

特集 加齢に伴う発声発語器官の変化

加齢に伴う呼吸器系の変化

—高齢者の肺機能検査を中心に—

総説▶

石井正紀

Masaki Ishii

要旨 肺は、形態および機能の上から加齢変化が最も顕著に認められる臓器の一つであるが、外界に直接的に開口しているため、呼吸器系の老化には、加齢に伴って生ずる生理学的老化のほかに、喫煙や粉塵などの外来侵襲によって修飾される病的老化が存在する。高齢者では、進行性の気流制限を特徴とする呼吸器疾患が多く、肺機能低下は、肺の生理学的老化、すなわち老人肺 (senile lung) に、病的老化に伴う機能喪失が加わったものであることを理解することが重要である。高齢者呼吸器疾患を考える上では、まずは呼吸器系の加齢変化の特徴を知ることが重要であり、本稿では加齢に伴う肺機能の特徴を中心に述べる。

キーワード 老人肺、肺の生理学的老化、肺の病的老化、加齢に伴う肺機能変化、高齢者呼吸器疾患

I. はじめに

老化は、加齢に伴う進行性の機能喪失であり、全身の臓器における生理的機能低下をもたらす。そのなかでも呼吸器系は、加齢による影響を最も顕著に受ける臓器系の一つであり、加齢に伴って、呼吸器系疾患も増加する。本稿では、加齢と肺機能の変化について概説し、高齢者における肺機能検査を施行する場合のポイントと、その問題点について解説した。

II. 呼吸器系の加齢変化による特徴

加齢変化に伴う呼吸器系の老化としては、主に、1) 肺弾性収縮力の低下 (肺自体のしまりがなくなる)、2) 胸壁コンプライアンスの低下 (胸郭の硬化)、3) 呼吸筋 (横隔膜、肋間筋) の筋力低下などが挙げられる。肺弾性収縮力は、肺の圧量曲線が指標となる (図1)。

この曲線が右下方にあることは、同じ圧力に対し肺が伸びにくいことを示し、肺実質に弾性に富んで硬い (しまりがある) ことを意味する。一方、左上方にあることは、同じ圧力に対し肺が伸びやすいことを示し、肺実質の弾性が不十分でやわらかい (しまりがなくなる) ことを意味する。

加齢に伴い、この圧力曲線は左上方にシフトし、肺は伸びやすくなる。この圧力曲線の近似式は $V = A - Be^{-kP}$

であらわされ、肺弾性収縮力の低下は肺の伸びやすさ (elasticity) の増大と同義であり、先の近似式の k 値の増大として定量的に評価される。しかし、肺の圧量曲線の測定は、3連バルーンを必要とし、ヒトでは困難なため、臨床的には、1秒量の低下として把握してよい。肺弾性収縮力が加齢に伴い低下する原因としては、肺胞壁や間質の弾性組織の変性や肺胞導管の拡張、肺胞孔の増加などが考えられる¹⁾。

胸壁コンプライアンスの低下 (胸郭の硬化) は、肋軟骨石灰化などの影響により胸壁が硬化するためである。その

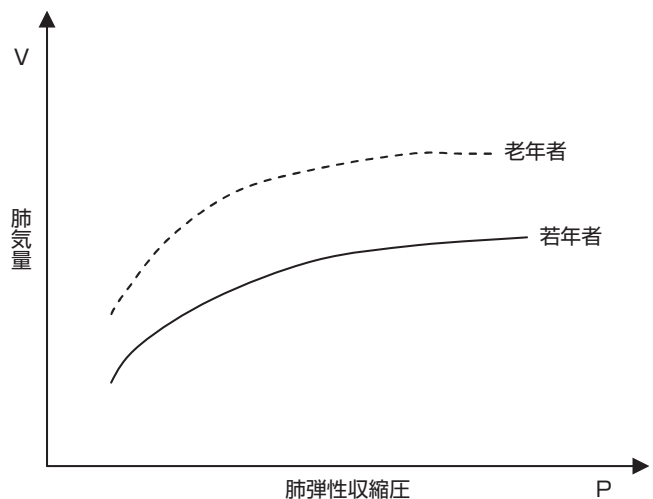


図1 加齢と圧量曲線

東京大学医学部附属病院老年病科

[連絡先] 石井正紀：東京大学医学部附属病院老年病科 (〒113-8655 東京都文京区本郷 7-3-1)

TEL: 03-5800-8652 FAX: 03-5800-6530 E-mail: ishii-tyk@umin.ac.jp

受稿日: 2017年5月13日 受理日: 2017年5月15日

表1 呼吸器系の加齢変化による特徴

1	肺弾性収縮力の低下（1秒量の低下）
2	胸壁コンプライアンスの低下（肺活量の低下）
3	呼吸筋（特に吸気筋である横隔膜、肋間筋）の筋力低下
4	動脈血酸素分圧（PaO ₂ ）の低下
5	上気道反射（咳反射、嚥下反射）の低下
6	睡眠時無呼吸の増加
7	液性免疫能の低下（T細胞数の減少）

結果、息を吸う際に十分に胸が開かないため、肺機能上は、肺活量の低下として評価される。また、換気に関与する横隔膜や肋間筋などの呼吸筋は、老化によって筋力自体が低下する。また、加齢によって、肺活量が減り、残気量が増えるため、横隔膜の自由度が減少することも横隔膜筋力の出力を低下させる。

換気機能における検査項目としては、動脈血液ガス分析が基本であり、最も重要である。加齢により、動脈血酸素分圧 PaO₂ (mmHg) の低下が認められ、各年齢の標準値はおおよそ、PaO₂=102-0.3×年齢で推定される。

加齢に伴い上気道反射（咳反射、嚥下反射）が低下し、誤嚥が生じやすくなる。そのため、口腔内の常在菌や食物残渣などの不顕性誤嚥などを起こし、誤嚥性肺炎という高齢者特有の肺炎を発症させるリスクが高くなる。

そのほか、高齢者においては、睡眠時における無呼吸やいびきの頻度も高くなる²⁾。医学的には、終夜ポリソムノグラフィ (polysomnography ; PSG) を行って、1晩あたり、無呼吸（10秒以上継続する気流停止）が30回以上、あるいは睡眠1時間あたりの無呼吸が5回以上で睡眠時無呼吸症候群と診断する。その要因としては、肥満のほかに、顔面骨格の形態変化（顎の不安定化など）、加齢に伴う脳幹部の睡眠中枢や呼吸中枢の不安定化、化学受容体の反応低下などが挙げられる³⁾。

以上の総括およびその他の呼吸器系の加齢変化を表1にまとめる。

Ⅲ. 加齢と肺機能検査

スパイログラムにおいて、肺活量 (vital capacity ; VC), 1秒量 (forced expiratory volume in one second ; FEV_{1.0}), 予測1秒量に対する1秒率 (FEV_{1.0}%) は低下するが、努力性肺活量 (forced vital capacity ; FVC) も低下するため、Genslerの1秒率 (FEV_{1.0}/FVC) の低下は目立たない。しかし、加齢のみで1秒率70%未満となることはない。また、加齢により残気量 (residual volume ; RV) が増加するが、吸気予備量 (inspiratory reserve volume ; IRV), 呼気予備量 (expiratory reserve volume ; ERV) が減少するため、全肺気量 (total lung capacity ; TLC) は、

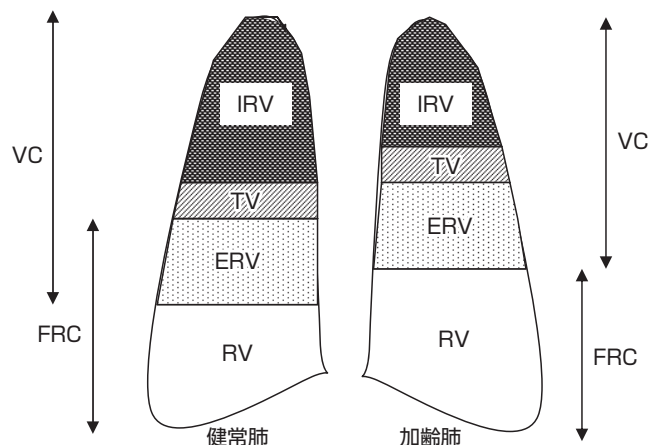


図2 加齢による肺気量の変化

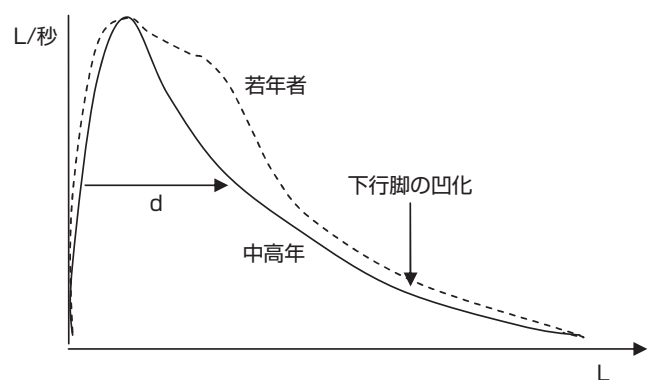


図3 フローボリューム曲線

生涯を通じてあまり変化がない⁴⁾ (図2)。単純化して理解するためには、TLCは生涯不変である。したがって、VC+RV=TLCより、加齢によりVCが減少し、RVが増加することを理解する。

残気量の増加は、解剖学的に横隔膜の位置を下げ、そのドーム状の形状が消失し、横隔膜発生圧が低下傾向になる。

フローボリューム曲線は、努力性呼出時の気量を横軸に、その気量に対応する気速（フロー）を縦軸に示したものである。気速がピーク値の1/2になった部分の曲線の幅（d）は、若年者では肺活量の1/2近くあったものが、加齢に伴って、この幅が狭くなり、曲線の形状は下方に凹になる（図3）。つまり、慢性閉塞性肺疾患（Chronic Obstructive Pulmonary Disease ; COPD）の早期病変と類似するパターンをとる。

肺末梢気道が閉塞する肺気量であるクロージングボリューム (closing volume ; CV) は、加齢とともに増加する。また、換気不均等を示す指標としての第Ⅲ相の勾配 (ΔN₂) も増加することが知られている。

換気不均等を示す指標である肺拡散能 (DL_{CO}) も加齢により低下する。これは、老人肺 (senile lung または aging lung) の特徴の一つである。肺胞壁の破壊を伴わない末梢気腔の拡大 (ductectasia) が原因であると考えられている。

表2 安静時における肺機能

検査項目	加齢による変化
VC	低下
FEV _{1.0}	低下
FEV _{1.0} %	低下
RV	増加
DL _{CO}	低下

表3 運動負荷時における呼吸機能

検査項目	加齢による変化
VO ₂ max	低下
V _E /V _{O₂}	増加
TV	低下
呼吸数	増加
死腔換気率	増加

なお、喫煙歴のある高齢者に多い senile emphysema も同様に肺拡散能が低下するが、これは肺胞壁の破壊を伴う点で、病理学的に老人肺とは異なることに留意しなければならない。

また、運動負荷時の検査も加齢変化における肺機能の特徴を知る上では重要である。運動耐用量としては、最大酸素摂取量 (VO₂ max) が重要な指標である。これは、単位時間当たりに組織が酸素を取り込む最大の量で、呼気ガス分析として、自転車エルゴメーターやトレッドミルで運動をする被験者よりガス・マスク経由し、直接採気して計測される指標であるが、加齢とともに直線的に低下する。さらに、運動時の呼吸は、呼吸筋の筋力低下などに伴い、1回換気量 (tidal volume ; TV) の増加により呼吸数の増加が顕著になることも特徴である。一定の運動負荷に対しては、高齢者において、より換気量が増加することが認められており、呼気ガス分析では、換気効率 (V_E/V_{O₂}) が増加する⁵⁾。安静時肺機能および運動負荷時の呼吸機能の加齢変化を、それぞれ、表2および表3にまとめる。特に、高齢者呼吸不全患者では、他疾患と比較して、%理想体重 ideal body weight (IBW) (%標準体重) < 90 の痩せ型が有意に多いことが示されている⁶⁾。体脂肪量の指標である %上腕三頭筋皮下脂肪厚 (%TSF) と、筋蛋白量の指標である %上腕筋囲 (%AMC) を用いて COPD 患者を健常者と比較したところ、両者ともに有意に COPD 患者において減少していた⁷⁾。

また、FEV_{1.0}% < 35% の患者では、約半分は体重減少を認める⁸⁾。この原因として、COPD では呼吸 (酸素摂取) が

表4 Fletcher, Hugh-Jones 分類による呼吸困難分類

I度	同年齢の健常者と同様に労作ができ、歩行、階段昇降も健常者と同様にできる。
II度	同年齢の健常者と同様に歩行はできるが、坂、階段昇降は健常者とは同程度にはできない。
III度	平地でさえ健常者と同様には歩けないが、自分のペースなら 1.5 km 以上歩ける。
IV度	休み休みでなければ、50 m 以上歩けない。
V度	会話、着物の着脱でも息切れを自覚する。息切れのために外出できない。

表5 10段階 Borg Scale

0	nothing at all	.....	全くなし
0.5	very, very slight	.....	ごくごくわずか
1	very slight	.....	ごくわずか
2	slight	.....	軽度
3	moderate	.....	中等度
4	somewhat severe	.....	いくぶんきつい
5	severe	.....	きつい
6			
7	very severe	.....	たいへんきつい
8			
9	very, very severe	.....	極めてきつい
10	maximum	.....	最大

不十分な状態が継続し、異化亢進状態になって安静時エネルギー消費量の増加が指摘されている。痩せることにより、fat-free mass (FFM) だけでなく、筋蛋白量の指標となる lean body mass (LBM) が減少し、いわゆる marasmus 型の栄養障害を呈する。その結果、筋肉量の減少が呼吸筋力の低下につながる。また、体重減少は最大呼気口腔内圧 (PE_{max}) とも相関を示し⁹⁾、LBM は運動耐用量である最大酸素摂取量 (VO₂ max) における規定因子でもある¹⁰⁾。

そのほか、呼吸困難は最も頻度が多い患者の自覚症状であり、これを医師のみならずあらゆる医療従事者が客観的に臨床現場にて評価することはきわめて重要である。その評価法としては、Fletcher, Hugh-Jones 分類¹¹⁾ (表4) あるいは Borg Scale¹²⁾ (表5) などがある。前者は、呼吸困難度分類による間接評価であるが、多くの患者は II ~ III 度に属し、おおよその分類しか可能ではない。後者は、呼吸困難の程度を 0 ~ 10 の数値でスコア化するものであり、運動負荷時の呼吸困難にも用いられている。そのほか、近年では mMRC (Modified Medical Research Council) 呼吸

表6 Modified Medical Research Council (mMRC)

Grade 0	: 息切れを全く感じない。
Grade 1	: 強い労作で息切れを感じる。
Grade 2	: 平地を急ぎ足で移動する, または緩やかな坂を歩いて登るときに息切れを感じる。
Grade 3	: 平地歩行でも同年齢の人より歩くのが遅い。または自分のペースで平地歩行していても息継ぎのため休む。
Grade 4	: 約 100 ヤード (91.4 m) 歩行した後, 息継ぎのため休む。または数分間, 平地歩行した後, 息継ぎのため休む。
Grade 5	: 息切れがひどくて外出ができない, または衣服の着脱でも息切れがする。

困難スケール¹³⁾ が用いられるようになってきている (表6)。

IV. 高齢者における肺機能評価の注意点

肺機能検査の測定値は、健常者でも、被見者の年齢のみならず、性、身長などによって異なる。肺活量や1秒率などについても同様であり、いずれもその予測値は性別が分かれば、年齢や身長などを変数とする予測式から算出できる。たとえば、若年者では正常範囲よりかなり低い値でも、高齢者では正常範囲に近い場合、予測値に対するパーセントのみで評価すると、過大評価になる可能性がある。呼吸器疾患の多くは、肺機能の絶対値に相関し、高齢者の正常値とは必ずしも一致しないことに留意しなければならない。一方、努力性肺活量は、被験者の最大限の努力と協力を要するため、フローボリューム曲線などでは、本人の能力を過小評価しないように注意しなければならない。肺機能は常に絶対値を%値とともに併記して評価する必要がある。

高齢患者における肺機能検査の施行にあたり、具体的な注意点としては、以下のような事項が挙げられる。1) 高齢者などの患者には、time-dependent を要する指示は困難であり、能力を過小評価する可能性がある。そのような際は、繰り返し検査を行う。ただし、疲労を伴うため、4回以上の同じ検査は行わない方がよい。2) 入れ歯使用の患者の場合、規定のマウスピースがくわえにくい場合は、形状を変えた代替のマウスピースを選択するか、あるいは入れ歯を外すことも検討する。3) 老人性難聴などの難聴を伴う場合は、ゆっくり大きな声で指示を入れる。4) 亀背などの脊柱変形を伴う場合、予測値を算出する身長データの代わりとして、両手を伸ばした幅 (アームスパン) を代用することも検討する。

V. おわりに

呼吸器病学は、老年医学の中でも最も重要なテーマの一つであり、肺機能検査における呼吸器系の加齢変化による特徴を知ることは、きわめて意義深い。老化に伴う肺の生理的機能低下は、肺の生理学的老化、すなわち老人肺 (senile lung) に病的老化 (疾病) に伴う機能喪失が加わったものであることを理解する。特に高齢患者に関しては、個々の症例につき認知機能低下も考慮することも必要である。特に、肺機能検査では、不安感、呼吸数、筋力などを把握し、病歴や理学所見なども総合的に判断することが重要である。

文献

- 1) Knudson RJ, Clark DF, Kennedy TC, et al : Mechanical interdependence in relation to age : effects of lung volume on airway resistance in rats. *J Appl Physiol*, 43 : 1054-1062, 1977.
- 2) Bixler EO, Kales A, Cadioux RJ, et al : Sleep apneic activity in order healthy subjects. *J Appl Physiol*, 58 : 1597-1601, 1985.
- 3) Shore ET, Millman RP, Silage DA, et al : Ventilatory and arousal patterns during sleep in normal young and elderly subjects. *J Appl Physiol*, 59 : 1607-1615, 1985.
- 4) Chan ED, Welsh CH : Geriatric respiratory medicine. *Chest*, 114 : 1704-1733, 1998.
- 5) Brischetto MJ, Millman RP, Peterson DD, et al : Effect of aging on ventilatory response to exercise and CO₂. *J Appl Physiol*, 56 : 1143-1150, 1984.
- 6) 成田亘啓, 夫 彰啓, 竹中英昭, 他 : 第2回呼吸不全全国栄養実態調査—予後因子の解析の試み : 厚生省特定疾患呼吸不全調査班平成6年度研究報告書. 100-105, 1996.
- 7) 米田尚弘, 夫 彰啓, 吉川雅則, 他 : COPD および呼吸不全の栄養障害—呼吸機能・呼吸筋力との関連性 : 厚生省特定疾患呼吸不全調査班平成4年度研究報告書. 100-103, 1993.
- 8) Schols AM, Soeters PB, Dingemans AM, et al : Prevalence and characteristics of nutritional depletion in patients with stable COPD eligible for pulmonary rehabilitation. *Am Rev Respir Dis*, 147 : 1151-1156, 1993.
- 9) Arora NS, Rochester RM : Respiratory muscle strength and maximum voluntary ventilation in undernourished patients. *Am Rev Respir Dis*, 126 : 5-8, 1982.
- 10) Yoshikawa M, Yoneda T, Kobayashi A, et al : Body composition analysis by dual energy X-ray absorptiometry and exercise performance in underweight patients with COPD. *Chest*, 115(2) : 371-375, 1999.
- 11) Hugh-Jones P : simple standard exercise test and its use for measuring exertion dyspnea. *Br Med J*, 65-71, 1952.
- 12) Borg GAV : Psychological bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14 : 377-381, 1982.
- 13) Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease : Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease, HLABI/WHO workshop report : 2011.