。酸素が肺胞から赤血球内まで拡散するのに、1/4秒程度かかるといわれています。血液が肺胞と接する時間は3/4秒程度なので、通常は十分な拡散時間があります。しかし、拡散に要する時間が増した場合や、循環速度が速くなった場合にはガス交換を完了できなくなり、酸素化障害が生じます。

二酸化炭素は、拡散速度が酸素の20倍程度と速いため、拡散障害によるガス交換障害は生じにくいとされています。

4 血液による酸素・二酸化炭素の運搬

(1) 酸素の運搬

酸素は、おもに赤血球中のヘモグロビンと結合して運搬されます。一部は、血漿中に溶解した状態で運搬されます。ヘモグロビン1分子は4分子の酸素と結合でき、ヘモグロビン1gは1.34mlの酸素と結合することができます。血漿に溶解できる酸素は、酸素分圧に比例し、100mlの血液に分圧1mmHgあたり0.0031mlの酸素が溶解できます。ヘモグロビン濃度をHb g/dl、ヘモグロビンの酸素飽和度をSO₂%、分圧をPO₂mmHgとすると、血液100ml当りのヘモグロビンに結合する酸素は、

$$1.34 \times \text{Hb} \times \text{SO}_2 / 100 \text{ ml/dl で、}$$

血漿に溶解している酸素は、

$$0.0031 \times \text{PO}_2 \text{ ml/dl となります。}$$

心拍出量をCO l/minとすると、1分間当たり

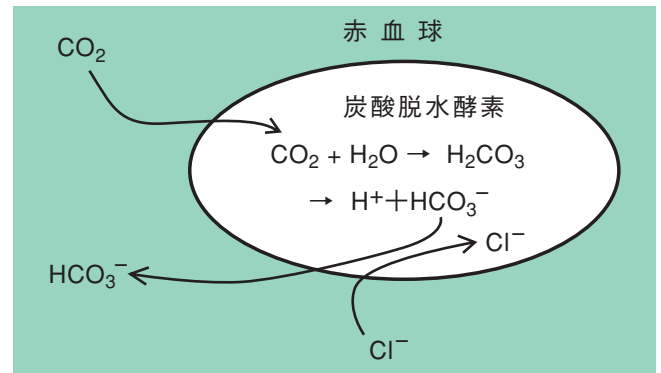
$10 \times \text{CO} \times (1.34 \times \text{Hb} \times \text{SO}_2 / 100 + 0.0031 \times \text{PO}_2) \text{ ml/min}$ の酸素を運ぶことができる計算になります。分圧100mmHg、飽和度98%、ヘモグロビン濃度15g/dlとすると、血液100mlのヘモグロビンに結合している酸素は約19.7ml、溶解している酸素は0.31mlとなり、99%が赤血球に結合して運ばれているといえます。心拍出量を5l/minとすれば、1分間に運搬される酸素は

1000mlとなります。

病的な状況を考えて、酸素飽和度は低下しても数十%、せいぜい50%程度です。ところが、ヘモグロビン濃度や心拍出量が1/3程度にまで低下する状況はしばしば見うけられます。酸素運搬に関しては、低酸素血症より貧血や心不全の要素の方が大きいといえます。

(2) 二酸化炭素の運搬

二酸化炭素は、5%は血液にそのまま溶解して、10%はヘモグロビンのアミノ酸と結合したカルバミノ化合物として、残りの約85%は重炭酸イオン(HCO_3^-)の形で運搬されます。二酸化炭素は、水に溶解すると水分子と反応して炭酸(H_2CO_3)となりますが、この反応には数十秒程度と長時間を要し、循環中に反応が完了しません。しかし、赤血球内には炭酸脱水酵素があるため、この反応は数ミリ秒と非常に速やかに進行します(図8)。生じた炭酸分子は水素イオン(H^+)と重炭酸イオンに分かれた後、重炭酸イオンは赤血球から血漿中に出ます。血漿中の



〈図8〉二酸化炭素の運搬

重炭酸イオンは二酸化炭素の運搬に重要ですが、そこには赤血球の関与が大きいといえます。

参考文献：さらに詳しく知りたい人のために

- 岡安大仁、堀江孝至、長尾光修：呼吸とその管理—基礎となる呼吸機能の理解. 第2版 医学書院 東京,1978
- 笛木隆三他訳：呼吸の生理 第3版. West JB著.医学書院,1997
- Nunn JF :Nunn's Applied Respiratory Physiology. 4th ed. Butterworth-Heinemann. London, 1993

「インスピレーション」の発刊によせて

フクダ電子株式会社 取締役社長 福田孝太郎



皆様には、ますますご清栄のこととお喜び申し上げます。また平素は格別のご愛顧ご厚情を賜わり、深く感謝申し上げます。

さて、人工呼吸器に携わるお仕事をなさっている皆様への情報紙として「インスピレーション」が発刊されることは、人工呼吸器の販売・サービスを行っているフクダ電子にとりましてたいへん意義深い事であります。

この情報紙を通じて、人工呼吸に関する生理的な基礎から現場での経験、保守に関する情報等が提供されますので、コメディカルの皆様が新たな気持ちで取り組んでいただくことができるかと思えます。

当社は約30年に渡りシーメンス社のサーボベンチレータ・シリーズを供給し、特にサーボ900Cは20年以上のロングセラーとして全国でお使いいただいております。この長期に渡る皆様方のご愛顧の陰には、製品の信頼性に加えて当社のサービスネットワークを評価していただいていることが要因の一つになっていると思えます。

日本国内で使用されております人工呼吸器のほとんどは海外のメーカーから供給されているもので、万一のトラブル発生時の対応が、臨床の現場でお仕事をなさる皆様の最も関心の高いことと思えます。当社は日本全国の都道府県すべてに営業拠点があり、サービスも迅速に実施すること

を第一に心がけております。

このたび、当社では「Inspiration」という自社ブランドの人工呼吸器を提供することになりました。当社の高い品質管理によって生産される精度の高い製品を供給できると確信しております。治療器である人工呼吸器をより安全に使用していただけるように、常にユーザー様の立場に立ったサービスの提供に日夜努力して参ります。

また、人工呼吸器の安全点検に使用する「MARIS (マリリス)」の販売を行っております。今後は、行政からの安全性に関する要請に医療施設としてどのように対応していくかという時代になり、MARISは、このような要請に応えるツールとして皆様のお手伝いができる、これまでにないユニークなシステムです。当社グループ内における医療安全体制のインフラ整備をさらに強化し、MARISをご利用頂いている施設様と人工呼吸器の点検や修理情報の共有化が可能になります。

皆様に、より安全に安心して人工呼吸器をお使いいただくための一助となるよう、本情報紙「インスピレーション」に期待いたしますとともに、皆様方にはどうぞ今後ともご指導ならびに倍旧のご愛顧を賜りましょう、よろしくお願ひ申し上げまして発刊に際しましてのご挨拶といたします。

人工呼吸器に関する 現場での体験談

旭川赤十字病院救急救命センター 集中治療室
看護師 西尾 友子 澤田 ますみ



はじめに

当院は、病床数649床（一般：579床、精神科：70床）で3次救命救急病院の役割を担っており、ICU（病床数8床）には多発外傷・薬物中毒・重症多臓器不全など様々な患者様が入室します。一般病棟では全て統一した人工呼吸器を使用していますが、ICUでは患者の状態により6種類の人工呼吸器を使用しています。人工呼吸器管理・組み立て・リークテストなどICU看護師が中心となり、メンテナンスや最終点検は臨床工学技士が担当しています。

〈体験その1〉

一度は経験し、逃げ出したくなる高鳴る鼓動

人工呼吸器をみるようになったはじめのうちは、アラームが鳴った時の対処に困ることが多くあります。実際に「消音は押しはみるが、原因がわからずにいて、再びアラームがなってしまって、なんで？どうして？」という話を聞いたことがあります。また、吸入器をつけた時に回路が破損したり接続が突然外れて、気が焦ってしまいつい手で押さえ動揺した経験もあるようです。

〈体験その2〉

6種類の人工呼吸器が私の心を悩ませる

6種類の人工呼吸器は登場回数に差があり、よく使用する呼吸器は回路を組み立てたり、管理するのもそれほど悩みません。しかし、登場回数が少ないものは組み立てる回数も当然少ないわけですから、経験が少ない看護師は、必要物品がそれぞれで違うことや、組み立てが出来たとしても「これでいいのだろうか」という不安があります。また、使い慣れた呼吸器から突然違う呼吸器に変わると「なんでこの呼吸器なの！どのように見るのかわからずパニックになる」という意見が毎年聞かれます。

対策として

人工呼吸器に関する勉強会は定期的で開催し、医師が呼吸の解剖生理、看護師が呼吸管理、臨床工学技士がチェックリストの必要性や特色や操作方法について担当しています。その内容をビデオ撮影し、

勉強会に出席できなかった人や復習などに活用しています。さらに、それぞれの呼吸器を扱っている会社の方をお願いして、呼吸器の特色や操作方法について勉強会を開催して頂き、その時に人工呼吸器のPEEPの有無の差や強制換気を体験し、患者様の看護に活かしています。

個人的なフォローアップとして、人工呼吸器の経験年数が少ない看護師が、装着中の患者様を受け持たせていただく場合、経験がある看護師と一緒にケアに参加しています。何かドキッ！とすることが起こった時、一度深呼吸をしてから、その後はどのように対処していけばいいか、学んでいける体制になっています。アラームがなった時は、「大丈夫ですか？」と声をかけ、受け持ち看護師だけで対処出来るかどうかを判断しています。また、操作に慣れていないため、主治医の指示のもと設定を変更した後、「間違っていないか」不安に陥ることもあるようです。その時は自ら誰かに声をかけるように指導しています。そして、換気条件・アラーム設定などに関するチェックリストを用いて勤務交代時にダブルチェックしていますが、その時にも操作方法やアラーム、さらには、あとで「ごめんごめん、設定変えてた」と医師に言われなかったための術も指導しています。

呼吸器回路の組み立てに悩まないように、①呼吸器のマニュアルを整理したり、②呼吸器の側に完成した回路の写真を貼ったり、③時には、愛する看護師に泣きついたりしています。機会があるごとに相談・指導ができる職場環境になるようスタッフ全員で取り組んでいます。

おわりに

人工呼吸器は、集中治療領域においてなくてはならない医療機器の一つです。新人の方は、「恐ろしい」とか「わからない」といった気持ちがあると思いますが、臆することなくどんどん触れてみることをお勧めします。患者様に影響しない程度に、ということが大前提ですが…。また、新人以外の方は慣れ過ぎてはいませんか？「初心忘れるべからず」で、これからも頑張っていきましょう。

人工呼吸器の安全点検システム



徳島大学医学部侵襲病態制御医学研究員

徳島大学医学部附属病院 救急部・集中治療部

臨床工学技士 大西 芳明

1 はじめに

去る平成15年5月25日、大阪国際会議場（大阪市北区中之島5丁目3番51号）において、第13回日本臨床工学会（学会長：大阪府立病院臨床工学機器室 吉井幸誠先生）が開催された。本創刊号として、学会第二日目のランチョンセミナーにて発表した「臨床工学技士による人工呼吸器の保守管理－安全点検システムとその実際－」の内容について執筆させて戴いた¹⁾。

厚生労働省は、医療機器の市販後における適切な情報提供及びサービスの提供のなかで、医療機器に起因する医療事故を防止するため、医療機関における保守管理を徹底するとともに、保守管理検査制度を導入し、医療機関における医療機器の保守管理状況に関する一定期間ごとの第三者による点検義務化を検討している²⁾。また、モデル病院の設置等により、医療機関で使用されている医療機器の評価・選定、保守管理、廃棄までの一貫した窓口として、ME部等の設置（医薬品の管理窓口である薬剤部と同様な機能を想定）及び臨床工学技士等の活用の推進も述べられている²⁾。今後、医療機関で使用されている生命維持管理装置である人工呼吸器の適切な保守管理として、使用前点検、使用中点検、使用后点検、定期点検等を実施する必要性が求められると考えられる。今回我々は、人工呼吸器の保守管理全般がサポートできる安全点検システムMARIS™(Maintenance Activity Record Information System)をフクダ電子株式会社との産学連携にて共同開発した³⁾⁴⁾。本稿では、情報技術(Information Technology,IT)を用いた安全点検システム(MARIS™)が開発された経緯とその有用性について紹介する〈図1〉。

2 医療機器の保守管理の課題

医療機器は、繰り返し使用されるものが多く、使用の段階での安全確保ができて、初めて診断及び治療に貢献できる。だが、現在、購入から10年、または15年以上になる古い医療機器が十分な保守点検もせず、そのまま使用されている状況が非常に多く、見受けられる。このような医療現場では、医療機器



- 医療機器の始業点検、動作中点検、定期点検など点検データをデータベースに記録し、一元管理できるシステムである。
- 医療機器の製造メーカー、器械番号、購入日など機器の属性情報も一元管理できる。
- 医療機器の故障、修理内容を記録できる。
- 医療機器院内貸出しの管理情報を記録できる。
- 点検情報、器械情報、修理故障情報の検索が瞬時にでき、過去の記録を閲覧できる。
- 点検の記録には、バーコードリーダー付きPDAが利用できる。



〈図1〉 医療機器安全点検システム (MARIS™, フクダ電子株式会社)

に関連した医療事故が発生しやすい、大きなリスクを抱えている課題があると考えられる。

さて、日本呼吸療法医学会が作成された「人工呼吸器安全使用のための指針」⁵⁾のなかで、人工呼吸療法中に生じたインシデント及びアクシデント事例21件のうち、人工呼吸器の整備点検不良の事例5件が報告されている。これらの事例では、機器の取扱い方法や保守管理体制の不備などが原因であると報告されている。

3 医療機器による医療安全対策

近年、特定機能病院である国立大学病院では、集中治療及び救急医療の発展に伴い、集中治療室(ICU)、

高度重症病室（HCU:High Care Unit）などが開設されている。急性期疾患である重症患者の治療用として、複雑化、高度化された人工呼吸器をはじめ血液浄化装置、循環補助装置などの医療機器が多数導入されている。これらの医療機器の使用者側である医療機関は、安全性の確保を徹底する必要がある。具体的には、医療従事者（医師、看護師、臨床工学技士等）が医療機器を適正に使用することも必要であるが、同時に、医療機器の定期的な保守点検の実施も必要である。また医療機器製造販売メーカは、できるだけ機能の単純化、操作方法の簡略化、保守点検の効率化などに配慮された医療機器を開発することが望まれる。これらにより、医療環境が整備され、確実な医療事故の安全防止に繋がるものと考えられる。

4 当施設ICUにおける人工呼吸器の保守管理

筆者は、国立大学病院の臨床工学技士として、1983年から当施設ICUにて使用されている人工呼吸器の保守管理に携わってきた。ここでは、過去20年間にわたる人工呼吸器の保守管理について紹介する。1983年4月当時、当施設ICUで使用されていた人工呼吸器の保守管理は、看護師業務として行なわれていたが、保守管理に関する点検マニュアル及び保守管理簿は存在していなかった⁶⁾。筆者がME業務の一つとして、人工呼吸器の保守管理業務を初めた1983年6月当時、人工呼吸器の取扱説明書のなかには、日常点検について書かれていない酷い状況下であったため、保守点検を実施するのに苦労した。

1) 独自の保守点検表による保守管理

1983年、「人工呼吸器の使用と保守・管理」が出版され⁷⁾、初めて保守管理に関連した書籍に出会うことができた。現在では、筆者にとって、この書籍が人工呼吸器の保守管理の原点でもある。この書籍と取扱説明書を参考にして、独自の保守点検表を作成することができた。

1996年、北里大学の渡辺 敏先生と廣瀬 稔先生からの推薦を受け、「新版 人工呼吸療法」のServo 900Cの保守管理を書かせて戴いた⁸⁾。フクダ電子株式会社の協力を戴き、Servo 900Cの使用前点検、使用中点検、使用后点検、定期点検の点検項目を、ほぼ確定することができた（図2）。

2) 保守管理システム I (File Maker™)

1998年10月、当施設東病棟開院に伴い、集学治療病棟36床（ICU:6床,HCU:30床）及び周産母子センター4床（NICU）が開設された。臨床工学技士2名にて、病棟部門で使用される人工呼吸器（17機種56台）を



〈図2〉 SV-900シリーズ 簡易取扱説明書（フクダ電子株式会社）
サーボ900シリーズ点検リスト

集中的に保守管理するため、救急部・集中治療部が集学治療病棟（6機種24台）、材料部が周産母子センター及び一般病棟（11機種32台）を担当する二分割した分散型中央管理体制を導入した¹⁾⁶⁾。東病棟開院前、人工呼吸器の保守管理全般を支援できるシステムは存在していなかった。そこで、1997年7月より、人工呼吸器の保守管理業務の作業効率を向上させ、機器の管理台帳も作成できる保守管理用システムをフクダ電子株式会社との産学連携の共同開発に着手した⁹⁾¹⁰⁾。まず、医療機器製造販売メーカと人工呼吸器の保守管理（保守点検）に従事している臨床工学技士の知識（Knowledge）であるノウハウなどを共有化した後、開発コンセプトを立案した。具体的には、①保守管理全般をサポートできること。②日常点検である使用前点検、使用中点検、使用后点検の点検項目をワークシート化することにより、点検漏れを防ぐことができること。③医療機器の機種及び医療機器製造販売メーカに関わらず、一つの保守管理システムにて対応ができることなどとした⁹⁾。1998年9月、データベース管理用ソフト（File Maker Pro™ 4.1,File Maker）及びモバイルコンピュータ（FMV-BIBLO™MC3/45,富士通）を用いた「人工呼吸器保守管理システム」を共同開発することができた。本システムは、各種人工呼吸器の使用前点検リストと故障・定期点検リストから構成されている。使用前点検リストでは、点検項目毎に評価を入力できるシステムにした。しかし、この管理用ソフトでは、データの改ざんが可能なことなどが課題であった。

3) 保守管理システム II (MARIS™)

2000年1月、現行システムの課題及び将来性を考慮し、新たに医療機器の保守管理システムの共同開発を開始した。2000年10月、データベースシステムであるe-DATABASE・Cache'（Inter Systems,USA）を用いた「医療機器保守管理システム（デモ版）」が完成し、

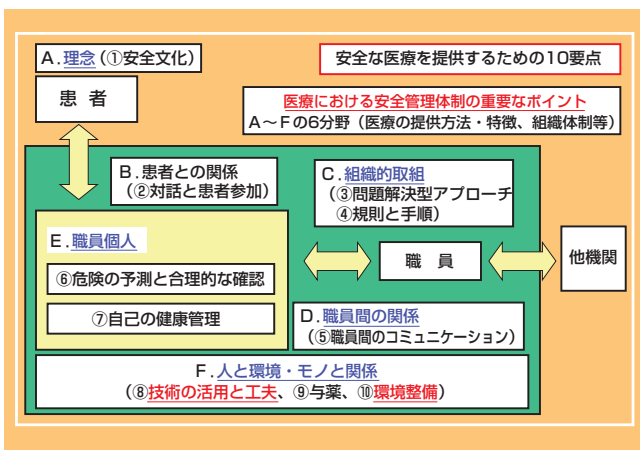
同時に国内特許を共同出願した。2003年2月3日、タッチパネル式モバイルコンピュータとバーコードリーダー付携帯端末(PDA)を用いた安全点検システム(MARIS™)を製品化することができた³⁾⁴⁾。

5 医療における安全管理体制

1) 安全管理体制の重要なポイント

(1) 厚生労働省の医療安全の全体構成

厚生労働省が推奨している「医療安全の全体構成(グランドデザイン)」¹⁾では、医療機関での具体的な取組の方法のうち、⑧技術の活用と工夫では、安全確保のための取組を人間の力だけで行うには限界があるため、積極的にITを活用することで、人的ミスの発生を減らすことができると述べられている。また、⑩環境整備では、作業環境の整備も手順のミスを防ぐなど、事故防止に繋がり、記録や医療機器等も作業環境の一環として整備する必要があると述べられている(図3)。

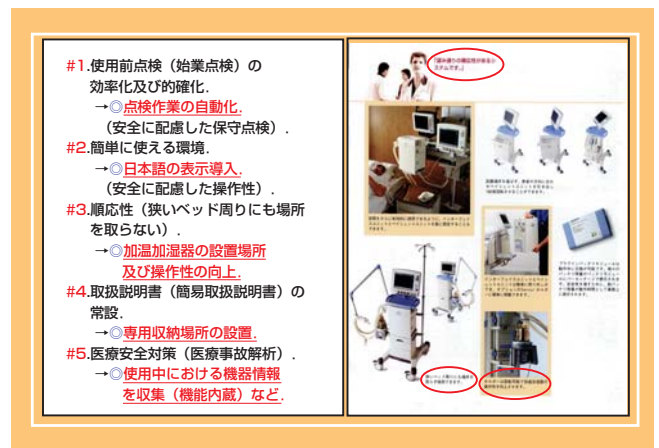


〈図3〉医療安全の全体構成(グランドデザイン)

(2) 医療機器の研究開発における臨床工学技士の役割

筆者は、医療現場に配慮された順応性の高い人工呼吸器である Servoⁱ™ (SIEMENS)¹²⁾の開発アドバイザー(日本側スタッフの一員)として、①安全に配慮された使用前点検の効率化及び的確化を目的とした点検作業の自動化の導入。②安全に配慮された機器の操作性の向上として、日本語の表示導入。③狭いベッド周りにも場所を取らないために、加温加湿器の設置場所及び操作性の向上。④機器本体、加温加湿器等の取扱説明書(簡易取扱説明書)の常設するための専用収納場所の設置。⑤医療安全対策として、医療事故発生状況の把握のため、機器情報を収集できる機能を内蔵などの提案を行なった(図4)。

今後、先進的医療が実践されている特定機能病院



〈図4〉サーボ i (医療現場に配慮された順応性の高い人工呼吸器)

で従事している臨床工学技士は、医療現場で使用されている医療機器の操作方法及び保守点検などの経験にて得られる改良、改善や新製品の開発アドバイス等、医療機器の研究開発にも貢献することが求められると思われる⁴⁾⁹⁾。

2) 医療機関における人工呼吸器安全管理体制

日本呼吸療法医学会が作成された「人工呼吸器安全使用のための指針」⁵⁾では、各医療機関において、①人工呼吸安全対策委員会の配置、②人工呼吸器管理専門技術者の配置、③教育システムの整備が述べられている。

(1) 医療機器の保守管理体制

医療機器の保守管理体制としては、①単独型管理(一部門管理体制)、②分散型中央管理体制、③集積型中央管理(一元管理体制)がある。従来、医師や看護師が医療機器の保守管理を実施されている多くの医療機関では、単独型管理である。しかし、平成17年度の薬事改正(案)では、特定保守管理医療機器の安全点検の義務化として、保守管理検査制度の導入が検討されている²⁾⁴⁾。今後、病院経営サイドの対応策としては、院内にME部門(MEセンター、臨床工学部等)を設置して、臨床工学技士等の医療機器の専門家を活用し、医療機器のライフサイクル全体を保守管理する安全管理体制を導入するか。また、適切な医療機器修理業者に外注委託するかなど、早急に医療機関の対応を選択する必要性に迫られるものと思われる。

医療機器の保守管理を単独型管理でも臨床工学技士が実施している医療機関では、平成17年度までに、分散型中央管理体制¹⁾⁶⁾⁹⁾または一元管理体制に組織化することが望ましいと考えられる。具体的に、医療機関がこれらの管理体制に移行する場合、①医療機関の構造上、各セクション(ICU,手術室,材料室,透

析室,一般病棟,外来部門,救急救命センター等)が離れているかどうか。②臨床工学技士の定員数に応じた管理体制を選択できるか。③医療機器の保守管理などにITを導入し^{9) 10)}、医療安全管理体制の強化及び経営の効率化が図れるかなどを検討しなければならないと考えられる。

(2) 医療安全に寄与するIT機器開発・利用の推進

厚生労働省が作成された「医療機器産業ビジョン」²⁾では、バーコード等を利用した、医療安全に寄与するIT機器の利用の推進として、新たにIT機器開発を支援することが述べられている。医療安全の確保には、医療安全に配慮された医療機器の開発だけではなく、それが使用される医療環境の整備として、近年、発達を遂げているITの活用は、医療安全を推進するための手段の一つであると考えられる^{9) 10) 13)}。今後、安全点検システム(MARISTM)¹⁾は、国内の医療機関で使用される医療機器の保守管理システムの一つとして評価されるものと思われる。

6 結語

医療機器に関連した医療事故を防止する安全対策の一つの方向性として、医療機器製造販売メーカの製造物責任(PL)法に沿った保守点検ならびに保守管理の必要性が、医療機関にも求められる時代が到来しつつある。この安全点検システム(MARISTM)は、人工呼吸器をはじめ麻酔器、除細動器など他の医療機器の保守点検用としても開発されているため、今後、特定機能病院をはじめ、救急医療現場、一般病院などにも導入されていくものと考えられる。

[謝辞]

安全点検システム(MARISTM)の実用化ならびに製品化に御指導、御鞭撻を賜りました徳島大学医学部の諸先生方をはじめ、多大なる御協力を戴きましたフクダ電子株式会社様に感謝の意を表します。

安全点検システム(MARISTM)が国内の医療機関等で使用され、「医療の質の向上」に多少なりとも貢献できることは、開発に携わった全員の切なる願いである。

[参考文献]

- 1) 大西芳明: 臨床工学技士による人工呼吸器の保守管理—安全点検システムとその実際—, 日本臨床工学技士会 会誌, 55, 18, 2003
- 2) 厚生労働省: 医療機器産業ビジョン~“より優れた”“より安全な”革新的医療機器の提供を目指して~, 2003.3.19
- 3) 日本経済新聞: 医療機器の安全性点検—フクダ電子がシステム—, 14, 2003.2.4
- 4) 徳島新聞: 医療機器 点検システム開発—徳大グループ 故障情報など管理. チェック項目機種ごとに表示—, 31, 2003.4.24
- 5) 日本呼吸療法医学会 人工呼吸安全管理対策委員会: 人工呼吸器安全使用のための指針, 人工呼吸18(1):39-52, 2001,
- 6) 大西芳明: 人工呼吸器の保守管理, Heart&Wellness 臨床MEインフォメーション12:13-14, 2002.9
- 7) 石原 昭(監修), 渡辺 敏(編集): 人工呼吸器の使用と保守・管理, 医学館, 1983
- 8) 大西芳明: Servo 900Cの保守管理, 沼田克雄(監修): 新版 人工呼吸療法—各種人工呼吸器の特徴・適応・保守管理, Clinical Engineering別冊: 119-121, 1996.2
- 9) 大西芳明, 黒田泰弘, 大下修造, 他: 人工呼吸器の保守管理におけるIT化, 医科器械学72(10):571-572, 2002
- 10) 黒田泰弘, 大西芳明, 阿部 正, 他: 人工呼吸のリスク管理とシステム, 信学技報101: 31-38, 2001
- 11) 厚生労働省: 医療安全の全体構成(グランドデザイン), 厚生労働省ヒューマンエラー部会, 2001.9.11
- 12) フクダ電子株式会社: 人工呼吸器 サーボベンチレータシリーズ Servo i カタログ: 2-13, 2001
- 13) 大西芳明, 黒田泰弘, 上田雅彦: 当院集学治療病棟における人工呼吸器の保守管理, 人工呼吸20(2): 154, 2003.10

~豊富な実績と経験から生まれた~

新世代のサーボベンチレータ!



人工呼吸器
サーボベンチレータシリーズ
Servo i
医療用具承認番号: 21200BZY00120000

MAQUET

- **クリニカルパフォーマンス**
高品質で安全なサーボベンチレータの伝統と臨床経験の基に開発
- **移動性**
小型・軽量設計の本体は、患者とともにスムーズな移動が可能
- **コストパフォーマンス**
ソフトウェアやハードウェアのオプション方式により、効率的な購入方法が可能
- **安全性**
12インチカラー液晶に患者情報、アラーム情報を日本語表示し、始業点検機能も搭載

● 医用電子機器の総合メーカー

FUKUDA DENSHI 本社/東京都文京区本郷 3-39-4
フクダ電子ホームページ <http://www.fukuda.co.jp>

短歌とともに生きる



歌人 田島 邦彦

身近に楽しめる文芸に詩歌がある。それは短詩型文学といわれるが、その代表的な形式は短歌と俳句である。定型で短いことから、年齢に関係なく手軽に始められ、長く続けている人が殆どである。そして何十年と続けていくうちに、人は自身が病や事故などに見舞われたり、家族や知人の不幸に遭遇する。

そんな時にも短歌を趣味にもっていが、歌作りが苦しみや悲しみを吸収し、こころの支えになってくれるケースもあるだろう。

つぎで紹介する短歌は、癌を告知された直後、一気にまとめた「告知」と題する20首の中の5首である。実は私が発行する短歌雑誌のメンバーで歌壇でも知られる中堅女流歌人である。私の雑誌に昨年10月に掲載した。

- 留守電に医師の声ありかにかくにこの世はあの世の地続きとして 蔵本瑞恵
- テレビ的ドラマの始まり思わせるガン告知のシーン主人公 われ
- 夫宛てに延命治療拒むと書く医療ミス多発のニュース聴きつつ
- 飛ぶ鳥の濁さぬように整理する押し入れ引き出し秘密の箱も
- 血の絆なけれど夫のいたわりに臓器摘出を覚悟している

気丈に書かれているが、心の乱れは語句の端端に痛ましいほど感じられはしないだろうか。それでも冷静に歌に詠めることに対し、短歌のもつ魔力のようなものを感じてしまう。

これまで腸の病気で5年周期のつきあいがあって、10年来の掛かり付けの病院で検診を受けた後、夫の単身赴任が終わるため仙台へ片付けに出かけ、自宅へ戻つ

たら、医師からの留守電が入っていて、掛けたところ末期胃癌であった。入院・手術を前に、あえて発表のために1日で作られた衝撃的作品である。

この蔵本さんが若いころに短歌を始めるに際し入会した雑誌は「立春」であった。この雑誌は“母の歌集”で知られた五島美代子さん（78年没）が夫の茂氏と主宰していた。

その五島茂氏は明治33年生まれで、戦後皇太子殿下（現・天皇陛下）の作歌指導にも当たった。短歌も手放すことなく詠み続けられた。

- みづうみに映れるひかりただよふはわれのいのちのきらめく^{ほのほ} 五島 茂
- 逝くわれのおもひはつひにしづかなり高原の霧まぼろしにして^{たかはら}

103歳になったちょうど2週間後の昨年暮れの12月19日に亡くなられた。この歌は1月臨時増刊の『短歌年鑑』に掲載された歌なので最晩年の作品になろう。現役最年長歌人だった。

ここに紹介した2人の歌人の短歌との付き合いは、病や人生の不幸や老いの境涯をみずから歌うことで、自分自身を励ますと同時に読むものにも元気を与えてくれる。このように短歌は自分で作ることの生き甲斐と、こうして他人の作品から生き方とか苦難の対処法など、さまざまなことを学ぶこともできる。

短歌とともに生きる人生に、皆さんはどのような感想を持たれるでしょうか。

田島邦彦（たじま・くにひこ）

1940年香川生まれ。中大法学科卒。日本文藝家協会・現代歌人協会会員。雑誌「開放区」主宰。歌集・評論集等多し。近著では入門書に『今日からはじめる短歌の作り方』（成美堂出版）と近刊『楽しく始める短歌』（金園社）がある。

ご存知でしたか？

心電計で培った技術と
 サービス力でサポートしています



フクダ電子製
採尿蓄量装置

医療用具承認番号：21400BZZ00034000

FUKUDA DENSHI 本社/東京都文京区本郷 3-39-4
 フクダ電子ホームページ <http://www.fukuda.co.jp>



発行日 平成16年2月27日
 発行人 野口 亮造
 編集人 小野 薫
 印刷所 協立印刷株式会社

株式会社 エム・イー・タイムス
 〒133-0033 東京都文京区本郷3-13-6
 TEL. 03 (5684)1285
<http://www.me-times.co.jp/>