



愛知県臨床検査標準化ガイドライン

「呼吸機能検査における標準手順書」



第 2 版

2024年7月

愛知県臨床検査標準化協議会

AiCCLS: Aichi Committee for Clinical Laboratory Standardization

発刊によせて

愛知県臨床検査標準化協議会
会長 加藤 雅通

これまで愛知県臨床検査標準化協議会では、どの医療機関でも同じ質の検査が行えることを目指し、検査統一化ガイドラインやリーフレット、アトラス等を出版してきた。これにより精度管理および検査データの標準化に関する活動が進んでいるものと自負している。この度、2015年1月に発行した「呼吸機能検査における手引書」の第2版を出版することとなった。

厚生労働省の統計によると、2021年のCOPD(慢性閉塞性肺疾患)による男性の死因順位は9位となっている。また、NICEスタディによると日本人の40歳以上のCOPD有病率は8.6%、患者数530万人と推定されている。しかしながら、2020年の厚生労働省患者調査によると、病院でCOPDと診断された患者数は約15万人であり、COPDであるのに受診していない人が500万人以上いると推定される。

COPDの診断は呼吸機能検査によって判定され、人間ドックの受診でも早期発見が可能である。まだ見ぬCOPD患者に適切な医療を提供するには、呼吸機能検査の普及とそれに精通した技師の育成が急務である。しかしながら、多くの施設において呼吸機能検査担当者は他の業務との兼務を求められており、十分な教育を実施できず呼吸機能検査に精通した技師の育成が行えていない現状が伺える。

本手引書のコンセプトは「呼吸機能検査に携わるすべての人のために、入門から実用的な部分までを網羅する」として作成いただいた。実際に検査を行う手技だけでなく、測定原理や最新の知見までを網羅しているので呼吸機能検査への興味、関心が高まるのではないだろうか。本手引書が呼吸機能検査のいっそうの啓発と普及、ならびに技師のレベル向上を通じて、呼吸機能検査を必要とする患者の福祉に貢献できることを願っている。

はじめに

呼吸機能検査は、種々の呼吸器疾患の病態、重症度の把握、症状の評価やスクリーニング検査、手術前後の検査、慢性疾患の経年変化及び治療効果の評価など幅広く活用されています。呼吸機能検査を正確に実施するには「検査者の知識と技術」と「被検者の理解と協力」が必要不可欠であり、データに差が生じやすいと考えます。特に前者は医療者側の課題であり、本手引書は、施設間差、検者間差をなくすことを目的に機器の精度管理とメンテナンス、測定方法とポイント、検査結果の採択基準について2015年1月に第1版を作成しました。

今回、2021年6月に呼吸機能検査ガイドラインが改訂されました。呼吸機能検査の重要性が増し、より一層の普及と手技や評価の標準化が求められるようになったこと、努力非依存的な検査方法の「オシロメトリー」が急速に普及したなどの経緯から十数年ぶりの改訂となり、肺活量および努力性肺活量の採択基準などが変更されました。そこで、本手引書を見直し改版する運びとなりました。

改版内容としましては、肺活量および努力性肺活量の採択基準の修正、呼吸器系の抵抗・リアクタンスを評価することで肺に出入りする空気のメカニズムを調べる「オシロメトリー」の追加、気管支喘息など気道の慢性炎症性疾患の診断に有用な「呼気一酸化窒素」の追加をしました。それに加え、機器の精度管理とメンテナンス、測定原理と測定方法とポイント、結果の評価などを見直しました。

本手引書は、呼吸機能検査ガイドラインなどを精読しわかりやすく解説をしました。呼吸機能検査に携わる皆様に広く活用され、知識、手技の習得の一助となり、施設間差、検者間差の消失に繋がることを願っています。そして、呼吸機能検査の標準化に寄与することを期待しています。

愛知県臨床検査標準化協議会
生理検査部門

目次

I.	スパイロメトリー	1
1.	用語の定義	1
2.	測定原理	4
3.	測定の実際	6
4.	検査結果の評価と主な疾患	16
5.	精度管理とメンテナンス	18
II.	精密呼吸機能検査『FRC・DLco』	21
1.	用語の定義	21
2.	測定原理	23
3.	測定の実際	26
4.	検査結果の評価と主な疾患	32
5.	精度管理とメンテナンス	33
III.	気管支拡張薬反応性検査	35
IV.	オシロメトリー	41
V.	呼気一酸化窒素	49
VI.	感染対策	57
VII.	予測式について	59
VIII.	略語集	60
IX.	参考文献	63

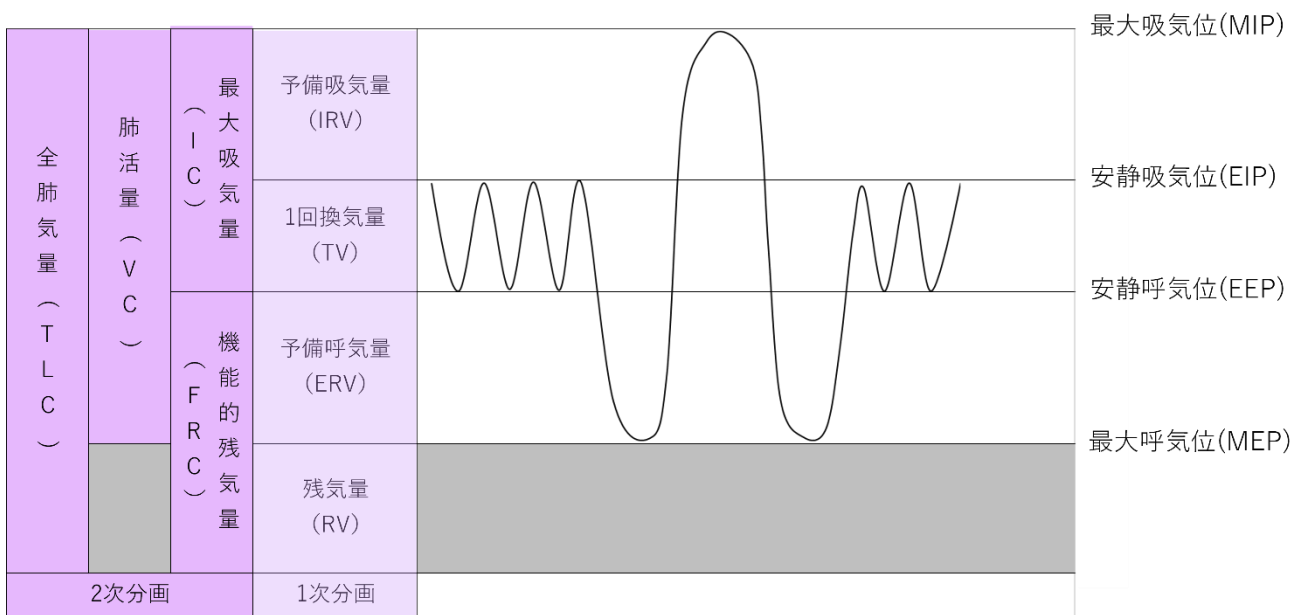
I. スパイロメトリー

1. 用語の定義

1) スパイロメトリー

呼吸機能検査の基本である肺気量分画は吸気・呼気の状態により予備吸気量(IRV)、1回換気量(TV)、予備呼気量(ERV)、残気量(RV)という4つの1次分画(volume)と、2つ以上の1次分画からなる2次分画(capacity)で構成され、2次分画は全肺気量(TLC)、肺活量(VC)、最大吸気量(IC)、機能的残気量(FRC)の4つで構成される(図 I-1)。

スパイロメトリーは呼吸機能検査のもっとも基本的な検査法で、X軸に時間を取り、Y軸に肺気量の変化を記録するもので、この記録曲線をスパイログラム(図 I-2)、測定装置をスパイロメータという。スパイロメトリーではRVは直接測定できない(図 I-1の灰色塗部分)ので、RVを含む2次分画であるFRCやTLCは測定できない。これらはFRCを求めることにより、その結果とスパイロメトリーの組み合わせで $TLC = FRC + IC$ 、 $RV = FRC - ERV$ として算出する。



TLC :total lung capacity
 IC :inspiratory capacity
 IRV :inspiratory reserve volume
 ERV :expiratory reserve volume
 VC :vital capacity
 FRC :functional residual capacity
 TV :tidal volume
 RV :residual volume

図 I-1 スパイログラムと肺気量分画の関係

2) 肺活量(VC)、対標準肺活量(%VC)、努力肺活量(FVC)

肺活量は測定の方法により呼び方が異なる。

VC は、ゆっくりと呼吸した際に測定される最大呼気位と最大吸気位間の肺気量変化のことで(図 I -2A)、努力肺活量(forced vital capacity;FVC)と区別するため、slow vital capacity(SVC)とも呼ばれている。

VC は性別、年齢、身長により大きさが異なるため、これらから求めた標準値に対する割合を%VC(対標準肺活量)という。最大吸気位からできるだけ速く最大努力呼気をさせて得られるスパイログラムを努力呼気曲線(Tiffeneau 曲線)と呼び、この曲線の最大吸気位から最大呼気位間の肺気量変化を FVC という(図 I -2B)。

3) 1 秒量(FEV₁)、対標準 1 秒量(%FEV₁)

努力呼気曲線から単位時間あたりの肺気量変化を求めることができる。努力呼気開始から 1 秒間の呼出肺気量を 1 秒量(FEV₁)といい(図 I -2B)、性別、年齢、身長から求めた標準値に対する割合を対標準 1 秒量(%FEV₁)という。

4) 1 秒率(FEV₁%)

肺活量に対する 1 秒量の割合を 1 秒率という。

1 秒率の算出方法には、FVC を用いる Gaensler(ゲンスラー)の 1 秒率(FEV1%(G))と VC を用いる Tiffeneau(ティフノー)の 1 秒率(FEV1%(T))があり、一般的に Gaensler の 1 秒率が用いられている。

$$\diamond \text{Gaensler の 1 秒率} = (\text{FEV}_1 / \text{FVC}) \times 100$$

$$\diamond \text{Tiffeneau の 1 秒率} = (\text{FEV}_1 / \text{VC}) \times 100$$

慢性閉塞性肺疾患(chronic obstructive pulmonary disease;COPD)患者では空気とらえこみ現象(air-trapping)により呼出しにくくなるため、FVC<VC となることがある。FVC<VC の場合、Gaensler の 1 秒率では過大評価する可能性があるため、このような場合、Tiffeneau の 1 秒率が参考となる。

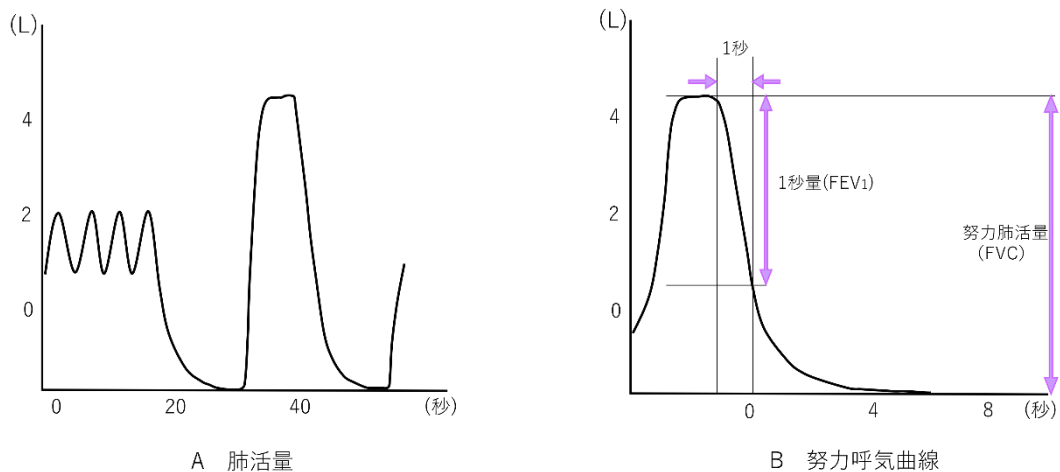


図 I -2 スパイログラム

5) フローボリューム曲線(Flow-volume 曲線)

気流量(flow)と肺気量(volume)の関係を示した曲線で、特に最大吸気位から最大努力したときに記録されたものをフローボリューム曲線(Maximum Expiratory Flow Volume Curve)(図 I -3)と呼ぶ。

6) PEF(Peak Expiratory Flow;最大呼気流量)

フローボリューム曲線において初期に出現する呼気流量の最大値。

7) $FEF_{50}(\dot{V}_{50})$ 、 $FEF_{75}(\dot{V}_{25})$ 、 $FEF_{50}/FEF_{75}(\dot{V}_{50}/\dot{V}_{25})$

FVC の最大吸気位を 100%、最大呼気位を 0%としたときの 50%肺気量位の呼気流量を $FEF_{50}(\dot{V}_{50})$ 、25%肺気量位の呼気流量を $FEF_{75}(\dot{V}_{25})$ 、その比を $FEF_{50}/FEF_{75}(\dot{V}_{50}/\dot{V}_{25})$ で表す。

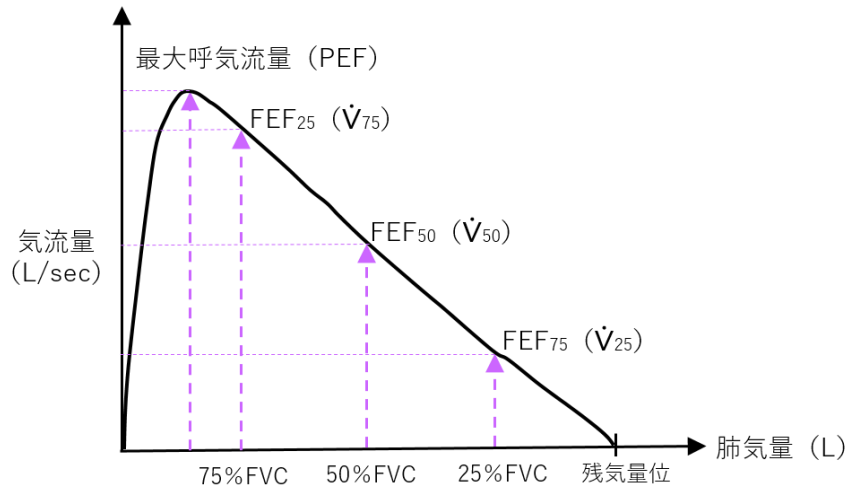


図 I -3 フローボリューム曲線

2. 測定原理

スパイロメータは気量の測定方法により気流型(図 I -4A)と気量型(図 I -4B)に分けられる。



図 I -4 スパイロメータ

1) 気流型

装置は小型で電子スパイロメータと呼ばれる。流量計で気流を測定し、その流量を積分することで気量を算出する。装置は比較的安価であるが測定項目は限られる。

(1) 差圧式流量計(ニューモタコグラフ)

回路に抵抗体を置き、上流と下流の差圧を測定することにより、流量を算出する。

流量の測定は Hagen-Poiseuille の法則^{※1}に基づく。差圧式流量計には、用いる抵抗体の種類により、フライッシュ(Fleisch)型、リリー(Lilly)型、バリフローセンサがある(図 I -5)。

※1 層流状態であれば、管の中を流体が通過する気流量は管の入り口から出口までの圧の低下(圧差)に比例する¹⁾。

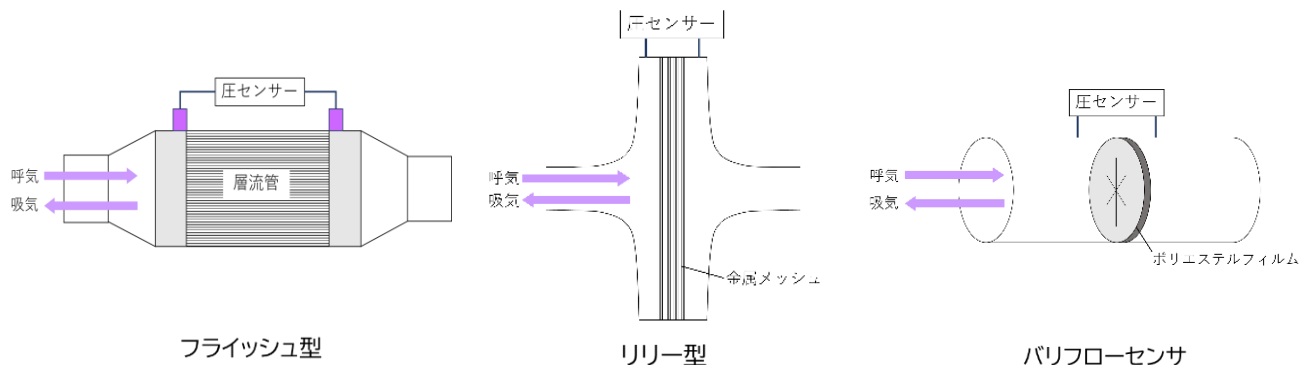


図 I -5 差圧式スパイロメータの構造

(2) 熱線流量計

気流が引き起こす温度変化に応じて熱線の抵抗値が変化することを応用した測定法。

気流の測定は King の式^{※2}に基づく。

※2 電流により一定温度に加熱された抵抗線(熱線)に気流が当たった場合、熱線から奪われる熱量は気流量の平方根と直線関係にある¹⁾。

(3) 超音波式流量計

気流の流れに対して斜めに横切って上流から下流、下流から上流の 2 方向で交互に超音波を照射し、その伝播時間の差から流量を算出する¹⁾。

2) 気量型

換気量を直接測定する。気量を微分することで流量を求め、フローとして描出する。装置は高価であるが、精密呼吸機能検査が可能である。ベネディクトロス型とローリングシール型があるが、現在はほとんどの装置にローリングシール型が組み込まれている。

ローリングシール型は呼吸により外筒内に空気が入り出すことによるベルの移動距離をポテンシオメータ(回転式可変抵抗器)で電気信号に変換し計測する。ベルの断面積を乗じて肺気量を求める(図 I -6)¹⁾。

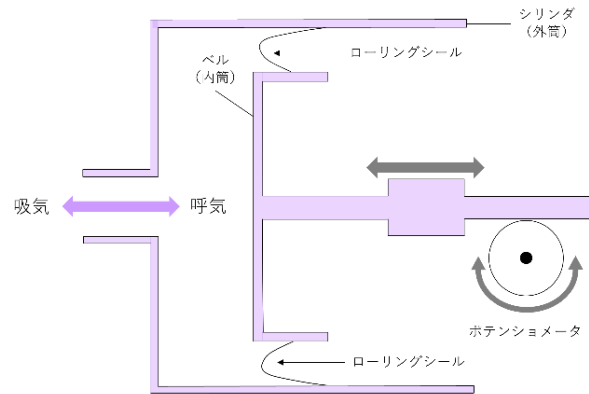


図 I -6 気量型スパイロメータ(ローリングシール型)

3. 測定方法の実際

1) 検査前準備

呼吸機能検査は被検者の努力に依存する検査であり、インフォームドコンセントの実践が重要な検査である。

被検者の十分な理解と協力により、少ない回数で正確な検査結果を導くことになる。そのためには、検査者が検査の意義をしっかりと把握し、測定技術や結果を判断する知識を習得していることが必要であり、被検者への十分な説明と理解を確認しながら検査を進めていくことが重要となる。また、検査前に被検者情報の収集も重要なことである。

(1)被検者の情報の収集

被検者の性、年齢、身長、体重などの基本的情報や病歴・検査所見を確認する。

(2)前回の検査結果

前回値を確認することで、検査の進め方の参考になる。検査結果に「検査時咳込み多く、間隔をあけて検査を進めました」など、測定時の工夫やエピソードなどを記入しておくことで、被検者の状態が把握しやすくなる。

(3)被検者からの情報収集

- ①体調、耳の聞こえはどうか、目の見え方はどうか
- ②喫煙歴
- ③会話からどの程度の理解力があるのか
- ④気管支拡張剤の使用時間
- ⑤酸素吸入の有無
- ⑥胸部レントゲン写真、など

(4)測定体位と姿勢

患者の安全確保のため、基本的には座位で検査を行う。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に椅子を用意しておく。施設内で測定時の標準的な体位を決めておき、異なる体位で行った場合には報告書に記載する。

椅子に深く腰掛けて、背筋を伸ばして検査するように指示する(図 I -7)。話しかける時は見下ろさないで、患者と目線の高さを合わせるようにする。きつく締めつける下着、ベルト、ネクタイなどはゆるめて測定をする。コルセットに関しては、外してはいけない場合もあるので患者本人に確認する。

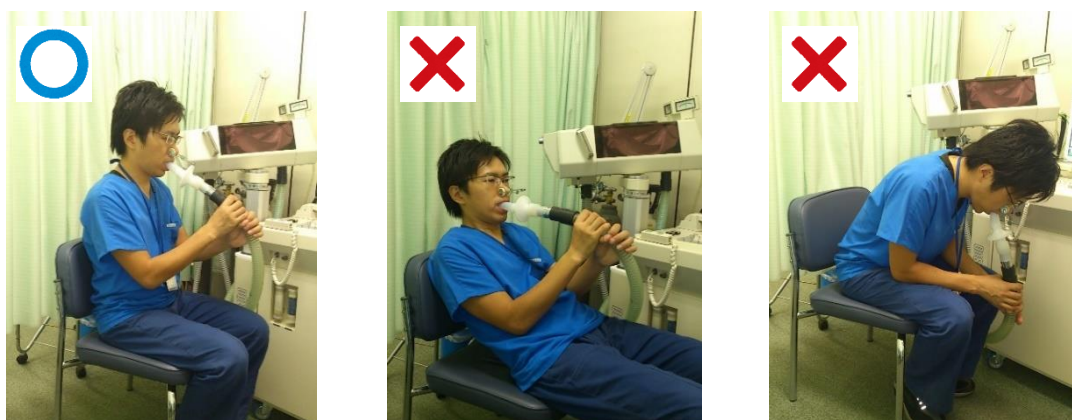


図 I -7 検査時の姿勢

(5) マウスピースのくわえ方

上手にくわえられているかを確認し、マウスピースをくわえた状態で口呼吸の練習をする。そうすることにより、実際の検査での呼吸がスムーズとなる。

できない時には、「フーと息を吐いてください。」と、まずは吐かせてから吸わせて口呼吸を促す。マウスピースはつば付きのシリコン製マウスピース(図 I -8)か円筒状の紙マウスピース・フィルター体型マウスピースを使用する。高齢者や顔面に麻痺のある被検者など口から息漏れが生じやすい場合は前者を用いる。



図 I -8 シリコン製マウスピース

①シリコン製マウスピースのくわえ方



図 I -9 シリコン製マウスピースのくわえ方

周りは唇と歯ぐきの上に、でっばった部分は歯で軽く噛んでくわえさせる。唇をしっかり閉じて横から息が漏れないようにする。舌で穴を塞がないようにする。ゆるみのある入れ歯ははずしてもらう。

②紙マウスピースのくわえ方



図 I -10 円筒型マウスピースのくわえ方

「唇を突き出すようにくわえてください」と指示し、隙間がないようにくわえさせる。紙マウスピースを噛んでつぶさないように注意する。また、舌で穴を塞がないように舌を紙筒の下に置くように説明する。

2) 肺活量の測定(vital capacity;VC)

肺活量の測定は肺気量分画の最も基本となる検査で、肺の容積変化範囲を示す。測定は強制呼出させずに基本的にゆっくり行う。

最大呼気位から最大吸気したときの肺活量を吸気肺活量(inspiratory vital capacity;IVC)、最大吸気位から最大呼出したときの肺活量を呼気肺活量(expiratory vital capacity;EVC)といい(図 I - 11)、測定した最も大きい値をもって肺活量とする。

正常ならばIVC≒EVCであるが、閉塞性換気障害では空気とらえこみ(air-trapping)現象の影響により、IVC>EVCとなる場合があるので、必ずIVCから測定する。

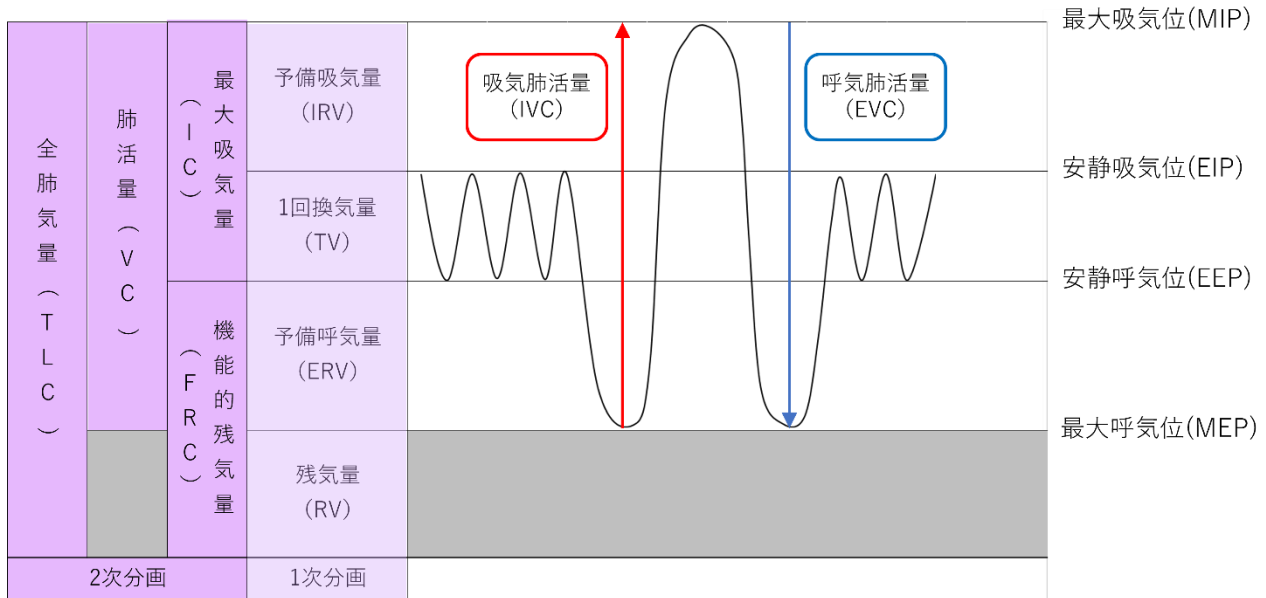


図 I - 11 スパイログラムと肺気量分画の関係

《検査のポイント》

呼吸機能検査は被検者の努力によって検査結果が大きく左右されるため、被検者に検査の目的と検査のやり方を十分説明し、協力してもらうことが必要である。説明では無痛性、安全性、協力の必要性を伝え、最大限の努力を引き出すように、ポイントを絞った分かり易い検査説明と、誘導する掛け声のタイミングが大切である。

(1)検査の説明

【説明の例】

- ・この検査は胸一杯息を吸ったり吐いたりして、肺の大きさや働きを調べます。
- ・痛い検査や危険な検査ではありませんが、何度も行うと大変なので、努力してできるだけ少ない回数で終わるように、一緒に頑張りましょう。
- ・マウスピースを口にくわえてもらいます。ノーズクリップを付けますので、口で呼吸をしてください。
- ・はじめは深呼吸ではなくて、普通に楽な呼吸をして下さい。
- ・呼吸が安定したら掛け声をかけるので、掛け声に合わせて息を吸ったり吐いたりしてください。
- ・途中で口を緩めると息が漏れてしまって、やり直しになるので口を緩めないようにお願いします。

《説明のポイント》

検査説明が長いと、かえって被検者は不安になり、緊張を助長してしまうため、ひと通りの説明後、掛け声をかけるので、それに合わせて最大限吸ったり吐いたりすればいいことを伝える。

測定スピードはゆっくりと行うとした記述が多いが、被検者の安静呼吸に合わせてそのままのスピードで最大呼出させる。患者の中には“ゆっくり=時間をかけての呼吸”と理解される人もいるので注意が必要である。

(2)検査の進め方

掛け声のタイミングを示す(図 I -12)。

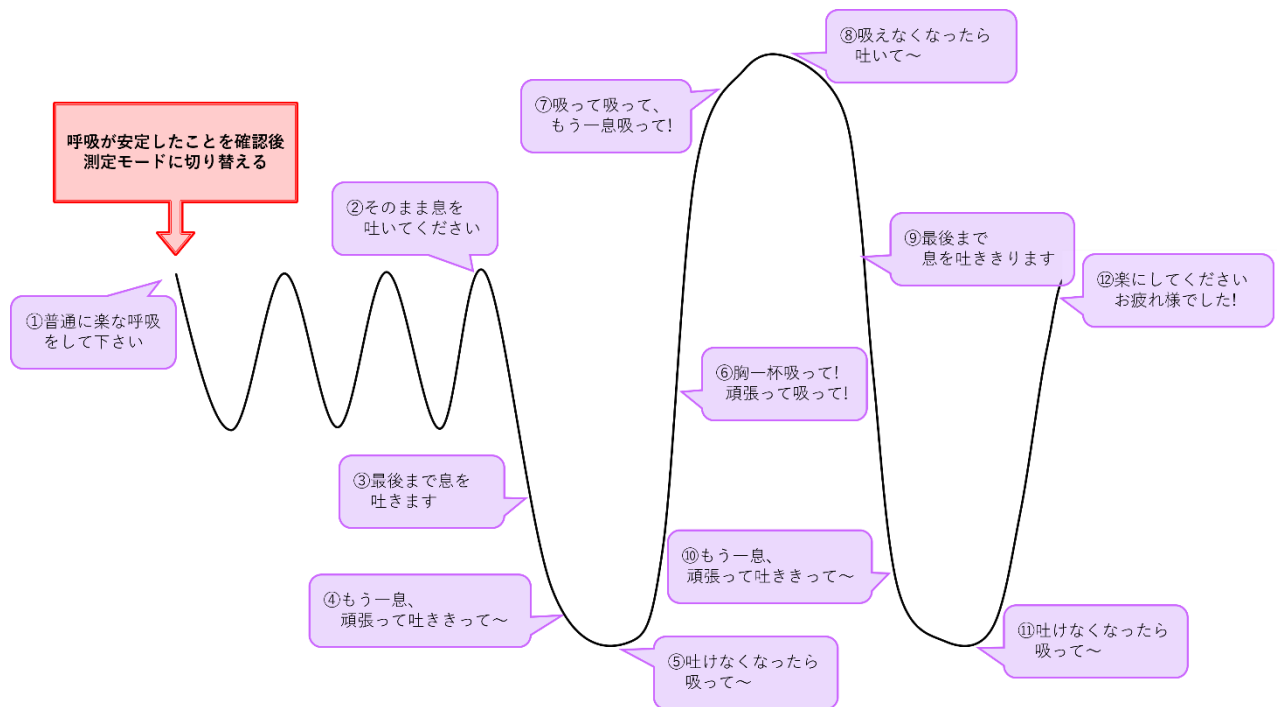


図 I -12 掛け声のタイミングと例

【掛け声のコツ】

被検者の呼吸に合わせて掛け声をかけることが大事である。図 I -12のポイントでのコツを示す。

① 普段は鼻で呼吸するので、鼻をつまんだ状態で口呼吸することを難しく感じ、深呼吸に近い状態の呼吸になることも多い。肩で呼吸をしたり、一回換気量が1Lを超えるようなときは安静換気ができていないため、『深呼吸ではなく、もう少し楽に呼吸してください。』と促す。
また、緊張により徐々に安静呼吸位が上がっていく時は検査を一旦中止し、マウスピースをはずして深呼吸を促し、リラックスさせてから、再度検査を行う。

② 安静呼吸を少なくとも3回以上記録した後、被検者の呼吸に合わせて患者が吐くタイミングで『そのまま息を吐いてください』と声をかける。

④⑦⑩ 途中でやめてしまわないように『もう一息!』と声をかけ、プラトー(モニター上で曲線が水平状態になり、最後の1秒間の呼気変化が0.025L未満)を確認する。

(3)測定に工夫がいる場合

【一度に続けて呼吸できない場合】

状態が悪く、一度に続けてできない場合、2段肺活量(図 I -13)のように最大呼気位と最大吸気位を別々に測定する。

【ストレッチャーに乗っている場合】

被検者が座位になれず、臥位で検査を行うことがある。

臥位では横隔膜の挙上によって座位と比べて肺気量が7~8%減少するとされているため(図 I -14)、やむを得ず臥位にて検査する場合、検査結果に「臥位にて検査実施」などのコメントをいれて結果を報告する。

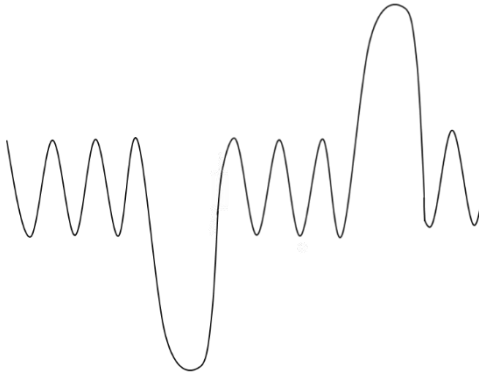


図 I -13 2段肺活量

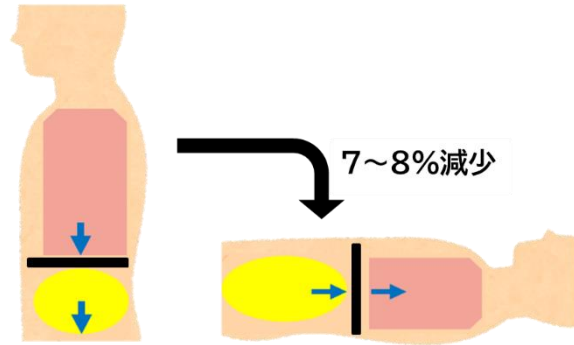


図 I -14 仰臥位による影響

【理解力不足】

十分に説明したにも関わらず、理解が不十分と感じた場合には、画面の呼出中の実際の波形を指さしながら、「もっと下まで吐いて」など視覚で見せるなど、被検者が理解しやすい方法で検査を行う。

【要領が得られない人や幼小児の場合】

実際に検査者がマウスピースをくわえて見せたり、目の前の紙を吹いて見せてから(図 I -15)、被検者にも同じように行ってもらい、練習してから検査にのぞむ。



図 I -15 測定時の工夫

(4)結果の確認

結果の確認を表 I -1に示す。

最良のスパイログラム(安静呼気位が安定しており、最大呼気位と最大吸気位のプラトーが確認でき、 $IVC \div EVC$ である)と、その測定結果を採択する。

ただし、閉塞性換気障害では $IVC > EVC$ となることがある。妥当な2回以上の測定結果で再現性を判断する。

再現性がない場合や測定結果が妥当でない場合は検査をくり返すが、測定回数は最大8回とする。再現性が得られない場合は最大のVCを採択し、報告書に理由を記載する。

表 I -1 肺活量測定(VC手技)の妥当性・再現性と採択基準

	基準
妥当性	モニターのスパイログラム上で以下を確認する ①安静呼気位が安定※ ¹ ②最大呼気位と最大吸気位のプラトー※ ² が確認できる ③吸気肺活量(IVC) \div 呼気肺活量(EVC)※ ³
再現性	妥当な2回以上の測定結果で再現性を判断する 最大VCと2番目に大きいVCの差が0.15L以下および最大VCの10%以下
採択	最大のVCを示した測定結果を採択する

※¹ 安定とは安静呼気位の基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

※² プラトーとはモニター上で曲線が水平状態となり、最後の1秒間の呼気量変化が0.025L未満の場合のこと

※³ 閉塞性換気障害では空気とらえこみ現象(air-trapping)により $IVC > EVC$ となる場合がある

3) 努力肺活量の測定(forced vital capacity;FVC)

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記録できる。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。動的な気道閉塞状況を表す。その波形により各換気障害をパターンで認識することができる。また、末梢気道病変の検出に有用とされる。

このPEFなど呼出の前半は被検者の呼気努力によってその値が増減する(effort dependent)。一方、低肺気量位では被検者の努力に依存せず一定の値をとる(effort independent)。

《検査のポイント》

基本的にはVC測定のポイントと同様であるが、フローボリューム曲線では最大吸気からできるだけ勢いよく吐かせるため、タイミングよい掛け声が重要である。

(1)検査の説明

【説明の例】

- ・この検査は吐き出す力と吸う力を調べます。
- ・痛い検査や危険な検査ではありませんが、何度も行うと大変なので、努力してできるだけ少ない回数で終わるように、一緒に頑張りましょう。
- ・最初は楽な呼吸をしていて下さい。呼吸が安定したら胸いっぱい一気に息を吸ってもらいます。
- ・吸えなくなるまで吸ったらその息を一気に吐き出してもらいます。このとき、吐けなくなるまで吐ききりま
- す。
- ・最後に息を大きく吸い込んで検査終了です。
- ・吸ったり吐いたりするタイミングは指示しますので掛け声に合わせて吸ったり吐いたりして下さい。
- ・一気に吐き出すときは、目の前のティッシュペーパーを遠くに飛ばすように勢いよくお願いします。
(ティッシュペーパーなどを使い吹いて見せて、実際に被検者にも吹いてもらう)

(2)検査の進め方

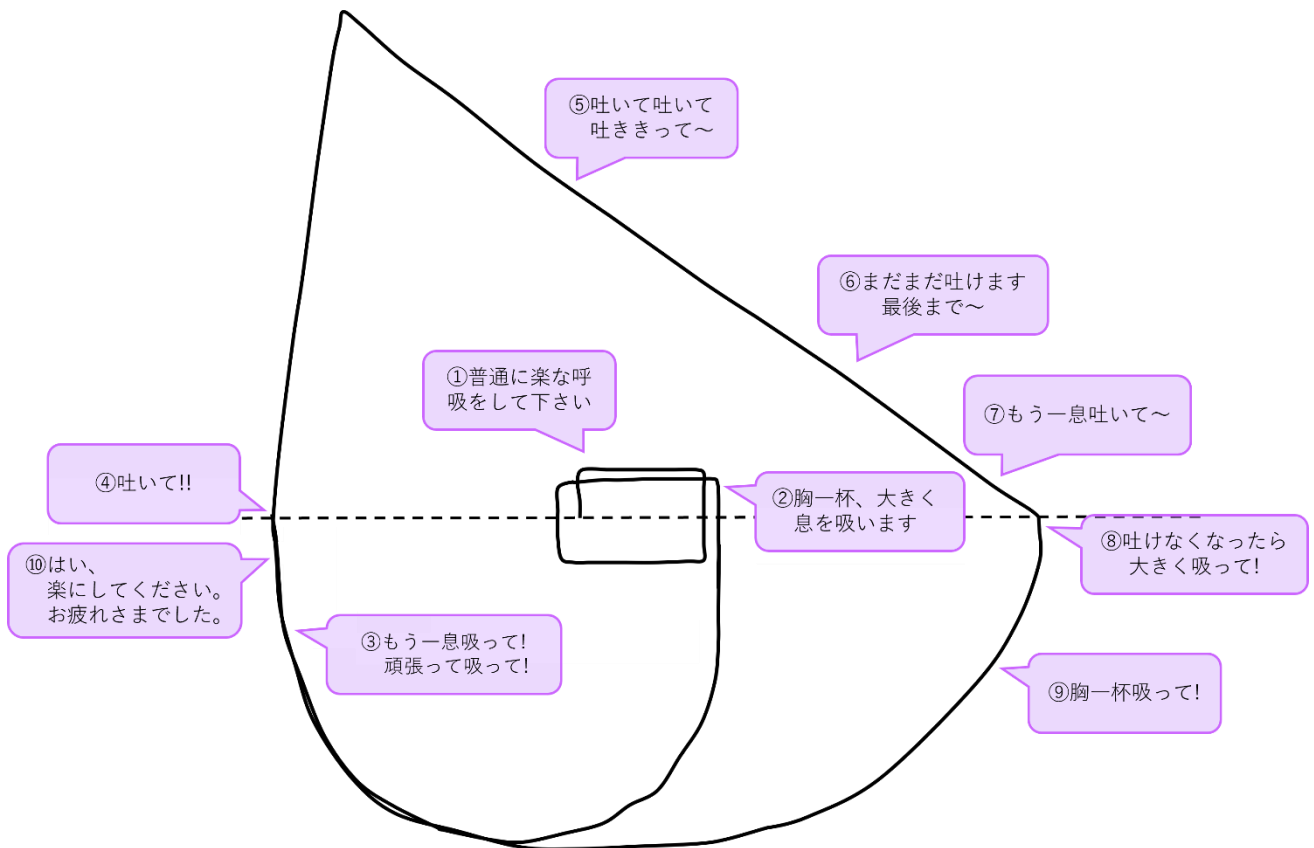


図 I -16 掛け声のタイミングと例

【掛け声のコツ】

被検者の呼吸に合わせて掛け声をかけることが大事である。図 I -16のポイントでコツを示す。

- ③最大吸気位の一步手前でもう一息胸一杯吸わせ、
- ④『吐いて!!』と力強く声をかける。『~してください』などの丁寧な言葉遣いや長い掛け声だとタイミングを逸する場合がある。
- ⑤『吐いて!!』の後も『そのまま吐き続けて~』など声をかけ続ける。沈黙があると途中で止めてしまうことがある。
- ⑥『最後まで~』『もう一息~』と声をかけ、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に声をかけ、最低1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。

先に肺活量測定を行っている場合、その量を出量を目安として声掛けを行う。

閉塞性換気障害患者の場合、努力呼気終末で多大な呼気努力を要し、しかも呼気時間が著明に延長する。そのため、呼気排出がわずかず持続している場合は15秒を超えたら努力呼気を終了とする。努力呼気時は被検者の状態に十分に注意を払う。

【再検時のポイント】

波形を示しながら、良かった点をまず褒め、悪かった点を説明する。悪い点を一気に説明すると、被検者がかえって混乱するので、順を追って説明をする。

例)『量はしっかり吐けていますね。ただ、吐き始めの勢いが足りないので、もっと勢いよく吐き出しましょう。紙を遠くへ飛ばすようなイメージで吐きだしてみてください。』

(3)測定に工夫がいる場合

【咳が出る場合】

休憩をとり、咳を十分に静めてからの測定や咳が出にくい姿勢を工夫し測定を行う。どうしても咳が解消されない場合は手順を十分に理解してもらった上で、自分でやってもらい、検査者がそのタイミングに合わせて掛け声をかける。また、報告書には『咳込みあり、休憩を取りながら実施しました』など被検者の状態を記載する。

【きつい・息切れなどの訴えが強い場合】

『何回も検査を行うと大変なので、1回で終わるようにしましょうね』、『〇〇さんの今の状態を検査数値に表して先生に確認してもらいましょうね』など声をかけ、最小回数で終わるように十分な説明をし、理解・協力してもらう。また、結果が不十分な場合は報告書に『きついとの訴え強く、検査を行った中で最良値です』などと記載する。

【吐き出しに勢いがいない場合】

実際に検査者が目の前の紙を吹いてみせる(図 I-17)。被検者にも同様に吹いてもらい、練習してから検査に臨む。

【声を出したり、マウスピースを噛んでしまう場合】

やや上向き加減で吐かせたり、口をすぼませて吐かせる。

【最後まで吐けない場合】

勢いよく呼出する時に、喉に力が入っている場合は最大呼気位まで吐ききれなかったり、2段吹きになりやすいので、喉の力を抜き、おなかに力を入れて勢いよく吐かせる。また、少しスピードを落とした状態で最後まで吐かせる練習をしてから徐々に勢いを増していき、最大呼出の練習をする。

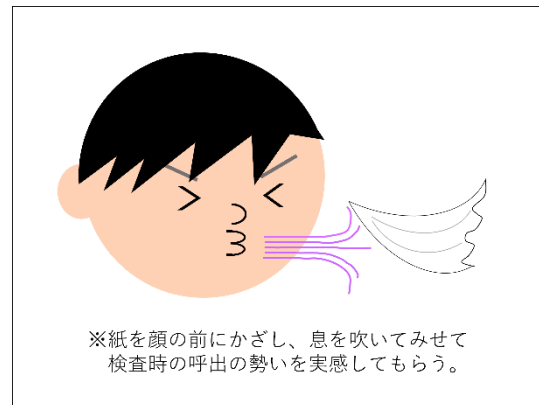


図 I-17 測定時の工夫

【耳が不自由な場合】

身振り手振りも交えて誘導し、吐き出すタイミングの合図(肩をたたくなど)を決めておく。

(4)結果の確認

結果の確認を表 I -2 に示す。

最良のフローボリューム曲線(ピークが高く、外挿気量(Back Extrapolated Volume; BEV)(図 I -18)が少なく、最大努力を得られているもの)をベストカーブとし、その測定結果を採択する¹⁾。ベストカーブ採択にあたり、FVC と FEV₁ との和がより大きいことも参考にする。ただし、閉塞性換気障害があると、最大努力より弱い呼吸をした場合、FEV₁ が大きくなることもある。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の測定結果を採択する¹⁾。

再現性が得られない場合、採択の判断が難しい場合は検査を繰り返すが、1 度の検査では最大 8 回までにとどめ、最良の 3 回分の記録を保存する¹⁾。

【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% を超えて大きい場合は VC 測定の努力不足が考えられるため再検査する。

【再現性が得られない場合の結果の採択】

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、気管支喘息等では努力呼吸により気道攣縮が起こり、測定を繰り返すごとに閉塞が強くなることもある。そのため、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だわらず、最大 FVC、良好な F-V 曲線を採択し、その理由を報告書に記載する。

被検者の状態から十分な検査回数を実施できない、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。被検者の理解があり、疲労がなければ検査回数の上限を超えてもよい¹⁾。

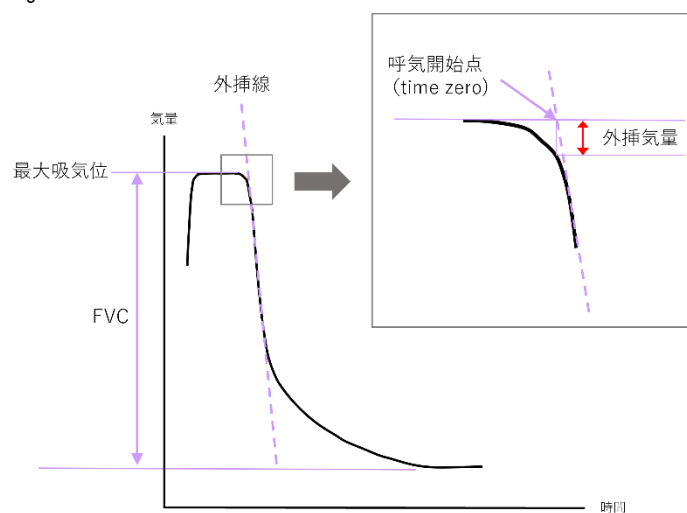


図 I -18 外挿気量(back extrapolated volume)

※外挿気量(Back Extrapolated Volume; BEV)

努力呼吸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努力呼吸開始の起点 (time zero) とする。

呼吸開始点における呼気量を外挿気量という。外挿気量が FVC の 5% あるいは 0.10L のいずれか大きな値以上の場合、呼吸開始不良と判断する。

表 I -2 努力肺活量測定(FVC 手技)の妥当性・再現性と採択基準

	基準
妥当性	<p>①フローボリューム曲線のパターンが良好</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最大吸気、呼気開始、ピーク、最大呼気努力の確認が得られている ・アーチファクト(咳や声出しなど)がない <p>②呼気開始が良好</p> <ul style="list-style-type: none"> ・外挿気量が 0.10L あるいは FVC の 5%のいずれか大きい値より少ない <p>③十分な呼気</p> <ul style="list-style-type: none"> ・呼気プラトー(最低 1 秒以上呼気量の変化が 0.025L 未満)の確認 ・プラトーにならない場合は呼気時間が 15 秒以上 <p>④FIVC と FVC の差が小さい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・FIVC-FVC が 0.10L あるいは FVC の 5%のいずれか大きい値より少ない
再現性	<p>①妥当な測定結果 3 回のフローボリューム曲線のパターンを比較</p> <p>②最大の FVC と 2 番目に大きい FVC の差が 0.15L 以下</p> <p>③最大の FEV₁ と 2 番目に大きい FEV₁ の差が 0.15L 以下</p>
採択	<p>ピーク到達までの呼気量が少なく、ピークフローが大きい、呼気努力の最も良好な曲線の測定を採択(FVC と FEV₁ との和がより大きいことも参考にする)</p>

4. 検査結果の評価と疾患

1) 肺活量の評価

肺活量は性別、年齢、身長により異なるので、%VC で評価する。疾患における臨床評価の他、健常人における身体能力的な面の大枠の評価にも用いられる³⁾。

2) 努力肺活量の評価

1 秒率(FEV₁%)を評価する。1 秒量(FEV₁)が量的な指標であるのに対し、FEV₁%は VC(または FVC)との比率であり、質的な評価の意味をもつ。

COPD などの閉塞性肺疾患患者では、十分な努力呼気で十分に時間をかけて呼出を行っても VC より FVC が小さくなる場合がある(図 I -19)。緩徐な呼吸では起きないような強い気道閉塞が努力呼気で起こってしまった場合、その気管支部位よりも末梢の肺胞の空気が閉じ込められること(dynamic compression)に起因している³⁾。このような現象は空気の捉えこみ現象(air trapping)とよばれ、ATI(air trapping index)はその指標とされる。

$$\diamond \text{ATI}(\%) = [(VC - FVC) / VC] \times 100$$

※通常、健常者では 5%以下である

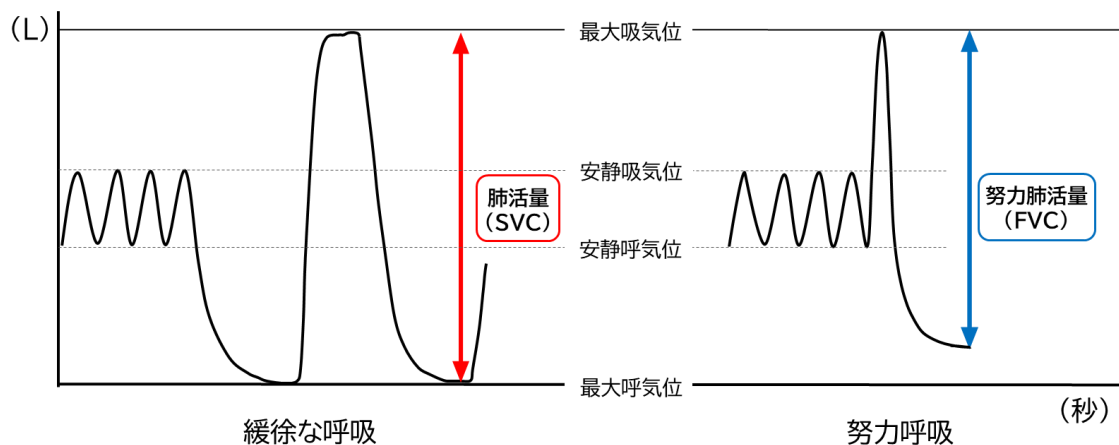


図 I -19 空気の捉えこみ現象(air-trapping)

3) フローボリューム曲線の評価

病態によって特徴的な曲線のパターンを示すことから、病態ごとのパターン認識が可能である(図 I -20)。

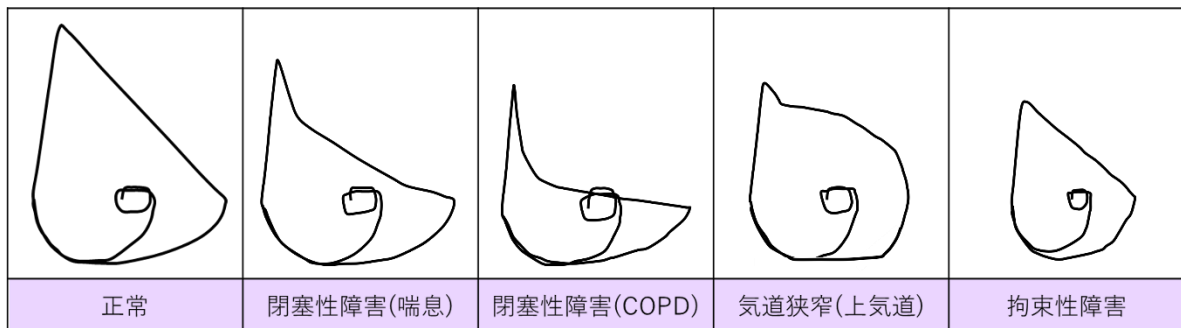


図 I -20 フローボリューム曲線パターン

4) 換気機能の診断

%VCと1秒率を用いて呼吸機能の障害パターンが診断される。

%VCは80%未満を拘束性換気障害と診断し、1秒率は70%未満を閉塞性換気障害と診断する。

(FEV₁%は通常 Gaensler の1秒率(FEV₁/FVC)を用いるが、Tiffeneau の1秒率(FEV₁/VC)を代わりに用いた場合でも、70%を基準値にする³⁾)。

また、両者の合併(%VC80%未満かつ1秒率70%未満)は混合性換気障害と診断される(図I-21)。

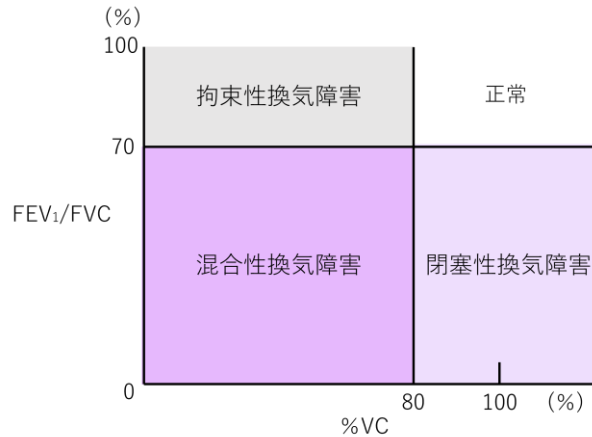


図 I-21 換気機能診断図

【拘束性換気障害をきたす疾患】

◇肺内因子

肺実質の減少: 肺切除、肺炎、無気肺、肺水腫

肺組織の硬化: 間質性肺炎、肺線維症、じん肺、肺結核後遺症

残気量の増加: 肺気腫

◇肺外因子

胸郭の硬化: 漏斗胸、胸郭形成術後、脊椎側弯症、胸膜炎、胸膜肥厚

横隔膜の伸展の制限: 腹水、高度の肥満、妊娠

神経呼吸筋の異常: 筋委縮性側索硬化症、重症筋無力症、多発筋炎、ポリオ

【閉塞性換気障害をきたす疾患】

◇気道狭窄: 気管支喘息、慢性気管支炎、びまん性汎細気管支炎、気管支拡張症、肺癌による気道閉塞など

◇上気道の閉塞: 喉頭腫瘍、甲状腺腫瘍、声門水腫、声帯麻痺など

◇肺弾性収縮力の減弱: 肺気腫、肺のう胞症など

5. 精度管理とメンテナンス

最近の呼吸機能測定装置はコンピュータ内蔵で較正(キャリブレーション)も半自動化されている。しかし、較正シリンジや既知健常者を用いて、機器が正確に作動していることを定期的を確認することは精度管理上重要である(表 I-3)。以下に一般的な精度管理及びメンテナンスについて述べるが測定機器や原理の違いにより異なるので、詳細は必ず機器に付属している説明書に従う。

※較正シリンジには容量が 3L あるいは 2L のものがあり、抱えるとシリンジ内の空気が暖まり不正確となるため、机などにおいて使用する。また、シリンジの引き終わりおよび押し終わりは、強く当てると誤差を生じるため注意する。気量が期待値の $\pm 3\%$ 以内であることを確認する。

1) 気流型スパイロメータ

(1)精度管理

装置を安定させる為、電源投入後 10 分以上ウォームアップ時間をとる。

気温 37°C、気圧 760mmHg と入力する(BTPS 係数を 1.00 にするため)。

毎日、検査前に3L(あるいは2L)の較正シリンジを用いて気量の較正と、精度確認(VC が期待値の $\pm 3\%$ 以内であることを確認する)を行う。

(2)メンテナンス

検査終了後、センサーの洗浄を行い、清潔に保つ。洗浄方法は各説明書に従い、洗浄後は完全に乾燥させてから使用する。



図 I-22 換気機能診断図

2) 気量型スパイロメータ

(1)精度管理

装置を安定させる為、電源投入後 30 分程度ウォームアップ時間をとる。

気温 37°C、気圧 760mmHg と入力する(BTPS 係数を 1.00 にするため)。

毎日、検査前に3L(あるいは2L)の較正シリンジを用いて精度確認(VC が期待値の $\pm 3\%$ 以内であることを確認する)を行う。

(2)メンテナンス

①蛇管の洗浄:スパイロフィルターを患者毎に交換し、検査終了後毎日あるいは週 1 回は必ず行う。

②バル内部の清拭:被検者毎に十分な回路内の洗い出しを行い、検査終了後清拭し、乾燥させる。



図 I-23 換気機能診断図

表 I -3 機器の点検

<p>毎日</p>	<p>〈使用前〉</p> <ul style="list-style-type: none"> ・十分なウォーミングアップ ・コンピュータの動作確認 ・機器の清浄が保たれていること ・環境データ(気温・湿度・気圧)入力 ・気量の較正と精度管理 	<p>〈使用后〉</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電源スイッチ OFF ・機器の清浄と消毒
<p>週に 1 回</p>	<p>・既知健常者による測定値の精度確認</p>	
<p>月に 1 回</p>	<p>・電源コードとプラグの安全点検</p>	
<p>年に 1 ~2 回</p>	<p>・機器メーカーによる定期点検</p>	

memo

II . 精密呼吸機能検査

1. 用語の定義

1) 機能的残気量(Functional residual capacity;FRC)

機能的残気量(FRC)は、安静呼気位において肺・気道系に存在する空気量である¹⁾。若年成人では全肺気量(TLC)の約50%の位置にあり、静的状態(吸気筋も呼気筋も収縮していない状態)において、肺の弾性収縮力と胸郭の弾性拡張力の釣り合いで決定される。肺気量分画のうち最も安定している肺気量位であるため、呼吸機能検査において基準位とみなされる¹⁾。

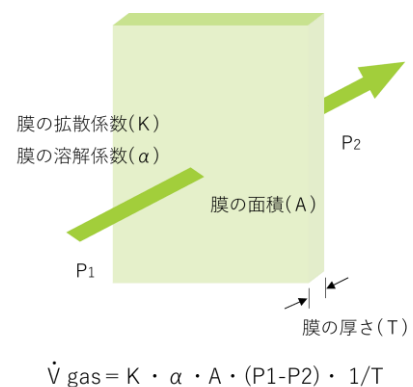
FRCは気道および肺胞の虚脱を防ぎ、呼吸サイクル内、あるいは換気パターンの変化に伴う肺胞気ガス組成の変動を緩衝する機能がある。すなわち、FRCの大きさはガス交換と密接に関連している。拘束性換気障害においては、肺の弾性収縮力増強によりFRCは減少する。FRCが減少すると肺胞表面積の減少からガス交換の効率が低下し、病態が進行すると低酸素血症をきたす。閉塞性換気障害においては、末梢気道閉塞による空気捉えこみや、肺胞壁の破壊に伴う気腫化によって肺コンプライアンスが上昇し、FRCは増大する。FRCの増大は肺が過膨張状態であることを意味し、換気効率が低下する。FRCの変化は、肺弾性収縮力・胸郭弾性拡張力の変化や、気道閉塞を示唆する。

2) 残気量(Residual Volume;RV)

最大呼気位において肺・気道系に存在する空気量である。最大呼気状態(呼気筋が最大にはたらいっている状態)において、呼気筋力・肺の弾性収縮力・胸郭の弾性拡張力の釣り合いで決定される。閉塞性換気障害においては呼気時の気道閉塞によりRVは増大する。拘束性疾患では肺の弾性収縮力が増加するためRVは低下する。また神経筋疾患においては呼気筋の収縮力が低下するためにRVは増大する。

3) 肺拡散能(Diffusing capacity of the lung for carbon monoxide;DLco)

拡散とは「ある分子の濃度分布に勾配があるときにその分布を平衡に近づけるよう分子が移動する物理的な現象」である。肺における肺拡散能力とは、「肺胞から肺毛細管内の赤血球へのガス拡散のしやすさ(Diffusing capacity of the Lung)」と規定されている。ガスの拡散量は、 $\dot{V}_{\text{gas}} = K \times \alpha \times A \times (P_1 - P_2) \times 1/T$ と表される(図II-1)⁴⁾。すなわちガスの拡散量は、膜の拡散係数(K)・膜の溶解係数(α)・膜の面積(A)・組織の両側における分圧差($P_1 - P_2$)に比例し、膜の厚さ(T)に反比例する。



図II-1 組織を介するガスの拡散

一般に肺拡散能力は、肺胞気と毛細血管血液内の赤血球との間に分圧較差があるとき、1 分間に肺胞壁及び血管壁を通過するガス量として表される。生理的あるいは病的な状態で知りたいのは酸素(O_2)の拡散能力であるが、肺胞及び毛細血管内の平均酸素分圧差を求めることは技術的に困難である。そのため、 O_2 と同様の拡散動態を示す一酸化炭素(CO)を指示ガスとして用い、CO の拡散能力(DLco)を測定している。(毛細管内の CO 濃度は 0%であり、肺胞気のCO濃度は肺胞希釈度より計算でき、肺胞一毛細管分圧較差を求めることができる)

4) VA と VA' DLco と DLco' の違い

肺拡散能力を計測するためには、指示ガスであるCOの希釈濃度を求める必要がある。このためには肺胞気量の測定が必須である。肺胞気量を求める方法は 2 つあり、求め方によって肺胞気量の表記を VA と VA' に分けている。

VA:He 希釈法で得られた FRC 測定をもとに計算された RV に、DLco 測定時に四種混合ガスを吸入した量 (V_I)を加算して求める肺胞気量。

VA' :DLco 測定時に吸入した四種混合ガス中の He 希釈率を使って求める肺胞気量。

VA を用い計算した肺拡散能力を DLco と表記し、VA' を用い計算した肺拡散能力を DLco' と表記する。

5) DLco/VA

DLco の測定値は肺胞面積に依存する。肺胞面積が大きければ高く、小さければ低く算出される。このため DLco を肺胞気量で除することで、単位体積(1L)あたりの DLco を評価することができる。すなわち、手術で肺の一部を切除して肺胞面積が減って DLco が低下しても、残存する肺胞の“膜”としての透過性が正常であれば、DLco/VA は正常範囲に落ち着く。間質性肺炎では DLco が低下するが、VA も低下する。このため DLco/VA の値は正常となることもあり、低下することもある。気腫優位型 COPD では DLco が低下するが、VA が著明に増大する。このため DLco/VA は著しく低下する。このため DLco と DLco/VA をあわせて評価することが重要である。※DLco/VA は transfer coefficient(KCO)と記載されることもある¹⁾。

2. 測定原理

1) 機能的残気量(FRC) ガス希釈法(He 閉鎖回路法)

不活性ガス(肺胞気から血液へ拡散しないガス分子)を利用して、その希釈率より FRC を求める方法¹⁾
(図 II-2)。

計測機器を既知濃度の指示ガスで満たしたのち、安静呼気位(FRC)で開放し反復呼吸させると、通常 4 分以内に指示ガス濃度が平衡に達する(疾患によっては延長する)。平衡時における指示ガスの濃度変化から機能的残気量を算出できる。指示ガスとしてヘリウム(He)を用いる。

V_1 :測定前装置内のガス容量

V_2 :機能的残気量(FRC)

C_1 :測定平衡前装置内の指示ガス濃度

C_2 :測定平衡後の指示ガス濃度

とすると、平衡前後で指示ガスの量は不変なので、

$$\text{指示ガス量} = V_1 \cdot C_1 = (V_1 + V_2) \cdot C_2$$

したがって、 $V_1 \cdot C_1 \cdot C_2$ を実測すると V_2 (FRC) を求めることができる。

$$\text{FRC} = (C_1 - C_2) / C_2 \cdot V_1$$

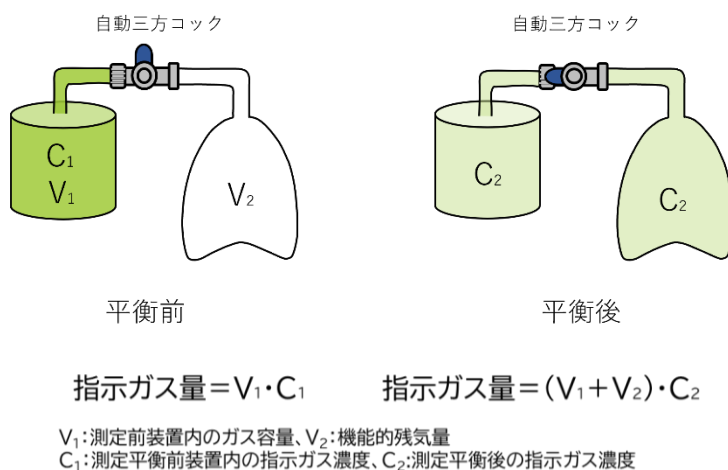


図 II-2 指示ガス希釈法によるFRCの測定原理

2) 肺拡散能(DLco) 1回呼吸法(Single breath method ;SB 法)

被検者に4種混合ガスを最大呼気位(RVレベル)から一気に吸入させ、10秒間の息こらえののち、死腔の影響の多いはじめの750mLを捨てたのち0.5~1Lの肺胞気を採取して解析する。吸入気のCO濃度(FICO)、He濃度(FIHe)および呼出肺胞気のCO濃度(FACO)、He濃度(FAHe)を測定する。

CO吸入直後の肺胞気CO濃度をFACO(0)、t秒後のCO濃度をFACO(t)、CO吸入後の肺胞気量をVA(STPD)、大気圧をPBとすると、FACO(t)はKroghの式より、

$$FACO(t) = FACO(0) \cdot \exp(-DLco \cdot (PB-47) \cdot t / VA \cdot 60)$$
と表される。

したがってDLcoは、

$$DLco = VA \cdot 60 / (PB-47) \cdot t \ln FACO(0) / FACO(t)$$

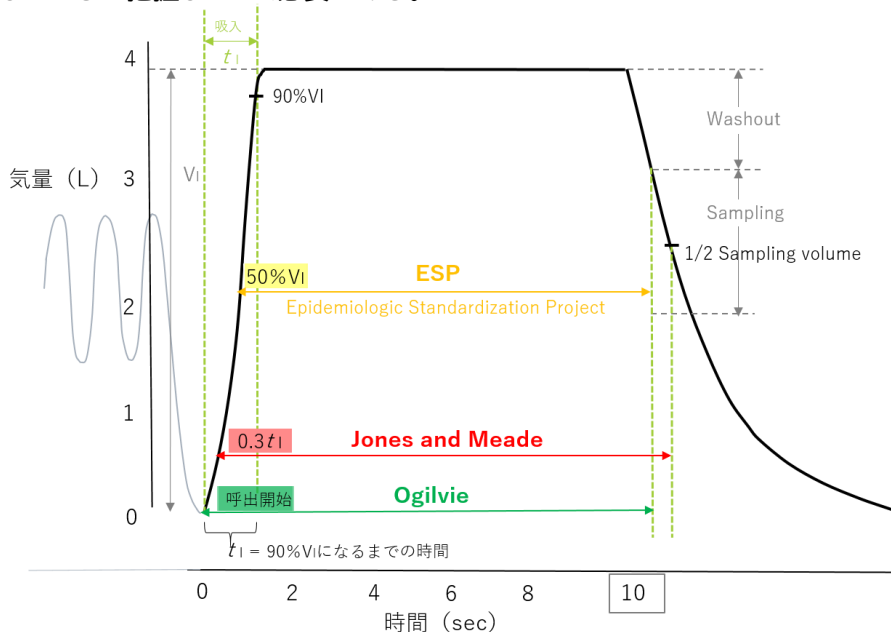
で表される¹⁾。



Note:息こらえ時間(breath holding time;B.H.T.)

DLcoは、ある一定の肺胞気量(VA)における指示ガスの濃度(CO分圧)が一定時間内にどの程度低下するかによって計算される。VAを保つ時間が息こらえ時間であり、およそ10秒と規定してある。

息こらえの開始点と終了点のタイミングとして、Ogilvie法、Jones and Meade法、ESP法があり(図II-3)、ATS/ERSではJones and Meade法を推奨している。バルブ開閉のタイミングや肺胞気の採取・測定・計算は、あらかじめ設定した息こらえ時間(B.H.T.)にそって自動的に計測される。自施設がどの方法を採用しているか把握しておく必要がある。



図II-3 息こらえ時間の設定

3) 精密呼吸機能検査の装置

(1) ガス分析計

ヘリウム分析計、一酸化炭素分析計、窒素分析計(解放式機能的残気量測定時、クロージングボリューム測定時)の3つの分析計を使用する。

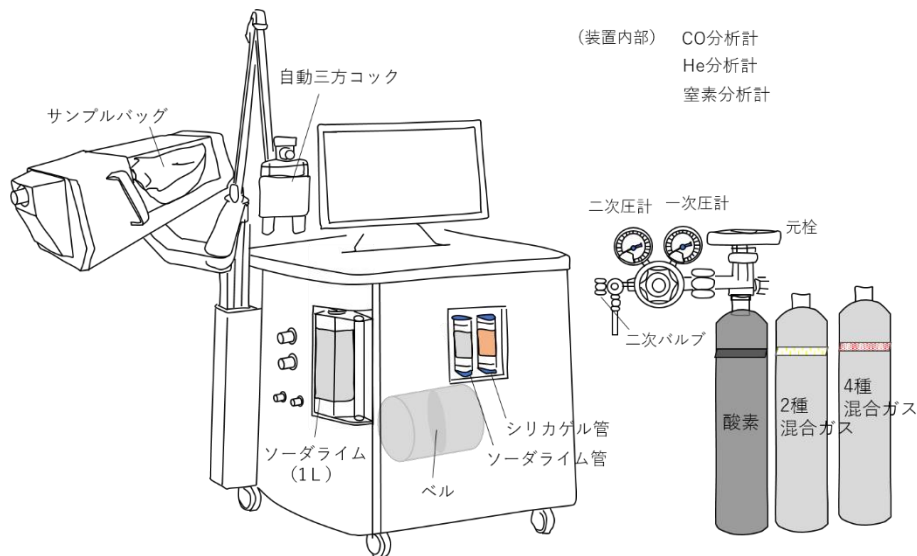
(2) 混合ガス

・2種混合ガスの組成

ガスの種類	濃度
ヘリウム(He)	10.0%
酸素(O ₂)	21.0%
窒素(N ₂)	バランス

・4種混合ガスの組成

ガスの種類	濃度
一酸化炭素(CO)	0.3%
ヘリウム(He)	10.0%
酸素(O ₂)	21.0%
窒素(N ₂)	バランス



図Ⅱ-4 精密呼吸機能検査装置の構造

(3) シリカゲル・ソーダライムの役割

① 閉鎖回路法の FRC 測定用ソーダライム(1L)

呼気ガス中の CO₂ を吸収する目的で使用され、閉鎖回路内の CO₂ 濃度の上昇を抑えている。

ソーダライムの劣化は回路内の CO₂ 濃度を上昇させ、検査中の息苦しさの原因となる。

② ガス分析用のソーダライム

サンプルガス中の CO₂ を吸収する目的で使用される。

ガス分析用ソーダライムの劣化は、He 濃度・CO 濃度測定へ影響を及ぼす。

③ ガス分析用のシリカゲル(除湿剤)

サンプルガス中の飽和水蒸気を吸収する目的で使用される。

3. 測定の実際

1) 検査前準備

測定装置・ガス分析計を安定させるため、使用する 30 分以上前に電源を入れる。

呼吸機能検査は被検者の努力に依存する検査であり、インフォームドコンセントの実践が重要な検査といえる。

被検者の十分な理解と協力により、少ない回数で正確な検査結果を導くことになる。被検者への十分な説明と、理解を確認しながら検査を進めていくことが大事となる。また、検査前に被検者情報を行うことも大切なことである。

(1)患者情報の確認

・酸素吸入の有無

・運動直後や摂食直後でないか

肺血液量の変化を招き DLco に影響するとされており、測定は避けるべきである。少なくとも食後 2 時間以内は検査を控えることが望ましい¹⁾。

・喫煙の有無

喫煙直後はタバコ主流煙中の CO による貧血効果(CO₂Hb は O₂ と結合できない)により 24 時間前から禁煙していることが望ましい¹⁾。

・飲酒の有無

飲酒についても 4 時間以上は空いていることが望ましい¹⁾。

・貧血の有無

貧血のある症例では DLco を補正する必要があるので、なるべく検査と近い日のヘモグロビン値が必要である。

(2)測定体位と姿勢

・基本的に座位で行う。異なる体位で行った場合には報告書に記載する。

・椅子に深く腰掛けていただき、背筋を伸ばした一定の姿勢で検査するよう指示する。きつく締め付ける下着・ベルトなどはゆるめてもらう。コルセットに関しては、外してはいけない場合もあるので確認する。

2) 機能的残気量(FRC)の測定 He 希釈法

(1)検査の説明

【説明の例】

- ① 安静呼吸の状態で肺の中にある空気の量を測定する検査です。
- ② 楽な呼吸を 3～4 分行い、そのあと肺活量を測定します。
- ③ 口から空気が漏れないよう、検査中は口を開かないようにしてください。
- ④ 検査中に苦しくなったら手を上げて合図してください。

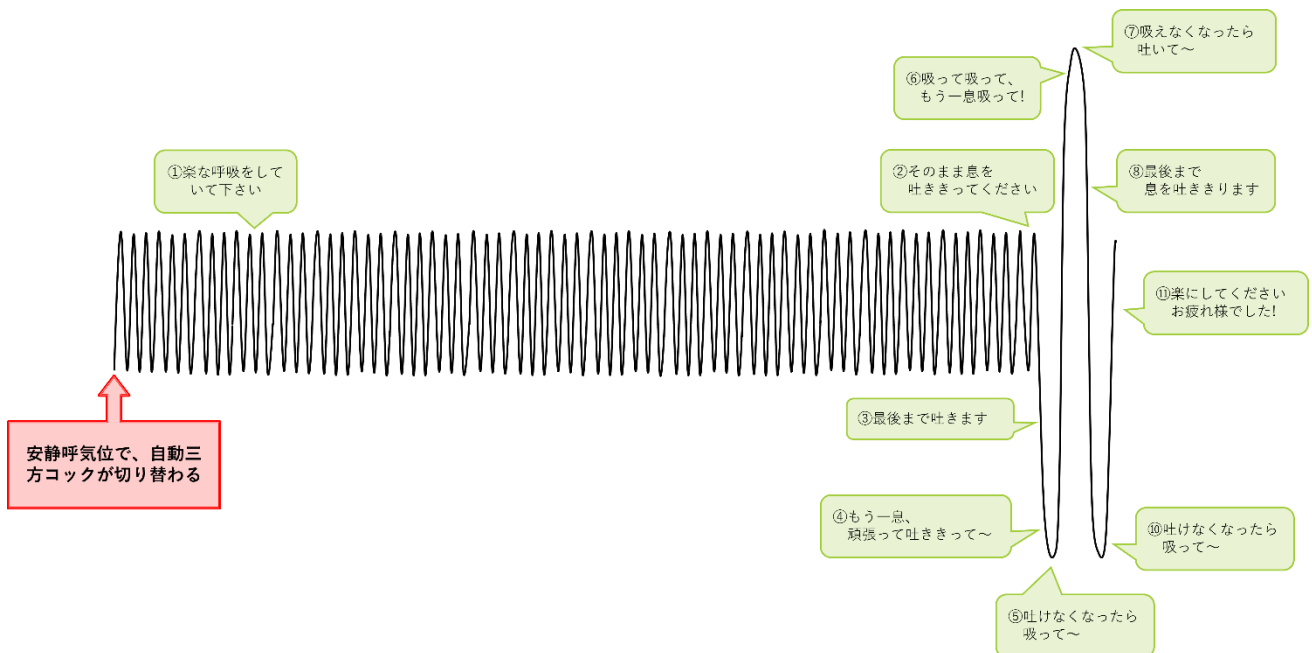
*以上のような説明をしてから、ノーズクリップで鼻をおさえ、被検者に密着性の良いマウスピース(つば付きのシリコン製マウスピースが望ましい)をくわえてもらい、安静呼吸の練習を行う(安静呼気位の違いは FRC の測定値に影響するため)。

《説明のポイント》

測定中は一定の体位を保つこと・マウスピース周囲からの漏れに注意が必要であることを十分に説明する。

(2)検査の進め方

掛け声のタイミングを示す(図Ⅱ-5)。



図Ⅱ-5 掛け声のタイミングと例

- ① 普通に楽な呼吸をしてください
- ② そのまま息を吐ききってください
- ③ 最後まで吐きます
- ④ もう一息、頑張って吐ききって～
- ⑤ 吐けなくなったら吸って～
- ⑥ 吸って吸って、もう一息吸って！
- ⑦ 吸えなくなったら吐いて～
- ⑧ 最後まで息を吐ききります
- ⑨ 吐けなくなったら吸って～
- ⑩ 楽にしてください。お疲れ様でした！

- i) 座位で背筋を伸ばし、肩の力を抜き、マウスピースをくわえた状態で漏れのないことを確認する。
- ii) 安静呼気位・一回換気量を確認し、安静呼気位で三方コックを切り替え、検査を開始する。
- iii) 測定中はたえず患者の口元・He 曲線を確認し、安静呼気位が安定して漏れがないことを確認する。
- iv) He 濃度が平衡に達したところで、安静呼気位で三方コックを切り替え、肺活量を測定して検査終了する。

(3)工夫がいる場合

①酸素吸入患者への対応

閉鎖回路内の酸素濃度は約 20%に調整されているため、酸素吸入をしている被検者においては、He 濃度が平衡に達する前に低酸素血症になる恐れがある(表Ⅱ-1)。そのため、このような被検者においてはパルスオキシメータで酸素飽和度を確認しながら測定することが望まれる。(SpO₂が 85%以下になったら中止など自施設で運用を設定しておく)

酸素濃度をあらかじめ高く設定できる機種を使用している場合、被検者の酸素吸入濃度に合わせて設定を変更し測定することも可能である。

表Ⅱ-1 酸素流量と吸入酸素濃度

カニューレでの酸素吸入		マスクでの酸素吸入	
酸素流量 (L/分)	吸入酸素濃度 (%)	酸素流量 (L/分)	吸入酸素濃度 (%)
1	24	5~6	40
2	28	6~7	50
3	32	7~8	60
4	36		
5	40		
6	44		

※一回換気量500mL/秒の場合

- ② 耳からの空気の漏れが疑われる場合、耳栓を使用もしくは両耳の穴を指で押さえて測定する。
- ③ 涙道からの空気の漏れが疑われる場合、目頭を指で押さえて測定する。

(4)結果の確認

①漏れないこと(図Ⅱ-6)

呼吸の変化にあった He 濃度の変化を示し、一般的にはスムーズに低下を示す(はじめ急峻で、測定後半で緩やかになる)。漏れがある場合、不自然な He 濃度の低下を認める。

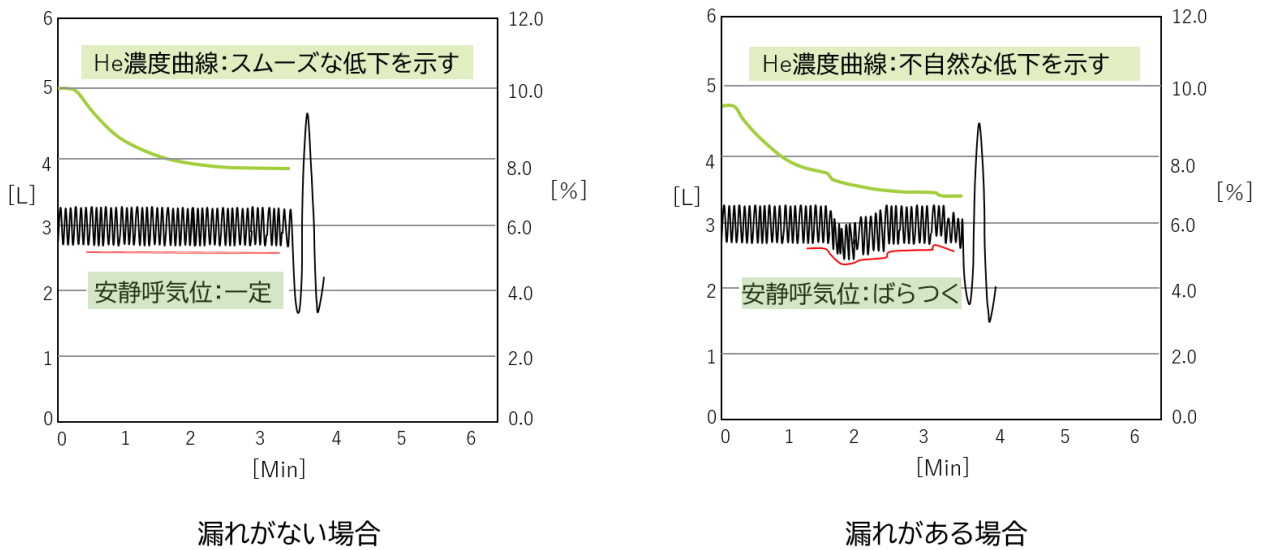
②一回換気量・安静呼気位が一定であること

③病態との関係

- ・一般的に拘束性換気障害では FRC 減少を認め、閉塞性換気障害は増加を認める。
- ・検査時間は、健常者で 3~4 分、閉塞性換気障害の場合は 4~6 分程度であり、7 分を超えることはまれである¹⁾。

④再検査時の注意

肺および気道内に残留した He ガスを排出するため 5 分以上間隔をあける。



図Ⅱ-6 空気漏れによる変化

3) 肺拡散能(DLco)1回呼吸法(Single breath method;SB法)

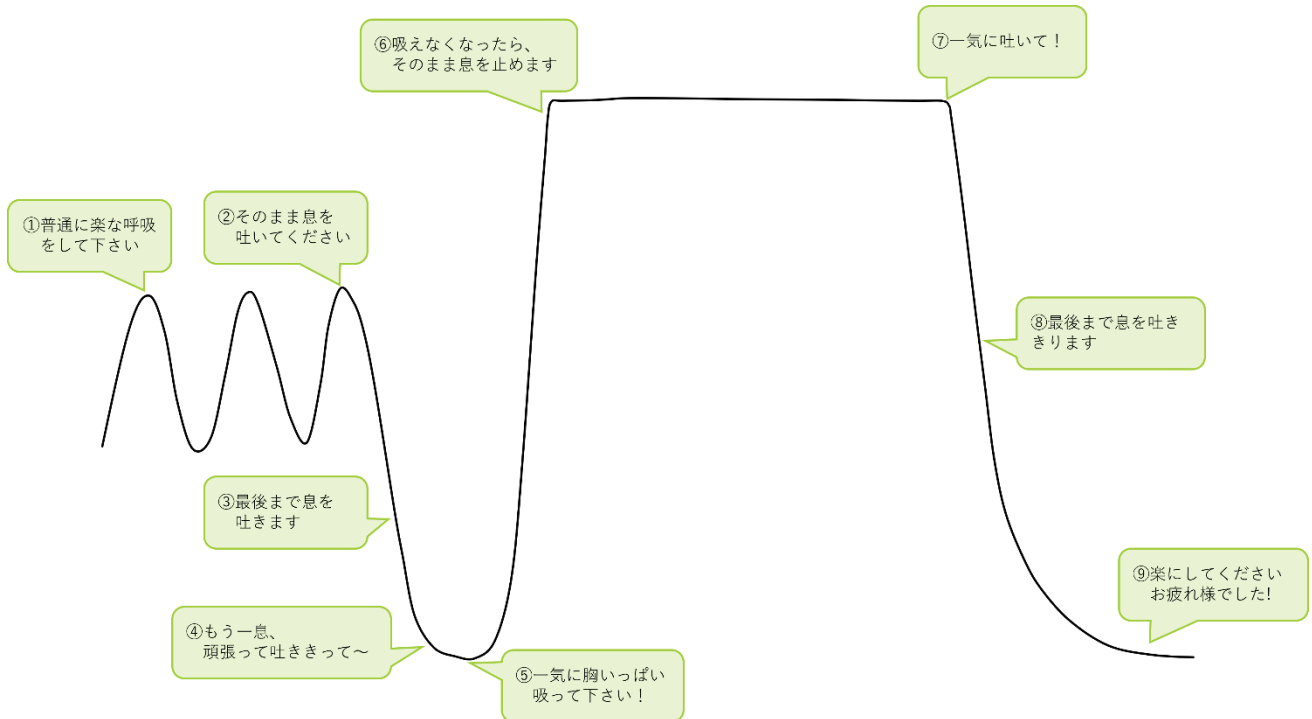
(1)検査の説明

【説明の例】

- ・肺から血液にどのくらい酸素が取り込まれるか調べる検査です。
- ・痛い検査や危険な検査ではありませんが、何度も行うと大変なので、努力してできるだけ少ない回数で終わるように、一緒に頑張りましょう。
- ・マウスピースを口にくわえてもらいます。ノーズクリップを付けますので、口で呼吸をしてください。
- ・呼吸が安定したら掛け声をかけるので、掛け声に合わせて息を吸ったり吐いたりしてください。
- ・途中で10秒間の息こらえをしますが、そのときは体に力を入れすぎず、なるべくリラックスした状態で息こらえをするようにしてください。
- ・途中で口を緩めると息が漏れてしまって、やり直しになるので口を緩めないようにお願いします。

(2)検査の進め方

掛け声のタイミングを示す(図Ⅱ-7)。



- ① 普通に楽な呼吸をしてください
- ② そのまま息を吐いて下さい
- ③ 最後まで息を吐きます
- ④ もう一息、頑張って吐ききって～
- ⑤ 一気に胸いっぱい吸って下さい！
- ⑥ 吸えなくなったら、そのまま息を止めます
7、6、5、4、…1
- ⑦ 一気に吐いて！
- ⑧ 最後まで息を吐ききります
- ⑨ 楽にしてください。お疲れ様でした！



図Ⅱ-8 検査時の姿勢

- i) 座位で背筋を伸ばし、肩の力を抜き、マウスピースをくわえた状態で DLco ユニットの高さを調整する(図Ⅱ-8)。
- ii) 4～5 回の安静換気をさせ、その後最大呼気位(RV レベル)まで呼出させる。
- iii) 最大呼気位までの呼出を確認後、4 種混合ガスを最大吸気位(TLC レベル)まで一気に吸入させる。
- iv) TLC レベルで 10 秒間息こらえをさせたのち、できるだけ早く呼出させ、呼気ガスの採取を行う。

(3)工夫がいる場合

①VC が 2L 未満の低肺気量の症例

Washout volume(洗い出し量)、sampling volume(サンプリング量)を減量して測定する。ATS/ERS 基準では、washout volume を 0.5L、sampling volume を 0.5L まで下げても良いとしているが、測定機種により異なるため、メーカーに確認して施設内で統一しておく。サンプリング量を減らした場合はガス測定終了時にサンプルバッグ内にガスが残っていることを確認する²⁾。また、洗い出し量・サンプリング量を減量した場合は報告書に記載する。

VC が 1L 未満の場合は、検査不能とするもしくは参考値で報告など、施設内で対応を決めておく。

②酸素吸入患者の対応

可能であれば 5 分以上酸素吸入を中止したのちに測定することが望ましい

③検査手技のタイミングがつかめない

再度、SVC や FVC の測定を行い、吸気・呼気のタイミングを練習する

(4)結果の確認

結果の確認を表Ⅱ-2に示す。

測定を繰り返すことで血中にCOが残存し、DLco測定値は下がる傾向にあるため、再検査は4回以内にとどめる。

吸気が4秒以内に終了していてVCあるいはFVCの90%以上を吸入していること、息こらえが安定していて回路から息漏れなどなく息こらえの時間が9～11秒の間であること、4秒以内に呼出が終了し洗い出し量・サンプリング量が適切である測定結果を採択する。

低肺気量によるサンプリング量不足や閉塞性換気障害による呼出時間延長などの理由で検査結果が参考値となる場合は、報告書に記載する。

基準	
妥当性	①検査ガスの吸気が4秒以内に終了していて、VCあるいはFVCの90%以上を吸入していること※1 ②力みすぎない安定した息こらえができていて、回路から空気の漏れがないこと ③息こらえ時間(B.H.T.)が9～11秒であること ④4秒以内に呼出が終了していること※2 ⑤洗い出し量・サンプリング量が適切であること
再現性	①2回の正しく計測された数値の差が、2mL/min/Torr以内である。 ②測定を繰り返すことで血中にCOが残存しCOHbが増加するので検査は4回以内にとどめる。
採択	妥当性と再現性を考慮し採択する。

Ⅱ-2 DLcoの妥当性・再現性と採択基準¹⁾

4. 検査結果の評価と主な疾患

一般的にDLco、DLco/VAともに予測値の80%以上を正常と判定する。また、DLcoが10%以上あるいは3mL/min/Torr以上変化した際には有意な変化として捉える¹⁾。

表Ⅱ-3に代表的な疾患を示す。

	TLC	DLco	DLco / VA
間質性換気障害	↓	↓↓	↓ or →
肺切除後	↓	↓	→ or ↑
気腫型 COPD	↑	↓↓	↓↓

※疾患の進行具合にもよるため、典型例の検査データとして捉えてほしい。

表Ⅱ-3 疾患別の検査結果

5. 精度管理とメンテナンス

装置を安定させるため、電源投入後 30 分程度ウォームアップ時間をとる。気温 37℃、気圧 760 mm Hg と入力する(BTPS 係数を 1.00 にするため)。FRC、DLco は少なくとも週に 1 度は精度管理を実施する。

1) 精度管理

(1)FRC の精度管理

- ①FRC 定用ソーダライムは呼気の飽和水蒸気で結合するケーキング現象が起きやすいため始業点検前に転倒混和する。
- ②FRC 定用ソーダライムの交換時期は使用頻度により異なるが一定期間で交換し、必ず死腔量測定を行う。
- ③シリカゲルの劣化は He 濃度・CO 濃度測定へ影響を及ぼすため、2/3 以上変色したら交換し、スポンジがつぶれないような量とする(図 II-9)。ソーダライムとシリカゲルは同時に交換する²⁾。
- ④3L 較正シリンジを用いて FRC 測定のシミュレーションを行い、測定流路に空気の漏れがないか確認する。
FRC 値の精度管理 FRC 値の精度管理幅については、メーカーに確認し、施設内で統一しておく。

(2)DLco の精度管理

較正シリンジを用い、サンプルバックを含めたガス分析回路・He メータ・CO メータの状態について確認する。

- ①ガス分析計用ソーダライム、シリカゲルの劣化の有無を確認し、必要に応じて交換する。
- ②較正シリンジを用いて DLco 測定のシミュレーションを行い、 V_1 値、希釈率、希釈率比を確認する²⁾。
- ③精度管理幅について
 - ・ガス希釈率比
 $(F_{ECO}/F_{ICO})/(F_{EHe}/F_{IHe}) = 1 \pm 0.04$ 以内¹⁾
 - ・ V_1 値=シリンジ容量 3L の BTPS 換算値の $\pm 3\%$ 以内であることを確認する²⁾。



図 II-9 シリカゲル・ソーダライムの交換

2) メンテナンス

蛇管の洗浄:検査終了後毎日あるいは週1回は必ず行う。

バル内部の清拭:被検者毎に十分な回路内の洗い出しを行い、検査終了後清拭し、乾燥させる(図Ⅱ-10)。



図Ⅱ-10 装置の扉をあけた状態

III. 気管支拡張薬反応性検査 (bronchodilator responsiveness testing)

1. 用語の定義

閉塞性換気障害患者における気道閉塞の可逆性の有無を確認するために実施される。

気管支喘息の診断および他の閉塞性肺疾患の鑑別に重要な検査である。一般的には、短時間で気道閉塞の可逆性を確認することが可能な短時間作用型 β_2 刺激薬を吸入し、薬剤吸入前後の 1 秒量 (FEV₁) の変化量と変化率を用いて気管支拡張薬吸入への反応性を判定する。

2. 測定原理

気管支拡張作用のある薬剤を一定時間中止し、FEV₁ および 1 秒率 (FEV₁%) の基礎値を得たのち、短時間作用型短時間作用型 β_2 刺激薬を吸入させた 15–30 分後に、再度 FEV₁ および FEV₁% を測定する。FEV₁: 200mL 以上の増加に加えて FEV₁%: 12% 以上の増加が認められるとき、可逆性ありと判定する。

3. 測定の実際

1) 検査の実際

(1) 検査前の注意

すでに治療で気管支拡張薬を使用している場合は効果判定に影響が及ばないように検査前に薬剤の使用を中止するよう指導する。短時間作用性気管支拡張薬は少なくとも 6 時間、長時間作用性気管支拡張薬は 24 時間中止したうえで検査を行うことを推奨している。

検査当日は、薬剤の使用 (中止) 状況を被検者に確認する (表 III-1)。

表Ⅲ-1 気管支拡張薬反応性検査前に中止する薬剤⁵⁾

	薬剤		休業期間
β ₂ 刺激薬	吸入(短時間作用性)(SABA)		8時間
	吸入(長時間作用性)(LABA)	1日2回投与製剤	18時間以上(24時間が望ましい)
		1日1回投与製剤	36時間以上(48時間が望ましい)
	内服		24時間
	貼付		24時間
抗コリン薬	吸入(短時間作用性)(SAMA)		8時間以上(12時間が望ましい)
	吸入(長時間作用性)(LAMA)		36時間以上(48時間が望ましい)
キサンチン製剤	内服	1日2回投与製剤	24時間
		1日1回投与製剤	48時間
	(点滴)静注		8時間
ステロイド薬	吸入	1日2回投与製剤	12時間
		1日1回投与製剤	24時間
	内服、注射		24時間
ロイコトリエン受容体拮抗薬	内服		48時間
抗アレルギー薬	内服	1日2回投与製剤	24時間
		1日1回投与製剤	48時間
	吸入		12時間

日本アレルギー学会「喘息予防・管理ガイドライン2018」より引用

2) 検査の進め方

検査は原則として急性呼吸器感染症のない臨床安定期に行う。気管支喘息など気流制限がある患者が対象であり、気管支拡張薬を中止して検査するため、強制呼出を繰り返すと気道が攣縮しFEV₁が漸減することがある。測定前に呼気のやり方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) 吸入前の努力肺活量(FVC)測定 *FEV₁測定

FVC測定を行い、妥当性のある3回の測定結果から最良のものを採択する。

※努力肺活量測定の詳細は参照

(2) 気管支拡張薬吸入

気管支拡張薬を吸入させる。吸入終了時をゼロとし、タイマーで時間を計測する。

※至適吸入方法については次項を参照

(3)吸入後の努力肺活量(FVC)測定 *FEV₁測定

β₂刺激薬吸入 15 分後(抗コリン薬吸入後 30 分後)に FVC 測定を行い、妥当性のある測定結果から最良のものを採択する。

・吸入後のデータを採択するにあたっての注意点

FEV₁の改善率を最優先させるのではなく、PEF、FVC、カーブの急峻な立ち上がりとスムーズ性において総合的に判断する。

※努力肺活量測定の間を参照

(4)吸入前後の FEV₁ を用いて改善量と改善率を計算する。

3) 検査の説明

【説明の例】

- ・この検査は、気道を広げるお薬を吸入していただき、その効果をみる検査です。
- ・お薬の効果を見るために、お薬を吸入する前に 1 回と、吸入したあと 15 分(薬の種類によっては 30 分後)の 2 回、一気に息を吐き出す検査を行います。
- ・吸入していただくお薬は気管支拡張薬というお薬で、重篤な副作用はありませんが、人によっては脈拍がはやくなったりすることもあります。いつもと違うと感ずることがあれば教えて下さい。

《FVC の説明》

- ・最初は楽な呼吸をして下さい。呼吸が安定したら胸一杯息を吸ってもらいます。
- ・吸えなくなるまで吸ったらその息を一気に吐き出してもらいます。このとき、吐けなくなるまで吐ききります。
- ・最後に息を大きく吸い込んで検査終了です。
- ・吸ったり吐いたりするタイミングは指示しますので掛け声に合わせて下さい。
- ・一気に吐き出すときは、目の前のティッシュペーパーを遠くに飛ばすように勢いよくお願いします。
(検査者が実際に吹いて見せる)

《薬剤吸入の説明(pMDI)》

- ・クローズドマウス吸入法の場合)吸入器を軽く歯で噛んで押さえてください。
オープンマウス吸入法の場合)口を大きく開けて吸入器を口から少し離して保持してください。
- ・最初にいっぱいまで静かに息を吐き出します。このときに吸入器をプッシュしてお薬を噴射しますので、そのままゆっくりと息が吸えなくなるまで吸い続けてください。
- ・吸えなくなったらそこで息を約 10 秒止めてもらいます。
- ・10 秒たったら声をかけますので、ゆっくり息を吐いてください。

《薬剤吸入の説明(ネブライザー)》

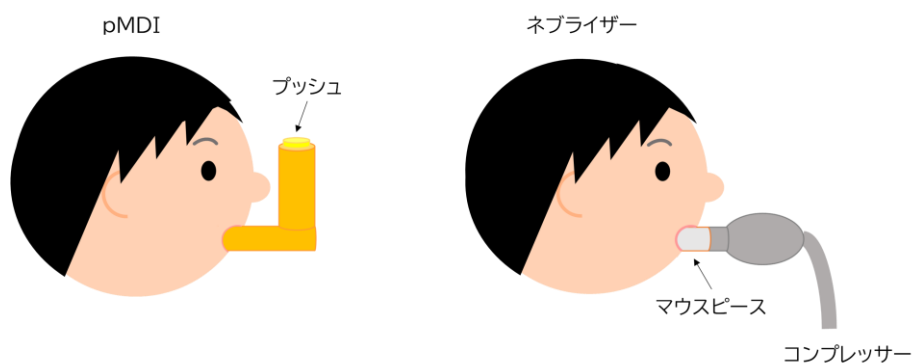
- ・クローズドマウス吸入法の場合)マウスピースをくわえてもらいますので、軽く歯で噛んで押さえてください。
- ・オープンマウス吸入法の場合)口を大きく開けてネブライザー噴出口を口から少し離して保持してください。
- ・煙が出てきますので、お薬がなくなるまで口でゆっくりと息を吸ったり吐いたりして下さい。



Note:オープンマウス吸入法とクローズドマウス吸入法

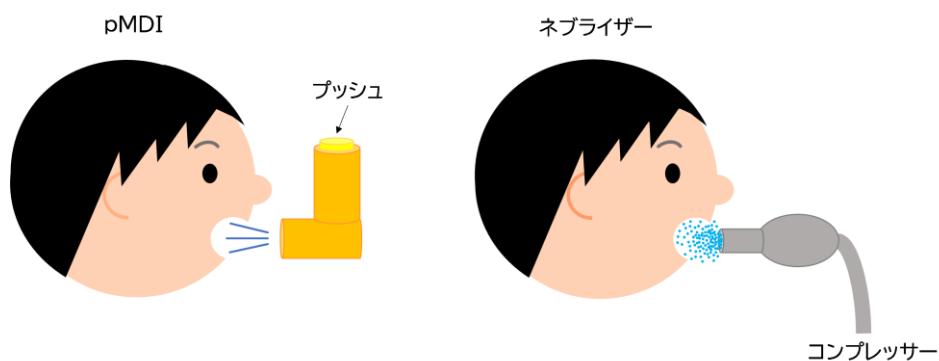
クローズドマウス吸入法:吸入口を唇または歯で軽くくわえて吸入する。

利点は、手技が簡便であること。



オープンマウス吸入法 :吸入口をくわえないで、口より約4cm程度離して吸入する。

利点は、薬剤の肺内沈着率が高いこと。



表Ⅲ-2 気管支拡張薬反応性検査に使用する薬剤⁵⁾

気管支拡張薬	吸入方法	薬品名	用量	吸入後 検査時間
短時間作用性吸入 β_2 刺激薬	pMDI	サルブモータル硫酸塩	2~4 吸入(200~400 μ g)	15~30 分後
		プロカテロール塩酸塩	2~4 吸入(20~40 μ g)	
	ネブライザー	サルブモータル硫酸塩	0.3~0.5ml(1.5~2.5mg)	
		プロカテロール塩酸塩	0.3~0.5ml(30~50 μ g)	

日本アレルギー学会「喘息予防・管理ガイドライン2018」より引用



Note:成人喘息における β_2 刺激薬の至適吸入方法

検査に用いる気管支拡張薬は、通常短時間作用型吸入用 β_2 刺激薬を原則とするが、抗コリン薬あるいは両者の併用であってもよい。投与方法はスパーサーを用いたpMDI吸入、ネブライザー吸入のいずれであってもよい。

《pMDI吸入法》

- ・キャップをはずし、容器をよく振る
- ・いっぱいまで静かに息を吐き出す
- ・マウスピースを歯で噛んで押さえるか、口元から少し離して保持する
- ・息を吸い始め、それと同調するようにポンペを1回強く押し、深く吸入を続ける
- ・これ以上吸えないところで10秒間、息を止める
- ・ゆっくり息を吐き出す
- ・再度吸入する場合は約30秒の間隔をおいて、2~5の手技を繰り返す

《ネブライザー吸入法》

- ・吸入液をネブライザーボトルに入れる
- ・ネブライザーのスイッチを入れ、薬の噴射が出ていることを確認する
- ・口を大きく開けネブライザー流出口を口元から少し離して保持する
- ・口でゆっくりと呼吸して吸入する
- ・薬がなくなるまで数分間、吸入を続ける

4. 検査結果の評価と主な疾患

1) 結果の評価

気管支拡張薬吸入前後の FEV₁ の改善の程度は絶対量の変化と改善率から判定する。

$$\diamond \text{改善量(ml)} = \text{吸入後 FEV}_1 - \text{吸入前 FEV}_1$$

$$\diamond \text{改善率(\%)} = [(\text{吸入後 FEV}_1 - \text{吸入前 FEV}_1) / \text{吸入前 FEV}_1] \times 100$$

判定基準: FEV₁ の改善量 ≥ 200mL かつ改善率 ≥ 12%

上記を満たした場合、「気管支拡張薬反応性(気道可逆性)あり」と判定する。

2) 臨床的評価

気管支喘息では、気管支拡張薬吸入後の 1 秒率(FEV₁/FVC)は多くの場合で正常(≥ 70%)となる。気管支喘息で気管支拡張薬反応性検査における有意な FEV₁ 改善を確認することは診断上有用であるが、短時間作用型 β₂ 刺激薬吸入後の気道可逆性が陰性であっても必ずしも気管支喘息を否定することはできない。長い寛解期や逆に重症発作時、慢性型喘息等では有意な改善を認めない場合もあるが、ステロイドを含めた治療で数週ないし数カ月の期間で観察し、可逆性を見出すことができる場合がある。一方、気道可逆性陽性は喘息特有ではなく、COPD でもしばしばみられるため注意を要する。

慢性閉塞性肺疾患(COPD)では、診断と重症度(病期)の分類に気管支拡張薬吸入後の測定値が用いられる。診断の定義は、短時間作用性 β₂ 刺激薬(噴霧式定量吸入:pMDI)吸入後の 1 秒率が 70%以下であることである。また重症度(病期)分類も、短時間作用性 β₂ 刺激薬吸入後の測定値で定義されている(表Ⅲ-3)。

表Ⅲ-3 COPD病期分類(気管支拡張薬吸入後の値)⁶⁾

病期		基準
I 期	軽度の気流閉塞	FEV ₁ /FVC < 70%
		%FEV ₁ ≥ 80%
II 期	中等度の気流閉塞	FEV ₁ /FVC < 70%
		50% ≤ %FEV ₁ < 80%
III 期	高度の気流閉塞	FEV ₁ /FVC < 70%
		30% ≤ %FEV ₁ < 50%
IV 期	極めて高度の気流閉塞	FEV ₁ /FVC < 70%
		%FEV ₁ < 30%

日本呼吸器学会「COPD診断と治療のためのガイドライン 第5版」より引用

IV. オシロメトリー

1. 用語の定義

1) 呼吸インピーダンス(Z_{rs})

P_m を V で割った値。 R_{rs} と X_{rs} とに分かれる。

2) 呼吸抵抗(R_{rs})

R_{rs} は気道抵抗(R_{aw})、肺の組織抵抗(R_{ti})、胸郭抵抗(R_{cw})を成分として含む。 R_{aw} は口側から肺胞に至るまでの空気が通る際の抵抗で、気道径が狭くなるほど高くなる。 R_{ti} や R_{cw} は肺の組織や胸郭辞退が呼吸運動で伸縮を繰り返す際の内部の摩擦などの抵抗で、より滑らかに動けば低くなる。抵抗(R)のうち換気機能に最も関係が大きいのが R_{aw} であり、また R_{rs} の主成分でもあるため、 R_{rs} の変化をもって R_{aw} の変化、すなわち気道径の変化の指標に使われることが多い。(図IV-1)

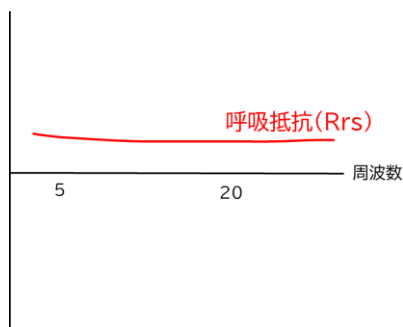
3) 呼吸リアクタンス(X_{rs})

X_{rs} は呼吸器系の組織の弾性と、気道-肺内にある空気の慣性を反映する。“呼吸器系の組織の弾性が高い”ということは、肺・胸郭が縮みやすいことを表している。オシレーション波の周波数が高くなると、弾性に起因する X_{rs} は減少してゆく(ゼロに近づく)。※図IV-2 弾性成分(青色点線)

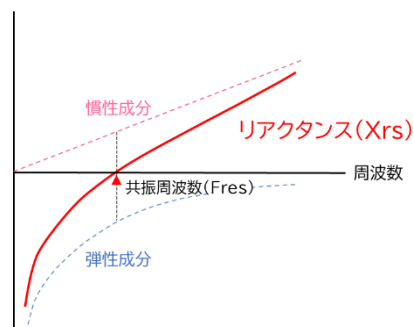
“気道-肺内にある空気の慣性が大きい”ということは、空気の移動加速度が大きいことを表している。

オシレーション波の周波数が高くなると、慣性に起因する X_{rs} は直線的に高くなる。※図IV-1 慣性成分(桃色点線)

弾性と慣性による X_{rs} が釣り合ったとき(図IV-2)の周波数を共振周波数(F_{res} ▲)という。 $X_{rs}=0$ であるため、 $Z_{rs}=R_{rs}$ となり、口腔内の圧と流量の比は純粋に気道抵抗を示す。



図IV-1 呼吸抵抗



図IV-2 リアクタンス

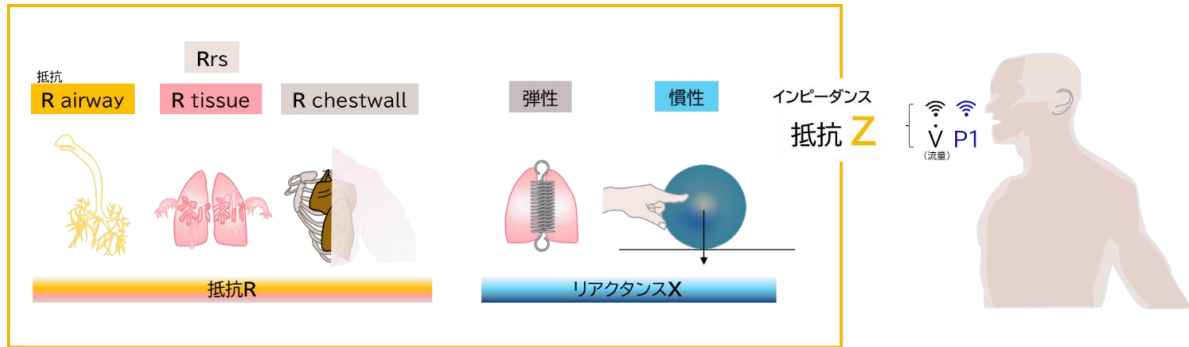
4) R5、R20

オシレーションの周波数が変わると Rrs や Xrs も変化する。5Hz における Rrs の表記を R5、20Hz における Rrs を R20 と略記したものである。Xrs、Zrs でも同様である。Rrs と Xrs の周波数特性は病態を反映する重要な情報であり、特に Rrs の周波数依存性は慢性閉塞性肺障害の特徴的な所見である。

5) R5-R20

R5 と R20 の差。Rrs の周波数依存性の指標として用いる。気道径の不均一性を示すと考えられている。

代表的な指標は呼吸インピーダンス(Zrs)、呼吸抵抗(Rrs)、呼吸リアクタンス(Xrs)である。(図IV-3)



- | | |
|--------------|-----------------------|
| 気道抵抗 (Raw) | : 細いと、空気が通りにくい |
| 肺の組織抵抗 (Rti) | : 粘性が強いと、拡がりにくい |
| 胸郭抵抗 (Rcw) | : 動きが悪いと、拡がりにくい |
| 弾性 | : バネが硬いと、拡がりにくい |
| 慣性 | : 留まろうとする力が強いと、拡がりにくい |

図IV-3 抵抗の要素

2. 測定原理

5～35Hz 程度の空気の振動(オシレーション波)を被検者の口から気道へ送り込み、生体内へ伝搬させる。口元に圧センサーと流量センサーを置いて、安静換気下に口腔内圧と口腔気流量(\dot{V})を連続的に測定する。測定した口腔内圧と外気(大気圧)の差を口腔内圧(P_m)と表し、これらの測定に基づいて呼吸器系全体の換気力学の状態を算定する。広域の周波数帯を含むパルス波(または白色雑音)を使用しており、フーリエ変換によって即時に周波数ごとの特性を得ることができる。

1) オシロメトリーとスパイロメトリーの同時実施

スパイロメトリーによる TLC への深い吸気や強制呼気操作は、健常人においては気道拡張を、喘息患者においては気管支収縮を引き起こすことが知られている。オシロメトリーは安静換気そのものを評価する検査であるため、深吸気・強制呼気の影響の混在を防ぐ目的で、スパイロメトリー施行前にオシロメトリーを実施することが望ましい。

3. 測定の実際

1) MostGraph 広帯域スペクトル・オシレーション法 (Multi-spectrum Oscillation Technique)

【検査の実際】

被検者の安静呼吸下に測定を行い努力呼吸が不要であるため、被検者の努力によって検査結果が大きく左右されることが少ない。検査の目的や、マウスピースから被検者の口へオシレーション波が送り込まれること・用手的に頬部を圧迫固定することを事前に説明して理解を得る。安静呼吸が安定する(安静呼吸の再現性を評価する指標であるコヒーレンスが 0.7 以上となる)と測定が自動で開始され、安定した安静呼吸サイクルを 5 回繰り返すと自動で測定終了する。

(1)検査の説明

【説明の例】

- ・呼吸をする際の空気の通りにくさを調べる検査です。
- ・検査中、空気の漏れがないようにマウスピースを口にくわえてもらいます。ノーズクリップを付けますので、口で呼吸をしてください。“ポンポン”という振動が伝わりますが普段通りの楽な呼吸を繰り返してください。
- ・空気の振動が頬で吸収されてしまわないよう、手で頬を押さえながら行います。

【姿勢】

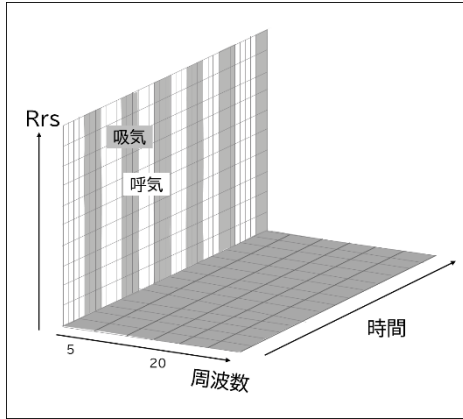
換気力学とは、肺および胸郭系をひとつの換気装置と見立てて力学的解析をすることである。体に力が入ると胸郭に動きの制限を生じ抵抗の上昇をきたしてしまう。椅子に深く腰かけてもらい、背筋を伸ばして肩に力が入らないようリラックスした姿勢を指示する。

(2)検査の進め方

- ①被検者の姿勢を正しくさせ、その口元の高さにスピーカーボックス-スパイロフィルタを合わせる。
- ②ゼロレベル検出を行う。スパイロフィルタに息がかからないようスピーカーボックスをいったん被検者の口元から遠ざけ、測定準備ボタンを押す。
- ③安静換気の確認を行う(ばらつきのない安定した安静呼吸ができているか確認する)。再びスピーカーボックスを被検者の口元に合わせ、マウスピースを 3cm ほどくわえて安静換気の継続を促す。
- ④ノーズクリップで鼻を塞ぎ、頬が膨らまないよう手で固定する。
「いつも通りの楽な呼吸をしてください。」
- ⑤測定スタートボタンを押し、呼吸数が 5 回になるまで安静呼吸を続けさせる。
「いまの呼吸を続けていてくださいね。」 ※呼吸数 5 になると自動で測定終了する
- ⑥測定結果の確認を行う。安静呼吸が一定に行われなかったデータ(コヒーレンス 0.7 以下)を除外するなどし、再検査の必要性を判断。良ければ手技終了する。「お疲れ様でした。」

(3)MostGraph におけるカラー3D 表示の解釈

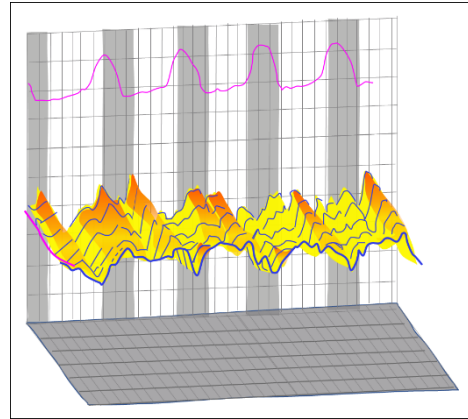
Rrs・時間・周波数から成るカラーグラフで 3D 表示する(図IV-4)。気道内径は肺の弾性収縮力が気道壁を引っ張る力(elastic recoil)に支配されるため、吸気時は拡がり呼気時は狭くなる。この呼吸周期ごとの Rrs の変化(呼吸周期依存性)も視覚的に把握することが可能である。



図IV-4 MostGraphの3次元表示

【喘息患者】

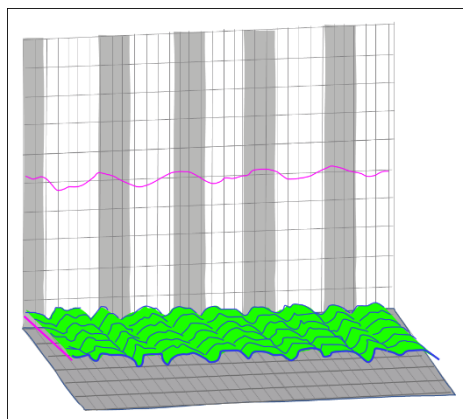
Rrs が全体に高く橙色で表現されている。周波数依存性はあまりない。気管支周囲の平滑筋が収縮し厚くなっているため、elastic-recoil の影響を受けにくく、呼吸周期による依存性が小さいことも分かる(図IV-5)。



図IV-5 喘息患者の症例

【健常者】

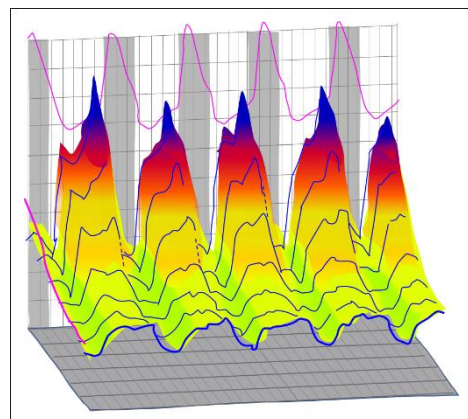
Rrs が低値であることを緑色で表現し、周波数依存性がほとんどないこと、呼吸周期による依存性が小さいことが分かる(図IV-6)。



図IV-6 健常者の症例

【COPD 患者】

Rrs が高値であることを赤-青色で表現し、周波数依存性が大きい。COPD 患者の場合、吸気時に気道が拡張し吸気時には狭窄する。呼吸周期依存性も大きいことが分かる(図IV-7)。



図IV-7 COPD患者の症例

2) MasterScreen-IOS インパルス・オシレーション法 (Impulse Oscillation)

【準備として】

測定前に機器の状態(エルボピースや終端抵抗、ニューモタコセンサ、ケーブル類の接続)を確認しておく。装置を安定させるため電源投入後のウォーミングアップ時間を 15 分以上とる。ウォーミングアップが終了したら、メインメニューの環境情報アイコンを選択して必要な情報(温度、湿度、気圧)を入力する。次に較正ポンプを用いて精度管理を行う。精度管理時は Y アダプタ裏側にある終端抵抗を必ず開けること。ポンプを接続し、ゼロ点調整が完了したら較正ポンプを一定の間隔でストロークさせる。画面に今回値が表示されたら較正ポンプを止め、今回値が範囲内にあることを確認する。(R5 と R20:0.20±0.01、X5:0.00±0.01)範囲外の場合は機器の状態を確認してから再度精度管理実施する。終了後に較正ポンプを外してから終端抵抗を閉じる。

【測定方法】

体を締め付けるもの(ネクタイや下着)があれば緩める。患者を椅子に座らせて背筋を伸ばしてもらう。その際顎は水平になるようにしてもらう。フローセンサに呼吸機能検査用フィルタを装着し、患者の口元の高さにフィルタの位置を調節する。その際顎が下向きや上向きにならないよう注意すること。準備ができたならメインメニューの呼吸抵抗測定を選択し、ゼロ点調整が完了してから患者にフィルタをくわさせる。ゼロ点調整中にフィルタをくわえると正しく調節できなくなるため注意すること。フィルタをくわえたら安静呼吸を開始してもらう。測定中はスピーカから”ポンポン”という音と共に圧を感じるが気にせずそのまま呼吸を続けさせる。

その際に挙げる 3 点に注意する。

- ①口の両端から空気が漏れないようにフィルタをしっかりくわえる。口から漏れてしまうと正しい測定ができない。
- ②ノーズクリップを使用し鼻から漏れないようにする。口漏れと同様、測定値に影響が出る。
- ③手の平を頬に軽く添える。手を添えることで測定時のパルスが減衰することを防ぐ。

安静呼吸を続け、呼吸基準位が安定したことを確認してから本測定に進む。本測定は 1 呼吸のみでも解析できるが、再現性を確認するため 5 呼吸以上もしくは 30 秒程度測定する。測定中に咳や声を出した場合は再測定する。

【結果の確認】

測定が終了すると画面に結果が表示される。最初に測定の再現性を確認するためコヒーレンス(CO、1.0 が上限値)の数値を確認する。

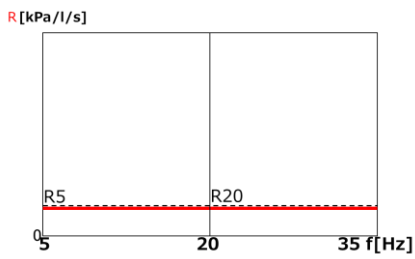
5Hz でのコヒーレンス(CO at 5Hz)が 0.7 以上、20Hz でのコヒーレンス(CO at 20Hz)が 0.9 以上得られていることを確認する。コヒーレンスが低い場合は再度測定を行う。

測定結果は Rrs(図IV-8:レジスタンス)と Xrs(図IV-9:リアクタンス)に分けて解析される。

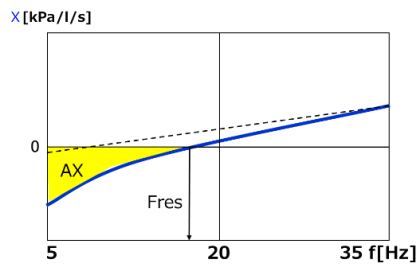
それぞれが Y 軸に抵抗、X 軸に周波数を取り実線で描かれる。同グラフにはヨーロッパの予測式から計算された予測値も点線にて描かれ、実測と予測の比較が可能となっている。

5Hz でのリアクタンス(X5)・リアクタンスがゼロになる周波数(共振周波数、Fres)・それにゼロ点を加えて結んだ領域(Ax、図IV-9 の黄色部分)も評価する。

その他に本測定中の安静呼吸に対して呼吸インピーダンスの変動も同じグラフに描かれ、吸気と呼気における抵抗の変動を確認することができる。



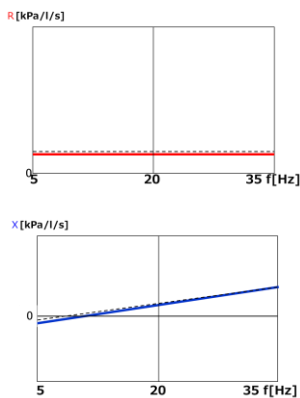
図IV-8 レジスタンス



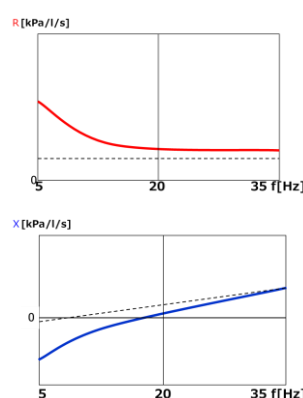
図IV-9 リアクタンス

【MasterScreen-IOS における波形の解釈】

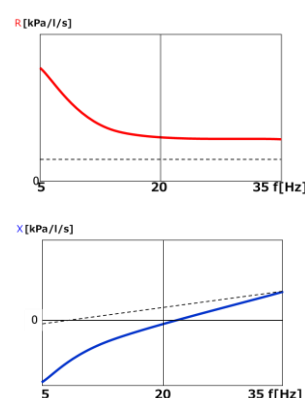
健常者の場合、Rrs と Xrs 共に低値を示す(図IV-10)。また吸気呼気に対する呼吸インピーダンスの変動もほとんど確認されない。喘息患者の場合、Rrs が全体的に高値を示す(IV-11)。また呼吸周期に呼吸インピーダンスが連動せず常に変化している。COPD 患者の場合、Rrs で周波数依存があり、X5 はマイナス側に大きく Fres も高値となる(図IV-12)。呼吸インピーダンスは呼吸周期に同期するような変動が確認できる。



図IV-10 健常者の例



図IV-11 喘息の例



図IV-12 COPDの例

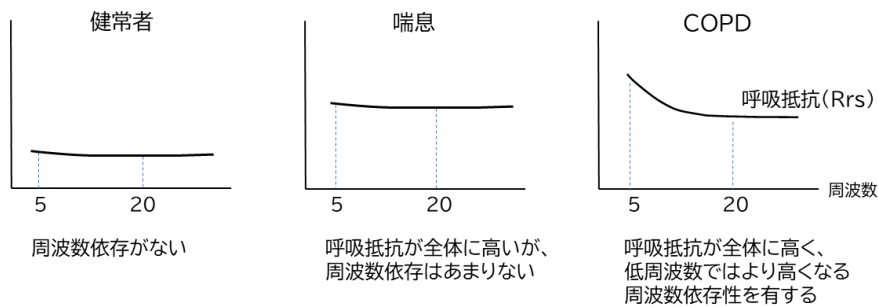
4. 検査結果の評価と主な疾患

1) 測定結果の解釈

(1)呼吸抵抗 Rrs

呼吸抵抗(Rrs)の主成分は気道抵抗である。

気道抵抗は気道径が狭くなるほど高くなるので閉塞性疾患で高くなり、気道拡張で低くなる

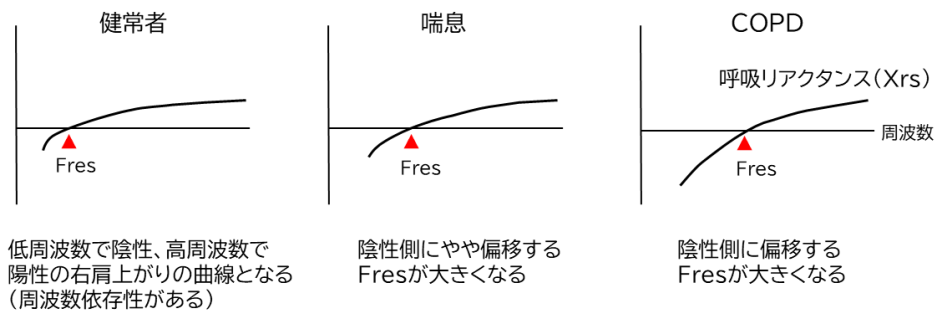


図IV-13 呼吸抵抗(Rrs)の周波数依存性評価

(2)呼吸リアクタンス Xrs

呼吸リアクタンス(Xrs)は、オシレーションの周波数が低いと呼吸器系の弾性に強く影響されて負となる。

周波数が高いとき、呼吸器系および測定系内に存在する空気の影響に強く影響されて正となる。すなわち健常者においても、低周波数から高周波数にかけて負から正に変化する周波数依存性をもった周波数特性を示す。閉塞性疾患では気道と空隙の減少が不均一に生じ、オシロメトリーで評価される肺容量が減少し、Xrs がより負になる。Xrs がゼロとなる周波数を、共振周波数(Fres)という。Fres の成人の平均値は男女とも、モストグラフで 7Hz 前後、IOS では 9~10Hz 前後である。



図IV-13 呼吸リアクタンス(Xrs)の周波数依存性評価

2) 臨床応用

Rrs に Raw の成分が主要素として含まれていることから、気管支喘息の状態把握、経過観察、薬効確認で非常に有用である。負荷試験と組み合わせて気道過敏性や気道可逆性の評価にも用いられ、呼気一酸化窒素 (FeNO) 濃度と組み合わせることにより慢性咳嗽(8週以上続く原因不明の咳嗽)における喘息の要素(通称咳喘息)の診断にも寄与している。さらに喫煙者の一部で Rrs や Xrs に変化がみえることから、COPD の初期検知のツールとしても有望と思われる。

一方、検査の特性も充分理解しておかなければならない。Raw の規定因子は気道断面積・長さ・数である。小児では Rrs の絶対値が高く周波数依存性もみられるが、成長に伴って小さくなっていく。また気道内の空気の絶対量が少なく、その分の慣性の影響が弱くなり、Xrs の特性曲線は陰性側へ偏移する。逆に高身長の人では気道内の空気の絶対量が多く、その分の慣性の影響が強くなるため Xrs の特性曲線は陽性側(左上方)へ偏移する。年齢や体位によって Rrs・Xrs も変化するため、臨床ではこれらの点を理解して測定結果を評価する必要がある。

V

● 呼気一酸化窒素(Fractional exhaled NO; FeNO)

1. 用語の定義

一酸化窒素(NO)は生体内において血管拡張や神経伝達等に関わる重要な生理活性分子である。L-アルギニンを基質としてNO合成酵素(NO synthase; NOS)により産生され、呼気中で検出されている(図V-1)。

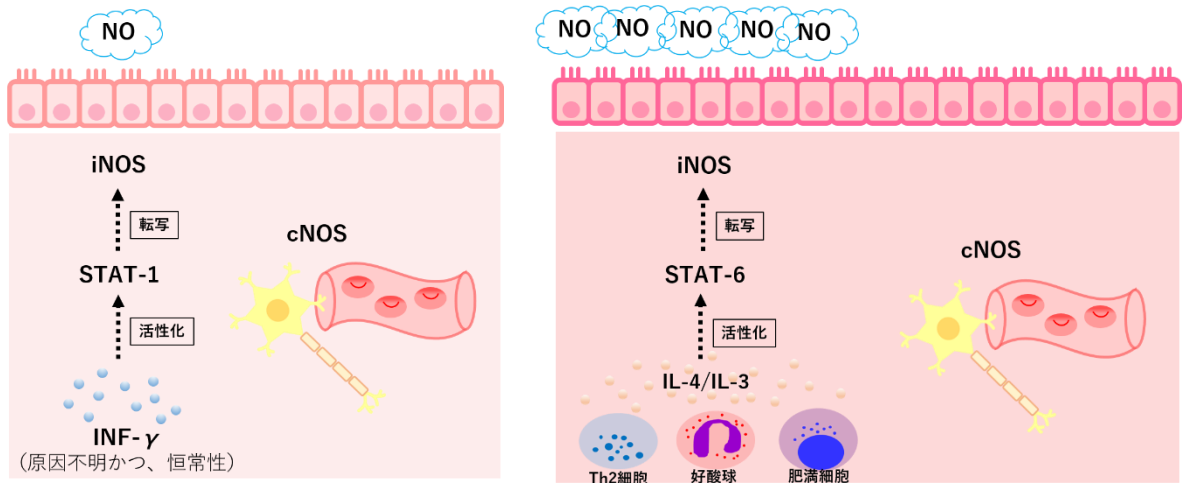
NO合成酵素(NOS)には、

- ・ 血管内皮細胞や神経細胞などに存在する構成型 NO 合成酵素(cNOS)
- ・ 血炎症性サイトカインおよび感染などの刺激によって誘導される誘導型 NO 合成酵素(iNOS) がある。

cNOS 由来の NO は産生量が非常に少ないこと、さらに cNOS の局在は気道内腔への距離が長い点から、呼気で測定される NO の大部分は iNOS 由来と考えられる。

すなわち、NO は健常者でも微量が検出されるが、気管支喘息など気道の慢性炎症性疾患においては iNOS が誘導され高濃度の NO が産生されるために診断的価値を有する。

呼気中のNO濃度測定は、好酸球性気道炎症モニタリングに用いる検査法として確立されている。



図V-1 気道上皮でのNOS発現とNO発生機序

2. 測定原理

呼気中 NO(FeNO)濃度の分析方法は、据置型測定装置に用いられる化学発光法(Chemiluminescence 法)と、携帯型測定装置に用いられるイオン電極法(電気化学法あるいは Electrochemical 法)がある。

化学発光法は測定感度および精度が最も高い測定方法である。基礎研究にも使用されるが、機器本体に加えて専用解析ソフト、測定対象別オプション、データ処理装置等の周辺機器が必要でありコストが高く、わが国では保険収載されていない。

イオン電極法は NO により生じる電流を測定する方法である。電流は変換された NO 分子に比例することから定量的な測定が可能で、測定は保険収載されており日常臨床で用いられている。



Note:ATS/ERSが提唱する、FeNO測定条件

FeNO濃度は様々な条件に影響を受けるため、常に測定条件を統一する必要があり、2005年に米国胸部疾患学会(ATS)と欧州呼吸器学会(ERS)が合同で標準測定法を提唱している。測定時に推奨される条件として以下の項目がある。

- ① ノーズクリップを使用せず検査を行う。
(鼻腔では高濃度のNOが産生されており、鼻腔由来のNO混入を可能な限り避けるため)
- ② 呼出開始時の肺気量は最大吸気位とし、ここから呼出を開始する。
- ③ 50mL/秒±10%の一定流量を維持して呼出する。
(FeNO濃度は呼出速度に依存して変化する。また、この呼出速度を維持すれば10～20cmH₂Oの圧が口腔内圧として加わって軟口蓋を閉鎖し、鼻腔由来のNOによるコンタミネーションを防ぐこともできる)
- ④ 小児では6秒以上、成人では8秒以上呼出を続ける。
(FeNO濃度は、呼出早期に鼻腔や死腔由来のNOが混入したピークを形成する。その後形成するプラトー相に高い再現性があり、この呼出後半のNO値を下気道由来のFeNO濃度として評価する。)

3. 測定の実際

1) NIOX VERO

【検査の実際】

イオン電極法を用いた呼気 NO(FeNO)濃度測定器。測定画面はアニメーション表示される(図V-2)。

‘雲’や‘風船を持った少女’のアニメーションが、画面の上部と下部に表示されている白線の間で留まる状態を保持する呼出を行うと、国際的な標準測定法(ATS/ERSの測定指針)が推奨する条件に適合した測定となる。測定時に推奨される条件を満たさない場合には測定結果が表示されないため、検査結果の再現性に優れる。



図V-2 NIOX VERO測定画面

CHEST株式会社より許可を得て掲載

(1)検査の説明

【説明の例】

- ・吐き出す空気の成分を分析し、気道炎症の有無を調べる検査です。
- ・検査中、空気が漏れないようにマウスピースを口唇でしっかり塞ぐようにくわえてもらいます。
- ・鼻を塞ぐことはしませんが、息を吸うことも吐くことも口だけで行ってください。胸いっぱい口から吸って、10秒間、口から息を吐き続けます(特別モード:6秒)。
- ・息を吐く力が強すぎたり弱すぎたりする場合、測定が中断します。やり直してできますから、アニメーションがゴールの場所へ到着するまで一緒にがんばりましょう。

(2)検査の進め方

- ①マウスピースを口から離れた状態で、最大呼気位まで息を吐き出す。
- ②マウスピースをくわえ、最大吸気位まで口から息を吸い込む。

(ハンドルに内蔵されている大気中のNOを除去するフィルターを介してNOフリーのガス吸気を行う)

- ③最大吸気位まで吸気を行ったら、息止めをせずに10秒間の呼出を開始する。

「そのまま吹き続けて！」

- ④呼気のサンプリングが完了すると機器が自動分析し、約1分間で結果が表示される。

「お疲れ様でした。」

【使用上の注意点】

- ・本体やハンドルなどの日常的な汚染は、石鹼液を含ませた布で清拭する。必要に応じ、0.1%次亜塩素酸ナトリウムを含む固く絞った布を使用して清拭する。
- ・アルコールなどの揮発性物質を多く含んでいる消毒薬は、測定エラーの原因になる可能性があるため使用を避ける。
- ・動作環境は+10～+35℃の室温、20～80%の湿度での使用が推奨されている。NO センサーは安定した環境で管理することが望ましいため、使用時以外は湿度調節剤がセットされている機器専用のケースに保管する。

【特徴】

- ・ハンドルに NO 除去フィルターが内蔵されているため大気中の NO の影響を受けない。
- ・動作環境および検査の妥当性を自動的に確認する機能を有しており測定の安定性や再現性に優れる。
- ・定期的な精度管理やメンテナンスが不要である。

2) NO breath V2

【検査の実際】

イオン電極法を用いた呼気 NO (FeNO) 濃度測定器。測定画面はアニメーション表示される(図 V-3)。

‘車’や‘魚’のアニメーションが道路または水中に留まる状態を保持する呼出を行うと、国際的な標準測定 (ATS/ERS の測定指針) が推奨する条件に適合した測定となる。

測定直前に吸った外気 NO を呼出する分、長めの呼出が必要である。測定時に推奨される条件を満たさない場合には測定結果は表示されないが、参考値として測定できた限りの FeNO 濃度を表示させることができる。

ただし、正常に測定完了して得た値でないため、診察で使用してはならない。



図 V-3 NO breath V2測定画面

原田産業株式会社より許可を得て掲載

(1)検査の説明

【説明の例】

- ・吐き出す空気の成分を分析し、気道炎症の有無を調べる検査です。
- ・検査中、空気が漏れないようにマウスピースを口唇でしっかり塞ぐようにくわえてもらいます。
- ・鼻を塞ぐことはしませんが、息を吸うことも吐くことも口だけで行ってください。胸いっぱい口から吸って、12 秒間、口から息を吐き続けます(小児モード:10 秒)。

- ・息を吐く力が強すぎたり弱すぎたりする場合、測定結果が不正確になってしまいます。
- やり直しできますから、アニメーションがゴールの場所へ到着するまで一緒にがんばりましょう。

(2)検査の進め方

- ① “ピッ”という音と同時に、マウスピースを口から離れた状態で、最大吸気位まで口から息を吸い込む。
- ② “ピッ”という音と同時にマウスピースをくわえ、息止めをせずに 12 秒間の呼出を開始する。
- ③ 一定流量で呼出する。成人では 12 秒間呼出するが、小児の場合は死腔が小さいため 10 秒間呼出する。
「そのまま吹き続けて！」
- ④ 呼気のサンプリングが完了すると、すぐに結果が表示される。
「お疲れ様でした。」

【使用上の注意点】

- ・測定時に被検者が上手く呼気を調節できなくても、参考値として測定できた限りの FeNO 濃度を表示させることができる。ただし、正常に測定完了して得た値でないため、診察で使用してはならない。
- ・測定を安定して行うために一年に一度の定期メンテナンス(校正作業・部品交換)を必要とする。また、画面に校正マークが表示されたら必ず製造販売元にメンテナンスとキャリブレーションを依頼する必要がある。
- ・アルコールなどの揮発性物質を多く含んでいる消毒薬は、測定精度の低下やセンサー故障の原因になる可能性があるため使用を避ける。
- ・NO 除去フィルターがないため大気中の NO の影響を受ける。
極端に異常な値が出た場合には外気の NO を測定し(外気測定モード)、高値である場合には被検者の呼気測定に影響する可能性があるため、測定場所を変えたり、測定環境の空調を整える必要がある。
- ・動作環境は+15～+30℃の室温、20～80%の湿度、外気 NO 濃度 350ppb 以下での使用が推奨されている。使用時以外は高温多湿・直射日光を避けて保管する。

4. 検査結果の評価と主な疾患

日本人の成人健常者においては、FeNO 濃度の中央値は 15ppb、正常上限値は 37ppb とされている。

【測定値に対する諸因子の影響】

- 年齢・性差 :成人の測定値に対する、年齢・性差等の影響に一定のエビデンスはない。
- 食品 :NO 合成酵素(NOS)はアルギニンを基質とするが、硝酸塩や亜硝酸塩が窒素分子に還元される中間体としても生体内において NO が産生される。
硝酸塩を多く含有する食品には、サラダ菜、ほうれん草、ごぼう、レタスなどがある。
- 薬剤 :ステロイド薬は FeNO 濃度を低下させる。
- 喫煙 :FeNO 濃度を低下させる。
- 疾患 :アトピー、アレルギー性鼻炎が存在すると FeNO 濃度が高値となる。
- 呼吸機能検査:努力呼出後には FeNO 濃度が低下し、約 1 時間で回復することが報告されている。
FeNO 濃度測定はスパイロメトリーの前に実施することが推奨される。

【喘息における FeNO、補助診断としての FeNO】

気道炎症の存在(喀痰中の好酸球増多、FeNO 濃度の上昇)は、喘息の診断を支持する。健常者と喘息患者を鑑別する FeNO 濃度のカットオフ値は 22ppb(感度 91%、特異度 84%)と報告されている。

一方、健常者の正常上限値である 37ppb の喘息における感度は 52%、特異度は 99%で、この値を適用した場合には喘息を見落とす危険性が高くなる。

すなわち、吸入ステロイド薬未使用で発作性の喘鳴など喘息を疑う症状に加えて、FeNO が 22ppb 以上なら喘息の可能性が高く、37ppb 以上ならほぼ確実に喘息と診断できる。

【気道炎症モニタリングとしての FeNO】

気道炎症モニタリングにおける FeNO 濃度の解釈に関して、2011 年に報告された ATS ガイドラインでは 25ppb と 50ppb を好酸球性炎症の指標としている。

吸入ステロイド薬にて抗炎症治療を行っている喘息患者で、症状がコントロールされており、FeNO が健常者の平均値である 15ppb 以下に維持されている場合には気道炎症が制御されている可能性が高い。

※これまで喘息におけるモニタリングの指標としては、症状と一秒量、ピークフローが用いられてきた。

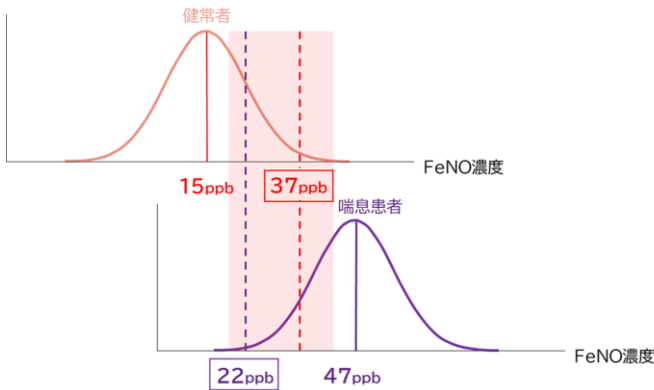
しかしながら、これらの指標で喘息が安定していると評価されていても、気道炎症が残存する症例が少なからず存在する。

治療導入後の喘息管理において、FeNO 測定は気道炎症のモニタリングに有用である。



Note:正常上限値とカットオフ値は異なる？

正常上限値が37ppbなのに、喘息患者を鑑別するカットオフ値が22ppbって、どういうこと？



健常者のFeNO濃度と喘息患者のFeNO濃度の分布は、オーバーラップするところも多い。

FeNO濃度が22ppbより高い値であるときに喘息を疑った場合、健常者を喘息と診断する可能性はあるものの、喘息患者を見落とす危険性は低くできる。

37ppb以上の値なら、健常者はほぼいない。

“FeNO値だけで喘息を判断することはない”そういう指標だということもわかる。



Note:好酸球性炎症の指標・・・？

気道炎症モニタリングにおいては、25ppbと50ppbが好酸球性炎症の指標？
どういうこと？ 25なの？ 50なの!?



好酸球性気道炎症の臨床にあたっては、
『ステロイド薬を投与した場合に、どれくらいの効果が得られるか』が重要である。

FeNO濃度が25ppbの場合、
気道炎症の程度は強いものでなく、ステロイド薬投与によって期待される炎症改善は大きくないと予想される。

FeNO濃度が50ppbの場合、
強い気道炎症が存在しており、ステロイド薬投与によって炎症改善を見込むことができると考えられる。

memo

VI. 感染対策

1. 感染対策のポイント

スパイロフィルターを使用することで感染患者による装置の汚染を防ぎ、また、1 被検者 1 個使用することで被検者間の感染を予防できる。以下に、スパイロフィルターの種類を示す(図VI-1)

スパイロフィルターの種類

- ①シリコンマウスピースまたは紙マウスピースを接続して使用するスパイロフィルター
- ②マウスピース付スパイロフィルター



図VI-1 スパイロフィルターの種類

- ・マウスピースは被検者ごとに交換し、シリコンマウスピースを使用した場合は高水準消毒、あるいは流水下で確実な洗浄を行った後に高圧蒸気滅菌を必ず行う。
- ・ノーズクリップはティッシュペーパーなどでカバーして使用し、カバーは被検者ごとに交換する。
- ・検査者はサージカルマスクを着用し、被検者からの感染を予防する。また、被検者毎に石鹼と流水による手洗いおよび、アルコールをベースとした速乾性手指消毒薬を使用する。
- ・気量型では呼吸回路は被検者毎に空気の洗い出しを行い、回路を乾燥させる。
- ・気流型のフローセンサーや気量型の蛇管は検査終了後、十分水洗し乾燥させる。

2. 感染患者への対応

- ・結核が疑われる患者の検査は行わない。
- ・飛沫予防策を必要とする病原体(マイコプラズマ、インフルエンザ、風疹など)の感染、あるいは感染の疑いのある患者は検査を控えることを原則とする。やむを得ない場合は順番をその日の最後とし、検査者はサージカルマスクを着用する。
- ・接触感染予防策を必要とする病原体(メチシリン耐性黄色ブドウ球菌など)が気道系に感染している患者、口腔内に明らかな出血や血痰がある患者は検査を控えることが望ましいが、やむを得ない場合は順番をその日の最後とし、消毒方法(表VI-1)に従って消毒を行う。また、検査者は必ずサージカルマスクを着用する。
- ・感染患者の検査後は装置の清掃と消毒を行う。以下に消毒方法を示す(表VI-1)。マウスピース、トランスデューサー、呼吸回路は高水準消毒を基本とするが、中水準消毒で結核菌その他の細菌、ほとんどのウイルスや真

菌を不活化もしくは死滅させることができる。基本的に流水による洗浄が最も大切であり、乾燥・保管は汚染されていない場所で行う。また、機器により消毒方法が異なるため、詳細は機器メーカーに確認しておく。

表VI-1 消毒方法

対象	消毒回数	消毒方法
マウスピース	・被検者ごと	<p><高水準消毒></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ウォッシャーディスインフェクター(洗浄熱水消毒機)による熱水消毒(80~93℃、3~10分) ・2%グルタラール 20分以上浸漬*
トランスデューサー 取り外しできる呼吸回路	<ul style="list-style-type: none"> ・1日の終了時 ・感染が疑われるとき 	<p><中水準消毒></p> <ul style="list-style-type: none"> ・0.1%次亜塩素酸ナトリウム 10分間浸漬** ・消毒用エタノール(または 70%イソプロパノール)10分間浸漬 <p><滅菌>***</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高圧蒸気滅菌 ・酸化エチレンガス滅菌 ・過酸化水素プラズマ滅菌
取り外しできない呼吸回路 流水洗浄できないもの	<ul style="list-style-type: none"> ・1日の終了時 ・感染が疑われるとき 	<ul style="list-style-type: none"> ・消毒用エタノール清拭と回路乾燥
環境	・汚染時	<ul style="list-style-type: none"> ・消毒用エタノール清拭 ・0.1%次亜塩素酸ナトリウム清拭
ノーズクリップ	・汚染時	<ul style="list-style-type: none"> ・消毒用エタノール(または 70%イソプロパノール)10分間浸漬あるいは清拭
手・指	・被検者ごと	<ul style="list-style-type: none"> ・石鹼と流水による手洗い ・アルコールをベースとした速乾性手指消毒薬

*蓋付容器を使用し、換気を十分にして蒸気暴露に注意する。

**低残留毒性であるが、金属腐食性があり金属器具には使用不可。

***滅菌を第一選択にする必要はない。

日本呼吸器学会呼吸機能検査ガイドライン 2004 より引用

VII. 予測式について

表VII-1 日本人成人のスパイロメトリー予測式

Baldwin らの式(18 歳以上)

$$\text{男性:VC(L)} = (27.63 - 0.112 \times \text{年齢}) \times \text{身長(cm)} / 1000$$

$$\text{女性:VC(L)} = (21.78 - 0.101 \times \text{年齢}) \times \text{身長(cm)} / 1000$$

2001 年日本呼吸器学会肺生理専門委員会の日本人の予測式(18 歳以上)

$$\text{男性:VC(L)} = 0.045 \times \text{身長(cm)} - 0.023 \times \text{年齢} - 2.258$$

$$\text{女性:VC(L)} = 0.032 \times \text{身長(cm)} - 0.018 \times \text{年齢} - 1.178$$

2014 年日本呼吸器学会肺生理専門委員会の日本人の予測式(18 歳以上)

$$\text{男性:VC(L)} = \exp[-8.8317 + 2.1043 \times \ln(\text{身長(cm)}) - 0.1382 \times \ln(\text{年齢}) + m-s]$$

$$\text{女性:VC(L)} = \exp[-8.0707 + 1.9399 \times \ln(\text{身長(cm)}) - 0.1678 \times \ln(\text{年齢}) + m-s]$$

※m-s:年齢ごとの Mspline

西間の式(6~17 歳)

$$\text{男性:VC(L)} = 0.0481 \times \text{身長(cm)} - 4.240$$

$$\text{女性:VC(L)} = 0.0410 \times \text{身長(cm)} - 3.480$$

石田の式(12 歳以下)

$$\text{男性:VC(L)} = 0.0340 \times \text{身長(cm)} - 2.487$$

$$\text{女性:VC(L)} = 0.0343 \times \text{身長(cm)} - 2.609$$

金上の式(13 歳)

$$\text{男性:VC(L)} = (1.40 \times \text{年齢} - 1.20) \times \text{身長(cm)} / 1000$$

$$\text{女性:VC(L)} = (1.70 \times \text{年齢} - 6.70) \times \text{身長(cm)} / 1000$$

金上の式(14~17 歳)

$$\text{男性:VC(L)} = (0.48 \times \text{年齢} + 17.18) \times \text{身長(cm)} / 1000$$

$$\text{女性:VC(L)} = (\text{年齢} + 3.10) \times \text{身長(cm)} / 1000$$

2014 年に LMS 法による新しい予測式が報告され(表VII-1)、スパイロメーターに導入されるようになってきたが、障害認定などの混乱を防ぐため、①当面 2001 年の予測式の使用を推奨する、②学術雑誌に論文を投稿する際にはじん肺の肺機能検査や呼吸機能障害の障害認定に関する論文を除き、2014 年予測式を使用することを推奨する、と提言している。

VIII. 略語集

I. スパイロメトリー

略語	英語	日本語
IRV	inspiratory reserve volume	予備吸気量
TV	tidal volume	1 回換気量
ERV	expiratory reserve volume	予備呼気量
RV	residual volume	残気量
TLC	total lung capacity	全肺気量
VC	vital capacity	肺活量
IC	inspiratory capacity	最大吸気量
FRC	functional residual capacity	機能的残気量
%VC	vital capacity %predicted	対標準肺活量
FVC	forced vital capacity	努力肺活量
FIVC	forced inspiratory vital capacity	努力吸気肺活量
FEV ₁	forced expiratory volume in one second	1 秒量
%FEV ₁	forced expiratory volume in one second %predicted	対標準 1 秒量
PEF	peak expiratory flow	最大呼気流量
ATI	air trapping index	空気とらえこみ指数
BEF	back-extrapolated volume	外挿気量
%FEV ₁ (G) = (FEV ₁ /FVC) × 100		Gaensler(ゲンスラー)の 1 秒率
%FEV ₁ (T) = (FEV ₁ / VC) × 100		Tiffeneau(ティフノー)の 1 秒率

用語の説明

<p>APTS(ambient temperature and pressure,saturated with water vapor) 測定時の室温・大気圧、室温での水蒸気で飽和された状態のこと(採取された呼気容積は APTS 表示)</p>
<p>BTPS(body temperature ambient pressure,saturated with water vapor) 測定時の大気圧下で室温を 37℃に補正し、水蒸気で飽和された状態のこと(肺内の気体容積は BTPS 表示)</p>
<p>STPD(standard temperature and pressure,dry) 0℃、760mmHg で水蒸気を含まない状態のこと(肺胞レベルでのガス交換量は STPD 表示)</p>

Ⅱ. 精密呼吸機能検査『FRC・DLCO』

略語	英語	日本語
FRC	functional residual capacity	機能的残気量
RV	residual volume	残気量
TLC	total lung capacity	全肺気量
ERV	expiratory reserve volume	予備呼気量
DLco	diffusing capacity of the lung for carbon monoxide	肺拡散能
Vgas		ガスの拡散量
K		ガス交換膜の拡散係数
α		ガス交換膜の溶解係数
A		ガス交換膜の面積
T		ガス交換膜の厚さ
P ₁ -P ₂		組織の両側における分圧較差
VA	alveolar volume	肺胞気量
B.H.T.	breath holding time	息こらえ時間

Ⅲ. 気管支拡張薬反応性検査

略語	英語	日本語
SABA	short acting β_2 -agonist	短時間作用性 β_2 刺激薬
LABA	long acting β_2 -agonist	長時間作用性 β_2 刺激薬
SAMA	short acting muscarinic antagonist	短時間作用性抗コリン薬
LAMA	long acting muscarinic antagonist	長時間作用性抗コリン薬
pMDI	Pressurized metered dose inhaler	加圧式定量噴霧式吸入器

IV. オシロメトリー

略語	英語	日本語
Zrs	respiratory system impedance(記号「Z」)	呼吸インピーダンス
Rrs	respiratory system resistance (記号「R」)	呼吸抵抗
Xrs	respiratory system reactance (記号「X」)	呼吸リアクタンス
Raw	airway resistance	気道抵抗
Rti	tissue resistance	組織抵抗
Rcw	chestwall resistance	胸郭抵抗
Fres	resonant frequency	共振周波数
R5		5Hz における呼吸抵抗
R20		20Hz における呼吸抵抗
Pm	mouse pressure	口腔内圧

V. 呼気一酸化窒素

略語	英語	日本語
NOS	nitric oxide synthase	NO 合成酵素
iNOS	inducible nitric oxide synthase	誘導型 NO 合成酵素
cNOS	constitutive nitric oxide synthase	構成型 NO 合成酵素
FeNO	fractional exhaled nitric oxide	呼気一酸化窒素
ATS	American thoracic society	米国胸部疾患学会
ERS	European respiratory society	欧州呼吸器学会

IX. 参考文献

1

(一社)日本呼吸器学会:呼吸機能検査ハンドブック, 日本呼吸器学会 肺生理専門委員会 呼吸機能検査ハンドブック作成委員会, (一社)日本呼吸器学会, 東京, 2021.

2

(一社)日本臨床衛生検査技師会:JAMT技術教本シリーズ 呼吸機能検査技術教本, (一社)日本臨床衛生検査技師会(監), 2016

3

(一社)日本呼吸器学会:臨床呼吸機能検査 第7版, 日本呼吸器学会 肺生理専門委員会, (株)メディカルレビュー社, 東京, 2008.

4

(一社)日本呼吸器学会:呼吸機能検査ガイドライン, 始頁-終頁, 日本呼吸器学会 肺生理専門委員会, (株)メディカルレビュー社, 東京, 2004.

5

(一社)日本アレルギー学会:喘息予防・管理ガイドライン2018, 喘息予防・管理ガイドライン2018作成委員, (株)協和企画, 東京, 2018.

6

(一社)日本呼吸器学会:COPD診断と治療のためのガイドライン2018[第5版], 日本呼吸器学会COPDガイドライン第5版作成委員会, (株)メディカルレビュー社, 東京, 2018.

ガイドライン作成委員会 [生理検査部門]

委員長	西脇 啓太	半田市立半田病院
委員	及川 和紀	国家公務員共済組合連合会 名城病院
委員	花井 甲太郎	名古屋掖済会病院
委員	櫛田 智仁	公立陶生病院
委員	宮澤 法子	JCHO中京病院

(協力)公益社団法人愛知県臨床検査技師会 生理検査研究班

<問い合わせ先>

愛知県臨床検査標準化協議会事務局

〒450-0002

名古屋市中村区名駅五丁目16番17号 花車ビル1階

公益社団法人愛知県臨床検査技師会 事務所内

TEL 052-581-1013 FAX 052-586-5680

愛知県臨床検査標準化ガイドライン

呼吸機能検査における手引書

第2版

発行 令和6年7月

発行所 愛知県臨床検査標準化協議会

発行者 加藤 雅通

編集者 内田 一豊、笹木 優賢、西脇 啓太