

□ 総 説 □

胸部理学療法 —理論—

芳 賀 敏 彦*

はじめに

胸部理学療法の目的は最低の努力でこれは生理学的には最低のエネルギー消費で必要十分な換気、これには安静換気のみならず運動時換気又は咳による喀痰喀出に必要な換気まで含むが、これを得させることで、臨床症状でこれをとらえるなら呼吸困難または息切れを感じさせないかまたは最少に止めることである。これら一連の胸部理学療法の理論を述べるにはまず換気のマニピュレーションから話を起さねばならないが正常または病的状態のこれを述べることは紙面の都合もあり、また他の成書にも精細に述べられているのでそちらに譲るとして胸部理学療法の個々の手技にまつわる理論についてのみ述べることにする。

胸部理学療法とは

内外において色々な名称が用いられている。

英国では Chest Physiotherapy すなわち胸部理学療法であるし、米国では同じ Chest Physical Therapy でもその分類各に主題を置いている。我国でも肺理学療法、胸部理学療法、肺機能療法等々少しニュアンスは異なるがほぼ同義語である。ただ米国でも我国でも最近はもう少し広い意味から呼吸リハビリテーションまたは Pulmonary rehabilitation (ACCP 1974年) の中の一つの手技としてのとらえ方がある。今回はそんなに範囲は広げないで胸部(肺、呼吸)理学療法の範疇で話を進める。

胸部理学療法の中にはおおむね次のような手技が含まれる。

- 1) 弛緩法 (Relaxation)
- 2) 呼吸訓練 (Breathing Exercise)

呼吸パターン調節

口すぼめ呼吸 (Pursed Lip Breathing)

胸部 (局所, 全肺野)

- 3) 呼吸筋訓練
 - 呼吸抵抗
 - 吸気抵抗
 - 死腔増加
- 4) 体位排痰
 - 痰と咳
 - 前準備(吸入, 軽打, バイブレーション)
 - 干渉低周波
 - 体位排痰
 - 吸引
- 5) 全身運動
- 6) 運動療法

弛緩法 (Relaxation)

胸部理学療法の基本をなすもので、呼吸困難、息切れの強い時は吸気筋、呼気筋のみならず全身の筋も緊張してその Tonus は高まり、それが返って代謝の亢進をうながし症状を悪化させる。この悪循環を除去するのがこの方法である。

方法としては全身の衣服をゆったりしたものにし、肩を下し両手は体幹の両側に置き、第三者(理学療法士、看護婦ら)の指導で全身の力を抜く。また必要に応じて胸鎖乳突筋らへの C.T.M. (Connective Tissue Massage) を行う。

これの効果については呼吸筋の筋電図スパイクにより判定したが図1、図2のごとく胸鎖乳突筋においてもまた広背筋においてもスパイクは減少し本法が有効なことが判明した。

呼吸訓練 (Breathing Exercise)

呼吸パターンの改善

呼吸数と深さ(一回換気量)については呼吸困

* 国立療養所東京病院名誉院長 (呼吸器科)

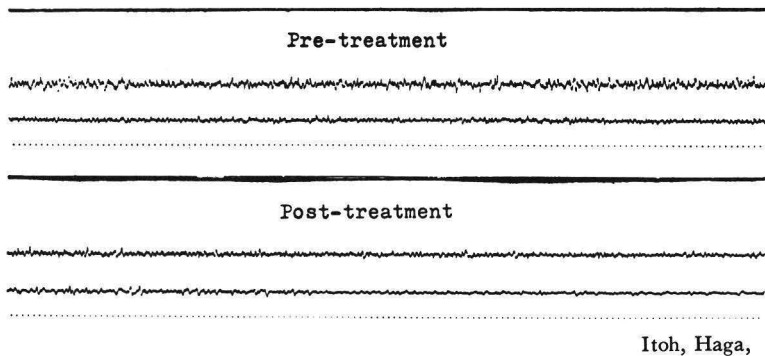


図 1 閉塞を伴った慢性気管支炎患者に弛緩法を試みた前後の胸鎖乳突筋，広背筋の筋電図の変化，上：広背筋，下：胸鎖乳突筋

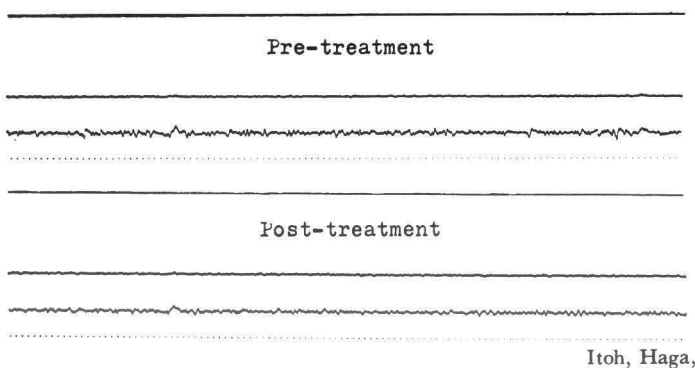


図 2 喘息寛解時に弛緩法を試みた前後の胸鎖乳突筋，広背筋の筋電図の変化
上：胸鎖乳突筋，下：広背筋

難時には呼吸数は増し，深度は浅くなる。

この積が分時換気量となる。然し同一分的換気量であっても呼吸数と一回換気量が異なると有効肺胞換気量は甚しく異なる。すなわち肺胞換気量は（一回換気量－死腔換気量）×呼吸数で表されるからでありまた死腔換気量は呼吸数及び一回換気量の値にかかわらずほぼ一定（K）であるからである。

図 3 のごとく $\dot{V}_E = 10 \text{ l}$ として $V_D = 200 \text{ ml}$ とした時の f の変化に対してはその増加に伴い \dot{V}_A は減少し，また図 4 のごとく V_T の変化に対してはその減少に対して \dot{V}_A もまた減少する。

この為にほぼ適切な呼吸数と深さ（ T_V ）を指導して最も有効な呼吸パターンを指示する。

口すぼめ呼吸（Pursed Lip Breathing）

次に呼吸の仕方の一つとして口すぼめ呼吸の指

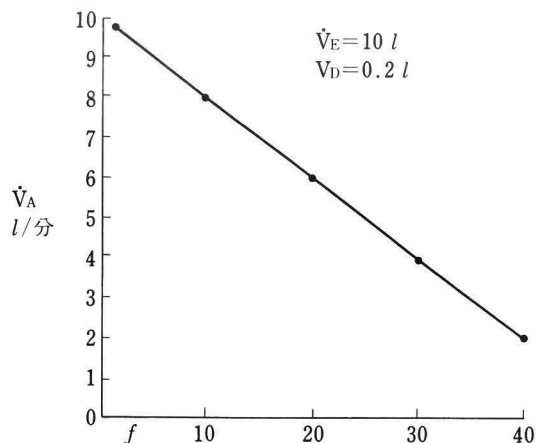


図 3 呼吸数の変化による呼吸換気量の変化

導がある。これは本来患者は教えられなくとも自然にこの方法をとっている。これにより呼気時の気道内圧は上昇し換気力を高めると共に肺内ガス

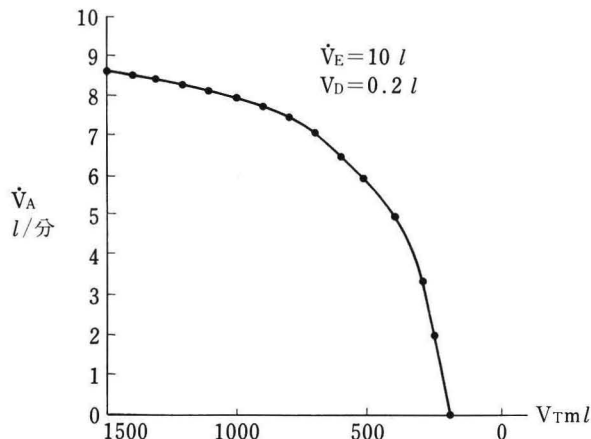


図4 一回換気量の変化による肺胞換気量の変化

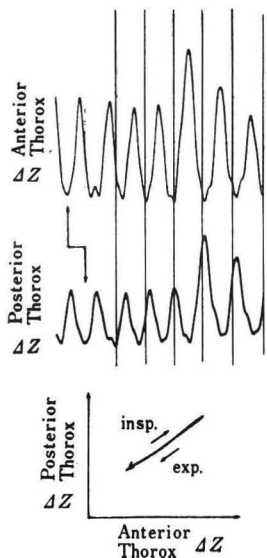
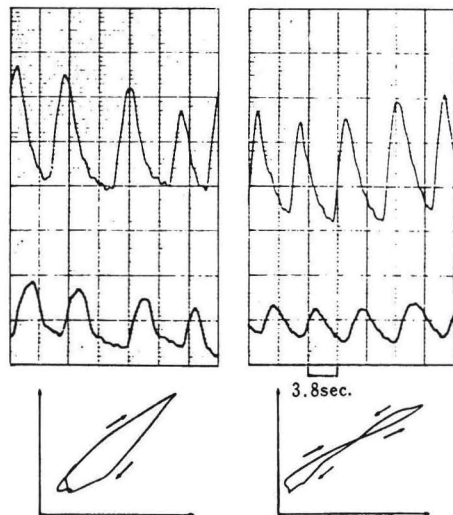


図5 健常者(41歳, 男) 安静時間開口呼吸数の変化

不均等分布も改善している。胸郭の前後に pneumoim-pedance の電極を置くと健常者では図5のごとく。

吸気と呼気における前後の波形は良い一致を示し、そのリサージュもほぼ直線になる。しかし喘息の寛解期にある気道閉塞のある患者では呼出期に下に凹に折れ曲り(図6左)呼気中に気道の閉塞が生じていると考えられる。この時口すぼめ呼吸で呼出を行わせると(図6右)のごとくりサージュは改善され呼気時の閉塞は甚しく軽減してい



開口呼吸時 口すぼめ呼吸時
図6 喘息(60歳, 男)

る。然しこれは重度の肺気腫患者に試みてみたが坐位では図7のごとくあまり変化がなかったが臥位ではいくらかの改善が見られた。またこの口すぼめ呼吸を右心カテーテル施行時に試みて肺循環動態に対する変化をみたが、図8のごとく6例中4例に軽度の肺動脈平均圧の上昇がみられた。6例の平均では1.4 mmHgの上昇であった。

局所肺の呼吸訓練, 呼吸訓練時の局所強調呼吸の有効性について述べる。

まず左右別の強勢呼吸がはたして有効であるかどうかである。

方法は患者の左右胸郭に Pneumoim-pedance の電極をつけ先ず普通呼吸時の波形をとり、次いで理学療法士による左右胸郭運動指導による左右別強勢呼吸を行かせた時の impedance の波形を採りこれよりそれぞれ左右比をとって作図すると図9のごとくなる。すなわちこの比は L/R であるのでこれが 1.0 以上の時は左側の換気が大きく 1.0 以下であれば右側の換気が大きくなる。図9のごとく明らかに右側を強調した時は 1.0 以下であり左側を強勢した時は 1.0 以上になった。

次に同側肺で上下の換気強勢が実際に起っているかどうかを証明してみた。方法としては先ず健常者に ¹³³Xe を吸入させその後正常換気パターンで呼出して行く時と、理学療法士が下部胸郭の換

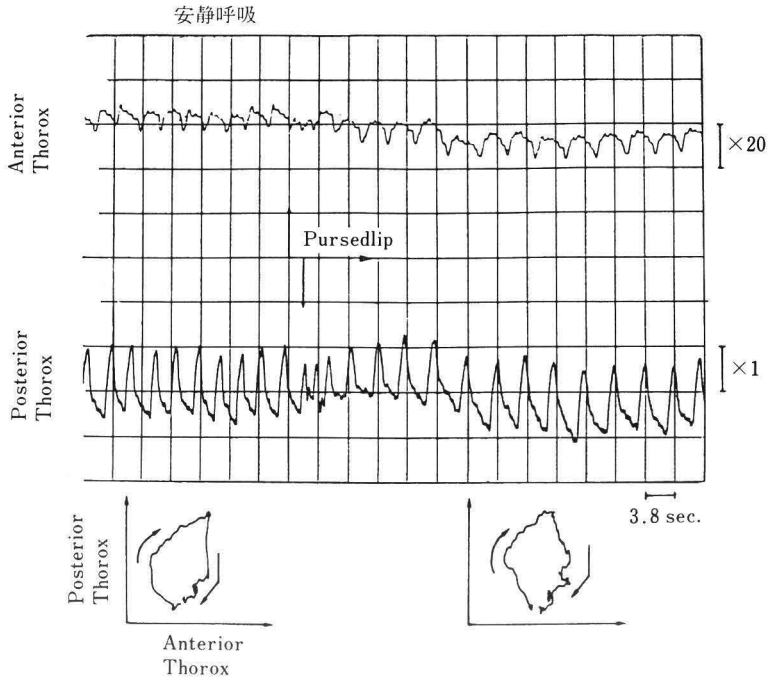


図7 肺気腫 (71歳, 男)

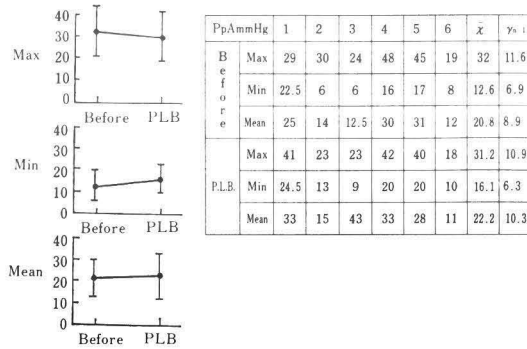


図8 口すぼめ呼吸 (PLB) 時の肺動脈圧の変化

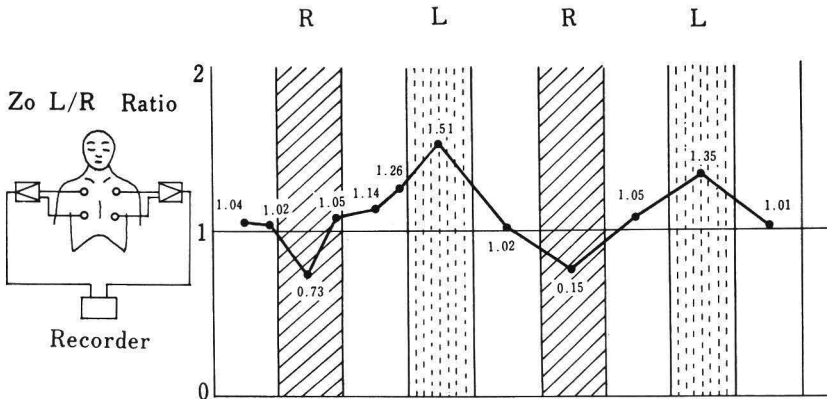
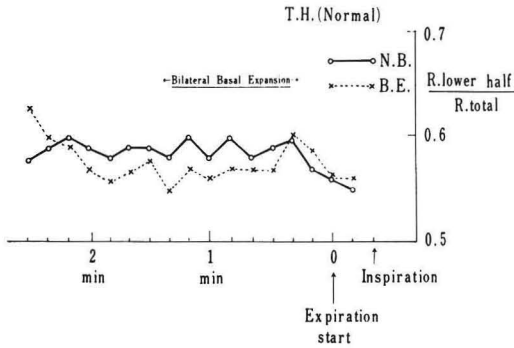
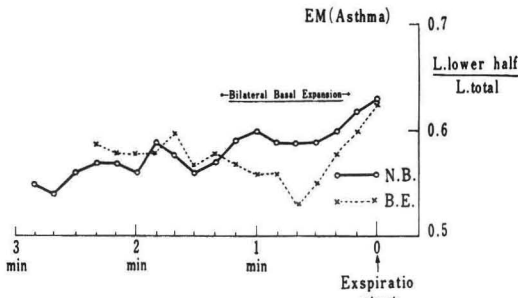


図9 左右別強勢呼吸時の胸部インピーダンス ZoL/R の変化



(Haga, Ishihara, Machida, Itoh, Fukuhara.)

図 10 健常者における正常呼吸および呼吸訓練中の換気の上下比の比較 (^{133}Xe 吸入後排泄で比較)



(Haga, Ishihara, Machida, Itoh, Fukuhara.)

図 11 喘息患者における呼吸訓練中の換気の上下比の比較 (^{133}Xe 吸入時排泄で比較)

気を強勢させた時とを比較した。図 10 のごとく正常呼吸 (NB, ^{133}Xe 吸入後) での上下の換気比 (下胸郭/全胸郭) に比べ下胸郭強勢時 (BE) にはその比は小さくなる。すなわち下胸郭からの換気が大きい事が分かった。

さらに病的条件として喘息の寛解期の 2 例に同様の操作を行ったところ、その内の 1 例は図 11 のごとく両側の下部の強勢呼吸を行わせたところ残留 ^{133}Xe のカウント比より換気増大が明らかに行われているのが証明された。

全肺の呼吸訓練

次に理学療法として日常行っている横隔膜呼吸法 (カナダ方式) を行い全体の効果を F_{EO_2} ,

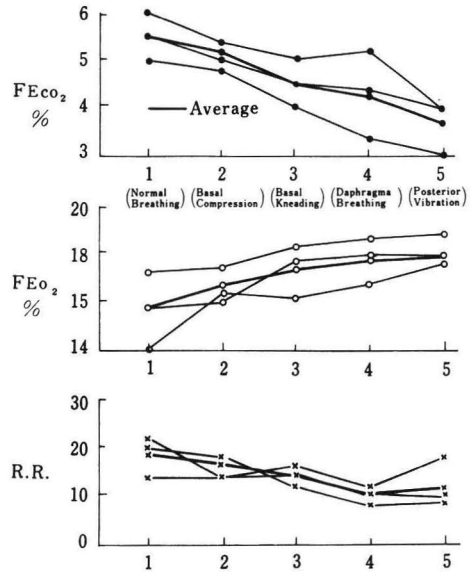


図 12 健常者 3 例の呼吸訓練中の FECO_2 , FEO_2 , 呼吸数の変化

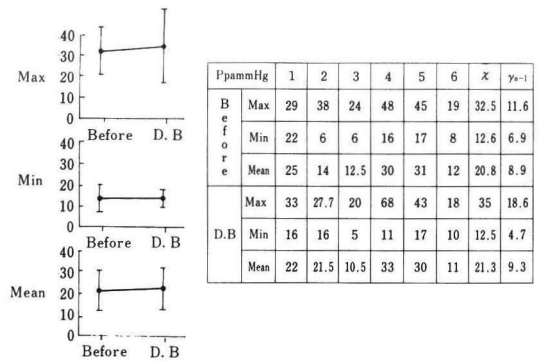


図 13 呼吸不全 6 例の呼吸訓練 (横隔膜呼吸 D. B) 中の肺動脈圧の変化

FECO_2 の測定を中心に行った。正常 3 例についての成績は図 12 のごとく一つ一つの手技を加えることによって FEO_2 の上昇と FECO_2 の低下が認められ呼吸数の減少にもかかわらず換気の増加という肺胞換気率の上昇が認められた。しかし重症肺気腫に同様な操作を行ったがこの様な短期間の変化は認められなかった。今後の手技の検討の参考となろう。

さてこの様な呼吸訓練中の肺循環動態の変化を右心カテーテル施行中の患者に横隔膜呼吸を行いその時の変化を見た。図 13 のごとく呼吸不全 6

例中4例は肺動脈圧平均値は減少したが、2例に14 mmHg から21 mmHg, 30 mmHg から33 mmHg へ上昇し6例平均では、わずか0.5 mmHg の上昇に止まった。

呼吸筋訓練

横隔膜を主とする呼吸筋群の訓練についてその筋力の測定には最大口腔内圧の測定がすすめられ、また胸郭と腹部の運動を個別に測定しKonno-MeacIのダイアグラム上からphase angle (θ) を求める方法がある。

一方この呼吸筋群の強化については先の横隔膜呼吸法や腹筋強化（主として臥位で腹部に加重をかけてこれに抗しながら呼吸をさせる）があるがもう一つの方法としては呼気または吸気への抵抗負荷がある。

呼気に抵抗を加える事を水圧式呼吸訓練器（死腔は0.1 lでほぼ無視できる）による換気パターンの変化を水圧式の圧を水柱0 cm, 10 cm, 20 cm に設定して見ると 図14 のごとく10 cm ではほとんど変化がないが、20 cm では明らかに一回換気量の増加、呼吸数の減少、分時換気量の増加がみられる。

一方呼気に死腔増加させての呼吸訓練方法がある。

すなわち死腔を0 ml, 250 ml, 500 ml, 1,000 ml にして呼吸をくり返させた時の呼吸パターンの変化を期待するものである。呼気抵抗を0にした時の変化は 図15 のごとく死腔250 ml でも F_{iCO_2} はわずかに上昇し、500 ml ではさらに上昇、1,000 ml では著しく上昇し、 F_{iCO_2} は死腔なしの時の平均値0.3% に比し2.35% と約10倍になっている。この上昇に比し一回換気量は死腔0 ml の551 ml より死腔500 ml では706 ml になりさらに死腔を1,000 ml にすると963 ml と約2倍になっている。

この呼気抵抗と死腔付加の両方を持っているのが呼吸訓練器 IDSEP (increased dead space expiratory pressure 商品名スーフル) であり、臨床的効果は主として術後（呼吸器、心、消化器）について報告されている。

この他吸気に抵抗をかけるものもありこれは吸

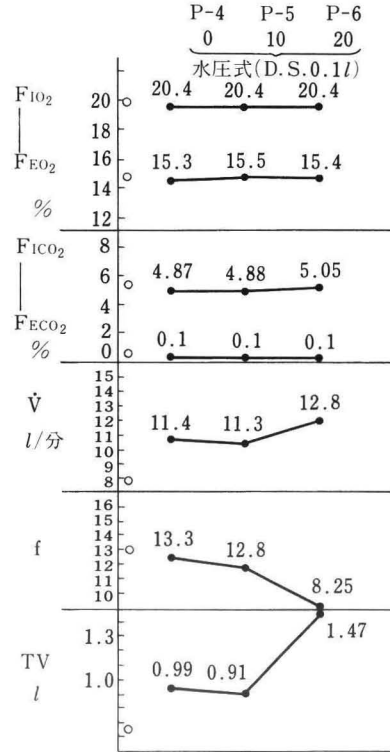


図14 呼気に抵抗（10, 20 cmH₂O）を加えた時の換気諸量の変化

気を困難ならしめるので吸気筋の抵抗負荷となりその主動筋である横隔膜の強化に連る。これに反し IDSEP のごとく呼気に抵抗を加える場合はその呼気抵抗に打勝って呼出する為には充分な吸気量が得られねばならずその為吸気筋を使い深呼吸をするのでこの筋の訓練になる。

体位排痰法

痰を容易に咯出する目的は出来るだけ少ないエネルギーで充分咯出させることにある。

痰を咯出する因子としては 図16 のごとく大きく分けて第1は痰自身の因子、これには量、色、臭いは当然の事ながらその物性、生化学的成分、細胞成分、細菌成分等が関与する。特に痰の物性は痰が複雑な物性を持っているので降伏値、thixotropy 現象、付着力、凝集力、表面張力等を総合し判断せねばならない。第2は気道と喀痰との接触面の問題とこれに関する気道の形態（拡張、狭窄）機能（線毛の動き）等である。第3は

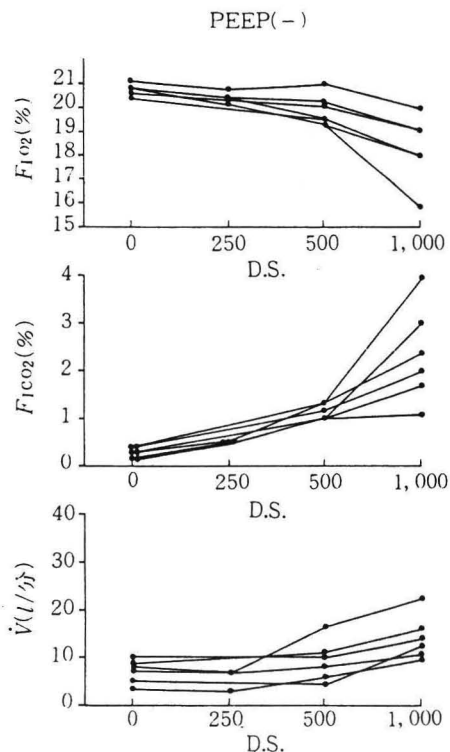


図 15 呼気に死腔 (280, 500, 1,000 ml) を加えた時の換気諸量の変化

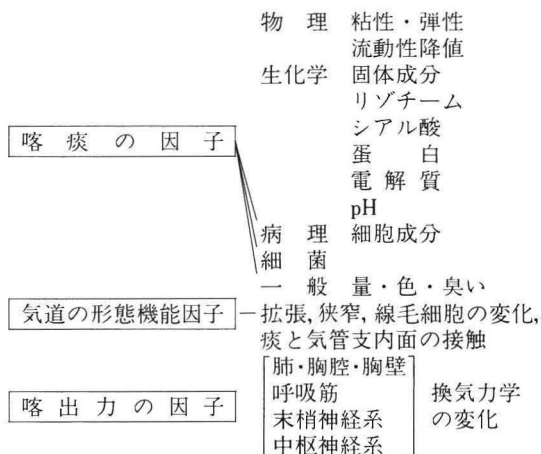


図 16 喀痰喀出の諸因子

喀出時の気流速度の問題でこれには肺気量, 呼吸筋力に関り, 評価としてはVC, % VC, FEV_{1.0}, FEV_{1.0}% 等が用いられる。

さて一般にこの名で呼ばれている胸郭理学療法は単に一つの手技でなく前準備から始まる。

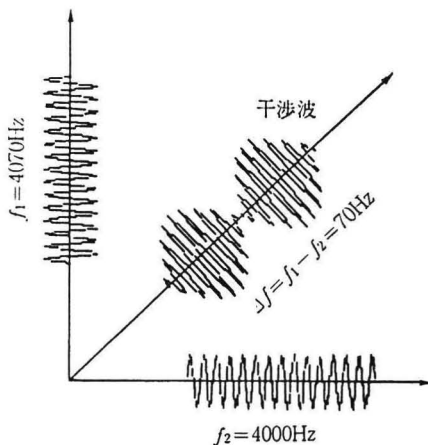


図 17 干涉低周波の原理

少なくともすぐこの方法を行うわけではなくまず去痰薬の経口, 吸入投与, 症例により気管支拡張薬の投与等を充分行った上でさらに全身弛緩法を行い臨む必要がある。

まず診断によりその痰の喀出は全肺野からであるのか, 局所 (葉, 区域単位) に限るかを知る。ついで聴診でその存在を確かめる。又痰については量, 性状を知っておくし, 他の方法, たとえば抗生剤などで痰を減少させておく事も必要となる。

さて事前の処置として行われるのは軽打法または振動法がある。この理論は胸郭に加えられた振動が気管支壁に伝わり, 木に積った雪を木をゆすって落す様な理論である。私共はこの操作を気管支造影直後の患者に行い高速度撮影で一部その様な事実を認めた。

最近ではこれら機械的手法に替って物理的に気管支に変化を与えて去痰をうながす方法が行われている。すなわち干涉低周波を用いることで2種類の周波数 (たとえば4,000 Hzと4,070 Hz) の電流を組み合わせると新しい周波数 (70 Hz) のうねり (beat) を持った合成波が生じる (図17)。これを干涉低周波 (数百 Hz 以下) というのがこれが気管支の線毛の波動数の整数倍であれば分数調波共鳴を起しこれを適用することより局所血流増, 気道分泌増去痰に有効ではないかという事で

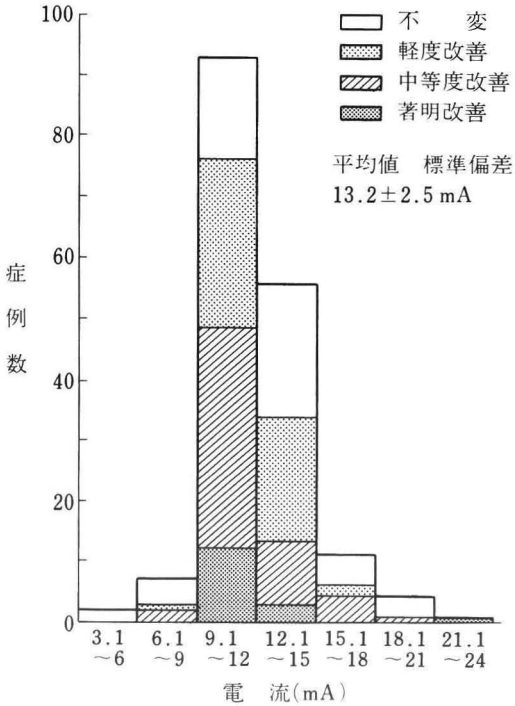


図 18 適用電流の分布

9.1~12 mA がもっとも多く 6.1~18 mA の範囲では 98.2% を占めていた

試みられ川合が喘息患者に活用し有効性を認めて、現在これは製品化されている。この周波数は 50, 70, 100, 150 Hz の 4 段階で多施設の共同研究を行ったが 70 Hz が最適であり慢性気管支炎の 83.9%, 気管支喘息の 89.5%, 細気管支の 54.5% に有効性が認められた。図 18 のごとく適用電流の分布は 9~12 mA にピークがあり安全性が認められている。

これも体位排痰法開始の一つの準備手技としてすすめられている。

さて本来の体位排痰には字の示す通り体位を換えてより容易に喀出させる方法でこの理論はまったく単純な物理的現象である物体は低きに流れるという事である。慢性気管支炎のごとき肺野全体に喀痰のある例でも比較的両側下野に痰の蓄積が多いので両側下部を上位にし口側を下にする体位をとらせて喀出させる。また痰の蓄積が局所的に明確な例（気管支拡張症）であればそのある側、葉、区域の立体的位置関係でもっとも上位に

なるような体位にして喀出させる。

痰喀出の最後手技は咳である。これは深吸気、声門閉鎖、胸郭の急激な収縮（呼吸筋の収縮）、気道内圧の上昇、声門開放、喀出ということである。喀出に到らないまでも気道中の分泌物を口側に移動させるにはこれほどの強い気道内圧にする必要もないのでこの呼吸声門閉鎖することなく呼出筋を収縮させる。これを Huffing とって咳 (Cough) と区別する。

さてこのように体位排痰は一連の手技であるがその効果は患者の訴えや、吸引時の喀痰吸引の容易さ以外の理論的証明は気道内喀痰の移動ないし除去を間接にまた直接に証明するしかない。これには、M. G. Cochrane は体位排痰法前後の Specific airway conductance SGAW = 1/気道抵抗 × TGV (Thoracic Gas Volume) を調べ明らかな減少を認めている。また、F. A. Oldenburg は ⁹⁹Tc albumin aerosol を慢性気管支炎患者に吸入させ体位排痰時に咳の有効性を証明し、JRM, Bateman は放射性物質でラベルした粒子を吸入させ体位排痰で肺の中心部より喀出の多いことを示した。

おわりに

胸部肺理学療法の実技の理論を証明することは手技も複雑でありやや困難であるのでその効果判定を中心に試みた。理論も大切であるが実技の修得が大切で今まで主として術後管理や慢性呼吸障害者のリハビリテーションの一環として用いられていたが人工呼吸器装着時の喀痰吸引の補助手技としてまた weaning 時の介助として幅広く用いられるので参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 原沢道夫ほか：TR (70) 干渉低周波去痰器の喀痰喀出困難患者に対する臨床評価。Therap Research 7: 261-276, 1987
- 2) 芳賀敏彦：IDSEP 使用による換気及び肺動脈圧への影響。基礎と臨床 13: 54-56, 1979
- 3) 芳賀敏彦：IDSEP の基礎的実験 (II)。死腔の形と PEEP の値について。基礎と臨床 14: 155-158, 1980

- 4) 芳賀敏彦ほか：IDSEPの臨床応用. 外科診療 24：201-210, 1982
 - 5) 芳賀敏彦：気道の確保と痰の対策. 臨床医 7：560-562, 1981
 - 6) 芳賀敏彦：肺理学療法—呼吸訓練—その実際 (第19回日本胸部疾患学会総会シンポジウムII) 日胸雑誌 17：547-554, 1979
 - 7) 芳賀敏彦：ICUにおける肺理学療法, 臨床看護 9：945-951, 1983
 - 8) 芳賀敏彦監訳, D.V. Gaskell 著, プロンプトン病院胸部理学療法, 東京, 医学書院, 1980
 - 9) 芳賀敏彦：去痰の理学療法. 痰と去痰 (痰の病態生理と臨床), 長岡 滋篤, 東京, ライフサイエンス出版, 1981
-