

# 非侵襲的換氣療法

平成 14 年 12 月 9 日

# 目次

第1章 人工呼吸器の歴史的な使われ方	7	2.11 成功率	35
1.1 陰圧式呼吸器の時代	7	第3章 COPD に対する慢性期の非侵襲的換気	37
1.2 気管切開と陽圧式呼吸器の時代	12	3.1 COPD の低換気状態	37
1.3 気管内挿管に対する反省の時代	15	3.2 非侵襲的換気～理論上の利益	38
1.4 非侵襲的換気への回帰の時代	16	3.3 肺気種の人工換気の初期の研究	39
1.5 気道分泌物の管理	18	3.4 鼻マスクを用いた陽圧呼吸	40
1.6 その他の換気補助装置	19	3.5 肺気種の非侵襲的人工換気に必要な道具	41
第2章 非侵襲的陽圧換気～道具と実践	23	3.6 肺気種に対する非侵襲的人工換気のリコメンデーション	42
2.1 呼吸器の分類	23	3.7 人工換気の長期予後	43
2.1.1 集中治療室で用いる呼吸器	23	第4章 急性呼吸不全と非侵襲的陽圧換気	45
2.1.2 携帯型従量式呼吸器	24	4.1 歴史的経過	45
2.1.3 携帯型従圧式呼吸器	25	4.2 急性呼吸不全の理論的背景	46
2.2 顔面との接続	26	4.3 非侵襲的換気の原理	48
2.2.1 鼻マスク	26	4.4 非侵襲的換気の効果の証明	50
2.2.2 フルフェイスマスク	28	4.5 成功/失敗を決定する因子	57
2.2.3 マウスピース	30	4.5.1 患者の選択	58
2.3 呼吸器の選択	31	4.5.2 人工換気の開始と調節	59
2.4 顔面との接続方法の選択	32	4.5.3 非侵襲的換気の副作用と対策	61
2.5 圧と一回換気量の設定	33	第5章 手術後の患者に対する非侵襲的換気の効果	65
2.6 吸気時間とピークフロー	34	5.1 非侵襲的換気による呼吸補助に対する理論的な根拠	65
2.7 PEEP	34	5.1.1 呼吸不全に非侵襲的換気を用いる有用性	66
2.8 供給酸素濃度	34	5.1.2 他の呼吸不全と手術後の患者の違い	68
2.9 加湿の必要性	35	5.2 手術後呼吸不全の患者に対する非侵襲的換気	69
2.10 非侵襲的人工換気の開始	35	5.2.1 CPAP マスク	69
		5.2.2 非侵襲的陽圧換気	72
		5.3 非侵襲的陽圧換気の手順	73
		5.4 非侵襲的人工換気の臨床研究	76
		5.4.1 BiPAP	76
		5.4.2 陰圧式換気装置	77
		5.5 まとめ	78

<b>第 6 章</b>	<b>抜管が問題となる患者に対する非侵襲的換気</b>	<b>81</b>
6.1	早期のウィーニング	81
6.2	CPAP と PSV ~ 挿管下での研究	82
6.3	非侵襲的陽圧換気	83
6.4	まとめ	83
<b>第 7 章</b>	<b>非侵襲的な気道分泌物の管理</b>	<b>85</b>
7.1	正常な分泌物排出	86
7.2	気道分泌物排出の異常	87
7.3	気道分泌物の排出を低下させる病気	88
7.4	気道清浄化の方法	89
7.5	患者が自分で行なう方法	89
7.5.1	咳の重要性	89
7.5.2	強制呼気法	90
7.5.3	能動的呼吸法	91
7.5.4	自発的ドレナージ	91
7.6	介助による方法	93
7.6.1	体位ドレナージ、パーカッション	93
7.6.2	用手的な咳の補助	94
7.7	終末呼気陽圧	95
7.8	機械を使ったドレナージ	97
7.8.1	機械による咳	97
7.8.2	フラッターバルブ	98
7.8.3	肺内パーカッション式呼吸器 (IPV)	99
7.8.4	高頻度胸郭圧迫	100
7.9	分泌物減少薬/喀痰溶解剤	101
7.10	気道浄化法の選択	102

# 第1章 人工呼吸器の歴史的な使われ方

## 1.1 陰圧式呼吸器の時代

最初の人工換気は 1500 年代に始まった

機械的な人工換気を最初に始めたのは、恐らくはパラケルスス<sup>1</sup>が 1530 年に、死にかけた人の肺にふいごで空気を送り込んだのが始まり<sup>2</sup>である。

この、ふいごを用いて患者の口から空気を送りこむ方法は、一応効果がある蘇生術として、ヨーロッパでは 19 世紀まで行なわれた<sup>3</sup>。

タンク式の呼吸器の開発

気管内挿管が開発されたのがもう少しあとだったためか、世界で最初に開発された人工呼吸器は、現在のものとは全く異なる。

これはタンク式呼吸器、あるいは陰圧式呼吸器などと呼ばれ、患者の周囲を陰圧にすることで、患者の肺に空気を送り込む。

タンク式人工呼吸器が最初に記載されたのは、スコットランドの Jhon Dalziel らが 1838 年に発表したもの (図??) である。陰圧の作成は 2 つのふいごを用い、手動で行なわれた。

<sup>1</sup>医療界の聖人の一人。知らないでしょうが。

<sup>2</sup>一応、これが BiPAP の起源とされる。

<sup>3</sup>緊張性気胸が続出したという。

効果が証明できるまではかなりかかった

この装置は少なくとも一人の溺水患者で用いられたことが確認されており、患者は座った状態で呼吸器内に入り、口や鼻から空気が入っていくのがはっきり確認できたとされている。しかしながらこの患者は亡くなってしまったという。

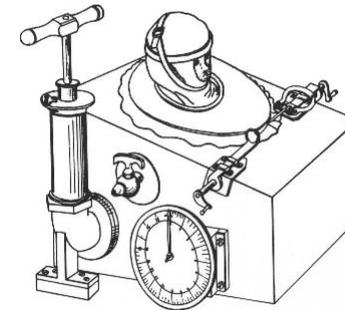


図 1.1: 最初の呼吸器は手動だった。左の空気入れのようなレバーを人が上下させると、箱の中の圧力が変化する。

更に、これとほとんど同じ機械が 1864 年にアメリカで特許が出されており、その適応は麻痺の患者、リウマチ、喘息、気管支炎などであった。

ほかのタンク式呼吸器としては、Wollez らの最初の実用的な鉄の肺である "spiropore" がある。彼らはこれを溺水の患者の救命に用いたと主張したが、公式な記録は残されていない。

救命的な効果を発揮した初めてのものは、Egon らの小児用の小さな木の箱で、これは医師の息により陰圧を発生するものであった。彼らはこれにより、50 例の成功例を発表している。

機械式的人工呼吸器の試作品は 1908 年に発表され、また患者自身で呼吸を補助できるような装置も工夫された。

## 鉄の肺の登場

最初の鉄の肺が広く世の中に知られたのは、1928年のボストンでのことである。この機械は最初の電気式で動く呼吸器であり、ハーバード大学病院や、ロックフェラー基金により中国の北京大学病院に贈られたりした。この機械は当初、阿片中毒の患者の呼吸抑制の治療に使われた。

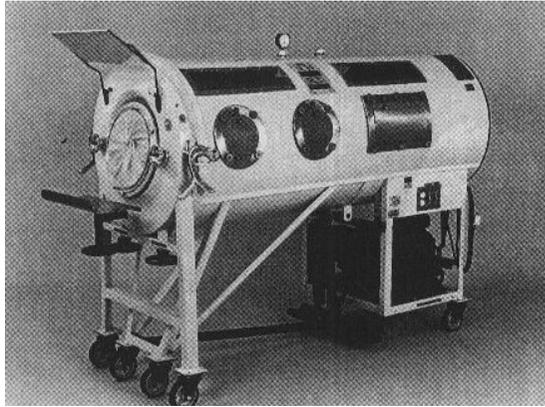


図 1.2: 代表的な鉄の肺の写真

そして1936年になり、有名なシカゴの銀行家の家族が北京でポリオにかかり、鉄の肺で救命されたことをきっかけに、ポリオの流行に備えて鉄の肺が大量生産されることとなった。

図は1950年ごろのICUの写真であるが、今とは全く異なり、棺桶が大量に並んでいるように見える。

この形の呼吸器は、1950年代のポリオの世界的な流行を境に、だんだんと廃れていった。

## 胸郭式呼吸器

鉄の肺は体全体を覆うため、オムツ交換ひとつ満足にできない。体全体を覆うのではなく、胸郭周囲を陰圧にするだけでも、理論上は呼



図 1.3: 鉄の肺の内部写真。隣の夫人は、これを38年間使用した後に気管切開を受けた。



図 1.4: 1950年代のICUの風景。鉄の肺が並んでいる。

吸ができる。

最初の胸郭式呼吸器<sup>4</sup>が開発されたのは、1876年のことである。これは、手術後の無気肺をマスクを用いたCPAPを用いて治療している際に、呼吸を補助するために考えられた。

さらに1904年に、後に大量生産されるものと同じような胸郭式呼吸器が作られた。1949年には持ち運びのできる胸郭式の人工呼吸器が作られ、患者が日中座っていても、夜間寝ていても呼吸を補助するように作られていた。

着用できるような陰圧式人工呼吸器が最初に作られたのは、1955年のことである。

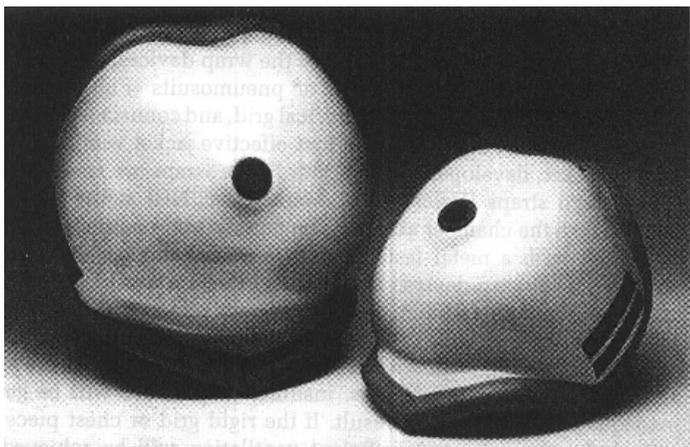


図 1.5: 胸郭式呼吸器のひとつ。これに、コンプレッサーを接続する。

けっこう便利だったが、十分な換気量がとれず、やはりほとんど使われなくなった。

<sup>4</sup>ハンニバルの悪役がつけていたもの。金属でできた、巨大な吸盤のような形をしている。

## 1.2 気管切開と陽圧式呼吸器の時代

トレンデンベルグは、1869年<sup>5</sup>に、はじめて麻酔に気管切開チューブを用いた報告をしている。

その後、麻酔に気管内挿管を用いた報告が続き、1893年には間欠的陽圧換気を実行するための手動式の袋<sup>6</sup>が作られた。

気管切開と機械式の人工呼吸器は、第一次世界大戦中に広く使われるようになった。

鉄の肺を利用している人でも、気道分泌物をとるために、気管切開はしばしば行なわれたにもかかわらず、なぜか現在のようないくつかの人工呼吸器が作られることは無かった。

ポリオの大流行をきっかけに陽圧式呼吸器が生まれた

しかし、1952年のデンマークでのポリオの大流行の際、従来のような人工呼吸器の数が足りなくなった際、現在のアンビューバッグのような道具による手動<sup>7</sup>呼吸（図??）が行われた。



図 1.6: 気管切開を受けた子供と、バッグを押す医師。

<sup>5</sup>鉄の肺より40年近くあと

<sup>6</sup>今でいうところのアンビューバッグのようなもの

<sup>7</sup>国中の医学生が、3交代で人間呼吸器になったらしい

同時期に、現在の人工呼吸器の原型（図??）が作られた。これは、一定時間ごとに、吸気と呼気を繰り返すように設計されており、うまく働いた最初の呼吸器のひとつになったという。

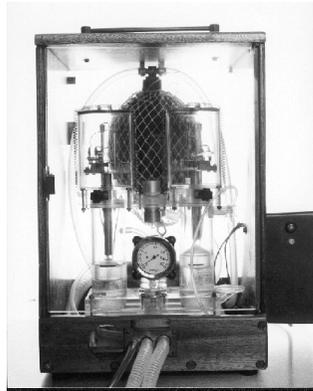


図 1.7: 黎明期の陽圧式人工呼吸器のひとつ。外枠は木製。

#### 鉄の肺と気管切開の比較で、気管切開の優位性が証明された

鉄の肺は十分な呼吸の補助を提供できたが、患者は全く動くことができず、気道内分泌物を気管内挿管の助け無しに除去することは難しかった。

この頃はもちろん、BiPAP は普及しておらず、また機械により分泌物の排出を促す方法も、1954 年までは一般的でなかった。

また、デンマークでのポリオの流行時には、球麻痺の合併した人の死亡率は 94% だったのに対し、球麻痺<sup>8</sup>の合併していない人の死亡率は 28% であった。

これらの事実から、特に球麻痺の合併した人にはより多く気管切開が行なわれるようになってきた。

気管切開と、体外式人工呼吸器のどちらがより好ましいのかという

<sup>8</sup>要は嚥下障害。舌がのどに落ちてしまう。

議論は長く続けられた。そして 1955 年に、国際学会で呼吸不全に嚥下困難、意識低下を合併している患者には気管切開を行なうべきであるとのコメントが出された。

#### 呼吸ケアの効果もこの頃発表された

同じ頃、個人個人のケアを徹底することで、死亡率が劇的に下がるという印象的な事実が発表された。

ポリオの死亡率は 1948 年当時の 15% から 1952 年には 2% に下がっていたが、この数字は頻りに気管切開を行なっている病院と、陰圧式人工呼吸器を用いている病院とでは大きな差はなかったのである。

これらのことは、過去の高い死亡率は陰圧式の人工呼吸器が劣っていたわけではなく、球麻痺の存在と、それによる分泌物の誤嚥によるものだと言うことを意味する。より良い看護と、気道分泌物を除去する技術の進歩が死亡率を下げた。

#### 陰圧式の呼吸器の良さを見直す動き

1958 年に、フォーブスはこう記している。

気管切開は、ある種の患者ではより確実な気道を提供してくれるが、その一方で気道分泌物が末梢気道から吸引可能な部位まで移動してくるのを助けることはできない。気管支鏡でも届かないような末梢気道の痰をとるために、なんらかの機械的な補助が必要である。

フォーブスは過去の 6 つの研究を比較し、

- 急性呼吸不全の患者では、気管切開による陽圧換気よりも、タンク式呼吸器のほうが生存率が良い
- 呼吸筋麻痺のある患者でも、上部気道の機能が保たれている人では、気管切開による人工呼吸よりも、陰圧式換気のほうが生命予後が良い

ことなどを発表している。

陰圧式人工呼吸器は表舞台から消えた

これらの事実にもかかわらず、患者の動きが極めて制限されること、気管切開の手技が容易になり、管理がしやすくなったこと、更に陰圧式呼吸器に耐えられなかったり、球麻痺がある患者でも使えることなどから、1960年代に入ると長期人工呼吸管理の標準は、気管切開と陽圧式換気装置になっていった。

更に、気管切開を用いることで、酸素濃度の管理や一回換気量の管理も正確にできる呼吸器も登場した。

気管切開に加え、気管内挿管の技術が普及するにつれて、用手的に咳をさせる方法も教えられなくなり、タンク式人工呼吸器を使える者も減っていった。

マスクを用いた、非侵襲的陽圧換気装置は、患者によっては気管切開よりも好ましく、更に陰圧式呼吸器よりも優秀であるが、この登場は1969年である。更にこれが24時間を通して使えることが証明されたのは、1980年に入ってからだった。

### 1.3 気管内挿管に対する反省の時代

気管内挿管による合併症の報告

1970年代に入り、気管内挿管と、それによる長期人工呼吸管理が普及するにつれて、この方法に関するいくつかの問題点が報じられてきた。

それは肺炎の合併、不整脈による突然死、粘液栓の形成、チューブの接続の外れなどである。とくにグラム陰性桿菌の感染は、致命的な粘液の形成、慢性気管支炎の合併、敗血症などを起こし、問題になった。

物理的な合併症では気管破裂、気管潰瘍、気管食道瘻、更にチューブ交換に伴う出血などが報告された。

ほかの重要な合併症として、上気道を用いた生理的な呼吸ができないために効果的な咳ができず、声帯の癒着を生じやすく、気管の狭窄などを生じることなどがあげられる。

気管切開孔の存在は、頻回の吸引を必要とし、更に気管切開部のケアも必要となる。また喉頭の動き<sup>9</sup>も制限するために嚔下が難しくなり、結果として誤嚔が増えてしまった。

気管内吸引は患者にストレスを与え、また左肺の吸引が難しくなる<sup>10</sup>ために、左側の肺炎を生じやすくなる、といったことも問題とされた。

### 1.4 非侵襲的換気への回帰の時代

べつに気管内挿管をしなくても、口、鼻を通じて陽圧換気は行なえる。

皮肉なことに、鉄の肺に入った患者の体のケアをするときには、患者の頭のみをドームに入れ<sup>11</sup>、陽圧換気を行っていた。

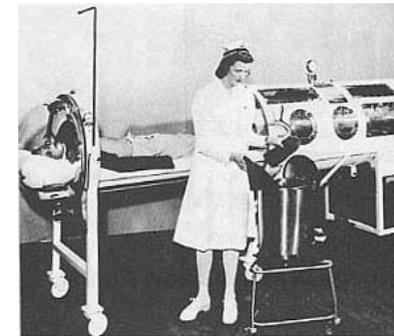


図 1.8: 鉄の肺に入った患者をケアする際には、患者の頭（図の左側）をヘルメットに入れ、陽圧換気を行った

<sup>9</sup>喉頭は上方に移動することにより喉頭蓋を閉じ、誤嚔を防ぐ。

<sup>10</sup>現在、左肺に選択的に入るサクシオンチューブが市販されている。

<sup>11</sup>宇宙服のヘルメットを想像すれば、大体間違いない。

最初にマウスピースが開発された

しかし非侵襲的陽圧換気は、1956年に簡単なマウスピースを用いた呼吸器が登場するまでは、普及しなかった。



図 1.9: マウスピースを用いた人工呼吸

これができてなお、多くの患者が気管切開を受けていたが、ゴールドバーガー記念病院では、日中は非侵襲的陽圧換気装置を使い、夜間のみ鉄の肺を用いることで、患者は日中車椅子で移動できるようになった。

しかしその後、患者が日中にうたた寝をした程度では、換気が維持されていることがわかり、鉄の肺を用いていた人も、徐々に夜間もマウスピースにより換気を行なうようになった。

1972年に夜間用のマウスピースが発売されると、ますます安全になった。更にこの頃、充電式の携帯型呼吸器が発売されている。

鼻マスクの発売と普及

鼻を用いた換気が最初に報告されたのは、フォーリーカテーテルを鼻に二本挿入し、換気を行なった1982年の報告が最初である。

この後鼻マスクが市販されるにつれ、1984年頃から24時間の持続の人工換気が行なわれるようになった。

漏れた空気が目にあたって痛いという、鼻マスクの最初の合併症の報告である。

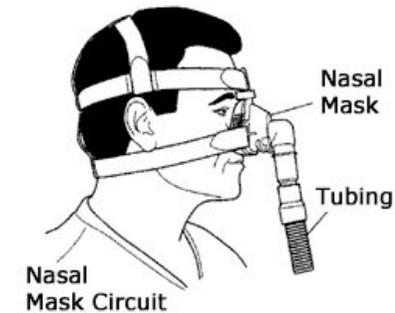


図 1.10: 代表的な鼻マスク

## 1.5 気道分泌物の管理

吸気筋の弱い患者はまた、呼気筋も弱く、十分に強力な咳ができないう。気管切開の入っていない患者の長期人工呼吸管理では、気道内の分泌物の管理が大きな問題となってくる。

呼吸ケアの考えは昔からあった

タンク式の人工呼吸器が普及していた頃は、手動的に咳を補助<sup>12</sup>することが良く行なわれた。1966年にはすでに、咳を補助することで気道内の咳の流速を上げ、咳の効率を上げられることが証明されている。

舌咽頭筋呼吸は咳を促すのに有効であるという報告が、1956年にすでになされている。この方法を用いることで、呼吸筋麻痺の患者の呼吸器が不調を起こした際の対策にもなる。

<sup>12</sup>後述

機械的な咳の補助は、1952年頃から考えられた。当初、機械的に深吸気～深呼気を行なう機械が売り出され、実際に効果があったが、気管切開と吸引の普及ですたれてしまった。

しかし非侵襲的陽圧換気の見直しで、この種の機械もまた発売されるようになってきている。

## 1.6 その他の換気補助装置

人間の呼吸を完全に代償するものではないが、呼吸を補助する道具には、以下のようなものも用いられている。

### ロッキングベッド

ロッキングベッド<sup>13</sup>は1932年より、呼吸の補助に用いられた。これは患者を30～15度に傾け、重力を用いて周期的に横隔膜を腹側に下げようとする。この方法はほかの呼吸器に比べて効果は少ないが、適応は広い。



図 1.11: ロッキングベッド

<sup>13</sup>日本には入っていない

### 腹圧式呼吸器

腹圧式呼吸器<sup>14</sup>の試作品は1938年に考えられた。これは患者の腹に、ゴムでできた袋を巻き付け、周期的に膨張、収縮を繰り返させる。近年のものは更に改良され、コルセットに風船がついた形をしており、患者が服を着ていても使用可能である。この装置により、患者はより深く息を吸うことができる。

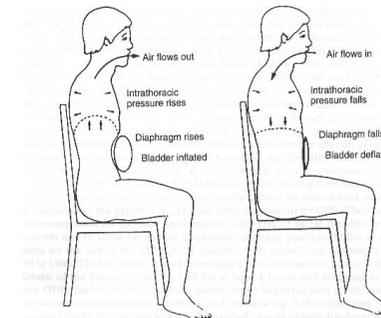


図 1.12: 腹圧式呼吸器

### 電氣的呼吸

横隔膜を電氣的に刺激して呼吸を起こそうとする試みは、200年以上前から考えられてきた。いくつかの成功例の報告があるにもかかわらず、この方法は陰圧式人工呼吸器が使えるようになってからすたれてしまった。

その後1948年になって、片側の横隔膜の刺激で十分な換気が得られた報告があり、更に1968年に永久植え込み式横隔膜ペースメーカーが発表された。1972年までに800人以上の人にこれが用いられ、さまざまな程度の成功を納めている。

しかしながら横隔膜ペースメーカーは高価であり、また夜間の気道

<sup>14</sup>ニューモベルトという。やはり日本未発売。

閉塞の合併症を生じやすく、気管切開を併用しなくてはならないなど、  
まだ問題は多い。

## 第2章 非侵襲的陽圧換気～道具と実践

### 2.1 呼吸器の分類

非侵襲的陽圧換気を行なうには、さまざまな方法がある。人工呼吸器を大きく分けると、集中治療室で使われる呼吸器、携帯型の従圧式呼吸器<sup>1</sup>、携帯型の従量式呼吸器の3つに分けられる。

また、患者の顔と呼吸器をつなぐ道具にも、フルフェイスマスク、鼻マスク、マウスピース、そして鼻ピロウがある。ここではこれらの器具の使い方、問題点について述べる。

#### 2.1.1 集中治療室で用いる呼吸器

急性期の代表的な方法

最近の第3世代の人工呼吸器<sup>2</sup>であれば、非侵襲的な人工換気はこれらを用いて行なうことができる(これらの呼吸器にマスクをつけ、患者に用いる)。

これらの呼吸器は、携帯式の簡単なものに比べてアラームがしっかりしており、呼吸のモニター機能が充実していたりして、利点は大きい<sup>3</sup>。

更に、多くの呼吸器にはバックアップ呼吸機能<sup>4</sup>がついている。

<sup>1</sup>いわゆる BiPAP

<sup>2</sup>エビタや LTV など、プレッシャーサポートの使える普通の呼吸器のことを指している。

<sup>3</sup>日本ではあまりやられていないようだが、この方法を推薦している本は多い。

<sup>4</sup>SIMV のことらしい

今は、BiPAP ビジョンという、このために作られたような呼吸器<sup>5</sup>がある。

#### 2.1.2 携帯型従量式呼吸器

長時間持つが欠点も多い

歴史的には、家庭で使われていた呼吸器は小さな従量式呼吸器<sup>6</sup>であった。

これらの機械は、もともと気管切開のある人のために作られていたが、非侵襲的陽圧換気にも応用できる。

こうした機械は小さく、また充電式のものが多い。この型の呼吸器を用いることで、患者は数時間なら車椅子で外に出ることもできる。

呼吸器には供給酸素濃度を設定する機能はなく、酸素は途中から加える。このために1回換気量が変化すると、供給酸素濃度も変化してしまう。またアラームのついていない機種も多い。

これらの機械の最大の欠点は、自発呼吸がある患者では、患者の呼吸努力を増やしてしまうことである。

患者が呼吸するためには、自分で呼吸器を作動させるために2~4cmH<sub>2</sub>Oの陰圧を作らなくてはいけない。

PEEP はかけにくい

また PEEP 機能はついておらず、必要なら専用の部品が必要となる。こうした機械に PEEP をかけると、患者の呼吸努力が極めて大きくなってしまふことがあるため、トリガー圧は PEEP 圧の1センチ下ぐらいにしておかなくてはいけない。

<sup>5</sup>あんなものは BiPAP じゃないと、今でも思う。

<sup>6</sup>代表的なのが、コンパニオンシリーズなど。プレッシャーサポートは付いていない、一世代前の呼吸器と同じ能力がある。

### 2.1.3 携帯型従圧式呼吸器

現在の非侵襲的換気の主流

非侵襲的人工換気が増えてくるにつれて、主流になってきた<sup>7</sup>ものである。

多くのものは非常に安価であり、また非常に軽量である。バッテリーを内蔵しているものは少なく、アラームを持っているものも少ないか、オプションとなっている。

ほとんどの機種は2段階の圧が設定でき、それぞれIPAP(吸気時)、EPAP(呼気時)と呼ばれる。言い換えれば、ほとんどの機種はCPAPとプレッシャーサポートが設定できる。

これらの呼吸器はその構造上、患者の呼吸努力が非常に少なくてすむ。機種により性能は異なって<sup>8</sup>あり、ある種のもの吸気時すぐに設定圧に達するが、吸気終末になってやっとその圧に達するものもある。

低酸素が問題になる患者では使いにくい

これらの呼吸器での酸素の付加は、難しい。高濃度酸素を送れるような機種は、今のところ存在しない。酸素は途中から、あるいはマスクの中に直接入れられるが、機械の構造上正確な酸素濃度を計るのは不可能である。我々の経験では、どの機械でも40%以上の酸素濃度を造り出すのは不可能<sup>9</sup>であった。

またこうした呼吸器は呼吸回路が1本しかなく、患者の吐いた空気は外に放出される。もしもEPAPが十分でないと、患者の呼出した空気は回路を逆流し、二酸化炭素を再呼吸する可能性があることに注意すべきである。PEEPを4センチ以上かけるか、または呼吸を再呼吸しないような弁<sup>10</sup>をつけてやればこの問題は解決する。

<sup>7</sup>製品名でいくと、BiPAP、NIP、ネーザル、オニキスなど。

<sup>8</sup>BiPAPが、いまだに市販品中最強と思う。

<sup>9</sup>オニキスなら60%ぐらいまでいける。

<sup>10</sup>オニキスはこのタイプ。しかし、かさばってしまう。

## 2.2 顔面との接続

侵襲的なことを行なわずに人工呼吸を行う試みは、いかに顔面にあったマスクを作れるかという部分にかかっていた。しっかりした換気を行なうには、患者の口または鼻、あるいは両者を空気漏れのないように覆う必要がある。いまのところ市販されているものでは、大きく鼻マスク、鼻-口マスク、鼻ピロウ、マウスピースの4つがある。

### 2.2.1 鼻マスク

最も広く用いられる

鼻マスクは今のところ、最も広く用いられている道具である。これらには市販されているものもあれば、患者にあわせて作っているところもある。鼻マスクは外側のクッションと内側の部分とからできてお



図 2.1: 代表的な鼻マスク

り、内側の部分が空気圧で患者に密着するようになっている。この内側の部分がないと、空気圧でマスクは患者から離れていってしまう。マスクが体に合わない人のために、自分にあったマスクを作るためのキットも市販されている。

## 口からのリークが欠点

ある種の人には口からの空気漏れが多く、鼻マスクでは対応できない。過去の研究ではほとんどの人が鼻マスクで十分に対応できていたが、そうでない人には口を開かないようにするストラップ(図??)が有効であったとされる。



図 2.2: 鼻マスクの装着法

## 顔とマスクのフィッティングの方法

鼻マスクのフィッティングについては諸説あり、かつてはマスクの形は鼻の側壁の線に一致しているべきであり、マスクの頂上は鼻の2/3以上上に行ってはいけない、と教えていた。

現在では、これよりももう一廻り、大きいもの<sup>11</sup>を推薦する人が多い。

<sup>11</sup>日本人の場合、レスピロニクスのマスクでMSが標準だったが、今はMが標準。

マスクが上に上がりすぎると、マスクから目の方向に空気漏れが生じる。空気漏れを完全に防ぐことは無理であるが、形の適切なマスクを選ぶことで、漏れを最少にすることはできる。

## ストラップを締めすぎてはいけない

マスクのサイズの次に重要なことは、決してストラップを強くしめすぎないことである。強くしめすぎると顔面に皮膚を損傷し、特に鼻を痛める(図??)。マスクは密着しているべきではあるが、強くついている必要はない。



図 2.3: 鼻マスクでできた、顔面褥瘡。3日つけるとでき始める。

## 2.2.2 フルフェイスマスク

## 鼻マスクよりは患者不快は強い

鼻-口マスクは鼻の頂上から下顎までを覆うものではあるが、一般には吐物の確認などが必要なために、透明なものをもちいるべきである。



図 2.4: フルフェイスマスクの例

あご周辺の空気漏れは、どうしても多くなる。また鼻周囲からの空気漏れは目にあたり、患者をいらつかせるので気をつけなくてはならない。

フルフェイスマスクは一般に鼻マスクよりも強い力で密着させる必要があるため、顔面の潰瘍や、ストラップによる皮膚損傷に注意を要する。

最近では急性期に良く使う

一方、誰にでも用いることができ、口呼吸の頻度の多い急性期の患者にも例外なく使えることから、救急外来での非侵襲的呼吸の開始時に、好んで用いられるようになってきた。近年、フルフェイスマスクの考えを応用した、全顔面マスクとでも呼ぶような代物も発売されてきている<sup>12</sup>。

<sup>12</sup>ヘルメットマスクという、さらに冗談のようなものもある。写真が手に入らなかった。



図 2.5: 透明な面のようなマスク。急性期の認容性は、従来より高いという。

### 2.2.3 マウスピース

神経筋疾患の患者の定番

これも市販のものと、患者用に特注するものがある。市販のものは口唇を塞ぐシールとストラップが一体になったものであるが、個人用に作ったものは患者の口に合わせた作られるため、ストラップを必要とせず、夜間も使うことができる。



図 2.6: リップシール付きのマウスピース。左は鼻栓。

### 鼻ピロウ

鼻ピロウは一般に、鼻マスクの代わりに用いられる（図??）。これは小さなゴム製の筒を両方の鼻に差し込み、固定するもので、この器具にも口が開くのを防ぐストラップが使われることがある。ある種の患者はこちらのほうを鼻マスクよりも好み、また顔面潰瘍を防ぐために、夜間のみ用いる人もいる。

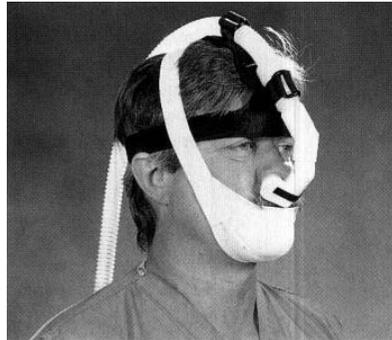


図 2.7: 鼻ピロウとチンストラップの併用

## 2.3 呼吸器の選択

こういった呼吸器を選択するかといった問題は、患者の状態により決まってくる。非侵襲的換気は現在、急性呼吸不全の気管内挿管を回避する目的から、慢性呼吸不全の換気の補助に至るまで適応が広がってきている。

急性期は集中治療用

急性呼吸不全の人の場合、まずは集中治療用の呼吸器<sup>13</sup>を用いる。

<sup>13</sup>実際にはいきなり BiPAP を用いることのほうが多い。当院には呼吸器 9 台、BiPAP11 台が稼働しているが、いつも取り合いになる。

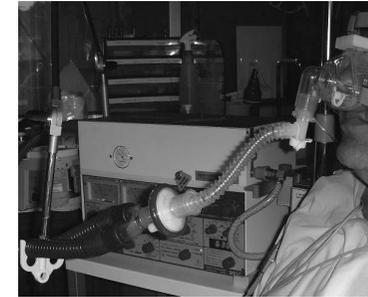


図 2.8: サーボ 900 に、レスピロニクスの鼻マスクを用いた例。もちろん、ウィスパスイベルはつけない。

これらは高濃度の酸素を供給でき、また従量・従圧両方の換気にも対応できる。

落ち着いたら病状に合わせて選択

患者が急性期を脱し、更に慢性期にも非侵襲的換気が必要と判断された場合には、従量式・従圧式のどちらかを選択することになるが、一般には従圧式の呼吸器のほうが良いように思われる。

しかし神経筋疾患の患者で慢性的に呼吸器が必要な人では、従量式の呼吸器のほうが薦められる。また COPD 慢性期の患者では、呼吸筋仕事量が減ることからも、従圧式<sup>14</sup>の呼吸器が薦められる。

## 2.4 顔面との接続方法の選択

侵襲的人工換気が成功するかどうかは、適切な顔面との接続を得られるかどうかにかかっている。

<sup>14</sup>ここでいう従圧式は、あくまでプレッシャーサポートのことであり、教科書的な従圧式呼吸器ではない。

歯が無いとマスク換気は厳しい

最初に考えなくてはいけないのが、患者の顔面の解剖学的な構造である。もしも患者の鼻が詰まっていた場合、鼻マスクは受け入れられまい。

また、歯の無い人には、どんなマスクもあわないことがしばしばある。

次に考えなくてはいけないのが、患者がどういった状況で人工換気を受けるのかという点である。もしも患者が夜間のみ人工換気を受けるなら、鼻マスクや鼻ピロウはふさわしい。

一方で24時間を通じて人工呼吸を受けるならば、鼻マスクとマウスピース、フルフェイスマスクなどのように数種類のマスクを組み合わせるほうが良い。

マウスピースは患者が人工呼吸器から外れるのも自由であり、食事もできる。

救急外来ではフルフェイスマスクが使いやすい

また急性期に用いるか、慢性期に用いるかでも選択は違う。我々の経験では、慢性期にはフルフェイスマスクは敬遠されるが、急性期にはむしろこれのほうが成功率が高い。

しかしフルフェイスマスクは一方で患者とのコミュニケーションがとりにくくなり、吐いたときの誤嚥の可能性も高くなるために注意が必要である。

## 2.5 圧と一回換気量の設定

最高気道内圧は大体 15 ~ 20cmH<sub>2</sub>O まで

マスクを使った換気補助を行う場合、患者の不快感とマスク内圧は比例する。

また、非侵襲的人工換気を行なう上での問題点の一つは、気道が保護されていないために胃が膨らみ、嘔吐を誘発する可能性があるとい

うことである。

プレッシャーサポートをかける場合、気道内圧は 15cmH<sub>2</sub>O 程度に抑えたい。このため、PEEP を 4cmH<sub>2</sub>O かけたとすると、プレッシャーサポート圧はせいぜい 8 ~ 11cmH<sub>2</sub>O までである<sup>15</sup>。

慢性期の神経筋疾患、COPD の患者などに用いる場合には、気道内圧が 20cmH<sub>2</sub>O 以上を必要とすることはまず無い。

従量式呼吸器を用いる場合、リークを見越して、1 回換気量は 10ml/kg 程度に設定すべきである。

## 2.6 吸気時間とピークフロー

前にも書いたが、呼吸器設定は、患者にあわせて行なわれるべきである。特にボリューム A/C モードで行なっているときには、この設定は重要である。

ピークフローは急性期には 60l は必要で、慢性期にも 40l は必要となる。吸気時間の設定は、一般に 0.8 ~ 1.2 秒である。

## 2.7 PEEP

非侵襲的陽圧換気を行なうときに PEEP をかける目的は、気道を開いておくことと、auto-PEEP を解除して、呼吸を楽にするための2つの目的がある。

最適な PEEP 圧を決めるのは容易ではなく、我々は少ない量から始め、本人の最も楽なところまで上げるようにしている。

普通は 3 ~ 7cmH<sub>2</sub>O である。

## 2.8 供給酸素濃度

集中治療室の呼吸器を使用できるなら、供給酸素濃度は SpO<sub>2</sub> が 90 となるように調節すれば良い。

<sup>15</sup>これ以上必要なら、挿管の適応と考えている。

慢性期の患者の呼吸補助に、非侵襲的人工換気を用いる場合は、供給酸素濃度が40%以上必要となることはまず無い。

## 2.9 加湿の必要性

上部気道がバイパスされることが無いために、非侵襲的人工換気において加湿が必要かどうかは、個々の患者による。

集中治療室の呼吸器を用いる際には圧縮空気が乾燥しているため、加湿器を用いたほうが良い。

家庭で携帯型の呼吸器を用いる際には、空気が乾いていないために、たいていの患者は加湿器の必要はない。

## 2.10 非侵襲的人工換気の開始

最低でも60分は患者に張り付く

非侵襲的人工換気を行なう際には、その使用に習熟したものが最低60分はベッドサイドについていなくてはならない。

特に患者が低酸素状態であったり、高二酸化炭素状態であったりした場合にはなおさらである。

呼吸の補助は当初は少ない量から始め、徐々に上げていく。我々はこの時期には、ストラップを用いることを推薦しない。できるならば患者の状態が落ち着くまでは、マスクは手で保持すべき<sup>16</sup>である。

## 2.11 成功率

1時間以内に改善しなかったら失敗

COPD急性期の非侵襲的人工換気の成功率は、70～80%といわれている。

一般の病院ではマスク換気になれていないことなどから、この値よりも低くなると予想される。

我々の経験では、開始後1時間以内に症状が落ち着くようならまず問題はないが、血液ガスの改善には数時間を要することもある。

<sup>16</sup>下級生いじめのダシに、よくやった。

## 第3章 COPD に対する慢性期の非侵襲的換気

長期予後を変えることまではできない

低流量の酸素を一日 15 時間以上吸入することで、COPD の患者の生存率が上昇することがわかっている。こうした患者の多くは夜間の呼吸に異常がみられ、しばしば血中酸素濃度の低下と呼吸筋の異常を来し、状態を悪くする原因となっている。

こうしたことから、在宅酸素療法に加えて呼吸補助も行なえば、COPD の患者の生命予後はより良くなると言われてきた。

こうした考えに対して、初期は陰圧型換気装置を用いた研究が行なわれたが、何の効果も見いだせなかった。

しかし 10 年ほどして、神経筋疾患や胸郭形成異常を伴った呼吸不全の患者に、鼻マスクを用いた陽圧式換気装置が普及するにつれ、COPD の患者に対する呼吸補助に関する関心が高まってきた。

これを用いた研究の結果、神経筋疾患や胸郭形成異常の患者と同じように、COPD の患者に対しても、人工換気は呼吸状態の改善と、夜間の低換気状態の改善をもたらすことが発表された。

### 3.1 COPD の低換気状態

COPD の患者では、呼吸抑制は主にレム睡眠期に生じる。低換気は主に一回換気量の減少として生じ、無呼吸を生じるものではない。

この低換気は深刻な低酸素血症を生じ、肺高血圧症の原因となる。睡眠中は高二酸化炭素血症による呼吸ドライブは減少し、上気道の閉

塞も生じるため、にますます呼吸不全が強くなる。

夜間に酸素を供給することで、この低酸素状態はある程度防げるが、一方で朝方の二酸化炭素の貯留を生じる。更に、酸素投与は日中の呼吸状態の改善には役に立たない。

安定した肺気腫の患者の研究では、血液中の酸素濃度の低下と病気の進行には相関があり、更にこうした傾向は二酸化炭素の貯留の強い人<sup>1</sup>程顕著だった。低酸素血症は最終的には横隔膜の筋肉への障害を生じ、呼吸中枢への悪影響も生じる。

### 3.2 非侵襲的換気～理論上の利益

夜間の呼吸筋の安静が目的

COPD の患者の呼吸筋は慢性的な疲労状態にあり、これを休ませることで呼吸状態が改善するという仮説は、前から言われていた。

陰圧式、陽圧式の呼吸器を使った研究では、肺気腫の患者にこれらを用いることで横隔膜の仕事量は減少する。しかしながら、長期に人工換気を行なうことで呼吸筋力が強くなるかどうかを確かめた研究は存在しなかった。

間接的な証拠としては、肺気腫の患者に人工換気を夜間行なうことで日中の呼吸状態は良くなり、二酸化炭素濃度も減少することが確かめられている。

また、夜間に人工換気を行なうことで、患者の二酸化炭素貯留に対する感受性も上昇することも確かめられている。

低酸素血症をともなった COPD の患者は不眠を訴えるが、これらの患者に酸素を投与したときの効果はさまざまである。ある人は良くなるのに対して、全く効果の無い人もいる。

睡眠時無呼吸を生じる人も多いが、全ての人が上気道に閉塞を生じてるわけではない。

更に、夜間に全く酸素濃度の低下を生じない人でも睡眠障害を生じ

<sup>1</sup> 京都のほうからの発表で、PCO<sub>2</sub> が 70mmHg を超えると、患者予後が著しく悪化したという。

る人もいる。高二酸化炭素血症は酸素の投与により悪化する。

更に、二酸化炭素の上昇は夜間の覚醒を生じ、睡眠の質を落とす。鼻マスクによる人工換気で二酸化炭素濃度のコントロールを行なうことで睡眠の質が上がり、日中の活動性も上がる可能性がある。

### 3.3 肺気種の人工換気の初期の研究

初期の研究は効果を証明できなかった

1983年に、肺気腫の患者985人に日中30分だけ間欠的陽圧呼吸を行なった研究があったが、何の効果も見いだせなかった。この対象となった患者の平均二酸化炭素濃度は37.1と低く、更に人工換気は夜間に行なわれていなかった。

陰圧式人工換気装置は神経筋疾患の患者や、胸郭変形のある患者では有効であったが、肺気種ではそうではなかった。

これは患者が呼吸器に耐えられなかったことによるところが大きい。胸部不快感が主な患者の訴えであり、また上部気道の狭窄による合併症も多かった。陰圧式人工呼吸器と、従来通りの呼吸器を用いない肺気種の治療を行なった比較研究では、人工呼吸器の効果は全く無かった。人工呼吸器群の患者は一日平均4時間しか呼吸器を用いておらず、これはあまりに少ない。

中等度の高二酸化炭素血症のある肺気種の患者に、入院中に陰圧式の人工換気装置を用いた研究もあったが、やはり効果が証明できなかった。陰圧式の呼吸器を用いて血液ガスの改善を証明したのものもあったが、それらは非常に小規模なものであり、また患者は高二酸化炭素血症をともなっていた。

### 3.4 鼻マスクを用いた陽圧呼吸

患者を選択すればQOLが向上する可能性はある

鼻マスクを用いた人工呼吸で神経筋疾患の患者の日中の呼吸状態が改善したことを受け、この治療が肺気種にも応用された。初期の研究では睡眠の質も上がり、血液ガスの改善も確認された。

鼻マスクを用いた呼吸器により、初期の陰圧式呼吸器よりもはるかに優れた成果が得られたが、残念ながら患者のコンプライアンスはあまり良くなかった。

しかし呼吸器に耐えられたものは夜間の呼吸器の装着で、日中まで含めた二酸化炭素の改善が得られている。

ストランプらはBiPAPを19人の肺気腫に用いたが、彼らは呼吸状態がそれほど重篤ではなく、またコンプライアンスも極めて悪く、良い結果が出なかった。

二酸化炭素改善の幅が大きい人は利益がある

近年になり、ミーチャムらが在宅酸素療法中の18人の重症肺気種の患者を対象に、同様の研究を試みたが、こちらでは有意な日中の血液ガスの改善、睡眠時間、睡眠の質の改善が証明できた。

この研究では患者はすべて入院させてから呼吸器をつけており、コンプライアンスも上げることができた。この研究から、二酸化炭素濃度の改善の効果が最も大きい人が、人工呼吸器の恩恵をもっと設けている傾向がわかった。

肺気種が進行すると、日常の活動性が低下していく。在宅酸素療法は、QOLの改善効果は乏しい。鼻マスクを用いた呼吸器と在宅酸素を併用することで、日中の活動性と睡眠の質の改善が得られ、QOLスコアの改善が得られることが分かって来た。

### 3.5 肺気種の非侵襲的人工換気に必要な道具

結局 BiPAP が一番いいらしい

初期の研究では従量式の呼吸器が使われたにもかかわらず、最近の研究では呼吸器はすべて BiPAP に代表される、従圧式の物に変わっている。どちらに呼吸器を用いても、夜間に用いことで日中の血液ガスの改善が得られる点では同じである。

従量式の呼吸器では一回換気量が確保されるのが魅力ではあるが、一方で患者によっては呼吸器に同調するのが難しく、またマスクの漏れを代償することもできない。

従圧式の呼吸器は自動的に空気漏れを代償し、また患者の不快感も少ない。しかし従量式、従圧式の4種類の呼吸器の比較を行なった研究では、どれを用いてもその効果は変わらなかった。

BiPAP はプレッシャーサポートをかけられる呼吸器の代表であるが、この機能はほかの呼吸器よりもより快適であり、特に呼吸困難感が患者にあったり、呼吸間隔が不正確な患者にとっては有用である。更に肺気腫の患者を、呼吸器から離脱させるときに役に立つ。

従量式呼吸器にしても、BiPAP にしてもその効果も患者の不快感も同じであるという研究もあるが、ミーチャムらの研究の高いコンプライアンスの原因の一つは、呼吸器の選択にあったのではなからうか。

慢性期 COPD には PEEP はあまり効果がない

BiPAP の効果は、安定期の肺気種の患者に IPAP かけることで呼吸数が下がり、一回換気量が上がり、横隔膜仕事量が下がることから証明されている。しかし一方で、EPAP(PEEP) をかけることは呼吸筋仕事量の改善には役立たなかった。肺気種の急性増悪であっても、PEEP は血液ガスの改善に役立たなかったとの報告もある。

### 3.6 肺気種に対する非侵襲的人工換気のリコメンデーション

肺気種の患者で、長期の人工呼吸管理の対象となるのは以下の患者である。

適応患者はかなり絞られる

- 在宅酸素療法になれていること
- 日中の高二酸化炭素血症
- 夜間の低換気
- 非侵襲的人工換気がこれら症状の改善に有効であること
- 不眠がちで、すぐに目が覚めること
- ターミナルの患者でないこと
- 教養があり、意欲があること

いくつかのランダムイズドトライアルで、適応のある患者には人工換気は有効であることは確実になりつつある。夜間の高二酸化炭素血症が改善される患者なら、この治療は良い効果を上げる可能性がある。

在宅で呼吸器を用いるならば、入院での夜間の呼吸モニターは行なったほうが良い。

開始には入院が必要

非侵襲的人工換気を始めるにあたっては当初は入院させて呼吸器の装着を行なった方がコンプライアンスは高くなる。鼻マスクによるトラブルに早期に対処することで、コンプライアンスの改善が得られるため、注意深い観察が必要である。

また、ある種の患者では内因性の PEEP が強く、普通の設定では呼吸器とあわないこともある。更に、病気の進行に合わせ、呼吸器の設定はたびたび変える必要がある。

今のところ BiPAP では予後はかえられない

人工呼吸換気が肺気腫の自然歴を変えられるかについては、まだ全く分かっていない。

在宅酸素療法は確かに患者の生命を伸ばすが、結局は患者は低酸素血症で死亡する。これを防ぐには夜間の致命的な低換気を早期から人工換気で治療する必要があるが、一方では非侵襲的人工換気は肺気腫の急性増悪期にこそ有用だとする研究もいくつもあり、今後の究明が待たれる。

### 3.7 人工換気の長期予後

予後改善効果については大きな効果は期待できない

鼻マスクを用いた人工換気の、肺気腫の生命予後についての研究はまだ無い。レギャーらは 50 人の人工換気を併用している肺気腫の患者を 2 年追跡したが、呼吸器を続けている人は 56% しかいなかった。

イギリスで行なった 33 人の肺気腫の患者でも、呼吸器を継続している人が少なく、死亡率は在宅酸素療法と同じ程度であった。これは研究に参加した人がいずれも在宅酸素療法の末期の人であり、肺気腫の自然歴を変えるには遅すぎるためと思われる。

2000 年に入ってからいくつかのレポートでは、非侵襲的換気開始後、最初の 3 ヶ月は呼吸状態の改善を認めた症例であっても、1 年目には低流量酸素のみの患者と比べて、予後についても、症状についても有意差がなくなってしまうという結果がでている。

## 第4章 急性呼吸不全と非侵襲的陽圧換気

### COPD と心不全はかなり有望

ここ 25 年の間に、急性呼吸不全の患者に気管内挿管を行わずに人工換気を行なうことが増えてきている。

主に用いられているのは体外式人工呼吸器と、非侵襲的陽圧換気装置である。また、CPAP は正確には呼吸器ではないが、やはり急性呼吸不全に広く用いられてきている。

非侵襲的換気が気管内挿管に比べて優れているのはしゃべれること、嚥下ができること、そして気管内挿管に伴う全ての合併症が回避できることである。

人工換気を急性期に用いることで呼吸筋の休息が得られ、ガス交換が良くなり、肺のコンプライアンスも良くなる。

しかし急性呼吸不全に非侵襲的換気を用いて本当に効果があるのかどうかは、あくまでも臨床研究の結果に基づいて決められるべきである。

### 4.1 歴史的経過

#### 200 年近く前から考えはあった

非侵襲的換気を急性期に用いることは、決して新しいことではない。すでに 18 世紀には、今と同じような非侵襲的換気の報告があった。しかしその成功例については、陰圧式呼吸器の登場まで待たなくてはいけない。

最初のタンク式呼吸器、または鉄の肺が登場したのは 1832 年だった。これらの呼吸器はポリオの流行とともに 1940 年から 50 年代にかけて一気に普及し、急性呼吸不全にも使われるようになった。

陰圧式呼吸器の改良が進む一方で、気管切開と陽圧式の呼吸器による治療のほうが、陰圧式呼吸器を用いるよりも効果の高いことが発表されるようになり、ついには陰圧式呼吸器はすたれ、気管内挿管と陽圧式の人工呼吸器が治療の標準となってきた。

慢性呼吸不全の患者では、陰圧式呼吸器はまだ一般的に用いられていたが、患者の不快感、呼吸器の移動が難しい点、そして上気道の閉塞による夜間の無呼吸などが問題となり、数が減ってきている。

陰圧式呼吸器がすたれ始めるのと同じ頃から、気管内挿管による合併症もまた問題となってきた。このため、新しい形式の呼吸器が求め始められてきた。まず 1980 年になり、優秀な CPAP マスクが登場し、注目された。

研究者はすぐにこれに注目し、陽圧式の呼吸器をマスクにつなぐことを考え始めた。その結果慢性呼吸不全の治療に効果があることが分かり、現在急性呼吸不全の治療に、マスクによる陽圧換気を用いられ始めている。

### 4.2 急性呼吸不全の理論的背景

#### 気管内挿管には問題が多い

急性呼吸不全に非侵襲的換気を用いるもっとも大きな理由は、気管内挿管による合併症を避けるためである。気管内挿管による合併症は、大きく 3 つある。

- 挿管の行為と、人工換気によるもの
- 気道の免疫的な防御機構の破壊によるもの
- 気管内挿管チューブ抜去後の問題

挿管をするときには、胃内容物の逆流、歯の欠損、喉頭の損傷などが起こりうる。特になれていない人間が行なうと、なおさらである。

更に気管内挿管を行なうことで、致命的な不整脈や血圧の低下が起こりうる。更に挿管に手間取ると、胃内容物の逆流、痙攣、心停止を引き起こす。

挿管チューブの位置が悪ければ、圧損傷や気胸、胸郭の損傷、皮下気腫などを生じうる。

気管内挿管自体が防御力を落とす

また挿管という行為は患者の本来持っていた自然の防御機構を壊す。このため細菌の常在化を招き、炎症を生じ、気管の線毛運動を妨げる。これら全ての要因が肺炎や副鼻腔炎の増悪因子となり、これらはしばしば致命的となる。

誤嚥性肺炎は、多くは常在菌や胃内容物の吸引により生じるとされ、約21%の人工呼吸器患者に生じる。また経鼻挿管を行なった場合の副鼻腔炎の合併は、5~25%とされている。

気管内挿管中は上気道の機能が無くなる

恐らくは、気管内挿管患者の最も大きな問題は、上気道の機能が全く使えなくなることであろう。これには会話や摂食も含まれる。患者は会話などのコミュニケーションができないために苛つき、しばしばセデーションが必要となる。またこのことは同時に、ウイーニングをはかるときにも問題となってくる。

更に、気管内吸引はそれ自体が気管を刺激し、気道内分泌物を増やし、更なる吸引を要求する。

抜管した後も気道の狭窄、喉の痛み、痰の増加などはしばしば経験されることである。更に、挿管するという事は集中治療室の在室日数を長引かせ、ウイーニングも必要なためにコストの増大をまねく。

マスク換気は挿管に伴う問題点が少ない

これらの一方で、非侵襲的人工換気は会話や食事ができ、また気道分泌物を自分で出すことができる。

更に呼吸器は簡便<sup>1</sup>であり、気管内挿管に比べてコストも安くなる。また集中治療室が最も安全であるとはいえ、マスクによる換気は十分な看護があれば、一般病棟で行なうことも可能である。

集中治療室のベッドを空けておくことができれば、何かの事態での対応も早くすることができる。こうした理由から、非侵襲的人工換気は広く用いられるようになり、また気管内挿管に比べて新たに良い点も見つかりつつある。

### 4.3 非侵襲的換気の原理

上気道が閉塞すると、陰圧式呼吸器は換気ができない

陰圧式呼吸器の仕組みは、患者の胸郭のまわりを陰圧にすることで胸郭を開き、空気は鼻や口を通して肺に入っていくものである。

陰圧式的人工換気は、このため上気道の閉塞を招く危険性をもっている。

近年開発された、患者の呼吸に合わせた陰圧式呼吸器ではこうした問題はなくなると思われたが、効果はなかった。

胸腔内の陰圧を持続的に行なう(PEEPと同じ考え)、最近発売された陰圧式の呼吸器では、肺気種の患者に慢性期に使用することでガス交換の改善を得られたが、まだ急性期の呼吸不全に用いられた報告はない。

陽圧式呼吸器は安全に使える

陽圧式呼吸器は、気管内挿管を行なうにせよ、そうでないにせよ、一定の圧力の空気が、あるいはあらかじめ決められた量の空気を吸気

<sup>1</sup>患者はしゃべれるため、アラームも要らない

時に肺の中に押し込む。陰圧式人工呼吸器と同じように、息を吐くときには肺自体の弾性を利用し、自然に行なう。

挿管を行なう人工呼吸と、マスクによる人工呼吸との最も大きな違いは、マスクによる人工呼吸は空気漏れを許容するために、開放回路になっていることである。このマスクによる人工呼吸がうまく行くか否かは患者が許容できるかどうかにかかっているが、近年の研究では、声門の機能が保たれているかどうかは鍵になっているらしい。

#### CPAP にも換気改善効果がある

正確には人工換気ではないが、CPAP はある種の急性呼吸不全の患者では広く使われている。常に一定の圧力を気道にかけることにより、CPAP は以下のような効果を出す。

- 機能的残気量を増す
- 閉塞した肺胞を開き、右左シャントの割合を減らす
- 酸素化をよくする
- 肺のコンプライアンスを改善し、呼吸筋の仕事を減らす
- 心不全患者では心拍出量を増し、心原性肺水腫による呼吸障害の治療有効である

#### 急性期の人工換気は換気の悪循環を断ち切る

急性呼吸不全の非侵襲的人工換気の良い効果は、呼吸筋の仕事を減らし、呼吸筋疲労を抑えることだとされている。急性呼吸不全では、呼吸筋は体の酸素需要の増加に直面している。このため呼吸筋はいつもより多くの血液を要求するが、これが心臓から送られてこないと呼吸筋は疲労する。このため十分な呼吸が行なえなくなり、呼吸筋への酸素供給はますます減る。

このために低酸素血症、高二酸化炭素血症、呼吸性アシドーシスが成立する。人工換気はこの悪循環を断切ること、呼吸筋に休息を与え、結果として患者を救命する。

この仮説は、肺気腫の急性増悪などにマスク人工換気を行なうことで呼吸数、横隔膜仕事量が減ることで裏づけられている。COPD 急性増悪の患者の場合には更に、PEEP を付加することで患者の内因性 PEEP をキャンセルすることができ、ますます呼吸負荷を減らすことができる。

気管内挿管と、マスクによる人工換気を直接比較した研究はない<sup>2</sup>。更に、気管内に直接空気を送り込めないこと、マスクからの空気漏れの問題などもあり、この手技を行なうには注意深い患者の選択が必要となる。

## 4.4 非侵襲的換気の効果の証明

気管内挿管を用いずに、患者の呼吸を補助する方法はいくつかある。陰圧式人工呼吸器、従圧式人工呼吸器、従量式人工呼吸器、CPAP などである。

それぞれの成功率、ここでは気管内挿管の回避であるが、それらは似たようなものである。しかしこれら呼吸器の原理は全く違うものであり、別々に説明していくことにする。

#### 陰圧式人工呼吸器

長時間耐えられれば一応効果はある。いくつかの研究が急性呼吸不全の陰圧式人工呼吸器の効果について論じているが、これらは主に肺気腫の急性増悪についてであった。

ある研究では肺気腫の増悪患者 20 人が、一日 6 時間陰圧式呼吸器に入る群と、ベッドで安静にしている群と交代して分けられたが、陰圧式呼吸器に 6 時間乗った後には、呼吸筋力の回復と、血液中の二酸

<sup>2</sup>2001 年あたりから、少なくとも在院日数は短くなるのが分かっている。病気を限定すれば、予後改善効果も証明された。

化炭素濃度の低下が確認された。

しかしながら、陰圧式人工呼吸器に良く耐えられた人の中でも6人には、何の改善も認められなかった。一方、安静のみで様子を見られたほうには、これらの改善効果は全く無かった。

最も大きな規模の研究は、後ろ向き研究ではあったが、105人の肺気腫増悪患者に対する鉄の肺の効果論じている。

この結果では、全てに患者が気管内挿管を要しなかったが、3人が鉄の肺より離脱できずになくなっている。

そして、院内の死亡率は11.4%であった。更に1年後の患者の生存率は82%であり、これらの数字は過去の気管内挿管を用いた、同様の患者の治療成績よりも良い結果である。ただしこの研究の対象になった人は人工呼吸器を用いた回数が多く、このために生命予後が良かったのかも知れない。

他の研究者も同意するところではあるが、高齢(65歳以上)、高二酸化炭素血症(80歳以上)、更に低い一秒率が、高い死亡率と相関していた。

効果はあったが用いられなくなった 陰圧式の人工呼吸器を用いた研究は、過去に5つあるが、合計の気管内挿管の回避率は93%と高い。

しかしこれらの研究はいずれも小規模なものばかりで、更にコントロール群を設定したものは少ない。しかしながら、急性呼吸不全に陰圧式呼吸器を用いることは恐らくは有効であろうという点では、ほぼ確実であろう。

しかしながら陰圧式呼吸器の欠点、例えば患者の不快感、看護が全く不可能な点、患者の呼吸に同調するのが難しい点、気道閉塞を生じると換気が不可能になる点などから、陰圧式の呼吸器は徐々に使われなくなり、マスクを用いた陽圧式呼吸器にその道を譲る。

## CPAP

自発呼吸がしっかりしている人にはいい CPAPは吸気の補助をしないために、これは自発呼吸のある患者に主に用いられた。CPAPは、

持続的に気道内と胸腔内を陽圧に保つ働きがある。

圧力は普通、5~10cmH<sub>2</sub>Oが用いられ、それ以上はまず必要ないし、また患者にも滅多に耐えられない。

もともとCPAPは閉塞性無呼吸の人の治療に用いられたが、近年では外傷、肺気腫、肺水腫などの種々の原因による呼吸不全の治療に応用されている。

心原性肺水腫に良い適応がある CPAPはもともと、1930年に肺水腫の治療手段として考案された<sup>3</sup>が、近年になって再び見直された。

具体的には、急性呼吸不全の患者にCPAPをつけることで利尿剤、亜硝酸剤などが効いてくるまでの時間を稼ぐことができ、更に肺の鬱血をとることができることとされている。

今までに3つのランダムイズドトライアルと、1つのコントロールのないトライアルが急性肺水腫について行なわれているが、10センチ程度のCPAPをマスクを用いてかけることで、すぐにバイタルサインの改善が得られ、酸素化が良くなり、気管内挿管を避けることができるという結論になっている。

CPAPは機能的残気量を増し、無気肺を減らし、右-左シャントを減らし、呼吸筋の仕事量を減らす。CPAPは更に心筋のアフターロードを減らし、心拍出量をも上げうる。

CPAPの成功率は研究によりまちまちではあるが、平均80%の呼吸不全の患者で気管内挿管を避けられることが証明されている。

心筋梗塞が増えるという意見もある 一方、心原性肺水腫の患者にBiPAPを用いたトライアルでは、大量の亜硝酸剤を用いたコントロール群と比べ、心筋梗塞の合併率が高かったという結果が出ている。これについては異論もあり、2002年になって追証が行われており、心筋梗塞の増加は無かったという意見も出されている。

CO<sub>2</sub>貯留は禁忌にならない 心不全以外の、肺気腫や手術後の呼吸不全、外傷性呼吸不全などの急性期治療にもCPAPは応用されてい

<sup>3</sup>最初からマスクが使われた。

る。これらの研究では、やはり5~10センチのCPAPがマスクで与えられているが、気管内挿管の回避率は57~100%となっており、平均89%であった。

これらの研究では酸素化の改善が報告されており、血中二酸化炭素濃度の低下も確認されている。

CPAPが出現した初期の頃は、血中二酸化炭素濃度の上昇が懸念されていたが、一つを除いた全ての研究で二酸化炭素の貯留は確認されておらず、それにしても臨床上有意なものではなかった。

肺損傷や気胸などの、外傷後の呼吸不全についてもCPAPの優位性を示す研究がいくつかあるが、それらはいずれも対象にする外傷がまちまちであり、肺挫傷を除いては外傷の患者に明らかにCPAPが効果があるとは現時点では結論できない。

**COPD増悪に対する効果はまだ不確定** 肺気腫の急性増悪に関するCPAPの研究は二つあり、ルーカスらは5センチのCPAPを肺気腫急性増悪の患者15人に用いているが、4時間後には皆呼吸数が下がり、血液中二酸化炭素濃度も低下した。また、呼吸困難感も有意に低下し、気管内挿管を要したものはいなかった。

これでは他の研究よりもCPAPの量は少なかったとは言え、恐らくはCPAPが内因性のPEEPを打ち消し、呼吸の負荷をとったものと思われる。

一方より高いCPAP圧を用いたにもかかわらず(7.5センチ)、ミロらの研究では7人中3人が挿管になっているが、これは挿管になった患者が高二酸化炭素血症がひどく(90以上)、アシドーシスも7.2以下とより重症であったためと思われる。

CPAPは呼吸不全のさまざまな場面に使われ、試されてきたが、今ところ非常に良い成功率を納めている。CPAPの最も適応となる疾患は心原性肺水腫であろうが、外傷や手術後の換気不全、COPD急性増悪、閉塞性無呼吸症候群の増悪などでも効果が確認されている。しかしまだ大きなトライアルは行なわれておらず、今後の研究が待たれる。

#### 非侵襲的陽圧換気

陽圧換気は、肺の中にあらかじめ設定された圧力が、決められた量の空気を送り込む方法である。この方法は、患者の自発呼吸に合わせることも、全く機械的に行なうこともできる。従圧式のものも、従量式のものも、ともに非侵襲的換気装置が存在する。

集中治療室にある呼吸器はいずれの方式も選択できるものが多いが、携帯型の呼吸器では従圧式のものの方が軽量で、安価なことが多い。どちらの形式の呼吸器を使うのかは治療者の判断によるが、従圧式のはマスクからの空気漏れを代償できる利点がある。

#### 従量式呼吸器

肺気腫患者以外の確実なデータはない この呼吸器による研究は、主に肺気腫の急性増悪期に対して行なわれてきた。また少ないながらも、胸郭変形による呼吸不全や心不全に対する研究も存在する。

主に鼻マスクを通じて行なわれたこれらの研究は、一回換気量は大体10~15ml/kgであった。血液ガスの改善の効果についてはどの研究も控え目な数字しか出ていないが、これは酸素投与の有無が研究によりまちまちであったため、一概にその効果を論じることはできない。しかしながら、気管内挿管を避ける確率は全体の平均で68%という数字を出している。

過去の研究の中で、2つだけがコントロールスタディであった。

**COPDで最初に予後の改善効果を示した報告** ボットらは本格的な比較研究を行なっているが、伝統的な治療を行なったほうに比べて、従量式のマスク式呼吸器を使った人のほうが1時間後にはより呼吸困難が少なく、血液ガスも改善していた。更に、30日後の死亡率もコントロール群に比べて改善していた。

否定的な意見もある 一方フォグリオらの研究は、唯一人工換気に不利な結果を出した研究であるが、肺気腫の急性増悪に従量式の呼吸器

をマスクで用いても、従来通りの治療に比べて有利な効果を証明できなかった。

しかしこの研究には問題点がいくつかある。この研究は後ろ向き研究であり、マスク式人工換気を拒否したり、うまく乗らなかった人をコントロールとしている。更に人工換気を一日あたり1時間程度と、短い期間しか行っていない。更に、10日目と21日目という、入院後に差を出すには余りにも遅すぎる時期にしか検査をしていないなどである。

他にも従量式陽圧換気の効果を実証した研究はいくつかあるが、まとめると従量式換気装置は肺気腫の急性増悪期に気管内挿管を避けるのに有効であり、また気管内挿管を拒否した高齢者にも救命の道を開きうるものであると言える。

しかしながら従量式呼吸器の、急性呼吸不全の肺気腫以外の原因に対する十分な研究はなく、今後の究明が待たれる。

#### 従圧式呼吸器

現在の呼吸療法の主流 プレッシャーサポート呼吸器を急性呼吸不全に用いる試みは、10年ほど前から進められてきた。

初期の研究では集中治療室の呼吸器を用いていたが、近年はBiPAPに代表される携帯型の呼吸器が用いられるようになってきている。これらの機械は吸気時と呼気時に別々の圧力が設定できるようになっており、患者の自発呼吸に合わせることも、全くの調節呼吸とすることも可能である。

この機械はIPAP,EPAPをそれぞれ設定できるが、IPAPはプレッシャーサポートに相当し、EPAPはPEEPに相当する。この機械は拘束性、閉塞性の換気障害を持つ人の呼吸筋仕事量を減らすことが証明されている。

この呼吸器を用いた急性呼吸不全の研究はいくつもあるが、気管内挿管を平均70%で回避でき、従量式の換気装置に劣らない成績を出している。

この呼吸器では、コントロール群に比べても34%も気管内挿管の

頻度を減らしており、その効果が明らかになりつつあるが、残念なことはいくつかの研究はヒストリカルコントロールであり、また対象となっている呼吸不全のほとんどは肺気腫の急性増悪である。

更に、研究に用いられた設定圧も、IPAPで8~22とまちまちであり、酸素供給の有無についても一定しておらず、決まった使い方がはっきりしてこない。

臨床研究では肺気腫に対する効果が証明された 良くコントロールされた研究は3つある。

ウィッソキらは肺気腫と、それ以外の原因の急性呼吸不全にBiPAPを試みたが、肺気腫以外の呼吸不全では、コントロール群と人工換気群とで気管内挿管になる率は変わらなかったとしている。しかし、血液中二酸化炭素濃度が45以上の肺気腫の患者では、明らかに気管内挿管を減らす効果が認められた。

このことから彼らは、人工的な換気補助は二酸化炭素の貯留のない、肺気腫以外の原因の呼吸不全には利益が少ないと結論している。

クラマーらやプロチャードらの研究では、対象となったのはほとんどが肺気腫で、二酸化炭素が貯留していたが、いずれも気管内挿管を減らし、バイタルが安定し、一つのスタディに至っては死亡率の低下も確認されている。

また予想されていたことではあるが、コントロール群の患者の死因は、主に気管内挿管と人工呼吸器による合併症によるものであった。

従量式に比べて従圧式のほうが快適 また従量式、従圧式の二つの呼吸器を比較した研究も存在するが、気管内挿管を回避しうる確率は、両方で差はなかった。しかし同じマスクを用いているにもかかわらず、従圧式呼吸器のほうが患者の受け入れが良く、また合併症が少なかった。

一方ミーチャムらの、18センチのPSV,PSV18センチ+PEEP6センチ、CPAP8センチ、そして従量式呼吸器の4つを急性増悪した肺気腫の患者にランダムに試してもらった研究では、PEEPをかけたもの以外では明らかな血液ガスの改善が得られたのに対して、PSV18セン

チ+PEEP6センチの群では、人工換気の改善効果が得られなかった。

これはPEEPのためにマスクからの空気漏れが多くなり、また急性増悪期の患者がより呼吸器に自分を合わせにくくなるからであると思われる。

まとめると、非侵襲的な陽圧換気は主に肺気腫の急性増悪に対しては、明らかに効果があるとおもわれる。

更に、基本的には使用する呼吸器のモードと予後とは関係がない。

他の病気、例えば手術後の換気障害や胸郭の変形による換気不全などに関する良い効果を出した研究もあるが、これらはいずれも小さなものであり、今のところその効果が確立したとは言えない。

## 4.5 成功/失敗を決定する因子

良く密着した快適なマスクの存在が、非侵襲的換気の最も大きな鍵

しかしこれが達成されても、やはり非侵襲的換気では酸素化の改善しない患者は存在する。どのような患者がこれが成功しにくいかが分かれば、気管内挿管を決定するまでの時間を節約できる。

多くの研究者が指摘していることであるが、特に肺気腫の急性増悪の患者においては非侵襲的換気は高二酸化炭素であり、重症度の高い患者で成功しにくい傾向がある。また意識状態の悪い患者もマスクに耐えられず、失敗することが多い。更に歯のない人や、分泌物の多い人、口呼吸の割合の多い人も、成功しにくい。

成功例は1時間以内に症状が改善する

一方で成功した人は、その血液ガスの改善や、呼吸数の改善が多く場合は1時間以内<sup>4</sup>に見られることが多い。また、低酸素血症があって、更に二酸化炭素のたまっていない人は、かえって非侵襲的換気の恩恵を受けにくいときがある。

<sup>4</sup>実際のところ、効果の出るまでの時間は5~10分以内である。

### 4.5.1 患者の選択

非常に重篤な患者は適応外

結局のところ、非侵襲的陽圧換気の適応となる患者は、気管内挿管になる可能性のある人の中で、中等度に状態の悪い人ということになる。

更に患者に頻呼吸があり、重度の呼吸苦があり、頻脈があり、呼吸補助筋を用いている人は良い適応となる。患者はマスクに協力的である必要はあるが、意識が覚醒している必要は決していない。

肺炎に対する成功例は少ない

また、どんな病気により呼吸不全を生じたかも、成功を決める因子となる。非侵襲的換気は肺気腫の急性増悪、心不全による肺水腫、胸郭変形による呼吸不全などでは高い成功を納めているが、肺炎による呼吸不全では良い成績を出していない。この原因についてはいろいろ考えられるが、肺炎は直るまで時間がかかること、分泌物が多いこと、より重篤な呼吸不全を生じやすいことなどがその理由であろう。

2001年のニューイングランドジャーナルに、好中球減少を生じた患者の肺炎に、非侵襲的換気が効果があった、という報告があった。この例では、日中の2~3時間に限定して呼吸器を用いており、喀痰のドレナージの問題を回避しているように見える。

最後に、非侵襲的換気は気管内挿管を拒否した患者を救命しうる可能性はある。

非侵襲的換気を用いるべきでない患者

一方非侵襲的人工換気を用いるべきでない患者としては、心停止後などの不安定な患者、嚥下障害や上気道閉塞などの障害が、あらかじめ分かっている患者、更に咳のできない患者などである。

また虚血性心疾患を合併した人などでは、非侵襲的換気は注意深く用いる必要がある。

最後に、不穩の強い人には、やはり用いるべきではない。  
まとめると、適応になるのは以下の患者である。

- 呼吸不全の生理的所見がある人
  - 高二酸化炭素、低酸素血症
  - 二酸化炭素のたまっていない低酸素血症 (効く可能性は少ない)
- 臨床的に呼吸不全を生じている人
  - 頻呼吸
  - 腹の奇異性運動
  - 呼吸補助筋を用いている
- 望ましい患者
  - 上気道の保護ができています
  - 治療に協力的である
  - 分泌物が少ない
- 血行動態的に安定している
- 望ましい病気
  - 肺気腫・喘息
  - 拘束性肺障害
  - 肺水腫
  - 挿管しない方針の人

#### 4.5.2 人工換気の開始と調節

呼吸不全の患者が入ってきた場合、あなたなら従量式、従圧式のどちらの呼吸器を使うだろうか。今までの呼吸器の比較の研究では、気

管内挿管を避ける目的ではどちらを使っても大差はなかったが、従圧式の呼吸器のほうがより患者にとって快適で、合併症が少ないことが分かっている。

しかしながら、新型のより軽量で、簡便な呼吸器の登場で、どちらのほうが良いかは呼吸器の性能により決まってくる。新しい従圧式呼吸器は軽量で、安価であるが、一方で最大でも20~30センチの気道内圧しか取れず、ある種の患者<sup>5</sup>には不十分かも知れない。

#### 従量式呼吸器の初期設定

従量式の呼吸器をマスクを用いて開始する場合、開始時の一回換気量は、通常的人工呼吸器の1.5~2倍に設定する(10~15ml/kg)。これは空気漏れを見越しての分であるが、マスクの分だけ死腔が大きいためでもある。

#### BiPAPの初期設定

BiPAPを用いた研究では、通常IPAPを8~20cmH<sub>2</sub>O、EPAPを0~5cmH<sub>2</sub>Oに設定している。患者が肺気腫の時には、少量のPEEPをかけるとより呼吸筋仕事が減ることが分かっている。

ある研究者は、急性呼吸不全でも、患者になれさせるために当初は低い圧から始めるように薦めている。患者がなれてくるに従い、圧は必要な値まで徐々に上げていく。

#### 神経筋疾患の患者の場合は呼吸器に乗せてしまう

バックアップ換気の設定は、普通は患者の自発呼吸数よりも少なく設定しているが、神経筋疾患の患者などではむしろ呼吸数よりも多く設定し、自発換気を止めてしまったほうが良い場合もある。

<sup>5</sup>胸郭変形性疾患や、神経筋疾患の患者

#### 供給酸素量の設定

酸素の負荷については、通常サチュレーションが90以上となるように調節する。BiPAPなどではマスク内に直接酸素を流すことが多い。またこうした機械では近年、二酸化炭素を再呼吸して血液中の二酸化炭素濃度を上げる可能性が指摘されているため、注意が必要である。

マスクを装着した当初は患者はむしろ苦しがるが、患者の好みに合わせてマスクの位置や圧を調節しているうちに、うまく行けば1時間で患者は楽になるはずである。また、呼吸数や心拍数は、成功する患者であればマスクをつけてすぐに下がり始める。

パルスオキシメーターは、最低でも人工換気開始後1時間はつけるべきである

この値や血液ガスの値を見ながら、二酸化炭素が下がらないなら一回換気量を増やしたり、IPAPを上げる。一方酸素化が不十分なら供給酸素を上げるか、またはEPAPを上げることになるが、EPAPを上げるとその分、IPAPを上げないとプレッシャーサポートの量が減り、二酸化炭素が溜まるので注意が必要である。

#### ウイーニングはON-OFF法で行う

ウイーニングは徐々に行ない、当初は患者がしゃべるときや、食事をするときなどに外してみるようにする。また患者のほうから、もう人工換気はいらないと言ってくることも良くある。

### 4.5.3 非侵襲的換気の副作用と対策

#### 合併症のほとんどはマスクによるもの

しっかりと選択された患者であれば、マスクによる陽圧換気の合併症のほとんどはマスクによるものである。ストラップの圧力が適切であるにもかかわらず、28%もの患者が最初のマスクに耐えられなく

なる。

一般に、人工呼吸器と顔面とのコンタクトには、鼻マスク、マウスピース、フルフェイスマスクの3つがある。急性期には鼻マスクとフルフェイスマスクが良く用いられる。

#### 鼻の対策

鼻の痛み、発赤が最も多い訴えである。これらの合併症は、鼻のあたるところに人工の皮膚<sup>6</sup>を張ることで防げる。

鼻の乾燥については加湿を行ない、鼻水の増加を訴える患者に対しては抗ヒスタミン剤や、ステロイドの鼻スプレー<sup>7</sup>を用いるとうまく行く。

#### 唾液の対策

唾液の増加に対しては、近年では、スコポラミン軟膏を耳の後ろに塗る方法が紹介され、有効とされる。

神経筋疾患の患者では、アーテンやリスモダン、ボララミンといった抗コリン作用の強い薬剤の副作用を利用すると、うまくいくケースもある。

#### エアリークの対策

空気が口から漏れているときには、横隔膜の有効な動きが得られていないことが多いため、やはり空気漏れは極力少なくしたい。

鼻マスクをしている患者については、彼らに口を閉じるように促すと空気漏れは減る。チンストラップの併用や、フルフェイスマスクを用いるといい場合もあるが、それでもうまく行かないときもある。

従圧式の呼吸器なら少々の空気漏れは許容できるが、従量式呼吸器の場合には、一回換気量を増やす必要がある。

<sup>6</sup>デュオアクティブなど

<sup>7</sup>リノコート鼻腔吸入カプセルなど

胃が張って誤嚥を生じることが、この換気法の最大の合併症であるが、NGチューブを入れなくてもそんなに起きるものではない。

#### 誤嚥の対策

誤嚥を生じる危険のある患者には、患者がより安定するまで口にものを入れないほうが賢明である。また患者が胃の張る感を訴えたならばNGチューブを挿入すべきである。また、気管損傷や食道損傷、頭蓋底骨折のある患者に対しては、マスクによる陽圧換気を行なってはいけない。

鼻マスクを用いるか、フルフェイスマスクを用いるかでは、合併症に差はないが、両者を直接比較した研究はない。

鼻マスクは患者がしゃべり、食べることができる一方で口からの空気漏れが生じ、肺を膨らませる効率は落ちる。一方でフルフェイスマスクは口からの空気漏れは少ないが、患者の不快感は増し、更に理論的には誤嚥のリスクも増える。

看護婦の負担は今までの気管内挿管により人工換気よりも増える傾向にあるとする研究もあるが、この負担の増加は当初の2日間のみであるとされる。また看護者の負担は全く増えなかったとする研究も存在する。

#### 血行動態に与える影響

陽圧換気一般に言えることであるが、胸腔内が陽圧になると、静脈系からの血液の帰還が障害され、心臓のプレロードが減る一方、心室壁圧も下がるためにアフターロードも減る。健康な心臓は、心拍出量を主にプレロードに依存しているために、陽圧換気を行なうと心拍出量が減る可能性がある。

一方で心不全に陥った心臓であれば、心拍出量はプレロードに関係なく、アフターロードに依存する傾向にあるため、心拍出量はむしろ増える傾向にある。いずれにしても血行動態の不安定な患者に陽圧換気を行なう場合には、注意深い観察は必要である。

## 第5章 手術後の患者に対する非侵襲的換気の効果

この項では、2つの大きな疑問に答えを出すことを目的としている。

- 非侵襲的換気は、手術後抜管し、その後呼吸困難を訴える患者に有効か？
- 非侵襲的換気は、挿管されて人工換気下にある患者のウィーニングに有効か？

### 5.1 非侵襲的換気による呼吸補助に対する理論的な根拠

呼吸困難感に対して呼吸補助を行なう方法は、その患者の状態が、ほとんど正常なものから、呼吸停止を生じているものまで様々である。患者の状態に対して、どのような換気補助を行なうべきかを以下に示した。

呼吸不全の状態は、以下の5つに大きく分けられる。

正常な呼吸

呼吸困難感 呼吸をするのが難しいか、苦痛な状態

急性呼吸不全 呼吸困難があり、かつ呼吸数 25 回以上、pH7.35 以下、血中二酸化炭素濃度 45mmHg 以上、供給酸素濃度 50% 以上にもかかわらず、血中酸素濃度 60mmHg 以下。

重症呼吸不全 重度の呼吸困難感があり、呼吸数 30 回以上 pH7.30 以下、血中二酸化炭素分圧 60 以上

呼吸停止 呼吸を自分では行っていない状態

同じように、換気の補助方法にも酸素のみの供給、非侵襲的換気補助、挿管による人工換気、ECMO や肺移植など、大きく 4 つに分けられる。しかし、どの程度の呼吸困難に、どの程度の換気補助を用いるのかに決まりはなく、多くは経験的なものである。

#### 5.1.1 呼吸不全に非侵襲的換気を用いる有用性

補助のレベルが上がるに従い合併症も増える

呼吸補助のレベルを上げていくと、同様に、そのことによる合併症も増えていく傾向にある。当然、呼吸補助のレベルは、患者が容認できる状態にある限り、侵襲の少ないものを用いるべきである。

非侵襲的換気の利点は、それが単なる酸素供給のみよりも高いレベルの換気補助ができ、なおかつ気管内挿管を避けることができるという点である。

非侵襲的換気は、呼吸不全の患者に幅広く適応できる可能性を持っている。

この装置は、単なる酸素供給のみを受けている患者で、よりレベルの高い換気補助を行なうことでより大きな利益を得られる患者から、酸素のみでは換気補助が十分でない患者にまで使用できる。

気管内挿管との比較

非侵襲的換気は、直接気管内に挿管することを防ぐことができる一方、以下のような欠点もある。

- マスクによる不快感
- 患者の受け入れが悪い場合がある

- 胃の膨満
- 誤嚥
- 分泌物の排出がうまくできない点
- 看護者の慣れが必要な点
- マスクからの空気もれ
- マスク部、胸（陰圧換気装置の場合）の潰瘍

一方で、気管内挿管の欠点としては、

- 挿管手技自体の失敗
- 声門、歯牙の外傷
- 挿管時の低酸素血症
- カフによる喉頭損傷
- 挿管による精神的苦痛
- 全く動けなくなる
- コミュニケーションがとれないこと
- 栄養の問題
- コストが高い点
- 咽頭の狭窄

これらのリスクと得られる利益のバランスを考えた上で、どちらの人工換気を選ぶべきかを考える。

### 5.1.2 他の呼吸不全と手術後の患者の違い

非侵襲的換気は、もっぱら、COPD や心不全などによる呼吸不全の治療に用いられている。

このため、手術後に抜管した患者の呼吸不全に対して、この換気装置が使えないかという点には興味もたれる。

手術後の患者の呼吸不全は回復可能

CABG 後の患者の研究では、手術後の患者の呼吸不全は高炭酸ガス血症が特徴であった。この種の患者は肺コンプライアンスが低下しており、更に呼吸筋疲労を生じているが、これらは回復可能なものである。

手術後抜管した医師は、患者に対して再挿管するのに抵抗感が強い

今のところ、非侵襲的換気は、回復可能な呼吸不全に対する一時的な換気補助の手段であると考えられる。

こうした患者に一時的に、あるいは夜間のみ非侵襲的換気を用いることで、呼吸不全が回復し、気管内挿管を回避でき得ると考えられる。

ウィーニングの補助としての非侵襲的換気

手術後患者のほとんどは、抜管して人工換気をやめれば、すぐに自力での呼吸ができるものである。

しかし一部の人は、自発呼吸が戻った後も何らかの補助がなくては換気ができず、このために呼吸器の様々なモードが考えられている。

非侵襲的換気は、こうした患者が、自分の力だけで呼吸する助けになる可能性がある。

### 早期の抜管

手術後は、できる限り早期に抜管した方が合併症が少なく、患者も快適であり、さらに合計のコストも安くなることが明らかになっている。

非侵襲的換気装置を用いることで、そうでない時よりも抜管の時期を早められる可能性がある。

## 5.2 手術後呼吸不全の患者に対する非侵襲的換気

以下の項目では、手術後の患者の呼吸不全に対する CPAP マスク、鼻マスクによる陽圧換気、陰圧式呼吸器の効果についての研究をそれぞれ述べる。

### 5.2.1 CPAP マスク

初期の CPAP マスクは、肺水腫に対して用いられた。この文献では、肺水腫により上昇した肺血圧に打ち勝って、CPAP 圧により酸素が血中に入っていく。と述べられている。

1976 年になり、グリーンバウムらが、急性呼吸不全の治療手段としての CPAP マスクを再評価した。そしてこの文献の中に、手術後呼吸不全に対する CPAP マスクの有用性が指摘されている。

#### 物理的メカニズム

CPAP を付加することにより、患者には様々な物理的作用が生じる。その良い点と悪い点を以下に述べる。

##### < 良い点 >

- 微少気道を拡大する
- 中小の気道を開く

- アフターロードを下げ、心機能を良くする
- 呼気時にも吸気筋の緊張を保つ
- 内因性 PEEP による呼気障害を減らす。
- 上気道を開く
- 胸の重さによる肺の圧迫感を減らす。

##### < 悪い点 >

- 息を吐きにくくなる不快感
- 静脈環流を減らし、心拍出量を下げる
- 調節を間違えると、呼吸仕事が増える
- 横隔膜を有効に使いにくくなる
- 肺が過膨張し、呼吸中枢のセットポイントが変わる

#### 有利な点

中小～微少な気道を広げる効果 これは、手術後の患者にとっては大切な点である。微少気道と肺胞を広げることで換気が不均一になることを減らし、このことは換気と血流の不均等を是正するために血中酸素濃度が増す。

この効果については、全ての患者について有効であると思われる。更に CPAP は胸腔内圧の上昇により、上部の気道も更に広げるため、呼吸抵抗も減少する。

CPAP は心不全のある患者の心機能を改善する 他に利益のある可能性としては、CPAP は心不全のある患者の心機能を改善するという点がある。これについては、まだ詳しいメカニズムは分かっておらず、また効果がなかったという文献が存在するが、心機能のおちている心臓の手術後の患者では利益をもたらすであろう。この理由について

は、CPAP は心臓のアフターロードを減らし、更に心不全によりもたらされた呼吸不全の悪化を改善するためと説明されている。

他にも、手術後合併症には特に関係のない作用としては、特に肺気腫などで問題となる内因性 PEEP を打ち消し、呼吸の負担をとる作用などがある。

#### 不利な点

**マスクの圧迫感** 最も大きな問題は、患者が息を吐きにくい感じがする点である。このことが挿管されている人で問題とならず、マスク CPAP で問題となってくるのは、マスクの圧迫感のためである。

このためによる呼吸パターンの悪化、患者の不穏などがしばしば CPAP マスクの使用を難しくする。この不快感は、CPAP 圧を下げることである程度改善できる。しかし、圧を下げることで、特に気道抵抗の高い人などではその効果も下がってしまう。

**血圧低下** また、先程述べた心機能改善効果の一方、CPAP をかけることで静脈環流が減少し、心拍出量が減ってしまうこともある<sup>1</sup>。

#### CPAP に必要な器具

手術後の患者に CPAP を付加するには、特に変わったものを用いる必要はない。

その道具とは、高流量酸素ブレンダー、リザーバーバッグ、PEEP バルブであり、これらは高流量の酸素で駆動される。

CPAP システムの初期の問題は、このシステムが個人個人で特別に用意されるために時間がかかることであった。

1980 年代に入り、シンプルな CPAP マスクシステムが市販されるようになった。今では CPAP と同様に、IPPV もマスクを通じて与えられる。

<sup>1</sup>特に、心機能が正常な人の場合。



図 5.1: 市販されている CPAP マスクセット。毎分 150l 近く酸素を消費するのが欠点。

#### CPAP の臨床研究

ほとんどの研究では、抜管後の呼吸不全に 1 日中 CPAP マスクを用いているが、再挿管を免れる率は 60~98% と様々である。多く認められた合併症は、鼻の発赤と潰瘍であった。

#### 5.2.2 非侵襲的陽圧換気

非侵襲的陽圧換気は、CPAP 用のマスクを、人工呼吸器につなぐことにより始まった。

現在、非侵襲的陽圧換気は、専用の鼻マスクあるいはフルフェイスマスクを、普通の呼吸器か、あるいは BiPAP につなぐことにより得られる。

#### 物理的作用

鼻マスクを用いた陽圧換気の効果は複雑であるが、基本的には普通の人工呼吸器と同じである。しかし、マスクを用いた換気には空気漏れの可能性が大きく、その分換気の効率が落ちる。

その利点・欠点はCPAPマスクの項で説明した通りであるが、CPAPに陽圧換気を加えることで、呼吸の補助作用はより強まる。

### 5.3 非侵襲的陽圧換気の手順

以下に、段階的に非侵襲的陽圧換気を導入していく方法を示す。方法論は術者の経験により異なる。気管内挿管が導入された初期も、挿管の適応に関するリストが作られ、用いられたが、今ではそんなものを持ち出すものはない。

以下のリストは、BiPAPを用いる場合のものであるが、他の呼吸器でも応用できると考えられる。

#### 準備

鼻マスクによる陽圧呼吸を行なう第一のステップは、それを開始するための準備である。

1. 医師は、マスクによる陽圧呼吸を行なうと決断しなくてはならない。対象の患者はそれにより挿管になる可能性が減るか、もしくは挿管による換気かわりにマスク換気が良い適応となる者でなくてはならない。

禁忌となる患者は、わずかであっても無呼吸のある患者、血行動態的に不安定な患者、マスクに非協力的な患者、上気道または顔面に外傷のある患者、また、誤嚥を防ぐために気道分泌をコントロールする必要のある患者である。

2. 一度マスク換気を行なうと決めたら、全員で機械の点検を行なう。人工呼吸器と同じように、コネクターや酸素の点検を行な

い、更にマスクが患者に合った大きさのものを確かめる。

3. 誰かがリーダーになる。
4. 患者にマスク換気の説明をする。
5. マスクが患者につけられる。一般的には、小さめのマスクの方がよくフィットするとされている。

#### 非侵襲的換気開始直後の注意点

補助換気装置がついたところで、今度は患者にそれを慣れさせなくてはならない。

1. 患者は、わずかに横になっていたほうが良い。
2. 最初は補助換気装置無しで、マスクのみ鼻に当ててみる。
3. マスクが顔に合っているか調べる。
4. マスクの中に酸素だけ流す。流量は必要最小限にとどめる。
5. EPAP5センチ、IPAP10センチ程度が通常用いられ、このくらいなら患者の不快感もそう強くないことが多い。
6. マスクは当初、患者本人あるいは治療者、あるいは両方で協力して保持する。
7. そうすることで、マスクは容易に外すことができ、両者のコミュニケーションをとることができる。
8. パルスオキシメーターを始めとするモニター類は必須である。

まず30秒マスクをつけてみて、うまくいくことを確認し、着用している時間を徐々に長くしていく。3分間つけていられれば、普通はマスクによる人工換気は成功するものである。

患者が鼻マスクを用いているときには、なるべく口を閉じるように話す。

我々はチンストラップの使用についてはあまり良い印象がなく、むしろこうした場合には、呼吸補助圧を下げるべきであると考え。

ある種の呼吸器ならば口を開いていても、呼吸を補助することは可能であるが、口を閉じているときよりも効果は薄い。フルフェイスマスクは口の開閉に関係なく、呼吸を補助するが、鼻マスクに比べて不快感が強い。

#### 合併症の予防に関する注意

マスクによる人工換気の開始は、以下の手順を踏むことでうまくいき、患者も慣れてくる。

1. 最初は呼吸器のスイッチを切っておく。
2. 鼻の当たるところにドレッシング材を貼っておくと、鼻の損傷が防げる。
3. ストラップを用い、マスクを固定する。
4. マスクが顔に合っているか確認する。
5. 酸素を流し、人工呼吸器をスタートする。
6. 鼻マスクを用いた人工換気がうまくいくと、通常数分で呼吸困難感は治まる。呼吸補助筋の使用や、呼吸数も減ってくる。サチュレーションが90%以上になるように、酸素の量を調節する。
7. EPAPとIPAPは、ちょうど普通の呼吸器のPEEPとプレッシャーポートと同じような感覚で調節されるが、気管内挿管を用いた人工換気と違い、圧を上げるほど患者の不快感が増すことを考慮に入れなくてはならない。
8. おそらくは、もっとも大切なことは、マスクによる人工換気を始めてからの最初の15~20分は、誰かがそばに居て患者を励ますことである。
9. 血液ガスの検査は、定期的にフォローする。

#### 非侵襲的換気の中止

1. マスクは着けたり外したりするのが容易なため、ウィーニングを試してみるの簡単である。マスク人工換気のウィーニングは、気管内挿管によるそれとは違い、決った方法はない。

普通は、IPAP10センチ以下、EPAP5センチ以下、酸素60%以下の状況で、本人が苦しさを感じず、サチュレーションが96以上あればウィーニングを試す。ウィーニングは、一定時間人工呼吸器を外し、一定時間人工呼吸器を再び着け、徐々に、外している時間を長くしていく方法と、いきなり呼吸器を外してしまい、夜間のみ呼吸補助を行ない、問題が無かったら夜もやめてしまう方法とがある。

呼吸困難感、頻呼吸、低酸素血症や本人の落ち着かない感じが現れるようなら、再び人工換気を始める必要がある。

2. 鼻マスクによる人工換気を脱着するのは簡単のため、人工呼吸器を外した後も、もしもの時にすぐに使えるように、それをしばらくの間患者のそばに置いておく必要がある。

人工呼吸器の数が限られているときは、この間、他の患者が呼吸器を使えなくなるため、医師は必要が無くなったとしたら、なるべく早く呼吸器を外す努力をすべきである。

## 5.4 非侵襲的人工換気の臨床研究

### 5.4.1 BiPAP

CPAPマスクによる良い結果が多数得られているにもかかわらず、手術後の患者に対する非侵襲的陽圧換気の臨床研究は、3つしか行なわれていない。

1つのグループは睡眠時無呼吸用のBiPAPを用い、他のグループは普通の呼吸器にマスクを付け、研究している。

この3つのグループでの成功率は、それぞれ75%、65%、50%と似たようなものである。

約10%の患者がマスクによる圧迫感に耐えられず、研究から外されている。また、主な合併症は、顔面の皮膚損傷、胃の膨満であった。

#### 5.4.2 陰圧式換気装置

陰圧式人工呼吸器も、鉄の肺からニューモスーツ、さらには胸と腹のみを覆うものまでと進歩してきている。

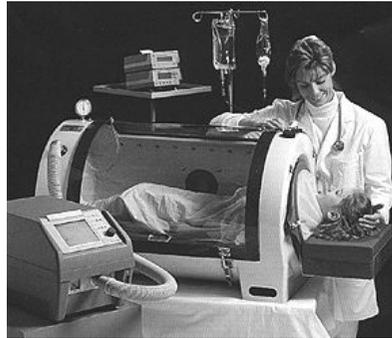


図 5.2: 最近の、より洗練された陰圧式換気装置

手術後の患者に対する陰圧式換気装置の効果を論じた研究はないが、潜在的可能性はある。

##### 陰圧式人工換気と非侵襲的人工換気との違い

陰圧式は顔面が自由 陰圧式呼吸器を用いているときには、上気道には何も着けなくても良い。胸郭を陰圧にすることで肺が陰圧で引っ張られ、その結果空気が入ってくる。

陰圧式は気道の閉塞が生じうる 陰圧式呼吸器の大きな欠点として報じられているのが、無呼吸の患者での上気道の閉塞である。これは、

患者の吸気筋と人工呼吸器が同調しないために生じ、陰圧式人工呼吸器の作用は吸気筋の肩代わりをするために、この作用が強く出る。

気道の閉塞と呼吸器の不同調は、神経筋疾患の患者で大きな問題となっており、手術後の意識のはっきりした患者では、それほど問題にはならないと思われる。

体外の陰圧 陰圧式人工呼吸器の効果は、陽圧式換気装置のちょうど逆である。静脈環流は増加し、アフターロードも増加する。

陽圧式換気装置が心機能に悪影響を与えるような状況では、陰圧式人工呼吸器は有効かもしれないが、逆もまた真なりである。

陽圧換気に比べて換気効率は悪い 胸のみを覆う型の陰圧式人工換気装置の欠点は、これが、胸、腹の手術跡にストレスをかけることである。



図 5.3: ニューモスーツの例。患者の胸だけを陰圧にしている。

この型の呼吸器は、100%有効に働けば、タンク式の陰圧換気装置と同じような効果を出す。普通は胸の一部のみが過大に動いてしまい、十分な効果を得られにくい。

## 5.5 まとめ

- 非侵襲的人工換気は、単なる酸素投与のみと気管内挿管による人工換気、中間に位置する方法である。非侵襲的人工換気は、

酸素投与のみでは不十分な患者に対する不必要な挿管を減らし、合併症を避けることができる。

- 手術後の患者の、呼吸不全に対する非侵襲的換気の効果は、CPAP マスクとマスクによる人工換気でしか確かめられていない。
- CPAP とマスクによる IPPV の効果を比較した研究は無いが、呼吸筋を補助する能力は後者のほうが優れている。
- 非侵襲的人工換気は、BiPAP を用いるか、または普通の呼吸器にマスクをつけることで行なうことができる。どの方法によるものが最も優れているのかは、まだはっきりしていない。
- 非侵襲的換気は、ウィーニング期まではずっと使用し続けることが可能であるが、一方どうやって外していくべきかについては様々な方法がある。
- 成功率については 40～80%まで様々であるが、報告例により患者の選択、呼吸器の選択が様々であり、一定した結論が出ているとは言い難い。
- 非侵襲的換気は挿管へ至るのを妨げたり、または、挿管しなくてもいい人の別の治療になりうる。しかし、全ての急性呼吸不全に適応があるわけではなく、自力での呼吸に比較的早く戻れる人に限られる。また、マスクの着用を我慢できる人でなくてはならず、また顔面や上気道に外傷があってはならない。また、気道分泌が多くないことや、痰の喀出がしっかりとできることも大切である。
- 非侵襲的換気を挿管の代わりに用いたとしても、患者を挿管時と同じように、しっかりとみなくてはいけない。その際には医師は、呼吸器のモードよりも患者の訴えに耳を傾けるべきである。

## 第6章 抜管が問題となる患者に対する非侵襲的換気

非侵襲的換気は、様々な病気を持った手術後の患者の、効果的なウィーニングに用いることができる。最も大きな適応となるのは、ウィーニングの難しい患者の換気の補助として用いる場合である。

挿管下人工呼吸管理の、いろいろなウィーニング手段を用いても、抜管した後でうまく自己呼吸できない場合、何回も再挿管を繰り返すのは危険である。そうした患者に対して、CPAP マスクや BiPAP はしばしば役に立つ。

### 6.1 早期のウィーニング

早期に抜管することはメリットがある

問題なく手術を終えた患者のほとんどは、挿管下の人工呼吸管理から、自己での呼吸に移っていく。

今までに何年もの間、ウィーニングのための様々な手段や、呼吸器のモードが考えられてきたが、どれも一長一短があった。これらの手段は、いずれも安全に抜管を早めることを目的としていたが、それは早く抜管することで、挿管による様々なデメリットを回避できることが分かってきたからである。

それらは、感染、喉頭損傷、動けないことなどであり、また抜管を早くすることで ICU 在室日数も短くなり、コストの削減にもつながる。

非侵襲的換気をウィーニングに取り入れる

非侵襲的換気はウィーニングに問題のある患者だけではなく、ルーチンの手術後の患者に対しても有効に活用することができる。

非侵襲的人工換気をウィーニングに取り入れることで、患者には、今までの抜管の基準を満たす前に抜管できる可能性がある。

挿管チューブを抜き、非侵襲的人工換気に移行することで、ほとんどの患者は安全に抜管に成功するが、一方で、うまくいかなかった場合には再挿管となってしまう。

理論上はウィーニングをやりやすい

非侵襲的人工換気は、挿管チューブのような、気道抵抗を増す原因となるものを気道内に置かないために、気道抵抗を減らし、呼吸筋の負担をとることができる。さらに、ほとんどのウィーニングのプロトコールと、同じ呼吸のモードを選択することができる。

これらの利点を持っているにもかかわらず、抜管に関する非侵襲的換気の有用性を評価する研究は、あまり行なわれていない。

### 6.2 CPAP と PSV ~ 挿管下での研究

サーンらは、初めてウィーニングに PEEP を用いたが、これはマスクを用いたものではない。

CPAP は呼吸仕事量を減らす

1990 年になり、ペトロフらは、7 人の COPD の挿管された人から、CPAP が呼吸努力を減らすことを証明した。この理由として彼らは、CPAP の陽圧が内因性の PEEP を打ち消すからであるとしている。

同じような研究で、サッソンらは、様々な原因の呼吸不全の患者について、CPAP は単なる自己呼吸に比べて呼吸仕事量を 40% 減らし、プレッシャーサポートは 34% 減らすことを証明した。

さらに、プレッシャーサポートを用いることで、伝統的な T-ピースを用いたウィーニングよりも、挿管している時間を短くすることができたとしているが、これに対しては、プレッシャーサポートを用いることで、かえって挿管している時間が長くなったとする研究もあり、意見が分かれている。

## 6.3 非侵襲的陽圧換気

非侵襲的換気は抜管までの期間を短縮する

1992年に、ライアーとグロンベルドらは、26人の抜管できなかった手術後の患者に、鼻マスクの人工換気を行なうことで抜管できたと発表した。また別の文献では、COPDの手術後の患者、10人のうち9人までは、鼻マスクによる陽圧換気で安全に抜管できたとしている。

こうした患者は自分の力だけでは呼吸が十分にできないため、非侵襲的人工換気は再挿管の代わりとして用いられおり、積極的にウィーニングのための道具として用いられているわけではない。

ウドワディアらは、非侵襲的人工換気装置を、抜管困難な呼吸不全のウィーニングの道具として用い、20人中18人までが完全に鼻マスク陽圧換気に移行できたとしている。

しかし今のところ、早期抜管に対する非侵襲的人工換気の効果に関するトライアルは行なわれていない。

## 6.4 まとめ

- 非侵襲的換気装置は、ちょうど酸素投与と挿管下人工換気との中間に位置する機械である。
- 手術後呼吸不全で、患者が再挿管になるのを防ぐのに効果があるが、ウィーニングを早めるための道具になりうる。
- 少なくとも、抜管困難な患者の抜管には、効果のあることが証明されている。

## 第7章 非侵襲的な気道分泌物の管理

気道分泌物を除去する方法は、以前より肺理学療法として知られていた。それらは主に体位ドレナージ、パーカッション、バイブレーション、スクウィーミングなどよりなる。この他にも現在では様々な方法が開発され、利用されている。

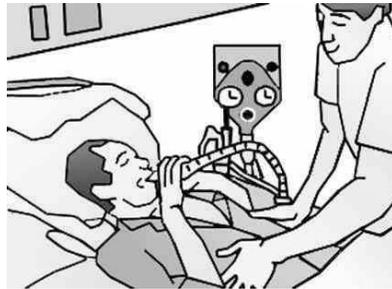


図 7.1: スクウィーミングの例

この治療の目的とするところは、気道内分泌物を速やかに除去し、気道の閉塞を解除し、均一な換気-血流比を得ることにある。

この治療の効果を理解するに当たり、正常な人がどのようにして喀痰を排出し、また病気によって喀痰を排出する機構のどの部分が障害されるのかを知ることは、大切である。

最終的に、どのような分泌物の除去方法をとるべきかは、その患者の状態、コスト、病気の状況などにより決まる。

理想的な方法は、患者にも介助者にも楽な方法

このためにも、より様々な痰の除去方法が開発されるべきである。更に、こうした方法はなるべく簡単なものでなくてはならず、介助があれば患者の年齢、状態に関係なく行なえるものであることが望ましい。また患者にとっては苦痛の少ないものであるべきで、患者が必要を感じたら、いつでも行なえるようなものであればなお理想的である。

介助者の手を借りて行なう手技であれば、それが介助者を疲れさせるようなものであってはいけない。

### 7.1 正常な分泌物排出

正常な人の気道内分泌物の排除は

1. 開存している気道
2. 粘液と線毛の運動
3. 効果的な咳

の、大きく3つの部分からなる。

大きな気道は軟骨を持ち、周囲の圧力変化に対しても潰れることなく咳による痰の排出を促す。一方小さな気道は軟骨を持たないため、これらはその気道内圧で形を保ち、分泌物の排出は、主に線毛運動の力により行なわれる。

末梢気道では線毛運動が主役

気道は、微少な部分から上気道に至るまで粘膜に覆われており、これらは線毛を含むゾル層と、その上をおおうゲル層とからなる。このゲル層が線毛により動かされ、吸入された異物や細菌を体外に排出する。

粘膜運動による、この異物の排出作用は粘膜エスカレーターと呼ばれ、末梢気道ほどその作用が強い。空気の動きはほとんどこの作用に

関与せず、咳が主に空気圧を利用して、異物を排出するのと対照的である。

中枢気道は咳で異物を排出

効果的な咳は、主に3つの部分に分けられる。吸気期、空気圧縮期、呼出期の3つである。

まず吸気をすることで、肺の容積が増大する。その後喉頭が閉鎖し、呼気筋が急激に収縮する。

このため胸腔内圧は急激に上昇する。呼出期に入ると喉頭は開放され、胸腔内圧は大気圧と同じ値にまで下がり、空気が呼出される。この時の空気のスピードは、実に音速の3/4にも達する。

この力は、単に分泌物を口のほうへ運び出すだけでなく、分泌物を気道から引き剥がすのにも役に立つ。

これら粘液エスカレーターの力と、咳の力とで痰は排出されるが、これらのバランスが崩れると、分泌物排出の力は落ちてくる。

## 7.2 気道分泌物排出の異常

感染症のような異常な状況では、分泌物排出システムの機能は落ち、粘液が肺に貯留する。この粘液は気道を閉塞し、その末梢の肺胞内のガスが吸収されると無気肺を生じる。

一方粘液が気道を不完全に閉塞すると、それが一方向弁のような働きをしてしまい、肺胞の過膨張を生じることもある。気道が閉塞した後には感染が生じ、更にそこに種々のケミカルメディエーターが関与することで、気道の壁が障害される。

こうして強度の弱くなってしまった肺は拡大してしまい、もはや咳による圧力を受けとめることができず、更に分泌物がたまっていく。また炎症が進むにつれ、一般に気道分泌物の量は増える傾向にある。

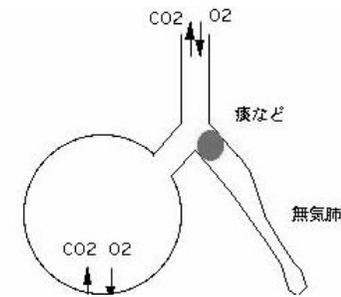


図 7.2: 無気肺の例

## 7.3 気道分泌物の排出を低下させる病気

様々な病気が、分泌物の排出に異常を生じる。

それらの異常は気道の開存性の異常、粘液分泌や線毛運動の異常、そして咳の障害とに分けられる。

正常な痰の排出は、開いている気道があって初めて正常に行なわれる。呼吸するときの気道の閉塞は、気道分泌物の貯留を促してしまう。

神経筋疾患や、脊椎側弯症などの種々の胸郭変形性疾患では気道が圧迫され、分泌物の排出が障害される。

内因性の気道閉塞は、分泌物の過剰や気管支のれん縮により生じ、これらを生じる病気に喘息や肺気腫、肺炎がある。また気管支拡張症や嚢胞性線維症といった病気、そして慢性の喫煙歴などにより、粘膜エスカレーターの障害が生じる。

効果的な咳は、もう一つの大切な分泌物排泄機構である。吸気は上気道がしっかり開いていないと行なえず、また圧縮期を効率良く行なうには、喉頭の運動が正常に行なわれなくてはならない。胸部外傷や手術後などといった、効果的な咳ができないような状況では、たとえ粘膜エスカレーターの機能が保たれていたとしても、粘液栓による気道の閉塞や、無気肺を生じうる。

また神経筋疾患、筋ジストロフィー、脊髄損傷後の患者などもやはり効果的な咳ができない。更に、気管切開を受けている患者や挿管中

の患者は喉頭の運動が制限されているため、自力で咳をすることはできない。

## 7.4 気道清浄化の方法

分泌物を取り除く方法は、年を追うごとにその選択肢の幅が広がりつつある。

その方法は大きく、生体の分泌物排泄機構を補助する機械的なものと、痰の量や硬さを調節する化学的なものとに分けられる。

### 肺理学療法

機械的方法是更に、患者本人に行なってもらう方法と介助者が行なうものに分けられ、患者が自分で行なうものとしては強力な咳、ハフティング、能動呼吸などがある。

介助者に行なってもらう方法の中で代表的なものは、いわゆる肺理学療法である。

### 機械を用いた方法

また PEEP マスクを用いた方法も、ヨーロッパを中心に、広まり始めている。

機械を用いて瞬間的に陽圧、陰圧を交互にかけ、咳を補助する装置もある。またフラッターバルブという、肺を空気に振動させる装置も FDA に認可されている。以下ではこれらについて、詳しく述べていく。

## 7.5 患者が自分で行なう方法

### 7.5.1 咳の重要性

咳の重要性は先にも述べたように、疑いようのないものである。

1979年に、オールデンバーグらは気管支拡張症の患者に体位ドレナージと咳とを組み合わせ、痰の排出の効率を評価した。

この結果、咳を行なうことで、末梢から中枢部に至るまでの痰の排出が促されたのに対し、体位ドレナージのみでは喀痰の排出は促されないことが分かった。彼らは効果的な咳を患者に行なわせる方法を考えなくてはならないと結論している。

頻回の咳は理学療法の代わりになりうる

ベックとジンナンらは、やはり肺理学療法のみと咳との組み合わせについて論じているが、咳を行わせることで、嚢胞性線維症の患者では、一回換気量が最大50%も増えたと報告した。彼らは肺理学療法を行なえないときの手軽な代替りの方法として、頻回の咳を行なうことを推薦している。

しかし一方で、効果的ではない咳は痰の排出を行なえず、呼吸筋の疲労を招き、低酸素血症を生じる。このため不十分な咳しかできない患者には、咳の補助を行なう必要がある。

### 7.5.2 強制呼気法

患者の咳を補助する方法は大きな可能性を持っている。

前にも述べたが、気道の不安定な人は、たとえ咳をしても気道が潰れてしまい、十分に咳の効果を期待できない。例えば、気管支拡張症や嚢胞性線維症の患者である。

こうした患者の場合、強制呼気法がうまくいくことがある。これは中等度から少量の空気を吸った状態から、咳を行わずに一気に空気を吐き出す（ハッ!ハッ!という呼吸）ことで、この時に自分で自分の胸を圧迫すると、なお効果的である。

こうすることで気道の安定性を保ったまま、痰の排出を促すことができる。ハフティングという。

### 7.5.3 能動的呼吸法

プリオラは1992年、強制呼気法を更に改良し、能動的呼吸と名付けた。強制呼気法は、常にハフィングと対になって行なうべきであるが、これが広まるにつれて、この方法が咳の一種であることが忘れられてしまった。

このため彼らは、強制呼気法を一種の呼吸法として、もう一度体系化した。

これは以下の7つの部分よりなる。

1. リラックスし、静かに呼吸する
2. 3~4回、大きく胸を膨らませる(この時に必要なら、パーカッションを加える)
- 3.
4. 再びリラックスする
5. また3~4回、深呼吸する
6. 再びリラックスする
7. 1~2回、ハフィングを行なう
8. リラックスする

この方法の特徴は、強制呼気法の効果を得る一方で、酸素化にも配慮している点である。この方法についての臨床研究は行なわれていないが、他の喀痰排出法に比べて遜色ない結果が得られるとされる。

### 7.5.4 自発的ドレナージ

#### 3種類の呼吸を使い分ける

これはベルギーで始まった方法で、特別な道具なしで、患者をトレーニングするものである。患者は小さな息、中等度の息、大きな息の3種の一回換気量の呼吸を一定時間ずつ繰り返すよう訓練される。

この方法は小さな息の間に痰を気道から引き剥がし、中等度の息をしている間に痰を中枢気道に集め、大きな息で痰を喀出するという理論に基づく。この方法は、末梢気道の空気を動かしてやることで、粘液を一緒に動かすために考えられた。

効果はあるらしいが複雑

この方法で嚢胞性線維症の患者を1年訓練したところ、喀痰の排出力が飛躍的に良くなったという報告もあり、確かな効果を持っている方法であるが、この方法の最大の欠点は患者教育の難しさである。

現在バイオフィードバックの手法を用いるなどしてこの方法の教育法が研究されているが、うまくいくかどうかは患者個人の性格によるものが大きい。この方法は中等度の重症度までの患者で、日常生活を営みながら訓練を行なえる人には最適である。

## 7.6 介助による方法

### 7.6.1 体位ドレナージ、パーカッション

肺理学療法は、アメリカでは伝統的な手法であった。そして現在でも、この方法は喀痰排出の最も効果的な方法の一つと認識されている。

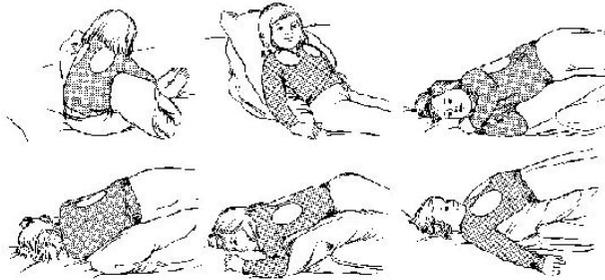


図 7.3: さまざまな体位ドレナージの例

この方法は、基本的には解剖学的に重力に従って痰を誘導しやすい体位に患者を置き、それにパーカッションやバイブレーションを加える。更に、こうした行為に加え、患者に咳をしてもらうのも一般的に行なわれ、効果を上げている。

体位ドレナージに要する時間は病気により様々だが、嚢胞性線維症のように痰の量の多い疾患では、一つの体位当たり3~10分が一般的である。

ドレナージの手技自体は1979年頃より理論化されてきたが、体位ドレナージに加えてパーカッションやバイブレーションを行なうことは、必ずしも全ての疾患で有効ではないことが分かってきた。

全例で有効なものではない

肺理学療法はある種の疾患では極めて有効であるが、そうでないときには手技の間に低酸素血症を生じるのみとなる。



図 7.4: 体位ドレナージにバイブレーションを併用した例

幼児の肺疾患のように、術者が完全に体位をコントロールできる場合や、問題となっている肺が肺全体ではなく、一部に限られている場合には体位ドレナージが有効であると思われる。

一方でわがままな患者や、子供では体位に耐えることができず、この治療はやりにくい。また腹部の圧迫感や、筋肉の痛みももればしばしばこの治療を不可能にする。

### 7.6.2 用手的な咳の補助

簡便で効果的な方法

患者が咳を呼出する瞬間に、患者の腹部を押し込むことで、咳の効率を上げることができる。

この方法を行なうときには、肺活量の小さな患者の場合には、いつもより多くの空気を吸い込む必要がある。またこの方法は、胸郭の変形のある人には行ないにくい。

方法自体は簡単であり、通常一回教えるだけで、家族にも行なうことができる。

## 7.7 終末呼気陽圧

PEEP は当初デンマークで開発され、効果的な方法として世界中に広まった。

この方法により、体位ドレナージが滅多に行なわれなくなったところもある。

患者は当初、PEEP を造り出すマスクをつけて 5~20 回呼吸する。この間呼吸中は、気道内は陽圧になる。患者が呼吸中にはその圧力はモニターされるが、15~30cmH<sub>2</sub>O の低い圧を用いる方法と、60~80cmH<sub>2</sub>O の高い PEEP 圧を用いる方法とがある。

この間の呼吸は、吸気と呼気の時間の比にして 1:3 から 1:4 とする。この状態で 5~20 回呼吸した後、患者にハフイングをしてもらう。これを 1 サイクルとして、患者の痰が取れるまで行なう。通常 20 分以内に終わる。

PEEP をかける方法は、デンマークではマスクが好んで用いられるが、アメリカではマウスピースが良く用いられる。



図 7.5: PEEP バルブを用いた肺理学療法

この方法の原理は、PEEP のかかった呼吸中には肺の側副呼吸通路を空気が通るために潰れた肺胞を押し開き、気道分泌物を押し出し、更に続くハフイングでそれらを喀出すると説明される。

アンダーソンらはこれらの現象が本当に生じていることを証明し、酸素化が促進されることを報告している。

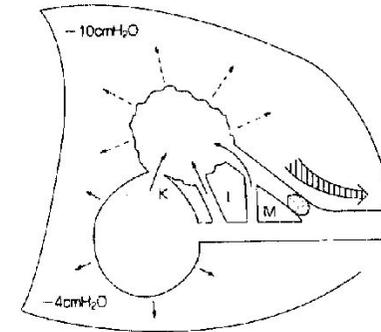


図 7.6: PEEP の効果で異物が押し出されている

PEEP に関してはいくつもの研究がなされているが、初期は手術後の無気肺の予防の効果を論じたものが多かったのに対し、近年では嚢胞性線維症の患者についての報告が多くなってきている。

体位ドレナージとの併用もできる

重要な報告としては、モルテンセンらが 1991 年に報告したもので、これは体位ドレナージと強制呼出の組み合わせと、PEEP と強制呼出の組み合わせとの喀痰排出の効果の比較をしたものである。それによれば、両者は患者の喀痰の量にかかわらず、同じように効果的であったとしている。

また 1993 年には、ファルクらが強制呼出のみと PEEP と強制呼出との組み合わせとを比較し、PEEP を負荷したほうが、効果が高かったと結論した。

最も長い期間の観察例では嚢胞性線維症の患者に PEEP 治療を 10 カ月続けて行なったところ呼吸機能の改善を認めたが、これを体位ドレナージ中心の治療に切り替えると、2 カ月でもとの肺機能に戻ってしまい、PEEP を再開して回復に 6 カ月を要したものがある。

PEEP は特に大きな合併症を生じた報告もなく、また患者が一人きりで行なえたという記録も多い。この方法で問題となるのは、最も有

効な PEEP 圧がどれぐらいなのかははっきりしないという点である。

我々の意見では、この方法は重症患者で、無気肺が問題となった例では特に有効であるように思える。

## 7.8 機械を使ったドレナージ

### 7.8.1 機械による咳

使い方を間違えると肺が吹き飛ぶ

機械により肺を膨らませる装置は、1951年にカフフレーターという名前で市販されたのが最初である。これは、陽圧で肺を膨らませ、その後急に圧を抜くことで、咳と同じ効果を作り出すものであった。この機械はポリオの患者に用いられたが、挿管とサクションが流行し出してからは用いられなくなってしまった。

その後、ジョン・バツハラが、この機械を再び世に紹介し、筋ジストロフィーの患者の咳を補助するために、再び用いられるようになった。



図 7.7: 咳をさせる機械の例。左の子供に、空気を送り込む。

この機械は有効であるが、肺気腫や気胸の既往のある患者では、注意して用いられるべきである。

### 7.8.2 フラッターバルブ

フラッターバルブは、PEEPの方法と振動による喀痰排出の方法を同時に行なおうとするものである。

これは太いパイプ(喫煙用の)の様な格好をしており、中に鉄の玉が入っている。



図 7.8: フラッターバルブの構造

患者が息を吐くと10~25センチの PEEP がかかり、更に、15ヘルツの振動が肺に加わる。



図 7.9: 実際に使ってもらったところ

理論的には、これより効率良く痰が出るはずであるが、動物実験ではコントロールと大きな変化を見出せず、嚢胞性線維症の患者8人に用いたスタディでも、PEEPマスクの使用との差を出せなかった。

しかしコンスタンらは、単なる肺理学療法のみと比べると、フラッターバルブはより多くの痰を出せたと報告している。この機械の値段は 109 ドルである。

### 7.8.3 肺内パーカッション式呼吸器 (IPV)

吸入する空気自体を振動させる

IPV はバードが 1980 年に考案した。この機械は 1993 年に FDA に認可され、以降用いられている。

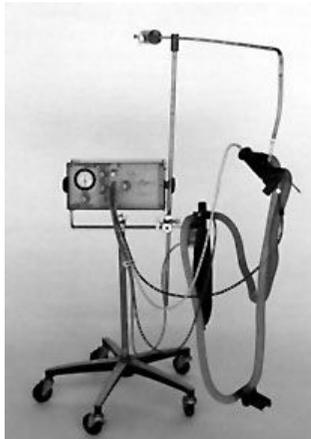


図 7.10: 肺内パーカッション式呼吸器の実物。けっこう大掛かりな装置である。

この機械は、1 分間に 100~225 回の一瞬の圧力をマウスピース通じて加えることができ、更に、この間に多くの水分、例えば 20ml の水と 0.5ml のエピネフリンを肺内に送り込むことができる。

バード社は生理食塩水に加えていくつかの薬を試したが、 $\alpha$ 、 $\beta$  の作用を併せ持つエピネフリンの使用が最も優れていたとしている。この機械を用いることで、広い範囲の肺疾患で喀痰の排出を容易にすることができるといわれる。

嚢胞性線維症の患者を用いたスタディでは、彼らはこの治療によく耐えられたが、得られた痰の量は体位ドレナージのそれを上回るものではなかったという結果が出ている。

この方法は研究者によれば、ドレナージや PEEP の効果の無い喘息や無気肺、また咳を出すことのできない神経筋疾患の患者で効果があるということである。

PEEP マスクやフラッターバルブと違い、この機械は吸気-呼気全域にわたり振動を加えられる。このことは、肺の血管床にも常に振動が伝わることになり、何らかの有利な作用を生じている可能性はある。

この機械の新しい型として、亀の甲のようなものを胸に着用し、1 秒に 15 回の割合で陰圧をかけるものがある。この効果はアメリカのスタディでは証明できなかったが、他の国のトライアルでは効果があったとされる。

### 7.8.4 高頻度胸郭圧迫

普通のバイブレーターとはちょっと違う

高頻度で胸に陽圧を加えることは、10 年以上前より実験されてきた。一般にこれは、ポンプにつながれたジャケットを患者に着用させ、高頻度で陽圧をかけることで行うことができる。この方法は、その陽圧をかける力と頻度により効果が決まる。

近年のスタディでは、急性増悪した CF の患者が 1 日 3 回の体位ドレナージ、呼吸リハを受けるか、高頻度胸部圧迫を受けるかで比較されている。50 人を対象としたこの試験では、喀痰の量、肺機能とも両者で変化はなかった。

治療中も自由に行動可能

しかしながら、この方法についてはもっと多くの研究がなされるべきである。この方法の大きなメリットは、ジャケットを着て治療を受けている間にも患者が他のことを自由にできる点にある。

またこの方法は老人などでも一人で行うことができ、行う場所を選ばない。

## 7.9 分泌物減少薬/喀痰溶解剤

痰の粘度は低くても高くてもダメ

気道分泌物を排出するもう一つの方法は、分泌物の性質を変えることで、咳や線毛運動による排出効率を高めることである。分泌物の接着度と粘着性が、排出のしやすさを決める2つの大きな要因となる。

うすい分泌物は、より接着性が強く粘度が低い。こうした分泌物が気道の奥に入ると、ちょうど膜を張ったように気道をふさぐ。このため、吸気時は肺内に空気が入るが、呼気時はこれらが弁のように働き、空気を呼出できなくなる。

一方、濃度の高い分泌物は、より粘度が高く、気道に栓をつくりやすい。

伝統的治療薬

吸入の効果は証明されなかった 水分や生理食塩水、あるいは重層水のようなものがエアゾールの形で供給され、これら分泌物の排出を助けるのに用いられてきた。

一般的な教科書には、加湿が痰の排出に役立つと教えているが、大きな規模のトライアルでもこれらの意義は証明できなかった。

喀痰の吸引は直接痰を取ることができるが、この方法は侵襲的で他の危険を伴う。

N-アセチルシステイン 喀痰の pH を変え、粘性を下げる N-アセチルシステイン<sup>1</sup>(NAC) のような物質もまた、同様の目的で用いられてきた。

<sup>1</sup>日本名ムコフィリン

NAC は、もっぱら CF の患者で用いられてきたが、これらは気道の狭窄や炎症を生じることがあるため、だんだんと用いられなくなってきている。NAC の効果は、犬の実験では明らかに痰の排出効率の増加をみているため、エアゾルの形で用いることで、もっと使用されてもよい<sup>2</sup>と思われる。

喀痰溶解の新薬は、効果的だが高価

ブルモザイムや DNase は、DNA を溶解する酵素である。CF の患者では、痰の大部分が DNA より成っていることが分かっている。

1000 人近い CF の患者を対象としたランダムイズドトライアルで、ブルモザイムは安全で、肺機能をよくすることが証明された。FDA ではこの薬の対象を、CF の患者に限定している。この薬は、1 バイアル 33 ドルし、1 年で 1 人あたり 1200 ~ 2400 ドルかかるからである。

理論的には、どんな炎症であれ、喀痰中には死んだ白血球の DNA が多量に含まれているが、その一方で、同じ CF の患者でも、ブルモザイムの効果が全く得られてない人もいる。

これらの理由は現在、DNA 中のアクチンと薬との親和性によるものと分かってきており、アクチンに対してより作用の強い薬も開発されつつある。

ブルモザイムやその改良品の使用、更には、これらと他の機械的手法の併用は、今後盛んになっていくと思われる。

## 7.10 気道浄化法の選択

これらの様々な気道浄化法のうち、どれを主に用いるべきかは、患者の病気、やる気の問題、年齢などいくつかの要因によって変わってくる。

<sup>2</sup>二日酔いにもいいです

## いずれにしてもやる気が重要

患者自身のやる気の問題は、いずれにしても大きな問題となってくる。

多くの介護者は、いかなる方法でもそれなりに患者に効果があると信じているが、一方で患者の協力が無いとそれらは得られないとも分かっている。

たとえ肺機能の上昇がすぐには得られなくても、大抵の場合、喀出できる痰の増加が患者のやる気に結びつく。多くの患者は、痰が多く出ればそれだけ自分の病気が良くなると信じている。

患者の年齢もまた、どんな手技を行うべきかを定める大切な要因となる。幼児～3才位までは術者とのコミュニケーションが全くとれないために、全面的に術者の技量に頼った手技が必要となる。

また術者の技量も、どの手技を行っていくべきかを決定しうる。ある種の手技は覚えるのが簡単な反面、熟練した教官のもとで学ばなくてはならない手技も存在する。

もしも、その患者に対して行える手技がいくつかあり、更に、それらが同じ位に効果的であった場合、患者の病気により適応した手技の選択が必要となってくる。例えば、神経筋疾患の患者においては、ある種の手技(咳など)を行うのは難しいかもしれない。

## どの方法をやっても大きな差はない

実際のところ、CFの患者については、いくつかの理学的な手技の比較をしたスタディがあり、それらをメタアナリシスした結果がでているが、どの手技を用いてもその結果については大きな違いはなく、むしろその患者のより好む手技を選択すべきであるという結論であった。

今後考えなくてはいけないのは、コストの問題である。例えば、体位ドレナージは介護者を必要とし、もしも家族の協力が得られないのならば、莫大な費用がかかる。

また、機械的な咳を行う道具や、高頻度胸部圧迫を行う道具もまた高価である。

## 国ごとの文化的な違いもある

能動的呼吸法の習得には一切の道具はらず、また、PEEPマスクやフラッターバルブもそれほど高価なものではない。しかし、こうした自分で行う方法には本人のやる気が非常に大切である。文化的な違いもあり、ヨーロッパでは患者は道具を用いない方法をより好むのに対し、アメリカではむしろ逆の傾向がある。