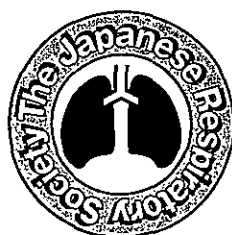


Spirometry, Flow-volume curve, Diffusion capacity of the lung

呼吸機能検査ガイドライン

—スパイロメトリー、フローボリューム曲線、肺拡散能力—

編集 日本呼吸器学会肺生理専門委員会



日本呼吸器学会
The Japanese Respiratory Society

メディカルレビュー社

スパイロメトリーとフローボリューム曲線 (4) 測定方法の実際

呼吸機能検査は被験者の努力に依存するため、被験者の十分な理解と協力が不可欠である。少ない回数で最良の測定ができるよう、測定前の準備とともに、測定技術や結果を判断する知識の修得が必要である。

1. 測定上の注意

①測定体位と姿勢

検査は座位または立位で行う。標準的な体位を決めておき、異なる体位で行った場合は報告書に記載する。立位で行う場合には安全性を考慮し、すぐに座ることができるよう後ろに椅子を用意しておく。

②マウスピース

円柱状のディスプレイマウスピースか、つば付のシリコン製マウスピースを使用する。高齢者や顔面に麻痺のある被験者など漏れが生じやすい場合は後者を用いる。

③検査の間隔

被験者の理解度や性格に合わせて検査を誘導する。被験者の状態をよく観察し、疲労しないよう検査と検査の間に適宜休憩を入れながら進めていく。

2. 測定準備

以下の手順で測定準備を行う（表1）。

表1 呼吸機能検査の進め方

- ・機器の較正と精度確認を行う
- ・被験者の状態を確認する
- ・被験者に検査の目的を説明して呼吸のしかたを指導する
- ・検査を実施し報告書を作成する
- ・機器の清掃をする

①機器の動作を確認する

検査室は快適な温度に保ち（注1）、検査を開始する前に機器のウォーミングアップ、較正と精度確認を行っておく（1-(3)機器の精度管理とメンテナンス p.8参照）。

②被験者の状態を確認する

検査依頼内容を確認する。被験者を検査室に呼び入れるとき、患者の顔色、歩き方、呼吸の状態などを観察する。前回測定値があれば参考にする。

③目的を説明して呼吸のしかたを指導する

検査者は被験者に検査の目的や重要性をわかりやすく説明して理解させたのち、測定時の呼吸方法を指導する。努力肺活量測定では、検査自身が実際に紙などを使って努力呼出を行って見せる。特に初めて検査を受ける被験者では1～2度練習してから測定するのもよい。

注1：17℃未満の低温環境下で測定を行うと一部の被験者では気流制限がみられることがある。

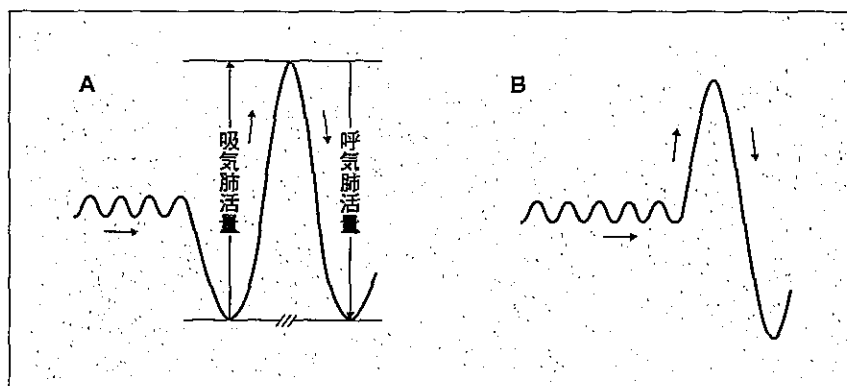


図1 肺活量の測定法

A: 吸気・呼気肺活量測定。この方法を標準法として行う。

B: 呼気肺活量。標準法で妥当な測定ができない場合に行う。閉塞性換気障害があると空気とらえこみ現象のため吸気肺活量>呼気肺活量となるため望ましくない。

④姿勢を整えマウスピースを装着させる

きつい着衣（襟、ネクタイなど）は緩めさせ、背筋を伸ばし肩に力が入らないようリラックスした姿勢をとってもらう。

マウスピースをくわえさせ、ノーズクリップをつける。マウスピースからの空気漏れがないことを確認した後それぞれの検査を開始する。

3. 肺活量・努力肺活量検査

①肺活量検査の測定手順

肺活量検査は安静呼吸から最大呼気、最大吸気、最大呼気を行い、吸気肺活量の後呼気肺活量を測定する方法が標準である（図1-A）。ただし、標準法では妥当な肺活量測定が得られない被験者（小児など）には、安静呼吸から最大吸気、最大呼気を行う呼気肺活量（図1-B）をもって肺活量とする（注2）。測定装置は時間一気量曲線（スパイログラム）の最大吸気位と最大呼気位の差を肺活量として計測している。したがって標準法では吸気肺活量と呼気肺活量のうち大きい方を肺活量とすることができる。

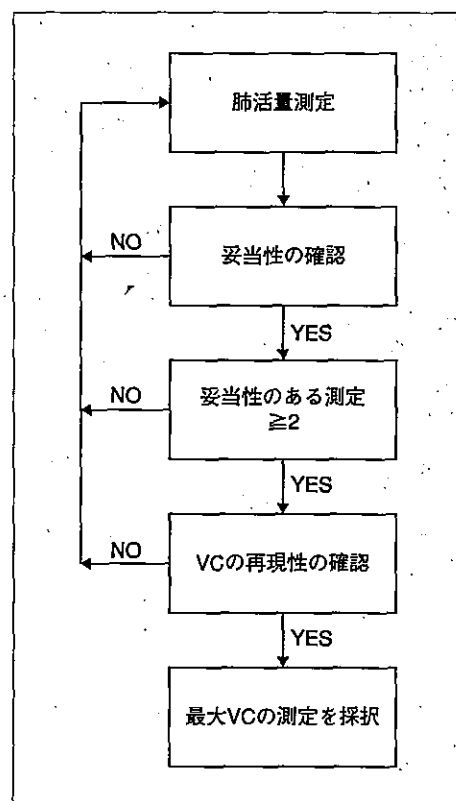


図2 肺活量測定のプロフローチャート

注2：一般に健常者では吸気肺活量と呼気肺活量に差異はない。閉塞性換気障害患者では空気とらえこみ現象のため吸気肺活量>呼気肺活量となるため、呼気肺活量のみを測定する後者の方法は望ましくない。

表2 肺活量測定の妥当性・再現性と採択基準

	基 準
妥当性	スパイログラムで以下を確認する ①安静呼気位が安定している* ②最大呼気位と最大吸気位のプラトー**が確認できる ③吸気肺活量$\approx$呼気肺活量***
再現性	2つの妥当な測定結果において、最大の肺活量と2番目の肺活量の差が200mL以下である
採択	最大の肺活量を示した測定結果を採択する

*：安定とは安静呼気位の掃線が水平で最大吸気位と最大呼気位の呼気側3分の1から2分の1ぐらいにあることをいう。

**：プラトーとは時間—気量曲線（スパイログラム）が2秒以上上下なく水平な場合をいう。

***：閉塞性換気障害では空気とらえこみ現象のため吸気肺活量 $>$ 呼気肺活量となる場合がある。

肺活量測定は図2の手順で行う。

測定結果が妥当でなければ、よくない点を被験者にわかるように十分説明し、もう1度検査を行う（表2）。

・測定方法

時間—気量曲線（スパイログラム）をモニターしながら測定する。少なくとも3回以上安静呼吸をさせ、安定した呼気位を確認した後、そのまま一定のスピードで最大呼気位（残気量位）まで呼出させる。最大呼出のプラトー（モニター上で2秒以上気量に変化がなく曲線が水平状態になる（注3））に達したら、最大吸気位（全肺気量位）まで吸入させる。最大吸気のプラトーに達したら、再び最大呼出させプラトーを確認し、吸気させて測定終了とする。

・妥当性の確認

測定後、モニター上のスパイログラムで、①安静呼気位が安定し肺活量の呼気側3分の1から2分の1あたりに位置していること、②最大呼気位と最大吸気位のプラトーが確認できること、③呼気肺活量が吸気肺活量とほぼ同じであることを確認できれば妥当な結果と判断する（注4）。

・再現性の確認と結果の採択

妥当な2回の測定結果が得られ、最大の肺活量と2番目に多い肺活量の差が200mL以内であれば再現性があると判断する。肺活量が最大値を示したスパイログラムを採択して検査終了とする。差が200mL以上の場合は検査を繰り返す。最大4回まで実施しても再現性が得られない場合は妥当な測定結果のうち肺活量が最大のものを採択し、検査終了とする。その場合は理由を報告書に記載する。

②努力肺活量検査の測定手順

努力肺活量検査では、1回の検査で努力呼気曲線とフローボリューム曲線を同時に測定できる。測定時はフローボリューム曲線をモニターしながら検査を実施する。努力肺活量測定は図3の手順で行う。

注3：「気量に変化がない」とは、モニター上の最小検出可能気量以下であることを意味し、最小検出可能気量は0.030L以下を前提としている。カーブ表示だけで対応できない場合は、メッセージや音の表示で確認できればよい。

注4：閉塞性換気障害では吸気肺活量 $>$ 呼気肺活量となる場合がある。

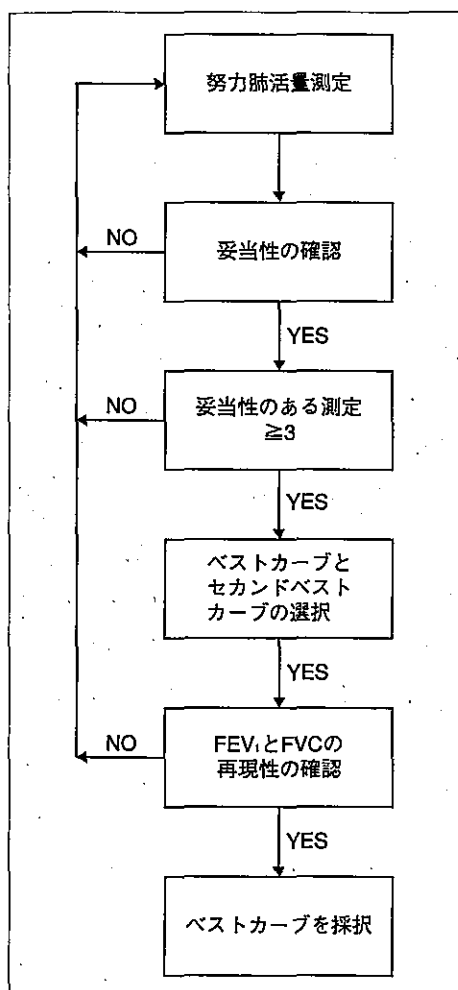


図3 努力肺活量測定のプロチャート

・測定方法

安静呼吸が安定した後、安静呼気位から最大吸気位まで吸気させたら、最大限の力で一気に努力呼気をさせて最大呼気位まで呼出させる。最低6秒以上呼気努力を続けるよう声をかけ、最低2秒以上呼気量が変化しないことを確認して測定終了とする（注5）。閉塞性換気障害患者で呼気排出がわずかずつ持続している場合は15秒を越えたら検査終了とする。呼気努力時は被験者の状態に十分注意を払う。

・妥当性の確認

測定終了後、以下の3つを満たせば妥当性があると判断する。

①フローボリューム曲線のパターンが良好であること

最大吸気ができているか、呼気開始が良好であったか、呼気早期にピークが得られているか、最大呼気努力が得られているか、全体に咳や声出しなどのアーチファクトがないかを確認する（表3）。

努力不足によるピークの欠如、呼気早期の咳嗽、声門閉鎖による呼気中断などがフローボリューム曲線で検出できる場合は妥当な測定とはいえない（図4）。

②呼気開始が良好であること

外挿気量（extrapolated volume）（図5）がFVCの5%または150mLのいずれか大きい方より小さいことを確認する。

③十分な呼気ができていること

時間—気量曲線において2秒以上のプラトーが確認できること。閉塞性換気障害を有する被験者などでプラトーにならない場合は十分な呼気時間（15秒以上、あるいは6秒以上で被験者が呼気を持続できなくなるまで）があることを確認する。

肺活量測定を実施している場合はAir-trapping Index（ATI）（1-(5)結果の解釈 p.22参照）も参考にする。閉塞性パターンがなくATIが5%を越える場合は十分な呼気できていない可能性がある。

測定結果が妥当でなければ、よくない点を被験者にわかるように十分説明し、検査を繰り返す。

・再現性の確認と結果の採択

妥当な測定結果が3つ得られたらフローボリューム曲線のパターンを比較する。最大努力をした結果

注5：先に肺活量測定を行っている場合、VCを呼出量の目安として声がけをする。

表3 努力肺活量測定の妥当性・再現性と採択基準

	基 準
妥当性	①フローボリューム曲線のパターンで、検査全般に十分な努力が得られており（最大吸気、すばやい呼気開始、ピーク、呼気の持続）、アーチファクト（呼気早期の咳、声出しなど）がないこと ②呼気開始が良好であること ・外挿気量がFVCの5%あるいは150mLのうちいずれか大きい方の値より少ないこと ③十分な呼気ができていること ・時間一気量曲線が2秒以上プラトー*に達している - あるいは ・プラトーにならない場合は十分な呼気時間（15秒以上、あるいは6秒以上で被験者が呼気を持続できなくなるまで）であること
再現性	3回以上の妥当な測定結果のうち、最良のフローボリューム曲線（ベストカーブ）と次によりフローボリューム曲線（セカンドベストカーブ）のFEV₁の差とFVCの差がそれぞれ200mL以内であること
採択	最良のフローボリューム曲線（ピークが高く、ピークに到達するまでの呼気量が少なく、最大努力の得られているもの）をベストカーブとし、その測定結果を採択する。ベストカーブ選択にあたり、FEV₁+FVCの和が大きいことも参考にする。

*：プラトーとは時間一気量曲線（スパイログラム）が2秒以上上下なく水平な場合をいう。

ではほぼ同じ曲線パターンとなる。そのうち、ピーク到達までの呼気量が少なく、ピークが高く、呼気努力の最も良好な曲線をベストカーブとし、次に良好な曲線をセカンドベストカーブとする。ベストカーブの決定にあたってはFEV₁とFVCの和がより大きいことも参考にする。さらに、ベストカーブのFEV₁とセカンドベストカーブのFEV₁の差が200mL以内であること、かつ、両者のFVCの差が200mL以内であれば再現性があると判断し、ベストカーブの測定結果を採択して検査終了とする。

閉塞性換気障害があると、最大努力をしたときより少し弱い呼気をしたときの方がFEV₁が大きくなることがある。このようなときは、ピーク到達までの呼気量がより少なく、ピークがより高いフローボリューム曲線をベストカーブとしその結果を採択する（図4-B）。

再現性が悪い場合、採択の判断が難しい場合は検査を繰り返す。最大8回まで検査を行う。

③検査の流れ

検査はVC測定を先に行い、次にFVC測定を行う。FVCがVCよりも5%を越えて大きい場合はVC測定の努力不足が考えられるため再検査する。

④再現性が得られない場合の結果の採択

・2回の良好な結果に再現性がない

一般に、呼吸機能検査の測定結果のばらつきは健常者では小さいが閉塞性肺疾患患者では大きい。また、気管支喘息などでは努力呼気により気道れん縮が起こり、測定を繰り返すごとに閉塞が強くなることがある。すなわち妥当な測定は得られても再現性が確認できないことがある。その場合は再現性にこ

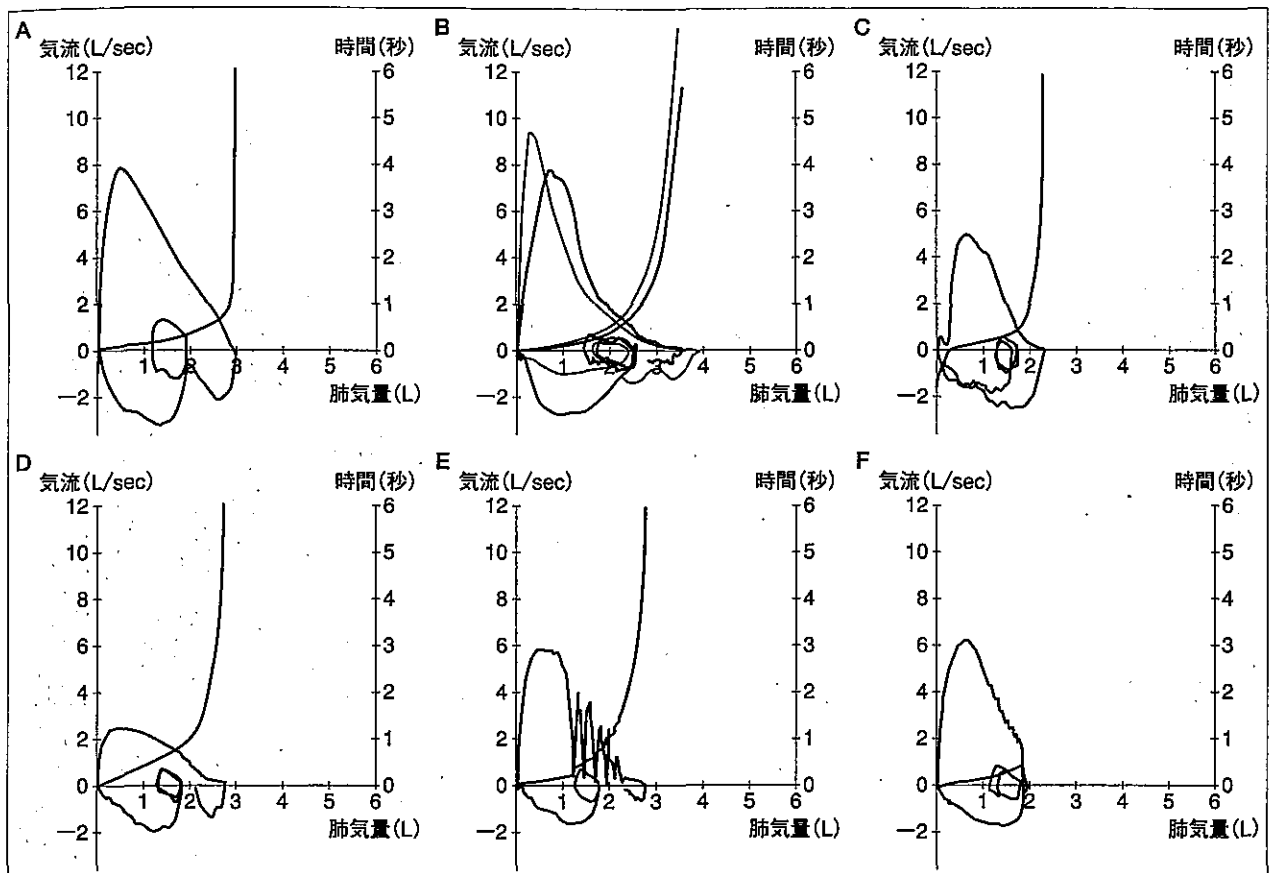


図4 良好なフローボリューム曲線と不良な曲線の例

A: 良好例。

B: 呼気開始不良。

黒線: 不良例、ピークが低くピークまでの呼気量が多い。外挿気量は200mLでFVCの5.7%、呼気時間は5.8秒と短くプラトーに達していない (FEV₁ 2.64L、FEV₁/FVC 75%)。色線: 同じ被験者の良好例、外挿気量は80mLでFVCの2.1% (FEV₁ 2.47L、FEV₁/FVC 65%)。

不良例の方がFEV₁は多いが妥当な測定とはいえない。呼気努力不十分で閉塞性換気障害が見落とされている。

C: 呼気開始不良。少し呼気してから最大呼気している。

D: 呼気が弱くピークがない。

E: 呼気早期に咳。

F: 呼気途中の声門閉鎖。

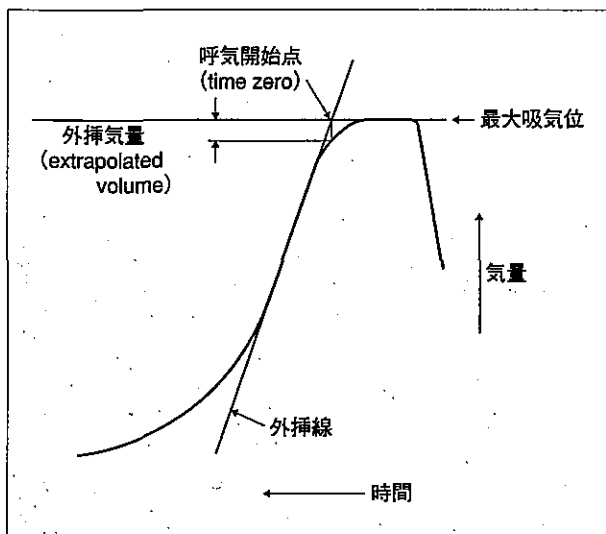


図5 外挿気量

努力呼気曲線の最大の傾き部分の直線を延長し、最大吸気位と交わる点を努力肺活量の呼気開始点 (time zero) とする。呼気開始点における呼気量を外挿気量 (extrapolated volume) という。外挿気量がFVCの5%あるいは150mLのどちらか大きい方以上の場合、呼気開始が不良と判断する。

だわらず、最大肺活量、ベストカーブを採用し、採
択理由を報告書に記載する。

・ 1 回しか良好な結果が得られない

患者の状態から十分な検査回数が実施できない、
あるいは要領の悪さから 1 回しか妥当な結果が得ら
れない場合は、その 1 回の結果を採択しその理由を
報告書に記載する。

なお、患者の理解があり疲労がなければ検査回数
の上限を越えてもよい。

4. 気道可逆性検査

気管支拡張薬の吸入前後にFEV₁を測定し、その
改善の割合を計算することによって気道可逆性の程
度を判定する。この検査は気管支喘息など気流制限
がある被験者が対象であり、気管支拡張作用のある
薬剤を中止して検査するため、強制呼気を繰り返す
と気道がれん縮して測定結果が漸減していくことが
多い。これを避けるため、測定前に呼気のしかたを
十分に指導して測定回数を最小限にするように努め

る。

①被験者への注意事項

気道可逆性に影響する薬剤はあらかじめ検査前に
中止するよう指導する。薬剤により作用持続時間が
異なるため、薬剤ごとに具体的な中止時期を説明す
る（表 4）。検査当日は指示どおり薬剤を中止して
きたか否かを確認する。

②気道可逆性検査に使用する薬剤

一般に短時間作用型の β_2 刺激薬を用いる。1 回
常用量をスプレー併用の定量噴霧吸入器（MDI：
metered dose inhaler）あるいは加圧式ネブライ
ザーを用いて吸入させる。抗コリン薬を吸入する場
合もある（表 5）。

③測定手順

①努力肺活量測定（吸入前）を実施する

努力肺活量測定を行い妥当性のある測定からベス
トカーブを採択する（3の②努力肺活量検査の測定

表 4 気道可逆性検査前に中止する薬剤

	薬剤	休薬期間
β_2 -刺激薬	吸入 β_2 -刺激薬（短時間作用型）	8 時間
	吸入 β_2 -刺激薬（長時間作用型）	24時間
	内服 β -刺激薬	24時間
	β -刺激薬（貼付型）	24時間
抗コリン薬	吸入抗コリン薬（短時間作用型）	8 時間（12時間が望ましい）
	吸入抗コリン薬（長時間作用型）	36時間以上（48時間が望ましい）
キサンチン製剤	テオフィリン製剤（1 日 2 回投与の薬剤）	24時間
	テオフィリン製剤（1 日 1 回投与の薬剤）	48時間
ステロイド	吸入ステロイド薬	12時間
	ステロイド（内服、注射）	24時間
抗アレルギー薬	抗ロイコトリエン薬	48時間
	抗ヒスタミン薬	24時間
	抗アレルギー薬（1 日 2 回投与の薬剤）	24時間
	抗アレルギー薬（1 日 1 回投与の薬剤）	48時間
	吸入クロモグリク酸ナトリウム	12時間

表5 気道可逆性検査に使用する代表的な吸入気管支拡張薬

気管支拡張薬	吸入方法	投与例（成人）	吸入後の検査
短時間作用型 β_2 -刺激薬	スプレーサ-併用MDI*で吸入	硫酸サルブタモール 2吸入（200 μ g） 塩酸プロカテロール 2吸入（20 μ g）	15～30分後
吸入用短時間作用型 β_2 -刺激薬	加圧式ネブライザーで吸入	硫酸サルブタモール0.3～0.5mL（1.5～2.5mg）	
短時間作用型抗コリン薬	スプレーサ-併用MDIで吸入	臭化オキシトロピウム 2吸入（200 μ g） 臭化フルトロピウム 2吸入（60 μ g） 臭化イプラトロピウム 2吸入（40 μ g）	30～60分後

*：MDI：metered dose inhaler 定量噴霧吸入器

手順 p.14参照）。

②気管支拡張薬を吸入させる

気管支拡張薬を吸入させる。吸入終了時をゼロとシタイマーで時間を計測する。

③努力肺活量測定（吸入後）を実施する

β_2 -刺激薬吸入後15～30分後（抗コリン薬吸入後30～60分後）に努力肺活量測定を行い、妥当性のある測定からベストカーブを採択する。

④改善率と改善量を計算する

吸入前後のFEV₁を用いて以下の式で改善率と改善量を計算する。

$$\text{改善率} = \frac{\text{吸入後のFEV}_1 - \text{吸入前のFEV}_1}{\text{吸入前のFEV}_1} \times 100 (\%)$$

$$\text{改善量} = \text{吸入後のFEV}_1 - \text{吸入前のFEV}_1 \text{ (mL)}$$

推奨文献

- 1) American Thoracic Society：Standardization of spirometry-1994update. *Am J Resp Crit Care Med* 1995；152：1107-1136
- 2) American Thoracic Society：Standardization of spirometry-1987 update. *Am Rev Resp Dis* 1987；136：1285-1298
- 3) Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, et al：Lung volumes and forced ventilatory flows：Report working party standardization of lung function tests European community for steel and coal. Official statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J* 1993；16 Suppl：5-40
- 4) 肺機能セミナー：臨床呼吸機能検査 1998年改訂版. 1998
- 5) Hughes JMB, Pride NB：Lung function tests：Physiological principles and clinical applications. WB Saunders, UK, 1999
（日本語訳）
福地義之助（監）：肺機能検査；呼吸生理から臨床応用まで。メディカル・サイエンス・インターナショナル，東京，2001
- 6) 吸入試験標準化研究会および「吸入試験標準化に関する研究」班：気管支喘息および過敏性肺臓炎における吸入試験の標準法. *アレルギー* 1982；31：1074-1076
- 7) NHLBI/WHO Workshop Report；Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD), Update 2003
- 8) NHLBI/WHO Workshop Report；Global Initiative for Asthma (GINA), 2002

スパイロメトリーとフローボリューム曲線

(5) 結果の解釈

1. スパイロメトリー

①正常/異常の判定

肺活量は正常予測値の80%、1秒率は性別、年齢、身長に関係なく70%を正常限界とする。肺活量が正常予測値の80%未満である場合は拘束性換気障害、1秒率が70%未満の場合は閉塞性換気障害と判定し、両方が認められた場合は混合性換気障害と判定する(図1)。

なお、予測1秒量に対する1秒量の比率(%)は慢性閉塞性肺疾患(COPD)の重症度判定に、予測肺活量に対する1秒量の比率(%) (予測肺活量1秒率)は身体障害者障害程度等級表による呼吸機能障害の程度判定に使われている。

日本呼吸器学会肺生理専門委員会が2001年に報告した日本人の正常予測式(18歳以上)を表1に示す。

表1

	$VC(L) = 0.045 \times \text{身長}(cm) - 0.023 \times \text{年齢} - 2.258$
男性	$FVC(L) = 0.042 \times \text{身長}(cm) - 0.024 \times \text{年齢} - 1.785$
	$FEV_1(L) = 0.036 \times \text{身長}(cm) - 0.028 \times \text{年齢} - 1.178$
女性	$VC(L) = 0.032 \times \text{身長}(cm) - 0.018 \times \text{年齢} - 1.178$
	$FVC(L) = 0.031 \times \text{身長}(cm) - 0.019 \times \text{年齢} - 1.105$
	$FEV_1(L) = 0.022 \times \text{身長}(cm) - 0.022 \times \text{年齢} - 0.005$

この予測式は18歳から95歳までの健常者を対象に立位あるいは座位で求めたものである。わが国において肺活量の正常予測値はBaldwinらの式がこれまで広く使われてきた。しかし、測定体位が仰臥位であること、対象に80歳以上の高齢者が含まれてい

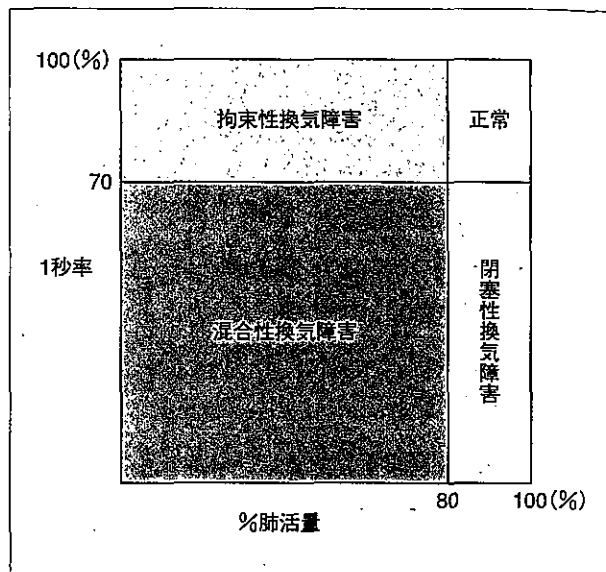


図1 換気障害の分類

%肺活量(正常予測値に対する%)をX軸に、1秒率をY軸にとり、%肺活量が80%未満、1秒率が70%未満を異常として換気障害を4つに分類する。

閉塞性換気障害を呈する代表的疾患であるCOPDでは、初期は閉塞性換気障害を呈するが、気流制限が高度に進行した状態では、1秒率だけでなく肺活量も減少し、混合性換気障害になる。これは閉塞性肺疾患と拘束性肺疾患が混在していることを意味しない。病態の進行に伴い残気量が全肺気量の増加以上に増えるため、両者の差である肺活量が減少することによる。拘束性肺疾患では肺活量の減少だけでなく、全肺気量も減少する。拘束性換気障害=拘束性肺疾患、閉塞性換気障害=閉塞性肺疾患などと1対1に対応して解釈してはいけない。

いなどの欠点があり、その予測値は上記予測式のそれより10~15%低い。したがって、表1に示した日本人の正常予測式を用いるべきである。

②肺活量に影響を及ぼす因子

・生理的因子

予測式からも明らかなように性、身長、年齢の影響を受ける。また、高度の肥満者では肺活量が減少する。これは主に予備呼吸量(安静呼吸位から最大

呼吸位までの気量)が減少することによる。

また、肺気量分画は体位の影響を受ける。仰臥位の肺活量は立位あるいは座位のそれに比べて7～8%低い(図2)。そのため、肺活量の実測値を比較する場合は測定体位に注意する。

・病的因子

肺活量は最大吸気位の気量(全肺気量)と最大呼気位の気量(残気量)の差である。したがって、肺活量が減少しているときは、①全肺気量と残気量の両方が減少している、②全肺気量が正常でも残気量が増加している、③全肺気量の増加以上に残気量が増加している場合がある。

1) 全肺気量に影響を及ぼす病的因子

・肺内の異常

全肺気量の減少は、肺弾性力の増大(肺線維症)、肺コンプライアンスの低下(肺水腫)、肺容量の減少(片肺摘出術後)などで起こる。限局性の無気肺は残存肺が代償性に拡張するので肺気量への影響は少ない。全肺気量の増加は肺弾性力の減少(COPD特に気腫優位型)により起こる。

・肺外の異常

全肺気量の減少は、胸水、胸膜肥厚、心拡大などによる肺の拡張不全、脊椎側弯症・漏斗胸などの胸郭変形、腹部膨満、高度の肥満、横隔膜を含む呼吸筋筋力低下などで起こる。

2) 残気量に影響を及ぼす病的因子

・肺内の異常

残気量の増加は、肺弾性力の減少による気流制限(COPDの気腫優位型)、末梢気道の狭窄(COPD、閉塞性細気管支炎、びまん性汎細気管支炎)、気道れん縮(気管支喘息)により起こる。高度に進行したCOPDでは全肺気量は増加するが、残気量の増大

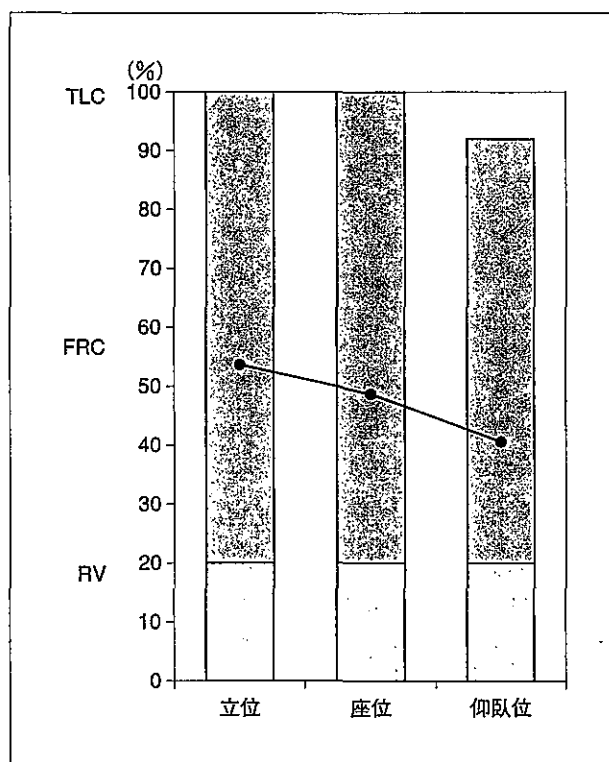


図2 体位による肺気量分画の変化

横軸は測定体位を、縦軸は%TLC、FRC、RVを示す(□=RV、▨=VC、●=FRC)。

いずれの体位でも残気量(RV)はほとんど変化しないが、全肺気量(TLC)と機能的残気量(FRC)は仰臥位で減少する(FRCの方がより多く減少する)。これは内臓が横隔膜を頭側へ押し上げるためである。肺活量(VC)は立位に比べて仰臥位では7～8%減少する。

(文献6より改変引用)

の方がより大きく、肺活量は減少する。肺弾性力が増加すると(肺線維症)、全肺気量、肺活量、残気量はいずれも減少する。

・肺外の異常

残気量の増加は、呼吸筋筋力低下(神経筋疾患)でみられる。

③1秒量と1秒率に影響を及ぼす因子

・生理的因子

1秒量は肺気量(肺活量)により規定されるため、肺活量同様に性、身長、年齢の影響を受ける。一方、1秒率は1秒量を努力肺活量(あるいは肺活量)で除すため、これらの影響は少ない。