

## □講 座□

## 呼吸理学療法の実際

宮 川 哲 夫\*

## はじめに

ICU (Intensive Care Unit) での救命・集中治療の中で、多くの症例に集中的な呼吸理学療法が必要である。我が国の ICU も術後管理から、呼吸不全、心・冠動脈疾患、外傷、熱傷、中枢神経疾患、新生児など多様な ICU に細分化されつつある。米国、カナダにおいては、呼吸療法士、理学療法士により 24 時間体制で集中的呼吸理学療法が行われている。それは単に呼吸器合併症を予防、改善するだけでなく、ベンチレーターからの weaning 困難な症例を可能にしたり、ICU からの離床を早めたりすることができる。ICU では呼吸、循環動態が不安定でハイリスクなためその合併症の報告もあるが、十分な効果を期待できる。その内容は、リクラセーション、呼吸訓練、呼吸筋トレーニング、胸郭可動域訓練、運動療法、体位排痰法などがあげられる<sup>1)</sup>。以下、これら一般的な方法と ICU での応用について最近の知見も含めて解説する。

## 1. リクラセーション

呼吸訓練に先だつ前に、まずリクラセーションが大切である。これは全身の弛緩とともに呼吸補助筋の活動を抑制し不要な酸素消費を減少させることである。その方法には固有神経筋促通手技 (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation) の中の Hold and Relax, Contracted and Relax) の方法が有効である。例えば、頸部の呼吸補助筋を使っている場合は、頸部の屈曲や肩甲帯の拳上に最大抵抗を加えて数秒収縮させて弛緩させる。すなわち最大収縮後の最大弛緩を得る方

法である。また持続的伸張法として目的とする筋をゆっくり伸張させる。EMG フィードバック法を使い呼吸補助筋をリラックスする方法は有効である<sup>2)</sup>。さらにリラックスした体位として半坐位や前屈坐位がよく、呼吸困難時は前屈坐位をとると軽減するが、それは横隔膜収縮効率が改善し、経横隔膜圧差 (Pdi) が増大し、奇異呼吸が減少する<sup>3)4)</sup>。それは坐位だけでなく立位・歩行時も前傾位の方が効率よい<sup>5)</sup>。

また、腹部ベルトの使用により安静時には Pdi が増大し呼吸困難は改善する<sup>6)</sup>が運動時には逆効果になる<sup>7)</sup>。

## 2. 口すぼめ呼吸と腹圧呼吸

慢性閉塞性肺疾患 (COPD) に有効で口をすぼめて [f] [s] の音をさせながら行う方法である。これは気道内圧の上昇による気道虚脱を防ぐためと呼気の初期流速の減速により虚脱しやすい Bernoulli 効果を減弱するためとされる。口すぼめ呼吸により一回換気量 ( $V_T$ ) が増加し肺局所不均等換気を改善させるが、そのメカニズムの詳細は不明である<sup>8)</sup>。

腹圧呼吸は呼気一弛緩呼吸とも呼ばれ腹式呼吸とは異なる。これは腹筋を用いて機能的残気量 (FRC) のレベルから吸気を行い、そして弛緩させることによって、吸気を受動的に行う呼吸法である。口すぼめ呼吸はこの腹圧呼吸と同時に行うと効果的で、また横隔膜呼吸を修得させるとき併用すると理解しやすい。腹筋は呼気筋であるが、吸気補助としての働きもある。それは、この腹圧呼吸時のように受動的吸気をうながす。あるいは、急性頸髄損傷者を臥位から坐位にすると息切れが生じ、その予防のために腹部ベルトを用いる。この腹筋の作用や、腹部ベルトにより、横隔

\* 聖マリアンナ医科大学病院 リハビリテーション部 理学療法士・呼吸療法士

膜の長さ一張力関係の致的初期長を作り吸気筋の収縮を促進させる。また、COPDで腹筋を強化すると耐運動能が増大する<sup>9)</sup>。

### 3. 呼吸訓練

呼吸訓練には大きく横隔膜呼吸（腹式呼吸）と胸式呼吸がある。通常、呼吸不全では浅く速い上部胸式呼吸を行っているので、吸気補助筋である胸鎖乳突筋や斜角筋群の活動を抑制し、主たる運動方法を上部胸式呼吸から横隔膜呼吸や下部胸式呼吸へと移す。それから原則として死腔換気 ( $V_D/V_T$ ) を減少させるために  $V_T$  を増大させ呼吸数 ( $f$ ) を減少させ深くゆっくりした呼吸パターンにする。呼吸訓練は後方へ寄りかかった半坐位や股、膝を屈曲した背臥位で行う。半坐位はFRCが増加し腹部臓器による横隔膜への圧迫が少なく、肺うっ血も少なく最も修得しやすい体位である。呼吸訓練や体位排痰法で用いる種々のマニュアルテクニクについて表1にまとめた<sup>10)</sup>。

#### 1) 横隔膜呼吸 (図1-①)

横隔膜呼吸は患者の手を上胸部と上腹部におき、その上からセラピストの手を置き、上胸部の動きを抑制しながら横隔膜の動きを促通する。まず呼気から始め、呼気を誘導するように上腹部を静かに圧迫し十分な呼気をおこなう。そして横隔膜の収縮を促通するため、呼気の始まる瞬間に横隔膜に quick stretch を加え、吸気相の間は軽い断続的な圧 abdominal bouncing を加える。なお、上胸部が動こうとするとその動きは抑制する。呼気は口から行い、吸気は鼻から行う。COPDでは口すばめ呼吸、腹圧呼吸、横隔膜呼吸を組み合わせ同時に行うとよい。一度に呼吸パターンと呼吸部位を変えると酸素消費も増大するので、初めは可動域全域で行わず少しずつ無理のない範囲で改善していく。この横隔膜呼吸は最も大切な呼吸法で、修得したら、横隔膜に抵抗を加え筋力と耐久力の増大へとすすめる。臥位で修得したら、坐位、立位、歩行、階段昇降へとすすめる。歩行時は吸気と呼気のタイミングを歩数に同調させ、例えば2歩で吸気をし、4歩で呼気をする。階段は呼気時に昇り、吸気時には静止する。下りる場合は吸気も呼気もどちらでも行う。

特に一側の横隔膜を強化したい場合は強化したい側を下にした側臥位をとり、下側の上腹部に抵抗を加える。

#### 2) 下部胸式呼吸 (図1-②)

横隔膜呼吸に次いで大切である。それは下葉は血流も多く換気血流比が良いこと、また無気肺を起こしやすく、横隔膜の収縮により下部胸郭が拡大することなどである。肋骨の走行にそって下部胸郭外側に手をおき、横隔膜呼吸と同じように呼気を促すように軽い圧迫を加え、吸気が始まる瞬間に quick stretch を、吸気相に bouncing を加える。一人で行う方法として下部胸郭にベルトを用いたり、自分の手をおいて行う。一側の下部胸式呼吸を行うときは、強化したい側を上にした側臥位をとり下部胸郭に手をおく。呼気相の介助を他動的に強力に行う方法を徒手胸部圧迫法 (manual chest compression) といい、呼吸困難からの回復に非常に有効である。喘息発作時の蘇生法として bagging とこの chest compression で呼吸停止 23 例中 23 例、心・呼吸停止 8 例中 6 例を回復させている<sup>11)</sup>(図2)。

#### 3) 上部胸式呼吸 (図1-③)

通常は上部胸式呼吸は抑制することが多い。セラピストの手は上胸部前方に置き、鎖骨に触れないようにする。方法は下部胸式呼吸と同様である。肺外科手術後に部分呼吸として用いる場合が多く、例えば右上葉切除術後では再膨長をはかるため右上部胸式呼吸を行う。手をおくのは運動を強張するため、強い抵抗は必要ない。

#### 4) ベンチレーター装着時の呼吸訓練

ベンチレーター装着時には、ベンチレーターのモードに合わせて行う。体位は半坐位や側臥位が良い。調節呼吸のときは呼吸訓練は難しいが、補助呼吸、IMV、SIMV、CPAP、pressure support のときは可能である。IMV や SIMV の呼吸数が少ないときは行いやすいが、多いと fighting を起こしやすい。この時は気道内圧メーターで自発呼吸の呼気と吸気、ベンチレーターの呼吸を確認しながらサイクルに合わせて行う。横隔膜呼吸で深吸気を促通させるが、従圧式では深吸気は可能であるが、quick stretch は同期しにくく、従量式、時間サイクル式の場合は quick stretch によ

表 1

テクニック	適 応	禁忌, 注意	効 果	方 法
Manual Pressure	胸郭の動きが少ないとき 浅く早い呼吸	肋骨骨折 胸郭チューブ 圧迫包帯	深くゆっくりした呼吸 リクラセーション	上部あるいは下部胸郭に手をあて、中等度の圧を、好結果が現れるまで加える。 通常は30秒から2分間保持。 浅く早い上部胸式呼吸の場合は前胸部を30秒から1分間おさえる。
Squeezing	痰 浅い呼吸 胸郭可動域が少ないとき	肋骨骨折 胸部手術創（胸骨切開術）	痰の移動 深くゆっくりした呼吸 リクラセーション	上部あるいは下部胸郭に手をあて、呼気の際に内下方へ圧迫する。
Post Lifts	浅い呼吸 背臥位が強制されているとき	脊椎骨折	後肺底部の痰の移動や換気の促進。	背臥位で下部胸郭の後方に左右より手を回し、吸気時に下部肋骨を持ち上げる。 また、一側後胸部に両手を入れ、指先を脊椎棘突起にあて、吸気時に拳上し、手掌で振動を加える。同時に手背、前腕でベットを押し下げる。
Springing	呼吸音の低下した部位 胸膜癒着	肋骨骨折 胸部手術創	痰の移動 呼吸音の増加 虚脱部位の再膨張	上部あるいは下部胸郭に手をおき、吸気開始時に抵抗を加え、患者の抵抗を感じたら突然手を離す。呼気終末時には終了。 胸膜癒着を改善するときは体位療法と併用し、側臥位で上側の外側下部胸郭に行う。
Rotation	体幹の可動域が低下しているとき 外科手術後 慢性呼吸不全	肋骨骨折 脊椎骨折 腹部手術創	体幹、胸郭の可動域の増大 深い呼吸	側臥位で腸骨稜と同側の肩に手をおき吸気時に骨盤を後方に捻り、呼気時には前方に捻る。
Bouncing	浅い呼吸をしている時 痰	肋骨骨折 脊椎骨折 胸部チューブ 胸部手術創	深い呼吸 痰の移動	胸郭あるいは上腹部に手をおき、ボールをドリブルするように断続的に軽くはずませるように圧迫する。 呼吸の促進の目的なら、吸気時に胸腹部の拡張を制限しないように圧迫を加え、Squeezing と同時に行うと効果的である。 また、痰の移動が目的ならば呼気時に行う。

テクニック	適 応	禁忌, 注意	効 果	方 法
Diaphragm Facilitation	浅く早い上部胸式呼吸	腹部手術創 腹部膨満	横隔膜呼吸 深くゆっくりとした呼吸	手を上腹部におき横隔膜に吸気の初めに Quick Stretch を加え、呼気時は断続的に圧 (Bouncing) を加える。呼気時には呼気をうながすように軽い圧を加える。
Diaphragm Inhibition	奇異呼吸 上胸部が陥凹して胸部の動きが悪いとき	腹部手術創 腹部膨満	奇異呼吸の抑制 上胸部可動域の増大	手を胸骨から上腹部に当て吸気時横隔膜に圧迫を加え抑制する。
Shaking /Vibration	痰 呼吸音の低下した部位	フレイル・チェスト 疼痛, 骨粗鬆症	痰の移動	呼気時にのみ胸郭をゆすったり振動を加える。その強さは患者の許容量による。 Vibration は侵襲が少ない。Shaking は Vibration より強く粗大な振動で粘稠痰に有効。
Clapping	痰, 無気肺	肋骨骨折, 脊椎骨折 胸部手術創	痰の移動	手をカップのようにして胸郭を叩く。 原則として呼気時にのみ加える。 乳児の場合は II, III, IV 指で小さいカップを作るか乳首か麻酔用の小さいフェイスマスクを使用。

(Fielding M: Techniques for pulmonary physical therapy. In current physical therapy Edited by Peat M. : Toronto, B,C, Decker Inc 1988 pp 15-20 を参考に制作)



① 横隔膜呼吸

② 下部胸式呼吸

③ 上部胸式呼吸

図 1 呼吸訓練

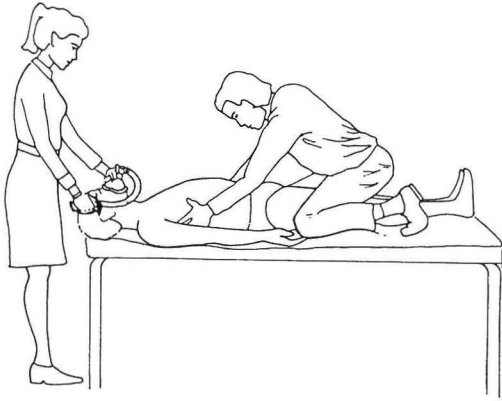


図 2 manual chest compression と bagging

胸郭を強く圧迫したあとすぐに bag を圧縮する

(Fisher MM. et al : External chest compression in acute asthma : a preliminary study. Crit Care Med 17 : 686-687, 1989 より引用)

り吸気努力や胸郭の動きは促進されるが、深吸気量は制限される<sup>12)</sup>。その他 Squeezing, Spiringing Bouncing などのテクニックにより換気は改善するが、これも気道内圧メーターを確認しながら行う。

#### 5) 今後の呼吸訓練の課題

以上、一般的な呼吸訓練について述べたが、この訓練方法が必ずしも最良の方法ではなく、呼吸訓練の最も効率のよい方法については今後の研究が必要である。

呼吸の  $V_T$  と  $f$  に関しては、全体の仕事量は弾性抵抗と気道抵抗の総和として表すことができ、健常成人では最小仕事量の  $f=15/\text{分}$  となる。弾性抵抗が高いと  $f$  は増え、逆に気道抵抗が高いと  $f$  は減少する。よってコンプライアンスの低い場合には深くゆっくりした呼吸は逆効果である。また、胸式呼吸の起動力を肋間筋、腹式呼吸を横隔膜と単純に結びつけるのは正確とはいえ chest wall 全体の相互作用として表れている<sup>13)</sup>。よって  $V_T$  を増し  $f$  を減じた横隔膜呼吸を強調しすぎるとかえって逆効果である。COPD では横隔膜呼吸を行うより自然に行っている呼吸パターンが

よいとの報告もある<sup>14)15)</sup>。しかし呼吸パターンと運動部位の改善が得られないほど重篤な症例を日常多く経験する。特に運動部位を定めず深くゆっくりした呼吸を行った場合は  $P_{di}$  が低下し、EMG や Tention Time Index でみると疲労所見が現れ、呼吸パターンを横隔膜呼吸、口すぼめ呼吸と組み合わせた方がよい<sup>16)</sup>。

分時換気量  $\dot{V}_e = V_T \times f$  の関係が成り立つが換気パターンを考慮して  $\dot{V}_e = 60 \times (V_T/T_I) \times (T_I/T_{TOT})$  と書き改め、平均吸気流速 ( $V_T/T_I$ ) は呼吸制御系のドライブ機構 (吸気性の活動の強さを表す)、duty ratio ( $T_I/T_{TOT}$ ) は一回換気に用いた吸気時間の比を示し、タイミング機構を表している<sup>17)</sup>。軽度の COPD では  $f$  が増加し  $T_I$  を短くし  $V_T/T_I$  を増すことにより  $V_T$ ,  $\dot{V}_e$  を保っている。中等度 COPD では  $f$  は増加、 $T_I$ ,  $V_T$  は低下するが、 $\dot{V}_e$  は維持されている。重度 COPD あるいは急性増悪時には  $f$  は増加、 $T_I$ ,  $V_T$ ,  $V_T/T_I$  は低下し、 $V_D/V_I$  は増大し  $\dot{V}_e$  は減少する。重度になる程  $V_T$  が低下し  $f$  が増大する。このような病態では肺のメカニクスは非可逆性なので横隔膜呼吸、下部胸式呼吸は教えず、リラクセーション、前傾姿勢、口すぼめ呼吸で  $f$  を下げ  $V_T$  を増やし、上下肢の筋力強化がよいとしている<sup>18)</sup>。呼吸筋トレーニングにより  $V_T/T_I$  は増加し、 $T_I/T_{TOT}$  は減少するが、これは横隔膜の血流と酸素供給が増え、呼吸筋酸素消費が減り、非可逆性の肺メカニクスの中で、運動中の最大換気能力を増したためとしている<sup>19)</sup>。さらに耐久時間を決める因子は  $V_T/T_I$  より  $T_I/T_{TOT}$  であるとしている<sup>20)</sup>。拘束性疾患でも呼吸パターンは  $T_I/T_{TOT}$  を短くし、 $V_T/T_I$  を増している。これらのことから呼吸訓練は吸気流速を増大し吸気時間を短くして  $V_T$  を増大させるほうが効果的なのかも知れない。また、抜管時直後は  $f$ ,  $V_T$ ,  $\dot{V}_e$ ,  $V_T/T_I$  は上昇し、30 分後には抜管前と同じ呼吸パターンに戻り weaning と抜管の良いパラメーターであるとしている<sup>21)</sup>。また weaning 成功例では  $V_T/T_I$  は増加しないとの報告もある<sup>22)</sup>。さらに、weaning 後の COPD に吸気負荷を加えたら  $V_T/T_I$  は低下し、 $\dot{V}_e$  を維持するために  $T_I/T_{TOT}$  を増したが、これは吸気時

間を延長せず呼気時間を短縮し、 $f$ を増したためとしている<sup>23)</sup>。

また呼吸筋疲労所見として、① 浅く早い呼吸、② Hooverのサインや前腹壁の奇異性運動(abdominal paradox)、③ 胸式呼吸と横隔膜呼吸の交代性呼吸(respiratory alternance)があげられる。奇異呼吸がある場合はPdiは著明に低下しており<sup>24)</sup>、安静時のエネルギー代謝は有意に高い<sup>25)</sup>。奇異呼吸や吸気補助筋の活動がある場合はベンチレーターからのweaningが困難であり、いかに横隔膜呼吸と横隔膜筋力が大切であるかはわかる<sup>26)~30)</sup>。奇異呼吸が著しくweaningの困難な症例にmagneterを使い、胸腹部の動きをバイオフィードバックさせたり<sup>31)</sup>、ベンチレーターの $V_T$ と $f$ の表示を見ながら $V_T$ を増し $f$ を減ずる呼吸訓練をやって、weaning可となった報告もある<sup>32)</sup>。Video-Respという腹部ベルトで横隔膜呼吸を行ったり、Chrono-Respという吸気時間休止期、呼気時間にライトがついてフィールドバックさせる道具を用いると効果的である<sup>33)</sup>。今後、どんな呼吸パターンと運動部位で呼吸訓練を行ったら最も効率が良いかは、後述の呼吸筋トレーニングも含め今後の課題である。

#### 4. 呼吸筋トレーニング<sup>34)35)</sup>

呼吸筋疲労は横隔膜が疲労し、正常な肺胞換気量を維持するために必要とする圧変化を呼吸器系に持続して発生しえない状態である。呼吸筋疲労の第1の治療は休息を与えることであるが、長期ベンチレーターで休ませると廃用性萎縮を起こしweaning困難になる。そこでトレーニングが必要になる。呼吸筋も骨格筋と同様に強化することができ、その方法も骨格筋のトレーニングに準じて行われている。

##### 1) 筋力トレーニング

筋力トレーニングの刺激には高張力・低頻度の刺激がよく、最大筋力で1回ないし数回の負荷でよい。最大吸気圧(MIP)測定時のように口腔を閉鎖し、最大吸気と最大呼気努力をする。3~5秒保持し、1日数回、週5回、5週行くと呼吸筋力は強化できる。

##### 2) 耐久力トレーニング

呼吸筋疲労のことを考えると筋力トレーニングより耐久力のトレーニングが大切になる。この刺激には低張力・高頻度の刺激強度がよく、その方法には以下3つの方法がある。

##### i) 過換気法

高換気で外部抵抗を加えない方法で負荷には最大持続換気量(MSVC)を用いる。これは部分的再呼吸を用い、同一の動脈血二酸化炭素分圧( $Paco_2$ )の状態では15分間持続可能な最大換気量(MVV)をいい、MVVの60%にあたる。簡便な方法として外科手術後に用いられるIncentive Spirometerを用いる。これには大きく2つのタイプに分けることができ、1つは吸気量(Inspiratory volume)の増大を目的に0~4,000 mlまで心呼吸を行うもので、Volurex, Voldyne, Air Eze, Spirocare, DHDcoach, Bartlett-Edwards, Tru-volなどがある。もう1つは吸気流量(inspiratory flow rate)の増大を目的に145~1,800 ml/secの吸気速度で行うものでTriflo II, Inspirx, Expand-A-Lung, Hadson model, Respirexなどがある。さらに死腔換気を負荷した再呼吸を行うIDSEPの改良型Souffleも過換気法の1つである。呼吸筋トレーニングとしては呼吸訓練で述べたように負荷-速度関係に基づくスピードのトレーニングとしてflowタイプのものが良いと思われる。一方、外科手術後の場合、無気肺の予防にはvolumeタイプのものがよく、正常人のsighの頻度と同じく1時間ごとに肺活量の70%以上の深吸気を10回、最大吸気を3秒保持するとよい<sup>36)</sup>。この際、単に深吸気を保持させるよりも、一方向弁をつけて呼気をブロックさせ吸気を数回くり返すBreathstackingを行う方法が、吸気量が増大し効果的である<sup>64)</sup>。

##### ii) 吸気抵抗負荷法

正常換気で外部抵抗を加える方法で負荷には最大持続吸気圧(SIP)を用いる。これは吸気抵抗負荷を加えて同一の $Paco_2$ の状態では10分可能な最大吸気圧をいい、MIPの60%程度である。このSIPで1日2~4回、4~6週行くと耐久力は増大する。耐久力の指標には前述のMSVCでは肺

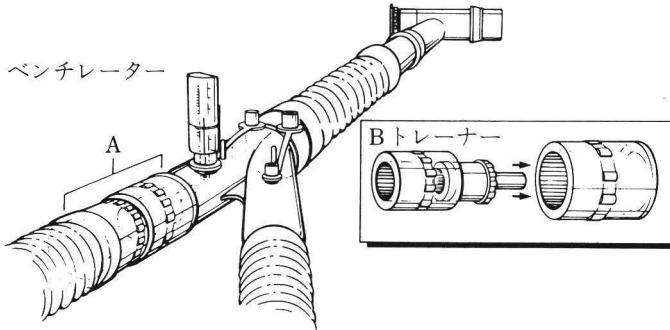


図3 ベンチレーター装着時の呼吸筋トレーニング

A：吸気筋トレーニング器具。吸気ラインに接続。

B：小児用気管チューブのコネクター（3.5～7.0 mm）と2つのプラスチックベンチレーターコネクター（15 mmと22 mm）で吸気ラインへ接続する。

(Langis AL et al: Inspiratory muscle training: An adjunct to weaning in current physical therapy. Edited by Peat M. Tronto. B.C. Decker Inc, 1988, pp. 47-50 より引用)

メカニクスの障害があると純粋に耐久力を表しにくく、このSIPが良いがSIPには学習効果があり、2分間漸増域値負荷法が優れておりどんな呼吸パターンにも左右されない<sup>20)37)</sup>。簡便な方法としてP-flex DHD Medical productsを用いる。それは大きさの異なる6つ小さな孔を通じて吸気を行い吸気抵抗が加わる器具である。しかし、トレーニングする上で大切なことは吸気流量によって負荷量は異なり<sup>38)39)</sup>、さらに大きい孔を通じて行った場合は過換気になり、終末呼気CO<sub>2</sub>を変えない第2の孔が良いとしている<sup>40)</sup>。MIPを測定し、その30%の負荷が耐久力の増大のためには良い。また流量と圧力からみると負荷量には40～50 cmH<sub>2</sub>O/l/secが良く、その訓練器としてvolume plus TM respiratory exerciserがある<sup>42)</sup>。また、背臥位で上腹部に砂袋を乗せるabdominal pad法は500 gから増やし3～5 kgまで負荷する。負荷の目安には胸腹部が同期して動き10分間呼吸可能な負荷量が良い。

ベンチレーター装着患者に呼吸筋トレーニングをしてweaning可能となった報告も多い<sup>43)～45)</sup>。それはベンチレーターの吸気ラインに小さい孔やP-flexをつけて吸気抵抗をかける方法である(図3)<sup>45)</sup>。この際には負荷がかかるので呼吸循環

動態のモニターを十分監視する必要がある。また同様に吸気ラインにIncentive spirometerや流量計をつけて自発呼吸を促したり、constant flowからdemand valveによるIMVに切り替え<sup>47)</sup>、3～10 cmH<sub>2</sub>O以上の圧が加わらないと気流が得られないようにして負荷をかける<sup>12)</sup>。

### iii) 運動療法

運動療法には運動負荷(トレッドミル、エルゴメーター)歩行、水泳、ボートこぎ、呼吸体操、上肢筋、体幹筋の強化があげられ、いずれも呼吸筋耐久力を増大させる。特に体幹、首、上肢筋の強化は大切で耐運動能は増大する<sup>48)</sup>。ベンチレーター装着時でも上肢筋の強化から開始し、坐位、立位、足踏み、ベッドの回りを歩行、それから自分でbaggingしながら歩行練習をする。weaningできたら廊下歩行を10 m/分を1分ぐらいから始め、少しずつ歩行スピードと時間を延ばし、50 m/分を4分、4回/日程度を目標にする。酸素吸入下で行うと運動能は改善する。大切なのは負荷強度より自然歩行でどれだけ長く歩行するかということである。中止基準としては息切れ、疲労は大切で、心疾患におけるものを参考にすが、呼吸器系からみた中止基準として運動時動脈血酸素分圧(PaO<sub>2</sub>)が50 mmHgに下降したとき、安



図4 徒手胸郭伸張法

(芳賀敏彦：理学療法，呼吸管理，沼田克雄編，東京，チーム医療，1983，pp. 140-185より引用)

静時より 20 mmHg 低下したとき、 $Paco_2$  では運動時 60 mmHg に達したとき、安静時より 10 mmHg 上昇したとき、動脈血酸素飽和度 ( $Sao_2$ ) が 80% に下降したとき、 $V_T/VC$  が 50% に達したとき、 $MVV$  に達したときなどである。呼吸体操は呼吸に合わせて行い、吸気と頸伸展、肩屈曲、外転、体幹伸展と同調し、呼気と頸屈曲、肩伸展、内転、体幹屈曲と同調し呼吸に合わせゆっくり行う。

呼吸筋トレーニングとして、最も効果的な方法は？ (Flow か Volume か Pressure のどれが良い負荷となるかあるいはどの組み合わせがよいかあるいは運動療法が適しているか)、強度は？ 適応患者は？ 期間は？ 長期の効果は？ と未解決な問題が多い。

### 5. 胸郭可動域訓練

胸郭の柔軟性を高めるために行う。図4に徒手胸郭伸張法<sup>1)</sup>を示す。これは呼吸の吸気と呼気に同調して行うことが大切である。この中で最も効果的なものは、肋骨の捻転で、肋間に手をおき、呼気時に捻り1本ずつ動かしてすべての肋骨を動かす。上位と下位肋骨は運動方向が異なるので注意する。また体幹の屈曲、伸展、回旋、側屈と頸、肩、肩甲帯の関節可動域訓練は大切である。胸郭可動域が増大すると  $Sao_2$  が改善した報告がある<sup>49)</sup>。

### 6. 意識不明者に対する神経生理学的呼吸促進法

反射性の呼吸を促進する方法として、①腹筋の



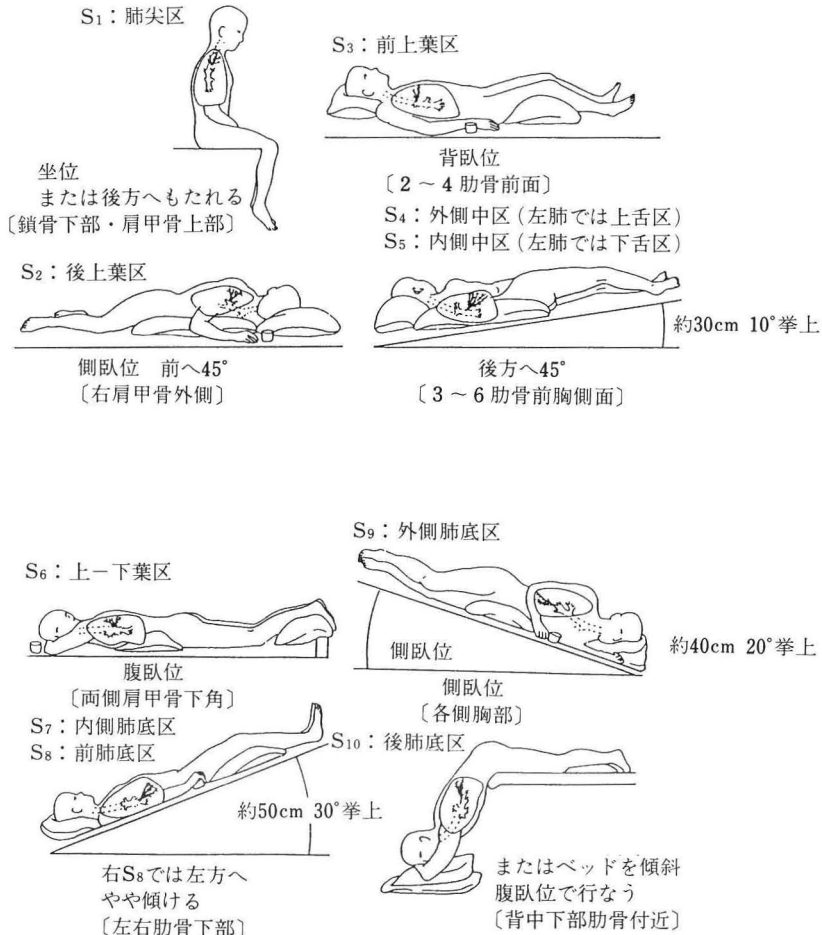


図 6 排痰体位

( ) 内は叩打や振動を加える部位

(溝呂木 忠ほか：慢性閉塞性肺疾患の理学療法。理学療法と作業療法 19：593-600, 1985 より引用追加)

激を加え痰の移動を促通する。第3に咳により痰を気道から排除する。

第1の原則として排痰したい肺区域に合わせた排痰体位をとる (図6)<sup>51)</sup>。ICUでは色々なラインやチューブあるいは患者の耐性の問題もあり教科書的な体位はとれない場合が多い。特に頭低位(トレンデレンブルグ体位)は問題になることが多く、修正した体位を用いる。頭低位のときは体幹だけ傾け骨盤下肢は水平位を保つと良い<sup>52)</sup>。あるいは頭低位30°を10°~20°に修正する。背臥位ではS<sub>1,3,7,8</sub>、腹臥位ではS<sub>6,10</sub>、側臥位ではS<sub>9</sub>、前方へ45°傾けた側臥位ではS<sub>2</sub>、後方へ45°傾けた側臥位はS<sub>4,5</sub>から排痰可能である。体位は5~10

分程度は維持され、高度低酸素血症では酸素を吸入しながら行う。体位により末梢気道からの痰の移動が促通される。肺膿瘍では健側肺に細菌が散布しないよう体位を注意する。

次に叩打(clapping)振動(vibration)を加える。排痰区域に近い胸郭を呼気相に合わせてclappingやvibrationを加える。clappingは手をおわんのように丸くしてパカパカと音が出るように叩く。できるだけ速く行い1回の呼気相にできるだけ多く叩く。手をカップ状にするのは空気の振動波が肺実質に伝わりやすくするためであり、呼気に同期するのは移動した痰が末梢へ吸引されないためと気管支に圧縮されて気道速度が増

加する時期であるためである。胸郭の小さい乳幼児の場合はII III IV指で小さなカップを作ったり、麻酔用のフェイスマスクやカップの形をした乳首を利用する。乳幼児の場合は侵襲が大きいので胸郭にタオルをあてたり対側の胸郭を手で保護したりする。Vibrationは胸郭に手をあて胸郭の中心に向かって圧迫しながら細かい振動を加える。両手を重ねて行ったり、胸郭を両手で被うようにしたほうがやりやすい。電動式のバイブレーターやパーカッサーを利用すると良い。バイブレターの振動数は10~15 Hzで13 Hzが最も良いとされ、それは痰の粘性、繊毛運動によるとされる。振動は周波数、振幅、与える部位によって効果が変わり100 Hzの振動刺激を上位肋間に吸気相に加えると換気が増大し、FRCが増大し無気肺の予防に良い<sup>53)</sup>。乳幼児はfも早く呼気に同期してclappingするのは難しく、かつ侵襲も大きいので電動バイブレーターの方が完全である。その他、排痰を促す手段として(表1)、squeezing-bouncing, shaking, springing, post liftが応用される。squeezing, bouncingは呼気時に排痰部位を圧迫することにより呼気流速を早め、springing, post liftは局所換気を高め、痰の喀出を促進させる。これらはclapping, shakingよりも非常に効果的であり、ベンチレーター装着時にも呼気に同期して行くと換気、痰の移動に良い。squeezing, shaking, bouncingなどのテクニックは中枢気道の痰の移動に効果的で、バイブレーターは末梢気道の痰の移動に有効で同じ部位に30秒~1分間は加える必要がある。また痰の移動に有効なのはbaggingである。例えば右上葉に無気肺がある場合、一人のセラピストは左側の胸郭を拡張しないように固定し、もう一人はbagを圧迫すると空気は換気の低下した右側に入っていく。他の方法としてbagを圧迫した後、呼気時にvibration, shaking, clappingを加える。またbagを圧迫し最大吸気位を1秒保持し急に離すことにより呼気を早める方法<sup>54)</sup>は有効である。

次に、咳の発生過程はまず最大吸気を行い声門を閉鎖し呼気筋を収縮させ胸腔内圧を高め、そして声門を爆発的に開放させる。痰を排出するため

には25 m/secの気流と1 lの肺気量は必要で弱い咳では効果的でない。呼気時胸腔内圧は50~100 mmHgにも達し、咳の持続時間は0.5秒である。まず効果的な咳を行うためには十分な吸気が必要で、痰を末梢へ移動させないためゆっくり吸気を行う。その後すぐにセラピストは、腹部と下部胸郭を急に圧縮して早い呼気を介助する。これは咳と同期させなければならない。咳のときは楽な体位をとるか前傾坐位が良い。胸部外科手術後は、セラピストは創部を保護するように手で圧迫したり、腹部外科後ではファウラー位で腹壁を両側から中心に寄せるように固定すると疼痛は減少する。また呼気時に胸郭の圧迫だけでなく、腹部のベルトを併用すると呼気流量はさらに増し有効である<sup>55)</sup>。脊髄損傷では咳に合わせて腹部を突き上げる方法(abdominal thrust)や、一人で行うときは両手で下胸部を圧迫すると同時に対側へまわした側の前腕で腹部を圧迫する。あるいは大胸筋を強化すると呼気流量が増大し効果的な咳ができる<sup>56)</sup>。咳に先立ち最大吸気位から声門を開き「ハー」と強く長く呼気を行うHuffingを行うとよい。最大吸気位からのHuffingは中枢気道の、中量域の吸気位からのHuffingは末梢気道の痰の除去に良い<sup>57)</sup>。一方、咳は中枢気道の痰の除去に良く、1回の最大吸気位から2回の咳を行う方が良い。それは1回目の咳で痰を気管支から外し、2回目の咳で喀出するためである。意識障害があり、咳ができない場合は喉頭蓋を刺激したり、胸骨上切痕部で気管を圧迫すると良い。

排痰法の実施方法は、まず聴診、触診、X線により肺痰部位を決定する。2カ所以上の肺区域から出すときは上方から出す。それは排痰中に気管支に誤って吸引されたとき喀出できる体勢をとるためである。そして排痰体位をとり、横隔膜呼吸を行いできるだけリラックスさせ、呼気時にclapping, vibrationその他テクニックを加え咳の介助をして、痰を喀出する。体位排痰法に先立ち、ネブライザーによる十分な加湿、痰溶解剤、気管支拡張剤の吸入をさせておくと良い。また5~10 mlの生理食塩水を気管チューブより入れ、baggingしたあと吸引すると良い。体位排痰法の

表 2 体位排痰法の注意および禁忌

1) 軽打法および振動法	
不整脈	強度の低酸素血症
凝血異常	胸腔チューブ
頭蓋内出血	開胸創
咯血	骨粗鬆症
気管支攣縮	くる病
気胸	肋骨骨折
肺膿瘍	肋骨・脊柱への転移癌
活動性肺結核	皮下気腫
肺内感染	皮膚脆弱
2) トレンデレンブルグ体位	
腹部膨満	気胸
頭蓋内出血	強度の低酸素血症
高血圧	食後、胃内容物逆流
不整脈	眼・頭蓋内手術直後
心疾患	気管・食道瘻修復術直後
水頭症	
3) 咳	
肋骨骨折	徐脈
気胸	頭痛
縫合の開創	疲労
皮下気腫	横隔膜ヘルニア術直後
腹筋断裂	嘔吐
血管断裂	尿失禁
不整脈	咽頭痛
4) 吸引	
不整脈	感染
徐脈	気道粘膜の損傷
低酸素症	
低血圧	
肺虚脱	

注意点や禁忌をあげた(表2)。効果的な報告も多い中、合併症も報告されている。PaO<sub>2</sub>, Sao<sub>2</sub>, コンプライアンス, 気道コンダクタンス, 一秒量の低下や, 頭蓋内圧, 血圧, 心拍数, Paco<sub>2</sub>の増加など報告されている<sup>58)~61)</sup>。大動脈バルーンポンピングを行っている場合はバイブレーターやその他のテクニックはECGに障害を与えるので禁忌である。排痰法の禁忌となる急性心筋梗塞で, 誤って歯が右下葉に吸引され, 急性期のため気管支鏡は適応にならず, 侵襲の少ない排痰法で除去しえたとの報告<sup>62)</sup>もあり, 呼吸循環

のモニターを監視しながら十分注意して行くと効果が期待できる。

## 8. 体位療法

胸膜腔に浸出液や血液が貯留すると胸膜, 特に横隔肋骨洞部の癒着が起こり呼吸機能に大きな影響を及ぼす。この場合は患側を上にした側臥位で腰部に枕を入れて肺尖部を肺底部より下げた体位をとり, 浸出液を換気運動に影響の少ない肺尖部や肺間部に移動させる。さらに45°前方に傾けた側臥位, 45°後方に傾けた側臥位を20分ごとに交互に行い癒着を防止する。さらに側臥位で上側の下部胸式呼吸とspringingを行うと良い。一般に患側を上にした側臥位がPaO<sub>2</sub>, Sao<sub>2</sub>からみると良いとされるが, 浸出液の量が一側肺の半分以上あるときはその逆となる<sup>63)</sup>。

水平背臥位ではFRCは低下し横隔膜の動きも制限され呼吸からみると不利であるが循環が不安定な時には良い。体幹を挙上してくるとFRCは増加し呼吸にとってはよく, 循環系では静脈還流が減少するため不利で, 心拍出量, 血圧が低下する。

## 9. その他

術後肺合併症の予防的治療法として前述の呼吸理学療法のほか, IPPB, 吸入療法, 早期離床などがあげられ, 術前, 術後の理学療法の徹底によりかなりの合併症の発生を防ぐことができる。また, 術後の肺合併症の予防として顔面マスクによるCPAPの有用性の報告も多い。特にPEPマスクはCPAPに比べ手技が簡単で使いやすく, その効果もCPAPと変わらない<sup>57)65)</sup>。

術後疼痛の緩解にTENS(経皮的電気通電法)が用いられたが, 疼痛, 無気肺, 肺機能に与える効果ははっきりしないようである<sup>66)</sup>。

## おわりに

以上, 呼吸理学療法について述べた。古典的呼吸理学療法は1900年の初頭から行われており, Chest Physical Therapyとは一般的に体位排痰法, パーカッション, バイブレーションと同義語として用いられ狭い意味しか持たなかった。しか

し、現存では Respiratory Physical Therapy と呼ばれるように、その方法論も多彩で持つ意義も大きい。我が国の呼吸療法、呼吸理学療法の確立を願うしだいである。

#### 参考文献

- 1) 芳賀敏彦：理学療法. 呼吸管理, 沼田克雄編, 東京, チーム医療, 1983, pp 140-185
- 2) Holliday JE: Biofeedback In Pulmonary Rehabilitation. Edited by O'Ryan JA, Burns DG. Chicago, Year Book Med Pub. 1984, pp 85-111
- 3) O'Neill S, McCarthy DS: Postural relief of dyspnea in severe chronic airflow limitation: Relationship to in severe chronic airflow limitation: relationship to respiratory muscle strength. Thorax 38: 595-600, 1983
- 4) Sharp JT, Drutz WS, et al: Postural relief of dyspnea in severe chronic obstructive pulmonary disease, Am Rev Respir Dis 122: 201-211, 1980
- 5) Delgado HR, Braun SR, et al: Chest wall and abdominal motion during exercise in Patients with chronic obstructive pulmonary disease. Am Rev Respir Dis 126: 200-205, 1982
- 6) Koulouris N, Mulvey DA, et al: The effect of posture and abdominal binding on respiratory pressures. Eur Respir J 2: 961-965, 1989
- 7) Dodd DS, Brancatisano TP, et al: Effect of abdominal strapping on chest wall mechanics during exercise in patients with severe chronic airflow obstruction. Am Rev Respir Dis 131: 816-821, 1985
- 8) 高橋敬治, 池田英樹: Pursed lips breathing と不均等分布. 呼吸 8: 732-738, 1989
- 9) Vergeret J, Kays C, et al: Expiratory muscles and exercise limitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease, Respiration 52: 181-188, 1987
- 10) Fielding M: Techniques for pulmonary physical therapy. In Current physical therapy. Edited by Peat M, Toronto, B.C., Decker Inc, 1988, pp 15-20
- 11) Fisher MM, Bowey CJ, et al: External chest compression in acute asthma: a preliminary study, Crit Care Med 17: 686-687, 1989
- 12) Holtackers TR: Physical rehabilitation of the ventilator-dependent patient. In Cardiopulmonary physical therapy. Edited by Irwin S, Tecklin JS, St. Louis, The C.V. Mosby Company, 1985, pp 292-304
- 13) 吉野克樹: Hoover のサインと呼吸筋疲労呼吸 8: 399-403, 1989
- 14) Willeput R, Vachaudez JP, et al: Thoracoabdominal motion during chest physiotherapy in patients affected by chronic obstructive lung disease. Respiration 44: 204-214, 1983
- 15) Faling LJ: Pulmonary rehabilitation: Physical modalities. Clin Chest Med 7: 599-618, 1986
- 16) Grassino A, Bellemore F, et al: Diaphragm fatigue and the strategy of breathing in COPD. Chest 85: 51-54, 1984
- 17) Milic-Emili J: Recent advances in clinical assessment of control of breathing. Lung 160: 1-17, 1982
- 18) Loveridge BM: Breathing patterns in chronic obstructive pulmonary disease. In Current physical therapy. Edited by Peat M. Toronto, B.C. Decker Inc, 1988, pp 57-60
- 19) Flynn MG, Nosworthy JC, et al: Threshold pressure training, breathing pattern and exercise performance in chronic airflow obstruction. Chest 95: 535-540, 1989
- 20) McElvancy G, Wilcox PG, et al: Comparison of two-minute incremental threshold loading and maximal loading as measures of respiratory muscle endurance, Chest 96: 557-563, 1989
- 21) Krieger BP, Gazeroglu HB: Variability of the breathing pattern before and after extubation. Chest 93: 767-771, 1988
- 22) Tobin MJ, Perez W, et al: The pattern of breathing during successful and unsuccessful trials of weaning from mechanical ventilation, Am Rev Respir Dis 134: 1111-1118, 1986
- 23) Pourriat JL, Lamberto CH, et al: Steady-state breathing pattern responses to small inspiratory resistive loads in COPD patients: application to weaning from mechani-

- cal ventilation. *Chest* 95 : 364-369, 1989
- 24) Mier-Jedrzejowicz A, Brophy C, et al : Assessment of diaphragm weakness. *Am Rev Respir Dis* 137 : 877-883, 1988
  - 25) Fitting JW, Frascarolo PH, et al : Energy expenditure and rib cage—abdominal motion in chronic obstructive disease. *Eur Respir J* 2 : 840-845, 1989
  - 26) Swartz MA, Marino PL : Diaphragmatic strength during weaning from mechanical ventilation. *Chest* 85 : 736-739, 1985
  - 27) Tobin MJ, Guenther SM, et al : Konno-Mead analysis of rib cage—abdominal motion during successful and unsuccessful trials of weaning from mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 135 : 1320-1328, 1987
  - 28) Tobin MJ, Perez W, et al : Does rib cage—abdominal paradox signify respiratory muscle fatigue? *J Appl Physiol* 63 : 851-860, 1987
  - 29) Tobin MJ : Respiratory muscles in disease. *Clin Chest Med* 9 : 263-286, 1988
  - 30) Brochard L, Harf A, et al : Inspiratory pressure support prevents diaphragmatic fatigue during weaning from mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 139 : 513-521, 1989
  - 31) LaRiccia PJ, Katz RH, et al : Biofeedback and hypnosis in weaning from mechanical ventilations. *Chest* 87 : 267-268, 1985
  - 32) Yarnal JR, Harrell DW : Routine use of biofeedback in weaning patients from mechanical ventilation. *Chest* 79 : 127, 1981
  - 33) Orlandi O, Perino B, et al : Old and new in chest physiotherapy. *Eur Respir J* 2 : 595-598, 1989
  - 34) 宮川哲夫：呼吸筋トレーニング。理学療法学 15 : 208~216, 1988
  - 35) 宮川哲夫：慢性閉塞性肺疾患の呼吸筋トレーニング。理学療法 5 : 195-203, 1988
  - 36) Bartlett RH : Incentive spirometry. In *Current Respiratory Care*. Edited Kacmarek R, M., Stoller JK. Toronto, B.C. Becker Inc. 1988, pp 38-40
  - 37) Morrison NJ, Fairbairn MS, et al : The effect of breathing frequency on inspiratory muscle endurance during incremental threshold loading. *Chest* 96 : 85-88, 1989
  - 38) Belman MJ, Thomas SC, et al : Resistive breathing training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 90 : 662-669, 1986
  - 39) Richardson J, Dunn L, et al : Inspiratory resistive endurance training in patients with chronic obstructive pulmonary disease : a pilot study. *Physiotherapy Canada* 41 : 85-92, 1989
  - 40) Belman MJ : Ventilatory muscle training. In *Respiratory muscles and their Neuromotor control*. Edited Stick GC, et al. New York, Alan R. Liss. 1987
  - 41) Larson JL, Kim MJ, et al : Inspiratory muscle training with a pressure threshold breathing device in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 138 : 689-696, 1988
  - 42) Larson M, Kim MJ : Respiratory muscle training with the incentive spirometer resistive breathing device. *Heart & Lung* 13 : 341-345, 1984
  - 43) Rosenberg NB, Amico PA : Use of P-flex inspiratory muscle trainer to provide CPAP at Home. *Respir Care* 31 : 229, 1986
  - 44) Abelson H, Brewer K : Inspiratory muscle training in the mechanically ventilated patient. *Physiotherapy Canada* 39 : 305-307, 1987
  - 45) Langis LA, Anderson C : Inspiratory muscle training : An adjunct to weaning. In *current physical therapy*. Edited by Peat M. Toronto, B.C. Decker Inc, 1988, pp 47-50
  - 46) Aldrich TK, Karpel PJ, et al : weaning from mechanical ventilation: Adjunctive use of inspiratory muscle resistive training. *Crit Care Med* 17 : 143-147, 1989
  - 47) 宮城征四郎：呼吸管理における患者のトレーニング。呼吸 33 : 722-729, 1985
  - 48) Ries AL, Ellis B, et al : Upper exercise training in chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 93 : 688-692, 1988
  - 49) Kolaczowski W, Taylor R, et al : Improvement in oxygen saturation after chest physiotherapy in patients with emphysema. *Physiotherapy Canada* 41 : 18-23, 1989

- 50) Bethune DD : Neurophysiological facilitation of respiration in unconscious adult patient. *Physiotherapy Canada* 27 : 241-246, 1975
- 51) 溝呂木忠, 宮川哲夫 : 慢性閉塞性肺疾患の理学療法. *理学療法と作業療法* 19 : 593-600, 1985
- 52) Humberstone N : Respiratory treatment : In cardiopulmonary physical therapy. Edited by Irwin S, Tecklin JS. St. Louis, The C. V. Mosby Company, 1985, pp 230-248
- 53) 大村昭人, 片桐 淳 : 胸壁振動の生理と呼吸管理への応用. *Annual Review 呼吸器* 1989 太田保世他編, 東京. 中外医学社, 1989, pp 178-184
- 54) Hudstrad U, Ponten U, et al : Bag-squeezing as respiratory physiotherapy in patients with high ICP and pulmonary atelectasis, The 5th world congress on intensive and critical care medicine abstracts, 1989, pp 261
- 55) MacLean D, Drummond G, et al : Maximal expiratory airflow during chest physiotherapy on ventilated patients before and after the application of an abdominal binder. *Intensive Care Med* 15 : 396-399, 1989
- 56) Estenne M, Knoop C, et al : The effect of pectoralis muscle training in tetraplegic subjects. *Am Rev Respir Dis* 139 : 1218-1222, 1989
- 57) Kaminska TM, Pearson SB : A comparison of postural drainage and positive expiratory pressure on domiciliary management of patients with chronic bronchial sepsis. *Physiotherapy* 74 : 251-254, 1988
- 58) Tyler M : Complications of positioning and chest physiotherapy. *Respir Care* 27 : 458-466, 1982
- 59) Kirilloff LH, Rouger RM, et al : Does chest physical therapy work? *Chest* 88 : 436-444, 1985
- 60) Klein P, Rosenbaum SH, et al : Attenuation of the hemodynamic responses to chest physical therapy. *Chest* 93 : 38-42, 1988
- 61) Walsh JM, Hoscheit D : Unsuspected hemodynamic alterations during endotracheal suctioning. *Chest* 95 : 162-165, 1989
- 62) Raghu G, Pierson DJ : Successful removal of an aspirated tooth by chest physiotherapy. *Respir Care* 31 : 1099-1101, 1986
- 63) Chang SC, Shiao GM : Postural effect on gas exchange in patients with unilateral pleural effusions. *Chest* 96 : 60-63, 1989
- 64) Baker WL, Lamb VJ, et al : Breath-stacking increases the depth and duration of chest expansion by incentive spirometry. *Am Rev Respir Dis* 141 : 343-346, 1990
- 65) Ricksten SE, Bengtsson A, et al : Effects of periodic positive airway pressure by mask on postoperative pulmonary function. *Chest* 89 : 774-781, 1986
- 66) Stubbing JF and Jellicoe JA : Transcutaneous electrical nerve stimulation after thoracotomy. *Anaesthesia* 43 : 296-298, 1988
-