

原 著

高齢者の咳嗽機能低下に関する研究

東京女子医科大学 第一内科学 (主任: 金野公郎教授)

朝戸 裕子・吉野 晃樹・釜野 公郎

(受付 平成8年10月24日)

Mechanics of Cough in Aged Patients

Yuko ASATO, Katsuki YOSHINO and Kimio KONNO

Department of Medicine I (Director: Prof. Kimio KONNO)

Tokyo Women's Medical College

The pathophysiological study on insufficiency of cough seen in aged patients was done. Flow-volume curves for patients with chronic lung disease were obtained during cough and maximum expiratory effort. The flow during cough was equal to maximum expiratory flow (\dot{V}_{max}) and \dot{V}_{max} decreased with age. The chest wall configuration during cough, estimated by Konno-Mead diagram, showed expiratory muscle weakness and insufficient closure of vocal cords in aged patients. Both longitudinal shape of trachea obtained by magnetic resonance imaging (MRI) and cross sectional area of trachea by CT scan were evaluated. Longitudinal shape of trachea became curved with age. These results suggest that deformation of trachea may also contribute to the decrease in the flow during cough in aged patients.

緒 言

下気道感染, とりわけ肺炎は高齢者の死因として大きな役割を占めており¹⁾, その原因の一つとして感染防御機能の低下が指摘されている。気道内分泌物や異物を物理的に喀出する咳嗽機能は, 細胞レベルの免疫機能とともに, 重要な感染防御機構の一つである。そこで本研究では高齢者における咳嗽の呼吸生理学的機能の特徴を明らかにし, さらに画像診断の手法を用いて, 老化に伴う咳嗽機能低下, すなわち咳嗽不全の病態生理を明らかにすることを目的とした。

対象および研究方法

高齢者における咳嗽機能低下の特徴を明らかにするため以下の2つの研究方法を用いた。

研究1: 呼吸生理学的アプローチ

加齢と咳嗽メカニクスとの関係について検討を行った。

対象は若年者9例(年齢 36.2 ± 3.1 歳)の軽度の

感冒症状を伴う咽頭炎患者と, 喘息, 肺癌の術前, 肺炎軽快後など的高齢者6例(年齢 71.7 ± 6.0 歳)の計15例である(表1)。喘息や肺炎は治療により軽快し, わずかな咳嗽が残るものの肺機能検査が可能な状態で行った。15例全例が咳嗽という自覚症状を持っていた。

測定項目はニューモタコメータ (Chest社製, CHESTAC-11) による咳嗽時の呼気気流量 (\dot{V}), 肺気量 (V), 換気に伴う胸腹部形状変化 (chest wall configuration) としてニューモマグネットメータによる肋骨胸郭変化度 (ΔV_{rc}) および腹壁変化度 (ΔV_{ab}) である。咳嗽時のフローボリューム曲線を V を横軸に, \dot{V} を縦軸に X-Yレコーダー (GRAPHTEC社製, WX2400) 上に描かせ, 最大努力呼出時のフローボリューム曲線と比較検討した。同時に胸郭系の動きを ΔV_{ab} を横軸に, ΔV_{rc} を縦軸にとり両者の関係を Konno-Mead diagram²⁾上で評価した。さらに表面電極法により

表1 研究1, 呼吸生理学的アプローチの対象症例

	症例	年齢	性別	基礎疾患
若年者群	1	32	F	急性上気道炎
	2	33	F	急性上気道炎
	3	35	M	急性上気道炎
	4	40	M	急性上気道炎
	5	38	M	急性上気道炎
	6	32	M	急性上気道炎
	7	41	M	急性上気道炎
	8	37	F	急性上気道炎
	9	33	M	急性上気道炎
高齢者群	10	74	F	気管支喘息
	11	64	F	気管支喘息
	12	65	M	肺癌
	13	72	M	肺癌
	14	82	M	胸部異常陰影
	15	73	M	肺炎後

肋間筋(第2肋間胸骨縁), 横隔膜(第8肋間前腋窩線), 腹直筋(臍上3横指)の各呼吸筋筋電図を記録した(図1)。一部の症例では, 食道胃バルーン法により胸腔内圧, 腹腔内圧を差圧トランスデューサー(日本光電社製, Model TP-604T)を用いて測定した。

研究2: 形態学的アプローチ

中枢気道の加齢による変化を検討するためMRIを用い気管の前額断および矢状断を撮影した。対照として健常成人男子のMRI画像を比較検討した。撮影は心電図同期, 呼吸同調のもとではじめに横断面を撮影し, 声門直下と気管分岐部直上のそれぞれの中心点を通る直線を含むように前額断, 矢状断を撮影した。

一方, 平成2(1990)年7月の1カ月間に東京女子医科大学病院呼吸器内科の外来で胸部レ線異常陰影精査目的で胸部CTスキャンの検査を行い, 腫瘍の縦隔浸潤やリンパ節腫大を認めない35例(男性21~81歳までの19例, 女性13~78歳までの16例)につき, 大動脈弓部の高さで気管内腔の横断面積をプランニメーターで計測した。

結果

研究1: 呼吸生理学的アプローチ

1) フローボリューム曲線

咳嗽時の呼気気流量は最初に急峻に立ち上がって鋭いピークを持つスパイク状の曲線を形成した後, 最大呼気努力時の呼気気流量, いわゆる maximum expiratory flow (\dot{V}_{max})の曲線に沿って

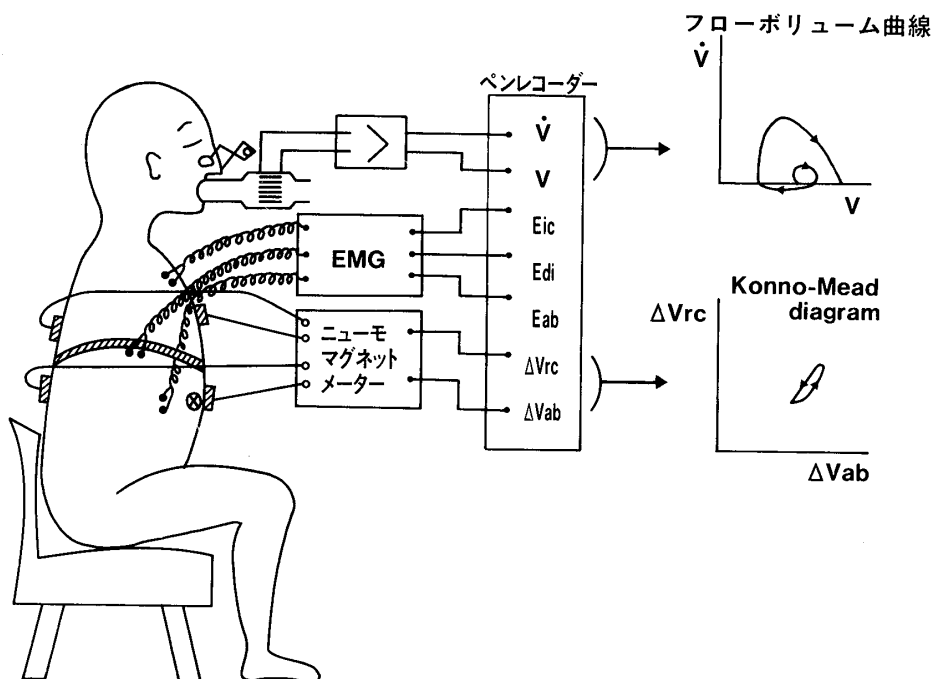


図1 研究1, 呼吸生理学的アプローチにおける実験ブロックダイアグラム

EMG: electromyogram, \dot{V} : flow, V: volume, Eic: 肋間筋筋電図, Edi: 横隔膜筋電図, Eab: 腹直筋筋電図, ΔV_{rc} : 胸壁前後径の変位, ΔV_{ab} : 腹壁前後径の変位。

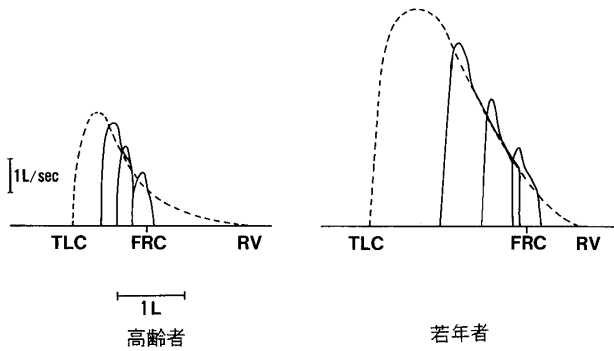


図2 咳嗽時のフローボリューム曲線

左は症例15 (高齢者), 右は症例2 (若年者), 最大呼出努力時と咳嗽時とを重ねて記した。

表2 若年者と高齢者とのフローボリューム曲線の比較

	FVC (L)	Peak \dot{V} (L/min)	FRC \dot{V} (L/min)
若年者群 (35.7±3.5歳)	3.69±0.81	7.70±1.21	2.63±0.81
高齢者群 (71.7±6.6歳)	2.78±0.47	5.58±1.25	0.67±0.50

FVC: 努力肺活量, Peak \dot{V} : 最大呼気気流量, FRC \dot{V} : 安静呼気位での呼気気流量, *: $p < 0.05$.

漸減していくカーブを描いた(図2)。対象被験者の肺活量では若年者群に比し高齢者群で低い傾向を認めたが、両群間に有意差はなかった。フローボリューム曲線の peak flow と FRC における maximum flow については、高齢者群で有意な低下が認められた(表2)。

2) 咳嗽時の chest wall configuration

咳嗽時の chest wall configuration の変化を Konno-Mead diagram²⁾より検討した。若年者(図3)では、Konno-Mead diagram 上安静呼気位(FRC)より吸気を伴って胸壁と腹壁が同時に拡張する時相(a:吸入期), 同一肺気量(iso-volume)で腹壁が縮小し胸壁が拡張する時相(b:準備期), 呼気を伴って胸壁と腹壁が同時に縮小する時相(c:呼出期)の3つの時相がみられた。しかし高齢者(図4)では第2の iso-volume line 上の準備期はほとんど検出されず、他の2つの時相も明瞭に識別されなかった。

3) 咳嗽時の換気メカニクスと呼吸筋筋電図より

若年者では換気量の記録で吸気終末に一旦気流

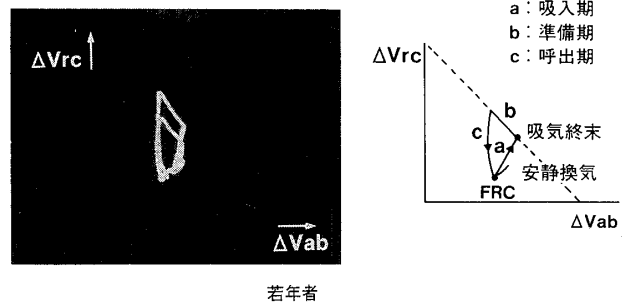


図3 咳嗽時の Konno-Mead diagram (若年者) 症例2, 2回の咳嗽が記録されている。吸入期, 準備期, 呼出期の区別が明瞭である。

FRC: functional residual volume.

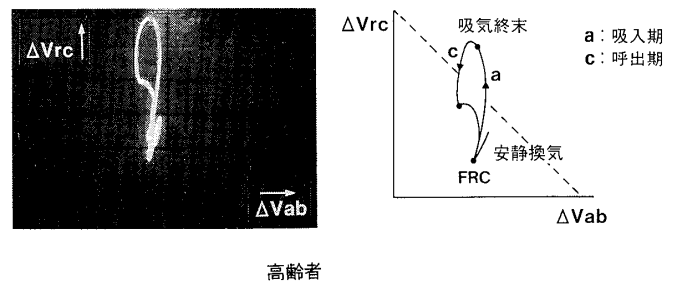


図4 咳嗽時の Konno-Mead diagram (高齢者) 症例15, 吸入期, 準備期, 呼出期の区別が明瞭でない。

速度は停止してプラトーを形成して(*印)呼気に移っていた。このプラトーに対応して肋間筋, 横隔膜筋電図と腹直筋筋電図の活動電位が認められた。そしてこの間胸腔内圧 Ppl と腹腔内圧 Pab が約75cmH₂Oまで上昇した(図5)。このような吸気終末のプラトーは上記 Konno-Mead diagram での iso-volume line 上の変化準備期に対応していた。一方高齢者の記録ではこのような吸気終末におけるプラトー形成が弱いのか、ほとんど認められなかった(図6)。プラトーの時期に一致して呼吸筋の活動電位は認められた。

なお、横隔膜筋電図電極は前腋窩線上第8肋間に装着したため、吸気時の活動電位は横隔膜の活動を表すが、努力呼気時には外肋間筋や腹横筋等の呼気筋の活動電位が混入していた。したがって、iso-volume line 上の準備期以降の横隔膜筋電図活動にはこれらの筋電図活動が合成されたものと思われる。

研究2: 形態学的アプローチ

1) MRI による検討

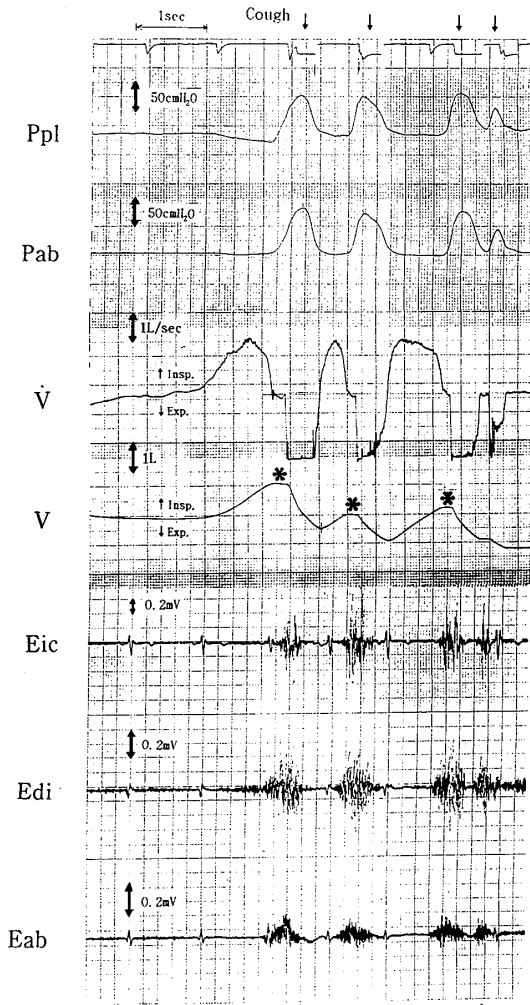


図5 咳嗽時の呼吸筋活動 (若年者)

症例2, 4回の咳嗽が記録されている。準備期に気流量が停止し換気量がプラトーを形成している (*). Ppl: 胸腔内圧, Pab: 腹腔内圧, \dot{V} : 気流量, V: 換気量, Eic: 肋間筋筋電図, Edi: 横隔膜筋電図, Eab: 腹直筋筋電図.

若年者の場合(図7上), 下部頸椎前方の軟部組織による気管の軽度の前方への彎曲を認めたが, 喉頭より気管分岐部までほぼ直線状であった。これに対し高齢者では(図7下) 前後や左右への彎曲がみられ, その要因として脊柱の変形, 動脈の蛇行, あるいは肺尖部胸膜の肥厚癒着などが関与していた。

2) CTによる検討 (図8)

胸部CTによる気管断面積は男性の方が女性より大きい傾向を示したが, とともに気管断面積と年齢との間では一定の傾向は認められなかった。

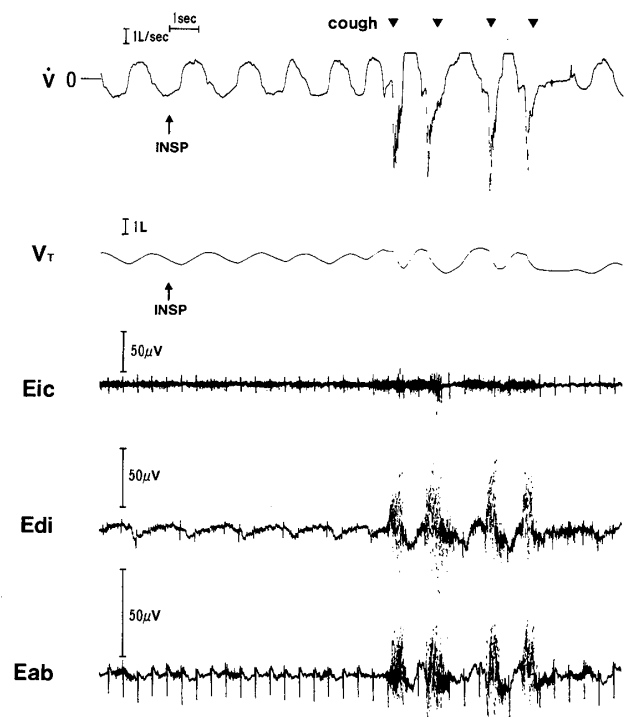
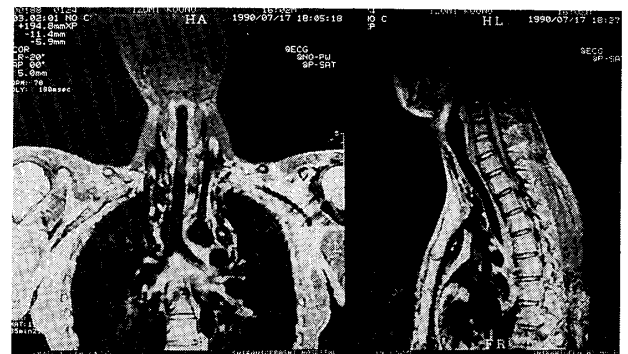


図6 咳嗽時の呼吸筋活動 (高齢者)

症例15, 咳嗽準備期の換気量の記録にプラトーが認められない。



若年者



高齢者

図7 気管のMRI像

上段は若年者(21歳男性), 下段は高齢者(72歳男性), 左は前額断, 右は矢状断。

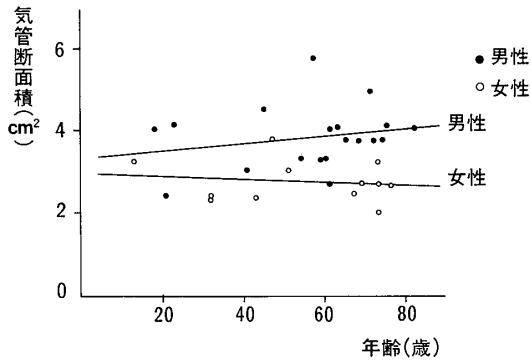


図8 CTによる気管断面積と年齢の関係
年齢と気管断面積の間に一定の傾向は認められない。

考 案

咳嗽時のピーク呼気気流量は最大呼出時のフローボリューム曲線における最大呼気気流量 \dot{V}_{max} を一時的に越えるが、咳嗽時気流量は \dot{V}_{max} にほぼ一致し、その後の咳嗽時気流量の変化も \dot{V}_{max} の変化に一致していた。Beardsmore³⁾は繰り返し咳嗽時のピーク流量はフローボリューム曲線における \dot{V}_{max} の変化に対応するとの報告を行っている。高齢者は若年者に比し有意に \dot{V}_{max} が低下していた。Mead⁴⁾は最大呼気フローボリューム曲線における \dot{V}_{max} は肺の弾性収縮力 ($P_{st}(1)$) と末梢気道抵抗 (R_{us}) の比: $\dot{V}_{max} = P_{st}(1)/R_{us}$ によって規定されると報告した。高齢者では一般的に肺の $P_{st}(1)$ が低下し、同時に R_{us} が増加する。したがって、結果的に \dot{V}_{max} は低下するので咳嗽時の呼気気流量も低下すると考えられた (図9)。

Chest wall メカニクスから金野は咳嗽には吸入期、準備期、および呼出期の3つの時相があると提案している⁵⁾。本研究でも若年者で同様の3時相が認められた。吸入期は強い呼気気流に先行して肺気量を増加する時相で、この相に一致して胸壁と腹壁が同時に拡張する。準備期は声門を閉鎖し、肋間筋、腹横筋等の呼気筋が強く収縮する時相で、これに伴って胸壁は iso-volume line に沿って上方に移動する (図3)。この時相は咳嗽のための高い駆動圧を作り出す原動力で、本研究でも約75cmH₂O という高い胸腔内圧の上昇を認めた。呼気相になると、横隔膜の弛緩と声門の解放、および強い呼気筋の収縮によって高度に胸腔内圧

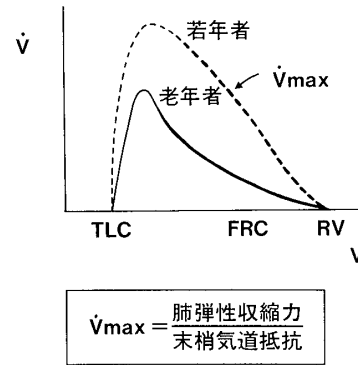


図9 \dot{V}_{max} と加齢の関係

が陽圧化され爆発的な呼気が起こる⁶⁾。本研究では、高齢者の場合これらの咳嗽の3時相が識別し難いことが大きな特徴として挙げられた。特に高い駆動圧を作り出すのに必要な準備期がほとんど認められず、その要因としては、第1に呼気筋の筋力弱化と各呼吸筋間の相互協調機能低下が推測された。筋弛緩剤⁷⁾や筋ジストロフィー⁸⁾による呼気筋力低下時の咳嗽機能低下の特徴は、咳嗽に伴う気道の dynamic compression の弱化にあると言われている。気道の dynamic compression はフローボリューム曲線上、急峻なスパイクとして発現し、Beardsmore³⁾は年齢とともに \dot{V}_{max} とスパイク高の比が低下することを示した。しかし、咳嗽準備期の呼吸筋活動に注目し検討した報告はみられない。第2に、高齢者では咳嗽の準備期に相当する時相に、強い呼気 flow に先行する少量の呼気 flow が認められ、声門の閉鎖不全の存在が確認された。声門の閉鎖不全では準備期に呼気筋による収縮力エネルギーを胸腔内に蓄えることができなると考えられる。呼吸筋の相互協調機能の低下と声門の閉鎖不全の双方が、咳嗽準備期を不明瞭にし、老年者の咳嗽機能低下を特徴づけるものと考えられた。

加齢に伴う中枢気道の形態学的変化は、MRI 画像の検討結果より、若年者の気管がほぼ直線であるのに対し、高齢者の気管には彎曲が認められた。この原因として頸椎の彎曲や骨棘形成、大動脈や腕頭動脈の動脈硬化に伴う拡張蛇行、肺結核後遺症による胸膜の癒着が挙げられ、いずれも体位とは関係のない、根本的に加齢と密接な関係を持つ

変化であった。内腔が円柱状とした場合の Reynolds 指数から、気管の中ではわずかに換気量が増加しても乱流が起こることが知られている⁹⁾。さらに咳嗽時には気管内腔の断面の形態が楕円形から三日月状に変化するため⁹⁾、気管による呼気抵抗は著増する。このことから気管の軽度の彎曲でも呼気時の気流のスムーズな移動を妨げ、気流速度を低下させることが推測される。一方、気管断面積の検討では、特に加齢による影響は static な状態では指摘し得ず、CT 上は咳嗽機能低下に關与する所見は認められなかった。

以上より高齢者では肺、呼吸筋の機能からも、また中枢気道の形態的变化からも咳嗽機能は低下しており、これが感染防御の上で易感染の一要因となることが示唆された。

結 語

高齢者の咳嗽機能低下、すなわち咳嗽不全は以下の3つの病態生理が關与することが示された。

1. 肺実質および末梢気道の特性の変化

咳嗽時の呼気気流量は最大呼気気流量 (\dot{V}_{max}) にほぼ等しく、高齢者では \dot{V}_{max} が低下するため、咳嗽時の呼気気流量も低下する。

2. 呼吸筋の協調運動障害と声門閉鎖不全

高齢者では Konno-Mead diagram 上、咳嗽の3時相のうち準備期がみられず、呼吸筋の協調運動障害および声門閉鎖不全が示された。

3. 中枢気道の変化

高齢者では中枢気道の彎曲が生じやすく、呼気の気流のスムーズな移動を妨げる要因になる。

文 献

- 1) **Parker J Jr**: The old age syndrome. Subtle cerebral degeneration and bronchopneumonia. *Geriatrics* 27(4): 94-98, 1972
- 2) **Konno K, Mead J**: Measurement of the separate volume changes of the rib cage and abdomen during breathing. *J Appl Physiol* 22: 407-422, 1967
- 3) **Beardmore CS, Wimpres SP, Tomson HR et al**: Maximum voluntary cough. *Bull Eur Physiopathol Respir* 23: 465-472, 1987
- 4) **Mead J, Turner JM, Macklem PT et al**: Significance of the relationship between lung recoil and maximum expiratory flow. *J Appl Physiol* 22: 95-108, 1967
- 5) **金野公郎**: 咳の生理. 東海咳と痰研究会講演集 4: 23-30, 1984
- 6) **Leith DE, Butler JP, Sneddon SL et al**: Cough. *In Handbook of Physiology, Part 1, Chap 20* (Geiger SR ed), pp315-336, Williams & Wilkins, Maryland (1986)
- 7) **Narinder SA, Thomas JG**: Cough dynamics during progressive expiratory muscle weakness in healthy curarized subjects. *J Appl Physiol* 51(2): 494-498, 1981
- 8) **Szeinberg A, Tabachnik E, Rashed N**: Cough capacity in patients with muscular dystrophy. *Chest* 94: 1232-1235, 1988
- 9) **Ultman JS**: Gas transport in the conducting airways. *In Gas Mixing and Distribution in the Lung* (Engel LA, Paiva M eds), pp63-136, Marcel Dekker, New York (1985)