

循環器疾患に関する呼吸器理学療法の実際

Practice of Respiratory Physical Therapy Related to Cardiovascular Diseases

櫻田 弘治¹⁾

KOJI SAKURADA, RPT

1) Department of Physical Therapy, The Cardiovascular Institute: 3-10, Roppongi 7-chome, Minato-ku, Tokyo 106-0032, Japan. TEL +81 3-3408-2151

Rigakuryoho Kagaku 21(3): 305-310, 2006. Received Jun. 20, 2006.

ABSTRACT: The cardiovascular and respiratory organs are closely related to each other, and sufficient attention to cardiovascular disorders is indispensable for the implementation of respiratory physical therapy. Recently, in the field of cardiovascular surgery, the incidence of respiratory complications has been reduced largely due to increased application of non-invasive positive pressure ventilation (NPPV) as the first choice for the respiratory management of patients with cardiogenic pulmonary edema. This has been made possible by less invasive surgical procedures, improvements in postoperative management, and consequent early weaning from the respirator followed by early release from a bedridden state. In this report, the characteristics of cardiovascular diseases and strategies and implementation of respiratory physical therapy are evaluated by focusing on respiratory physical therapy related to cardiovascular diseases.

Key words: respiratory physical therapy, circulatory diseases

要旨: 循環器と呼吸器は非常に密接な関係にあり、呼吸理学療法を施行する上で循環器疾患に十分配慮することが必要不可欠である。近年、心臓血管外科領域では、低侵襲手術や手術後管理の進歩によって、心原性肺水腫の呼吸管理は、第一選択として非侵襲的陽圧換気療法 (NPPV) を行うようになり^{1, 2)}、人工呼吸器早期離脱やその後の早期離床が可能となったことが、呼吸器合併症の発症を少なくしている大きな要因である。今回、循環器疾患に関する呼吸理学療法に焦点をあて、病態の特異性と呼吸理学療法の戦略方法、実践について述べた。

キーワード: 呼吸理学療法, 循環器疾患

¹⁾心臓血管研究所 理学療法室: 東京都港区六本木7-3-10 (〒106-0032) TEL 03-3408-2151

受付日 2006年6月20日

I. はじめに

心臓と肺の2つの臓器が正常に機能してこそ、生体の他の臓器組織も正常に機能する。また、循環器系と呼吸器系は非常に密接な関係にあり、どちらか一方が機能不全になればもう一方の機能にも影響が及ぶ。近年、循環器において心臓血管外科領域では、人工心肺を使用しない冠動脈バイパス術（OPCAB）などの低侵襲手術や手術後管理の進歩³⁾によって、手術後早期から覚醒させても循環動態が安定し、人工呼吸器早期抜管や早期離床が可能となったことが、呼吸器合併症の発症を少なくしている大きな要因である。しかし、心臓血管手術の進歩とともに、これまで手術の適応ではなかった重症心不全患者や高齢者も適応となり、これまでよりさらに、循環器疾患に関する呼吸理学療法も難渋する症例が増えていることも現実である。また、心不全による心原性肺水腫の呼吸管理は、第一選択として挿管による呼吸器管理から、非侵襲的陽圧換気療法（NPPV）を行うことがスタンダードとなってきており、人工呼吸器関連肺炎（ventilator-associated pneumonia; VAP）の合併症は軽減し、さらに、呼吸器からの離脱も短縮していることから、早期離床練習を進めることが可能となっており、結果的に呼吸器合併症は軽減している。今回、呼吸理学療法の中でも循環器疾患に焦点をあて、病態の特異性と呼吸理学療法の戦略方法、実践について述べた。

II. 呼吸理学療法の目的

- 1) 換気血流不均衡の是正
- 2) 気道クリアランスの改善
- 3) 末梢気道の開存と均等な肺胞換気の維持・改善
- 4) 換気の促進による痰の移動

呼吸理学療法は、上記目的に対して行うのが一般的である。しかし、基礎疾患として循環器疾患がある場合は、循環器の問題を解決しなければ、呼吸不全の原因も解決しない。呼吸理学療法の適応の制限や施行上のリスク管理も循環器に十分配慮したものでなければならない。循環器疾患特有の呼吸不全状態を把握することが適切な呼吸理学療法を行う上で必要不可欠である。呼吸理学療法の効果を過信するあまり、呼吸理学療法を駆使して何とかできないかと考えがちであるが、原因や病態に対する根本的な治療が最も基本であることは忘れてはならない。

III. 循環器疾患特有の呼吸状態

1. 心原性肺水腫

肺内の水分は肺の間質と肺毛細血管の静水圧と浸透圧によって調節され、常に一定に保たれているが、この肺毛細管からの水分漏れ出しが増加すれば肺水腫となる。心原性肺水腫では左房圧上昇による肺うっ血と間質や気道の浮腫により肺コンプライアンスが低下し、呼気終末の肺胞虚脱から機能的残気量（FRC）は低下、低酸素血症を呈する。肺胞内に浮腫液の漏出がおこればより残気量は低下し、酸素血症はより進行する。低酸素血症は心筋収縮力の低下、肺血管抵抗の上昇につながり、より心不全を悪化させる。心不全に伴う体液量の増加、胸水貯留もまた低酸素血症を進行させる。肺水腫に伴う肺コンプライアンスの低下、気道抵抗の上昇によって呼吸仕事量は増加する。これにより呼吸筋の酸素消費量が増加し、心臓に負荷をかけて心不全を悪化させる。また、肺コンプライアンスの低下、気道抵抗の上昇により、換気のために大きな胸腔内陰圧を必要とするようになり、胸腔内への静脈還流を増加させて心不全を助長し、また、肺循環系へ循環血液をシフトさせ肺うっ血を悪化させる。また、呼吸筋が疲労すると換気量が低下し、高炭酸ガス血症を呈するようになる。低酸素血症や呼吸仕事量の増大に伴う呼吸困難は交感神経系をより興奮させ末梢血管抵抗を増やす方向に働き、左室充満圧が上昇し肺水腫の悪化につながる。

2. 心臓血管手術時の人工心肺

近年の心臓外科手術では人工心肺の使用を避け、なるべく心拍動下に手術を行う傾向にある。これは、体外循環により中枢神経系・凝固系・肺・腎など多臓器に障害をもたらすことが知られているからである⁴⁾。人工心肺を用いた体外循環中は、循環の途絶による肺組織の虚血と、血流再開に伴う虚血再還流障害、冷却復温刺激などによるサイトカイン、補体、アラキドン酸代謝物などの科学伝達物質の活性化により、肺組織障害を生じることが知られている⁵⁾。また、完全体外循環中の換気停止により間質の浮腫を生じ、そのうえ血液希釈は膠質浸透圧を低下させ、血管内水分が血管外へ漏出し、間質性および肺胞性肺水腫が出現する。また、肺胞上皮の血流障害により肺サーファクタントの産生が障害されることも報告されている⁶⁾。これらの結果により、体外循環後は無気肺が発生しやすいとともに換気血流比不均等分布が増大する。

3. 人工呼吸器管理

全身麻酔による心臓血管手術中の人工呼吸器管理を含め、人工呼吸器管理中の呼吸は自発呼吸と大きく異なる。機械的陽圧換気は背臥位にして行うことが圧倒的に多い。この時、機械的残気量の減少と換気血流比不均等分布などによって肺におけるガス交換障害が発生するとともに、背側では無気肺が起りやすくなる。健常者が背臥位で自発呼吸を行っているときには、横隔膜の下側すなわち背側の部分が上側（胸側）よりも大きなストロークで運動する。下側肺には重力の影響で血流が多く分布するが、換気も上述の理由で下側肺に多く分布するために、全肺野において換気血流比は良好に保たれる。これに対して陽圧換気時には、上側肺の換気量が下側肺のそれに比して多くなる。一方、血流は常に下側肺に多いため、下側肺の換気血流比が低下するとともに、上側肺の換気血流比は逆に大きくなる。以上の機序により、換気血流比不均等分布が生じてガス交換が悪くなり、下側肺の無気肺が合併症として生じやすい。

4. 機械的補助循環装置

低心拍出量症候群（low output syndrome; LOS）や心原性ショックに対する治療として、の機械的補助循環装置（大動脈内バルーンポンピング（intraaortic balloon pumping; IABP）や経皮的心肺補助（percutaneous cardiopulmonary support; PCPS））装着中であれば、強制的に背臥位を強いられる。前項に記載した人工呼吸器管理中の呼吸状態同様に、換気血流比不均等分布や下側肺の無気肺合併率が高い。人工呼吸器管理のみであれば基本的に、体位ドレナージを含むポジショニングを必ずしも制限するものではなく、さらに補助的な人工呼吸器管理であれば離床を進めることが積極的な治療となるが、機械的補助循環装置を必要とする循環器疾患の病状であれば、ポジショニングは背臥位のみで、体位ドレナージは禁忌である。

IV. 呼吸理学療法の評価

呼吸理学療法の一般的な評価は施行することを前提として、ここでは循環器疾患患者の呼吸理学療法の評価に特徴的なもののみ挙げた。

1. 循環血液量

通常、心臓血管手術後早期の体液は、過剰な状態であることが多い。しかし、体外循環中の心筋保護液使用は、血液希釈となり浸透圧が低下し、肺の間質浮腫が出現する⁷⁾。つまり、心臓外科術後早期の体液は過剰な状態であ

るが、循環血液量は少なく、利尿剤を投与しても反応しない。手術後、おおよそ12~24時間で血管透過性亢進が低下して、循環血液量が増加する。この時期に利尿剤を投与して体重減少を図る。つまり肺水腫の改善を図る。酸素化障害の原因が肺水腫であれば、呼吸理学療法の適応にはならず、酸素療法・機械的陽圧換気を行うことが必要となる。

以上の理由から、循環血液量や体液量を知ることは、呼吸理学療法の評価として重要である。循環血液量の評価に有用な臨床的パラメータ（表1）⁸⁾、また、血管内の脱水は、体重や血液・生化学検査データ（HCT・Hb・Tb・A1b・BUNなど）によっても知ることができる。

2. 胸部X-P

胸部X-Pの評価は、解剖や病態生理を理解しているとわかりやすい。例えば、無気肺が疑われた場合、どの気管支が閉塞するかによって解剖学的にどの様なX-P写真になるかが決まる。しかし、無気肺と診断されても痰が詰まったのか、異物なのか閉塞原因を断定することはできない。読影に入る前には必ず撮影条件を確認してから読影することを忘れてはならない。

①撮影条件

- ・一般情報：患者氏名？撮影日時？左右？
- ・肢位：立位？臥位？
- ・撮影方向：P→A？A→P？
- ・撮影位置：鎖骨頭は後第4肋骨に重なっているか？

②循環器疾患によくみる代表的な所見

1) CTRの拡大

心胸比（CTR）の拡大は、拡大した心臓が背側肺部分を重力によって圧迫し、背側無気肺が生じやすくなる。

表1 循環血液量の評価に有用な臨床的パラメータ

循環血液量	少ない	正常	過剰
脈拍 (bpm)	90<	60-90	<60
収縮期血圧 (mmHg)	<80	100<	
脈圧 (mmHg)	<30	30-50	50<
拇趾温	冷たい	温かい	温 / 冷
尿量 (ml/kg/hr)	<0.5	0.5-2.0	2.0<
尿比重	1.03<	1.01-1.03	<1.01
CVP (mmHg)	<5	5-10	10<
PCW (PmmHg)	<8	8-12	12<
CI (L/min/m ²)	<2.2	2.5-3.5	4.0<
SVI=CI/HR (ml/beat/m ²)	<30	35-45	50<
SvO ₂ (%)	<60	70-80	90<
CTR (%)	<40	40-50	50<

肺水腫でも心拡大や分泌物増加によって無気肺が生じやすい。

2) Consolidation

肺胞に水分が充満し、その部分は白く写ることを意味し、浸潤陰影とも言い肺胞性陰影を呈する。

3) air bronchogram

肺炎像にみられる、consolidationの間を通る気管支のことを意味する。

4) 胸水と無気肺の鑑別

無気肺の場合は肺の容積が小さくなるために縦隔が無気肺側に偏移するが、胸水の場合は容積が増えるために反対側に移動する。また、デクビタス (decubitus) 撮影 (側臥位正面像のこと) によって容易に胸水の有無を確認できる。

3. 血液ガス⁹⁾

①正常値 (表2)

直接測定しているのは動脈血酸素分圧 (PaO₂) と動脈血炭酸ガス分圧 (PaCO₂) とpHの3つである。そしてこの3つの計算から酸素飽和度 (SaO₂)、重炭酸イオンの量 (HCO₃), Base excess (BE) などを算出している。ガス交換の指標としてはPaO₂, SaO₂, PaCO₂があり、酸・塩基平衡の指標としては、pH, HCO₃, BE, PaCO₂で評価される。

②血液ガスの評価手順

- 1) PaO₂の評価: 年齢による正常値から評価して低酸素血症の有無。
- 2) PaCO₂の評価: ガス交換の指標として、<35 mmHgなら肺胞過換気、>45 mmHgなら肺胞低換気と判断 (表3)。
- 3) PaO₂低下の病態の診断: 肺胞低換気、肺胞レベルのガス交換障害、両者の混合のいずれかを決定する。

<方法1>

$$A-aDO_2 = PAO_2 - PaO_2 = (760 - 47) FIO_2 - PaCO_2 / R - PaO_2$$

(・R: 呼吸商 (通常0.8) ・大気圧PB: 気温37℃で760 mmHg ・飽和水蒸気圧47 mmHg ・吸入気酸素飽和度FiO₂: 空気中では0.209)

A-aDO₂の正常値は約 10 Torr以下であるが、老年者では健常者でも開大するため、20 Torr以上であれば、酸素化能の問題 (換気/血流比不均等分布・シャント・拡散障害) が存在する。

<方法2>

PaO₂/FIO₂ (Oxygen index)

500: 5%, 400: 10%, 300: 15%, 200: 20%, 100: 25%のシャントが存在する。

表2 血液ガスの正常値

パラメータ	正常値
PaO ₂ (酸素分圧)	80-100 (mmHg)
SaO ₂ (酸素飽和度)	95 (%)
PaCO ₂ (炭酸ガス分圧)	35-45 (mmHg)
pH	7.35-7.45
HCO ₃ (重炭酸イオン)	22-26 (mEq/L)
BE (Base excess)	± 2 (mEq/L)

表3 PaO₂低下・PaCO₂上昇の原因

PaO ₂ 低下の原因	PaCO ₂ 上昇の原因
・肺胞低換気	・肺胞低換気
・換気/血流比不均等分布	・換気/血流比不均等分布
・シャント	・死腔の増加
・拡散障害	

表4 血液ガス所見

		pH	PaCO ₂	HCO ₃
呼吸性アシドーシス	急性	↓	↑	→
	亜急性	↓	↑	↑
	慢性	→	↑	↑
呼吸性アルカローシス	急性	↑	↓	→
	亜急性	↑	↓	↓
	慢性	→	↓	↓
代謝性アシドーシス	急性	↓	→	↓
	亜急性	↓	↓	↓
	慢性	→	↓	↓
代謝性アルカローシス	急性	↑	→	↑
	亜急性	↑	↑	↑
	慢性	→	↑	↑

- 4) pHの評価<7.35なら急性アシドーシス、>7.45なら急性アルカローシスと診断。慢性のアシドーシス、アルカローシスでは、それぞれ呼吸性・代謝性に代償されてpHが補正されている (表4)。
- 5) ダイアグラムを参考にして呼吸性か代謝性か判定する。

4. 呼吸理学療法の実際

- 1) 随意性呼吸調節が消失している場合 (人工呼吸器管理・自律性呼吸調節の有無にかかわらず)

- ・ポジショニング
- ・徒手の呼気介助法
- ・用手的加圧
- ・吸引

2) 随意性呼吸調節が低下しており、安静臥床をしいられている場合

- ・ポジショニング
- ・用手的加圧
- ・吸引
- ・自動周期呼吸法 (Active cycle of breathing techniques; ACBT)
- ・徒手の呼気介助法
- ・徒手の吸気促進法
- ・咳介助 (用手胸部圧迫法)

3) 随意呼吸調節が低下しているが、歩行動作までの制限がない場合

- ・ポジショニング (座位を基本とした生活)
- ・ACBT
- ・徒手の呼気介助法
- ・徒手の吸気促進法
- ・咳介助 (用手胸部圧迫法)
- ・モビライゼーション (体を動かすこと)

①ポジショニング

3) の状態の場合は、座位以上の抗重力姿勢を長時間保持することにより、離床練習の基本となり、さらに全肺気量・1回換気量・肺活量・機能的残気量 (FRC) などを増加させる⁹⁾。重力負荷という最適なポジショニング¹⁰⁾を獲得できたことになる。1), 2) の状態の場合は、人工呼吸器装着患者であっても、可及的にベットアップすることで気道内分泌物の移動と換気血流比の改善、誤嚥性肺炎や人工呼吸器に関連する肺炎が予防できる。推奨されている体位は30~45度の半座位 (semirecumbent position) である¹¹⁾。しかし循環器疾患の場合は、1), 2) の状態の患者は、ベットアップすることすら困難な重症な患者が多い。このため、循環動態がある程度安定すれば、完全腹臥位は困難であっても側臥位~前傾側臥位 (3/4腹臥位) を保持することによって下側肺障害を十分予防できる。循環動態が不安定であったり、手術後であれば痛みなど患者に苦痛にならない程度にポジショニングの継続時間や頻度は個々の患者に合わせた対応をすることが望ましい。

②自動周期呼吸法 (Active cycle of breathing techniques; ACBT)^{12, 13)}

随意性呼吸調節が可能なことが前提。つまり、個々の

患者の努力が最大の効果を発揮する。構成は、呼吸コントロール (Breathing Control; BC)、胸郭拡張 (Thoracic Expansion Exercises; TEE)、努力性呼気 (Forced Expiration Technique; FET) のサイクルによる気道クリアランス法のひとつである。

1) 呼吸コントロール (Breathing Control ; BC)

呼吸コントロールは安静にして静かにリラックスした呼吸をすることをいう。サイクルの途中の休息と気道閉塞増加の防止が目的。

2) 胸郭拡張 (Thoracic Expansion Exercises ; TEE)

胸郭拡張はいわゆる深呼吸のことである。ゆっくりとした吸気の後、約3秒間呼吸を保持する。その後、自然にリラックスした呼吸を行う。仰臥位の場合は膝軽度屈曲位にて、試行回数は3回程度までとする。さらに、用手的呼吸介助法を用い、手を胸郭の動きを強調したいところに当てることで、感覚的な刺激で吸気を強調すると効果的である。特に、心臓血管手術後は胸郭内のドレーン挿入部の痛みの為に、腹式呼吸や下部胸式呼吸は上部胸式呼吸より行いにくい。さらに、仰臥位を強いられるために、背側の沈下性無気肺をきたす可能性があるために、可能な限り腹式呼吸や下部胸式呼吸が推奨されている。

3) 努力性呼気 (Forced Expiration Technique ; FET)

1~2回の強制呼気 (ハフティング・咳) と呼吸コントロールを合わせたものをいう。中等度の肺容量からのハフティングは、より効率がよく効果的である。中程度の吸気を行い、口と声門を開けて、胸郭と腹筋を使って空気を絞り出す。分泌物がより上部気道に届いたら、高肺容量の位置からハフティングや咳をして分泌物を除去する。ハフティングや咳により痛みや強制呼気に弱さがある場合には、鎮痛剤の投与による痛みのコントロールの上で、胸空内圧上昇に伴う胸郭の動揺を少なくするため、咳に合わせて患者自身にも胸郭を押さえるよう指導する (咳介助)、徒手呼気介助法により強制呼気を介助する。また適時バストバンドや Heart Hugger を使用する必要がある。しかし、バストバンドを使用する際は、弾性力により努力性肺活量は制限されるため、目的に合わせて適度にゆとりをもって装着する必要がある。

③モビライゼーション (体を動かすこと)

モビライゼーションは廃用性筋力低下を予防することはもとより、酸素運搬系を維持するために最も重要で効果的なアプローチの方法と考えられている。体を動かすことで組織の酸素需要が増加し、換気量が増大する。その結果、肺胞換気量は増加し換気血流不均衡が改善する。また、分泌物の移動が促進され、気道クリアランスにも有効である¹⁵⁾。従って、循環器疾患における呼吸理学療

法は、早期離床（早期歩行練習）が可能となった時点で、最適な呼吸状態を得ることができる。

V. おわりに

今回、循環器疾患に関する呼吸理学療法としてまとめた。循環器と呼吸器は密接な関係があるだけに、どちらかの障害があればもう一方に支障をきたす。このため、循環器疾患に関する呼吸不全であるならば、安易に呼吸不全＝呼吸理学療法ではなく、基礎疾患である循環器疾患の評価を行ったうえで、呼吸理学療法の適応・目的・戦略方法をみいださなければならない。今、まさに循環器・呼吸器疾患の専門理学療法士として、的確な判断と的確なアプローチが問われる時である。

引用文献

- 1) Liesching T, Kwok H, Hill NS: Acute applications of noninvasive positive pressure ventilation. *Chest*, 2003, **124**: 699-713.
- 2) 日本呼吸器学会 NPPVガイドライン作成委員会: NPPV (非侵襲的陽圧換気療法) ガイドライン. 小立鉦彦 (編), 日本呼吸器学会 NPPVガイドライン作成委員会, 東京, 2006, pp49-52.
- 3) 南淵明宏: 手術療法の進歩と適応の拡大 6 心臓外科における fast track recovery. *Heart View*. 1999, **3**(11): 1166-1172.
- 4) Davis RF, Thompson J: Technology, pathophysiology, and pharmacology of Cardiopulmonary bypass. In: Thys DM, Hillel Z, Jay Schwartz A, (eds.), *Textbook of cardiothoracic anesthesiology*, McGraw-Hill, New York, 2001, pp362-366.
- 5) Anyanwu E, Dittrich H, Gieseck R, et al.: Ultrastructural changes in the human lung following cardiopulmonary bypass. *Basic Res Cardiol*, 1982, **77**: 309-322.
- 6) Matthay MA, Wiener-Kronish JP: Respiratory management after cardiac surgery. *Chest*, 1989, **95**: 424-426.
- 7) Phang PT, Keough KMW: Inhibition of pulmonary surfactant by plasma from normal adults and from patients having cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1986, **91**: 248-251.
- 8) 鮎川勝彦: 肺理学療法と加湿および水分管理. 集中治療医学講座12. ICUにおける肺理学療法の理論と実際. 並木昭義 (編), 医学図書出版, 東京, 2000, pp15-30.
- 9) 工藤翔二, 村田 朗: 血液ガステキスト, 第2版. 文光堂, 東京, 2003.
- 10) 鯉岡直人, 佐々木孝夫: 臥床はなぜ呼吸に悪いのか. 呼と循 1998, **46**(3): 253-259.
- 11) 櫻田弘治, 牧田茂: 体位管理を看護の治療技術に 患者はもっと良くなる楽になる 根拠ある体位管理の実践1 疾患編 循環障害患者の体位管理. 看護技術, **48**(10): 33-37, 2002.
- 12) Centers for Disease Control and Prevention: Guidelines for prevention of nosocomial pneumonia. *Morb Mortal Wkly Rep*, **46**: 1-79, 1997.
- 13) Webber BA: 8 Physiotherapy techniques. In: Pryor JA, Webber BA (eds.), *Physiotherapy for Respiratory and Cardiac problems*, 2nd ed, Churchill Livingstone, Edinburgh, UK, 1998, pp137-209.
- 14) 高橋哲也, Jenkins SC: 呼吸器系・循環器系障害に対する最近の理学療法. *理学療法学*, 1999, **16**(4): 284-292.
- 15) 高橋哲也: 早期理学療法—呼吸循環器系のリスクと効果—. *理学療法学*, 2002, **29**(8): 309-313.