

高齢者の肺機能に関する調査研究報告書  
(抄)

平成12年3月

全国労働衛生団体連合会

## 高齢者の肺機能に関する調査研究委員会 委員名簿

相澤好治	北里大学医学部衛生学・公衆衛生学教授
*阿部直	北里大学医学部内科講師
川城丈夫	国立療養所東埼玉病院長
木田厚瑞	東京都老人医療センター呼吸器科部長
○*工藤翔二	日本医科大学第四内科主任教授
佐々木英忠	東北大学医学部老年・呼吸器病態学講座教授
*高崎雄司	日本医科大学第四内科助教授
西村正治	北海道大学医学部第一内科助教授
*冬木俊春	関東労災病院呼吸器内科部長

○：委員長

\*：ワーキンググループ委員

## IV. 換気機能測定（スパイロメトリー）の特殊性と

### 高齢者における測定上の問題点

#### 要 旨

1. 測定値の変動要因には、検査機器・検査技師の技量などの技術的要因、被検者の努力などの個人内の要因、体格などの個人間の要因などがある。
2. 被検者の最大努力に依存した検査であるため、被検者には検査方法に関する理解力、検者との協力、さらに検査に要する最低限の身体的能力が必要である。
3. 測定値は体位の影響を受けるので、立位あるいは座位で検査し、検査時の体位を記録することが望ましい。
4. 現在市販されている検査機器のなかでは、ローリングシール型が最も推奨される。また、測定に用いた機器のタイプを記録しておくことが望ましい。
5. 検査機器の標準化と各検査施設における検査機器の精度管理が重要である。
6. 被検者が高齢の場合には、測定上の問題点が多く、測定値を解釈する上でも高齢者の特殊性を考慮しなければならない点が多い。

スパイロメトリーなど換気機能の測定は呼吸生理学を基盤とした代表的な生理学的な臨床検査であり、現在では、日常診療上最も基本的な検査の一つと考えられている。生理学的検査は、被検者自身を検査の対象とする点で、検体を検査の対象とする多くの臨床検査とは根本的に異なり、被検者と検者の良好な関係が不可欠となる。換気機能の測定には被検者の最大努力が必要なため、他の生理学的な臨床検査に比較して種々の特殊性がある。さらに、測定値は、同一個人内でも変動すること、測定時の体位によっても異なること、正常値が性、年齢の他、身長によって異なることなどの点も検体を検査の対象とする多くの臨床検査と異なる点である。

また、測定値を解釈するに当たっては、換気機能の測定に用いる検査機器の標準化、精度管理に関わる諸問題も考慮に入れる必要がある。ことに高齢者を被検者とする場合には、若年成人に比べ、測定上の問題点が多く、測定値を解釈する上でも高齢者の特殊性を考慮しなければならない点が多い。

本章では、臨床検査としての換気機能測定の特異性と、被検者が高齢者の場合に特に注意しなければならない問題点についてまとめる。

## 1. 測定値の変動要因

換気機能の測定値には、①使用する検査機器の相違、②種々の検査手順の違い、③検査技師の技量、④検査に対する被検者の理解度、⑤被検者と検査技師の協調性など、さまざまな要素が大きく影響する<sup>1)</sup> (表IV-1)。また、特に呼吸器疾患を有する患者においては、検査を行う時刻（早朝・午後など）や時期（冬・夏など）などによっても、測定値は大きく変動することが知られている。このため、換気機能の測定時には、測定値の変動を最小限に抑える努力を十分に払う一方、測定結果を解釈するにあたっては、測定時の変動要因を十分に考慮する必要があり、測定結果の解釈に影響する変動要因については明記しておくことが望ましい。

表IV-1 測定値の変動要因（文献1より引用改変）

---

技術的要因

検査機器、被検者の協力度、検査手技、  
コンピュータソフトウェア、温度、標高 等

生物学的要因

個人内 努力、体位、頭位、日内変動、および季節変動

個人間 個人的要因（性、体格、年齢、体力、筋力、人種その他の遺伝的要因、  
現在と過去の健康状態、および合併症 等）

環境要因（喫煙、職業、居住地、大気（環境）汚染、  
社会経済的状况 等）

集団間 調査対象の選別あるいは除外基準 等

---

### 1) 個人内変動の要因

換気機能に関する個人内の変動要因は、それぞれ被検者の、①努力、②体位、③頭の位置、④日内変動などが主なもので、これらの相違により無視できないほど検査結果が異なることが知られている。たとえば、頭部を後方に大きくそらし頸部を伸展させると、気管が伸展するとともに気管壁が硬化する結果、1秒量は不変だが、特に高肺気量位（機能的残気量位以上）における最大呼気流量（maximal expiratory flow：MEF）などは通常の体位よりも最大35%まで増加することがある。一方、頭部を前屈にして頸部の屈曲を行うと、頸部の伸展時とは反対に最大呼気流量は減少し、気道抵抗は増加する。次に、被検者の努力については、努力肺活量を含めた呼気流量を測定する検査では、これらの各種パラメーターが被検者の努力に大きく依存せざるを得ず、これが測定値の変動に大きく影響する。一般に、被検者の最大努力はピークフロー（peak expiratory flow rate：PEFR）値から判定することが可能なため、このような検査では常にピークフローを考慮しつつ、診断する必要がある。なお、米国胸部疾患学会（American Thoracic Society：ATS）の勧告では、フローボリューム曲線の形を参考にして、満足できるスパイロメトリー検査を最低3回行い、3回の努力肺活量（forced vital capacity：FVC）あるいは肺活量（vital capacity：VC）の測定値のうちの最大値と2番目に大きい値の差が0.2L以下であれば、再現性のある検査と判定できるとしている（p38参照）。また、高齢者では、個人内のばらつきが大きい。さらに、最大呼気努力を

要する換気機能測定を繰り返すと気道が攣縮して、努力肺活量や1秒量を有意に低下させることもあるため、このような測定の繰り返しも主な変動要因の一つとなる。換気機能の測定値が日内変動を示すことも広く知られている。たとえば、健常人では最大呼気流量が早朝に最も低く、昼前後に最大となることが知られている。この他、健常人では、1秒量やピークフロー、気道抵抗、機能的残気量 (functional residual capacity : FRC)、全肺気量 (total lung capacity : TLC)、残気量 (residual volume : RV) などの肺気量も日内変動が観察できるとの報告がある。また、換気機能の日内変動は気管支喘息ではさらに顕著なことが多い。このため、換気機能の測定時刻は多くのパラメーターが最大となる昼前後の測定が理想的であり、評価を行う際には、指標によっては、測定時刻も重要な要因となる。

様々な条件を一致させて、健常者と嚢胞性肺線維症患者との換気機能測定値の個人内変動を比較した結果では、嚢胞性肺線維症患者において測定値の変動幅が有意に大きいとの報告<sup>2)</sup>がある。じん肺患者においても、換気機能の個人内変動は健常者における変動幅<sup>2), 3), 4)</sup>に比較して大きいことが予想され、今後、じん肺患者における個人内変動についても研究的に把握していくことが望まれる。

## 2) 個人間の変動要因

換気機能の個人間変動に少なからず影響する主な要因としては、被検者の、①性と体格、②年齢、③人種、④合併症の有無、が挙げられている。

①性と体格：体格がほぼ同一の男女の最大呼気流量を比較すると、幼少期では女性のほうが男性より大きい一方、成人以降では男性のほうが大きく、肺気量も男性のほうが増加することが知られている。また、被検者の体格は性差以上に換気機能の測定値に大きく影響することが観察されている。すなわち、換気機能の測定値は、一般に、身長とともに増加、体重増加とともに減少することが明らかにされている。

②年齢：換気機能の測定値は、一般に、20～30歳で最大、以降、加齢とともに低下することが観察されている。

③人種：白人以外の人種の被検者と白人を比較すると、1秒量、拡散能などの呼吸機能測定では、白人で高値をとる傾向にある。たとえば、白人は黒人よりも全肺気量、努力肺活量、1秒量で約12%、機能的残気量や残気量では7%高い値をとるとの報告がある。この原因は不明だが、栄養状態、日頃からの運動量、生活地域の大気汚染状態、経済的な余裕などが関与すると考えられている。したがって、日本人の場

合も、栄養状態や大気汚染のばく露状況により、呼吸機能測定値が少なからず影響されている可能性は否定できない。

- ④合併症の有無：呼吸機能は、様々な臓器の疾患を合併する場合にも少なからず影響されると思われる。1例を挙げると、左心不全の合併があれば重症度が増すにつれて各種の肺気量の減少、拡散能力低下などを伴うようになる。換気機能の測定値の評価に当たっては合併症の有無を明らかにしておくことが重要であり、評価に影響したと判断した合併症については明記しておくことが望ましい。

## 2. 最大努力が行われたか

換気機能の測定は、被検者の最大努力に依存した検査である。そのため、被検者には、検査方法に関する理解力、検者との協力・協調、さらに、検査に要する最低限の身体的能力が必要である。言い換えれば、検者のかけ声にあわせて、検査機器内に努力呼出でることが必要である。しかしながら、これらの要件が満たされない状態や病態も少なくない。すなわち、検査の実施が困難となる状態や病態は、①被検者の抱える状態（病態）、②検査により増悪する可能性が大きい疾患の存在、の2つに大別できる<sup>5)</sup>。表IV-2に換気機能が測定不可能なさまざまな状態を、また、表IV-3には換気機能の測定が禁忌となる病態を列記した。

表IV-2 換気機能が測定不可能あるいは困難な状態（文献5より引用改変）

---

意識障害  
精神神経疾患  
痴呆または理解力の低下  
高度の難聴  
気管切開口の存在  
顔面神経麻痺  
口腔内疾患  
合わない義歯  
激しい咳嗽  
激痛  
妊娠

---

表IV-3 換気機能測定 of 禁忌 (文献5より引用改変)

絶対的禁忌

- 急性心筋梗塞
- くも膜下出血
- 胸痛を伴う解離性大動脈瘤
- その他、絶対的な安静が必要な病態

相対的禁忌

- 咯血
- 気胸
- 不安定狭心症
- 高度の高血圧 (収縮期血圧が200mmHg 以上)
- その他、比較的安静が必要な病態

痴呆やうつ病の合併があれば、検査の協力が得られないといった問題がある一方、顔面神経麻痺、合わない義歯、気管切開部などからの空気漏れがある場合、口腔内疾患、激痛を伴う場合などでは最大努力が不可能となることが多く、スパイログラムなどを含めた換気機能検査の実施が不可能となる。

全身状態が一見よさそうでも、換気機能の測定のために最大努力を行うことによって状態が急速に悪化してしまう可能性のある疾患も少なくない。例えば、狭心症、急性期の心筋梗塞などの虚血性心疾患では、換気機能測定時の最大努力により血圧変動が増大し、狭心痛や不整脈の誘発などの可能性を増大させることもあるため、一般には禁忌と考えられている。また、胸痛を伴う解離性大動脈瘤やくも膜下出血の疑われる患者では、努力呼出などにより病状が急激に悪化するおそれがあるため、換気機能の測定は禁忌である。この他、高血圧を伴う脳血管障害、咯血中の患者や気胸なども相対的に禁忌とされている。

一方、検者には、被検者に検査方法を適切に説明できること、被検者と良好な関係が築けること、および十分な経験と技術水準が必要である。被検者の最大努力を引き出すためには豊富な経験が欠かせない。また、手技が適切に行われたか、結果が適正であるか、再現性があるかなどを適切に判定するには、高度な技術水準が欠かせない。さらに、結果を判定する医師は、得られた結果を適切かつ総合的に判断する必要がある。



### 3. 測定時の体位の影響

リラックスした状態で測定される機能的残気量の大きさは体位の影響を受け、仰臥位での機能的残気量は立位に比べて小さくなるが、最大努力下で測定される肺活量、1秒率、および1秒量に対する体位の影響は小さい。しかしながら、仰臥位で測定した1秒率と1秒量は、立位での測定値に比較して有意に小さいことが知られている。また、肺活量、努力肺活量では、立位よりも仰臥位で7~8%低値を示し、また立位よりも座位で1~2%低い値をとるとの報告がある<sup>1)</sup>。患者を対象とした検査では、立位での検査が困難あるいは危険な場合もあるので、米国胸部疾患学会は、立位あるいは座位のいずれで検査しても良いが測定時の体位を報告書に記載するべきであると勧告している<sup>2)</sup>。現時点では、米国胸部疾患学会が勧告しているように、立位あるいは座位で検査し、その体位を記載することが望ましい。なお、仰臥位で検査した場合は、その理由も明記しておくべきである。

#### 4. 予測式によって求められる正常値

換気機能の測定では、他の臨床検査と異なり、肺活量などの正常値が多くの要因により影響される。換気機能検査の正常値は、性・年齢・身長・人種・体重（体表面積）・体位により異なり、一般に、人種と体位を限定した上で、性別に、年齢・身長を変数とした予測式により求められる。

換気機能の正常値は数多く報告されている。これらの正常値は、報告によって少なからず相違しているため、どの正常値を参考にするかにより、換気機能を行った被検者の病態判定が異なることにもなりかねない。特に、健常者に喫煙者を含むか否かは大きな問題となることが予想される。健康診断受診の健常者を対象にスパイロメトリーを実施し、喫煙の影響を検討した報告<sup>7)</sup>によれば、喫煙によって、肺活量 (VC)、予測肺活量 (%VC)、努力肺活量 (FVC)、Gaenslerの1秒率 (FEV<sub>1.0</sub>%-G)、 $\dot{V}_{50}$ などには有意差を認めなかったが、身長で除した努力肺活量および1秒量 (FVC/HTおよびFEV<sub>1.0</sub>/HT)、予測1秒率 (%FEV<sub>1.0</sub>)、Tiffeneauの1秒率 (FEV<sub>1.0</sub>%-T)、 $\dot{V}_{25}$ などには有意な変化が観察された (表II-4)。これは換気機能の測定値を検討する上で喫煙の考慮が非常に重要なこと、言い換えれば、喫煙の影響を常に念頭に置いておく必要があることを示している。正常値を求める場合の被検者の条件として、米国胸部疾患学会では、以下の項目を満たすよう勧告している<sup>1,6,8)</sup>。すなわち、被検者の条件として、a) 喫煙歴のない者、b) 心肺疾患の既往がなく呼吸器症状を全く訴えない者を挙げている。

表IV-4 年齢と1日当たりの喫煙本数の各種換気機能検査値に対する寄与率(文献7より)

	年 齢	喫煙本数/日	交互作用
VC	0.1293**	0.0000	0.0039
%VC	0.0193**	0.0003	0.0042
FVC	0.1544**	0.0036	0.0000
FVC/HT	0.1414**	0.0092*	0.0000
%FVC	0.0396**	0.0128*	0.0000
FEV <sub>1.0</sub>	0.1947**	0.0037	0.0000
FEV <sub>1.0</sub> /HT	0.1824**	0.0091*	0.0000
%FEV <sub>1.0</sub>	0.0000	0.0243**	0.0000
FEV <sub>1.0</sub> %-G(FEV <sub>1.0</sub> /FVC×100)	0.0140**	0.0000	0.0000
%FEV <sub>1.0</sub> %-G	0.0708**	0.0000	0.0000
FEV <sub>1.0</sub> %-T(FEV <sub>1.0</sub> /VC×100)	0.0305**	0.0169**	0.0312**
%FEV <sub>1.0</sub> %-T	0.0051	0.0184**	0.0358**
MMF	0.0956**	0.0005	0.0005
%MMF	0.0047	0.0032	0.0044
V̇ <sub>50</sub>	0.0544**	0.0000	0.0000
V̇ <sub>50</sub> /HT	0.0416**	0.0000	0.0000
V̇ <sub>25</sub>	0.0942**	0.0089*	0.0109*
V̇ <sub>25</sub> /HT	0.0813**	0.0109*	0.0153*
%V̇ <sub>25</sub> /HT	0.0295**	0.0129*	0.0186*

[\* : p<0.05, \*\* : p<0.01]

## 5. 検査機器の測定原理の影響

### 1) 気流量検出型と気量検出型

スパイロメーターには、①気流量検出 (flow-sensing) 型と②気量検出 (volume-displacing) 型がある<sup>9)</sup>。

#### ①気流量検出型

気流量を直接測定し、それを積分して気量を求めるタイプである。センサーには回転式、差圧式、および、熱線式がある。

一般的に気流量検出型は、測定時間が長くなると直流増幅器の基線のずれ(いわゆるドリフト)が生じやすいため、気流量にわずかな測定誤差が生じやすい。気流量に測定誤差がわずかに生じて、気流量を積分して求められる気量には大きな誤差が生じる。そのため、市販の気流量検出型の機器では、気流量を積分して得られる気量の誤差を少なくする目的で、一定以下の気流量になった時点で測定を終了(いわゆるローフロー・カット)、あるいは、一定時間経過した時点で測定を終了させる機能<sup>10)</sup>がソフトウェア

によって付加してあることが多い。

## ②気量検出型

気量を直接測定し、それを微分して気流量を求めるタイプである。センサーには、水封型、ふいご型、およびローリングシール型がある。

一般的に、気量検出型では気量は正確に測定できるが、気流量が急激に変化する呼出の開始とピークフローの近傍で測定誤差が生じやすく、波形がなまりやすい。

水封型およびふいご型では気流量検出型に比較して周波数応答性が低いためこの傾向が強かったが、ローリングシール型では、周波数応答性が改善され、測定誤差が生じにくくなっている。

## 2) 内蔵コンピュータソフトウェア

現在は、単純な測定装置を除き多くの市販の検査機器にはコンピュータが内蔵されソフトウェアが組込まれているが、一般に、これらのソフトウェアは公開されていない。呼出開始と終了のタイミングの同定、および波形をsmoothingするソフトウェアのアルゴリズムの違いなどは、測定結果に影響することが予想される。

## 3) 測定機器と換気機能の測定値との関連

安静時肺活量 (Relaxed Vital CapacityまたはSlow Vital Capacity) を測定する際、あるいは高度の閉塞性障害を有する患者の努力肺活量を測定する際には、呼気が長時間にわたって徐々に呼出される。気流量検出型の機器では、前述のようにローフロー・カット、あるいは一定時間経過した時点で測定を終了させる機能<sup>10)</sup>がソフトウェアによって付加してあることが多く、低気流量あるいは時間制限のために測定が中断してしまう。

努力呼出が途中で中断すると、肺活量や努力肺活量が小さくなると共に $\dot{V}_{25}$ を測定する肺気量が高肺気量位にずれるため、 $\dot{V}_{25}$ は見かけ上大きくなる。したがって、“測定誤差を小さくする機能”が、被検者によっては肺活量、努力肺活量、 $\dot{V}_{25}$ にとって大きな誤差の要因となる。

また、高度の閉塞性障害を有する患者では呼出が長時間にわたるので、気流量検出型ではフローボリューム曲線を測定する際に直流増幅器の基線のずれが生じやすい。 $\dot{V}_{25}$ は呼出の終末に近いいため、基線のずれの影響を大きく受けて大きな測定誤差が生じやすい。

現在市販されているスパイロメーターにはそれぞれ一長一短があるが、総合的にみると気量検出型のうちのローリングシール型が最も推奨される。その他の機器を用いている場合には、換気機能の測定値を評価するにあたって測定に用いた機器の特性や弱点を十分把握しておく必要がある。いずれにしても、測定に用いた機器のタイプを記録しておくことが望ましい。

## 6. 機器の標準化の必要性

日本では、1987年に定められたJIS規格「臨床用電子式スパイロメーター」<sup>14)</sup>により、適用範囲、用語の意味、使用条件、安全、性能、構成・構造および試験方法などが定められているが、性能に関しては米国胸部疾患学会が1995年に発表した「スパイロメトリーの標準化」にある勧告<sup>15)</sup>(表IV-5)のほうが、JIS基準に比較してきびしい基準となっている。このため、各メーカーは日本国内で市販する機器についても米国胸部疾患学会の基準に基づいて製品化している場合が多いようであるが、スワール型のように呼気流量のみ測定する機器では米国胸部疾患学会の基準が適用できない。また、米国では呼吸機能検査機器の性能を検査するために種々の努力呼出曲線の標準波形を出すことのできる試験装置も使用されている。

日本国内で使用されている呼吸機能検査機器の性能の必要最低条件を米国と同じ程度にするには現在のJIS規格を改定するか、あるいは学会等が自主的な基準を示す必要があると考えられる。

表IV-5 機器性能に関する必要最低条件 (文献6より引用改変)

---

肺活量の測定	最低30秒間にわたり気量を測定できること 0.5- 8 L (BTPS) の範囲で気量を測定できること 気量の測定誤差は0-14L/secの気流量の範囲で±3%あるいは ±0.05L以内のいずれかを満たすこと (3Lの校正用シリンジを用いて試験)
努力肺活量と1秒量の測定	最低15秒間にわたり気量を測定できること 0.5- 8 L (BTPS) の範囲で気量を測定できること 気量の測定誤差は0-14L/secの気流量の範囲で±3%あるいは ±0.05L以内のいずれかを満たすこと 機器(回路)の抵抗は14L/secで1.5cmH <sub>2</sub> O/L/sec以下であること (24個の標準波形を用いて試験)
気流量の測定	0-14L/sの範囲で測定可能であること 気流量の測定誤差は±5%あるいは±0.2L/s以内のいずれかを満たす こと 最低15秒間測定できること

---

※ 37°C、大気圧、水蒸気飽和状態：BTPS (body temperature and ambient pressure, saturated with vapor)

## 7. 精度管理の重要性

適正な検査を実施するには、機器の種類と特性を認識すると共に十分に精度管理された信頼できる機器を用いることが必要である。しかし、現在使用されている検査機器の中には、十分に精度が管理されているとは言い難いものもある<sup>10)</sup>。検査機器の劣化の問題は回避できず、各施設で、定期的、継続的に機器の精度管理を実施する必要がある。

表IV-6に、米国胸部疾患学会による精度管理に関する具体的方法を示す。わが国においても精度管理の具体的方法を示すことが望まれる。

表IV-6 機器の精度管理 (文献6より引用改変)

気量	毎日	3 L シリンジにてチェック
リーク	毎回	3 cmH <sub>2</sub> Oの圧にて1分間
直線性	年4回	1 L ずつ増加させ、全範囲を検査
	毎週	(気流量型のスパイロメーターの場合) 種々の気流量で実施
時間	年4回	(※機械的記録装置がある場合) ストップウォッチにて機械的記録装置のチェック
ソフトウェア		新しいバージョンを導入した際に検討

## 8. スパイロメトリーにおける指標と評価上の問題点

### 1) 気量に関する指標

#### ①肺活量 (VC) と%肺活量 (%VC)

肺活量とは、最大吸気位から呼出される最大の気量あるいは最大呼気位から吸入される最大の気量で、それぞれ被検者にゆっくり呼出あるいは吸入させて得られる。%肺活量とは、被検者の性・年齢・身長から求められる肺活量の正常値 (予測値) に対する肺活量 (実測値) をパーセントで表現したものである。%肺活量は拘束性換気障害、すな

わち肺気量の減少する障害の有無の判定に使用される。

②努力肺活量 (FVC)、および1秒量 ( $FEV_{1.0}$ )、1秒率 ( $FEV_{1.0}\%$ )、%1秒量 ( $\%FEV_{1.0}$ )

努力肺活量とは、最大吸気位より最大努力して得られる最大の呼出量、すなわち最大吸気位よりできるだけ速く最後まで呼出して得られる気量のことである。努力肺活量を求める際に、最初の1秒間に呼出された気量が1秒量である。この1秒量を肺活量で除し、パーセントで表現したのがTiffeneauの1秒率で、努力肺活量で除しパーセントで表現したのがGaenslerの1秒率である。現行のじん肺法では、Gaenslerの1秒率を用いることになっている。%1秒量とは、被検者の性・年齢・身長から求められる1秒量の正常値(予測値)に対する1秒量(実測値)をパーセントで表現したものである。

1秒量、1秒率、および%1秒量は閉塞性換気障害、すなわち気道が細くなり呼出量が低下する障害の有無の判定に利用される。閉塞性換気障害が強くなると1秒量と1秒率が低下するが、同時に努力肺活量も低下するため、1秒率は低下しにくくなる。そのため、慢性閉塞性肺疾患の病期分類、若年性肺気腫のための重症度分類、肺気腫に対する外科療法、および肺移植の適応基準などでは、%1秒量が用いられている<sup>12)</sup>。

## 2) 気流量に関する指標

①ピークフロー ( $\dot{V}_{peak}$ )

最大吸気位より最大努力呼出して得られる最も大きい気流量である。ばらつきが大きい指標であるが、連日測定により気管支喘息の病態を客観的に把握する指標として、喘息患者の管理に用いられている。

② $\dot{V}_{75}$ 、 $\dot{V}_{50}$ 、および $\dot{V}_{25}$

最大吸気位より最大努力で呼出した際の最大呼気流量 ( $\dot{V}_{max}$ )、肺活量の25%、50%、および75%を呼出した時点での気流量がそれぞれ、 $\dot{V}_{75}$ 、 $\dot{V}_{50}$ 、および $\dot{V}_{25}$ である。

$\dot{V}_{25}$ は、かつては、被検者の努力に依存しない指標、かつ末梢気道病変の早期検出に優れた指標として重要視されてきたが、以下に述べるように、その評価はかなり誤解されている面がある。また、ばらつきが大きく、信頼性に乏しい指標であることが明らかとなっている。

「 $\dot{V}_{25}$ が努力に依存しない」とは、肺活量の75%を呼出した時点での気流量は呼気努力を強めても気流量がある一定のレベル以上には増加しない、すなわち、努力に依存しない」との意味である。しかしながら、臨床的に用いられるフローボリューム曲線の検査



では、最大努力を要する肺活量を正確に求めない限り、すなわち最大に努力しない限り、肺活量の75%を呼出した時点を求めることができず、 $\dot{V}_{25}$ を正確に測定することはできない。この意味では被検者の「努力に依存しない」指標ではない。

太い気道に異常のない健常者、あるいは健常者に近い患者では、肺活量の75%を呼出した時点での気流量を制限する気道の部位は末梢気道にあると考えられ、 $\dot{V}_{25}$ が末梢気道病変の指標として用いられてきた。一方、肺気腫や慢性気管支炎などの慢性閉塞性障害が存在する患者では、気流量を制限する気道の部位は末梢気道に限らず太い気道にも認められ、一定の部位に限定されない<sup>13)</sup>。すなわち、1秒量が低下している場合には、 $\dot{V}_{25}$ は末梢気道病変の指標とはならない。また、最近では、健常者においても、残気量位近くでさえも、気流量を制限する気道の部位は末梢気道ではないとの報告<sup>14)</sup>もあり、 $\dot{V}_{25}$ が末梢気道病変の指標となりうるかどうか疑問となっている。

$\dot{V}_{25}$ は、フローボリューム曲線の指標のなかで、ばらつきが大きい指標であることが指摘されている<sup>2)</sup>。努力肺活量や1秒量の健常者個人内の変動係数が平均3.5~3.6%であるのに比較して、 $\dot{V}_{25}$ の変動係数は平均12~13.4%とかなり大きく、ピークフローあるいは $\dot{V}_{50}$ と比較しても大きい<sup>2, 4)</sup>。

## 9. 換気機能測定における高齢者の問題点

換気機能の測定上、高齢者では若年者に比し測定値の変動が明らかに大きい。また、高齢者の場合は、無症候だが換気機能の測定値に影響する合併症を伴う可能性が高いことを常に念頭に置く必要がある。このため、高齢者においては、被検者それぞれの特有な変動要因を十分に理解・把握したのち、換気機能の測定値を解釈する必要がある。前述のような様々な要因により換気機能の測定値は影響されるが、測定時の被検者にまつわる様々な因子によっても測定値の変動が生じ、測定間のばらつきが大きく、また、換気機能障害の程度を過大に評価してしまう可能性が生じる。特に、スパイロメトリーに限ってみると、測定上の主な問題点としては以下のようなことが考えられる。すなわち、①測定時の咳嗽、②呼出開始の遅れ、③声門の閉鎖、④マウスピース周囲からの漏れ、⑤患者が噛んだ場合などのマウスピースの狭窄・閉塞、⑥呼出努力が不十分であることが挙げられる。

### 1) 測定時の咳嗽、呼出開始の遅れなど

測定開始直後の咳嗽や呼出開始の遅れは、特に1秒量低下などとして現れる結果、慢性閉塞性肺疾患などとまちがわれる可能性が生じてしまう。発声などの声門の狭窄・閉塞や呼出開始の遅れが起こると、ピークフローや1秒量の低下などとして測定結果に反映される結果、上気道閉塞や慢性閉塞性肺疾患などの合併と誤診される可能性が高まってしまう。一方、マウスピース周囲からの空気の漏れが起こると、肺活量の低下などが起こるため、拘束性換気障害と判定されてしまうことも考えられる。このように、①～⑥のような状態が確認できた場合は、換気機能検査を再度実施し、正確な測定結果が得られるよう努力する必要がある。

### 2) 再現性の低さと繰り返しの困難さ

米国胸部疾患学会の勧告では、満足できるスパイロメトリー検査を最低3回行い、3回の努力肺活量（あるいは肺活量）の測定値のうち最大値と2番目に大きい値の差が0.2L以下であるべきであるとしている。さらに、変動幅が著しく勧告基準以上に変動した場合には、検査をさらにもう1回追加しなければならないと述べている<sup>6)</sup>。したがっ

て、高齢者の場合には結果として変動幅が大きくなり、4回以上スパイロメトリーを実施しなければならない場合も少なくないと思われる。しかし、スパイロメトリーを65～85歳の健常者を対象に検討した報告<sup>8)</sup>によれば、145名/5165名2.8%の被検者で、スパイロメトリーを3回行うことが不可能だったと述べており、高齢者における換気機能検査の実施はより困難なことが予想される。

### 3) 合併症と身体要因

高齢者では合併症を伴う確率が確実に増加する。しかも、このような合併症が換気機能の測定値に大きく影響するものが多いこと、さらに喫煙を含めた環境因子による換気機能への影響が予想される被検者の割合が著しく増加するため、換気機能の測定値の解釈が一層困難となることが予想される。また、高齢者では、前述した換気機能測定が禁忌となる疾患の有無も十分に確かめる必要がある。

高齢者では、高齢者に特有な様々な身体的要因により換気機能の測定の実施を困難にしたり、測定値が変化することも少なくない(表IV-7)。しかし、残念ながら、これらの様々な要因が換気機能の測定値にいかに関与するかに関する定量的な検討はほとんどない現状である。定性的には、難聴や測定手技に対する理解力の欠如により、病態を正確に反映した換気機能がなかなか測定できない可能性が高くなるとともに、測定回数を通常以上に重ねなければならないことにもなりかねない。また、合わない義歯の場合は空気の漏れ、義歯の脱落などに伴う検査中止などに結びつく可能性が大きいことなどが考えられる。判定の際には身体的要因や測定条件を考慮すべきであり、どのような条件で測定されたかを記録しておくことが望ましい。

表IV-7 換気機能測定値に及ぼす高齢者に特有な要因

---

測定手技に関する理解力の欠如
難聴
脊柱の彎曲(正常値を求めることが困難など)
義歯(通常は義歯をしたまま測定)
体位

---

高齢者では、骨粗鬆症などにより、椎体骨がつぶれて脊柱が短縮したり、彎曲したりして、身長が短縮している患者が増加する。脊柱が彎曲すると、全肺気量、肺活量などの肺気量が減少するとともに、高度になれば換気機能も障害される。このような場合、単に低下した身長から換気機能予測値を求めると予測値が小さくなり、明らかな換気機能障害が存在していても正常と誤って判定される可能性が高まる。このような被検者に対しては、両側上腕を可能な限り広げた際の第3指の先端から先端までの長さ、すなわち両側上腕長から、脊柱に異常がない場合の身長を予測することを考慮すべきである。Hepperらの報告<sup>15)</sup>によると、若年健常者では身長と両側上腕長とはほぼ等しく、その変動幅は少ない。身長に対する両側上腕長の比は、40-49歳の健常男性34名と健常女性30名とでは、それぞれ $1.033 \pm 0.026$  (平均 $\pm$ 標準偏差)と、 $1.009 \pm 0.024$ であり、30-39歳でもほぼ同様であった。したがって、骨粗鬆症などにより、椎体骨がつぶれ脊柱が明らかに短くなっていたり、彎曲している高齢者の換気機能の評価には、上肢および肩に異常がない限り、予測値を求める際には、両側上腕長を代用した身長の値を用い、その理由を付記することが望ましい。

## 文 献

- IV-1) American Thoracic Society. Lung function testing : Selection of reference values and interpretive strategies. *Am Rev Respir Dis* 144 : 1202,1991.
- IV-2) Bruce, G. et al. Within-subject variability and percent change for significance of spirometry in normal subjects and in patients with cystic fibrosis. *Am Rev Resp Dis* 122: 859, 1980.
- IV-3) じん肺に関する健康管理についての調査研究委員会報告書. 中央労働災害防止協会. 1987.
- IV-4) Lebowitz, M. D. et al. Significance of intraindividual changes in maximum expiratory flow volume and peak expiratory flow measurements. *Chest* 81: 566, 1982.
- IV-5) 楠木孝之、川越康博、金野公郎. スパイロをやれない病態、やらない病態. 呼と循 39 : 1197. 1991.
- IV-6) American Thoracic Society. Standardization of Spirometry. *Am J Respir Crit Care Med* 152 : 1107,1995.
- IV-7) 池田初恵、加藤政仁、竹内俊彦. 健常者の肺機能成績に及ぼす喫煙の影響-コンピューターによる統計的解析-. *日胸疾会誌* 24 : 871. 1986.
- IV-8) Enright PL, et al. Spirometry reference values for women and men 65 to 85 years of age. *Am Rev Respir Dis* 147 : 125,1993.
- IV-9) Wanger J. Pulmonary function testing - A practical approach. 2<sup>nd</sup> ed. Baltimore. Williams & Wilkins. 1996.
- IV-10) 冬木俊春、中村雅夫、千代谷慶三、宇垣公晟、影山浩、佐々木英忠. 呼吸機能検査測定機器の精度に関する調査報告. 準備中.
- IV-11) 臨床用電子式スパイロメーター. in 医療用具の規格基準解説. 医療用具研究会編. 東京. 薬業時報社. 1993. p.646.
- IV-12) COPD (慢性閉塞性肺疾患) 診断と治療のためのガイドライン. 日本呼吸器学会COPDガイドライン作成委員会編. 日本呼吸器学会発行. メディカルレビュー社、1999.
- IV-13) Macklem, P. T. et al. Bronchial pressure measurements in emphysema and bronchitis. *J Clin Invest* 44: 897, 1965.
- IV-14) Smaldone, G.C. and P. L. Smith. Location of flow-limiting segments via airway catheters near residual volume in humans. *J. Appl. Physiol.* 59: 502, 1985.
- IV-15) Hepper NGG, Black LF, Fowler WS. Relationships of lung of volume to height and arm span in normal subjects and in patients with spinal deformity. *Am Rev Respir Dis* 91 : 356,1965.

## V. 動脈血ガス分析の意義と評価上の留意点

### 要 旨

1. 動脈血ガス分析は肺のガス交換機能と体液の酸塩基平衡をみる検査であり、広義の肺機能検査の最も重要な検査のひとつである。肺の換気機能をみるスパイログラム等とは異なる機能をみているため、互いに代用できるものではない。
2. 動脈血ガス分析の際に耳朶血を検体として代用することはできない。
3. 動脈血ガス分析はスパイログラム等の換気機能検査に比べると、被験者の意図や努力に比較的影響されない特徴がある。
4. 動脈血ガス分析を正確に行なうためには、被験者の測定時の呼吸状態に留意するとともに、採血方法・検体管理・測定方法等に細心の注意を払うべきである。
5. 動脈血ガス分析の測定項目の中で $Pa_{O_2}$ は動脈血酸素化の指標であり、 $Pa_{O_2}$ が低下する呼吸器系の機能障害を呼吸不全と定義することが多い。
6.  $Pa_{CO_2}$ は肺泡換気量が適正であるかどうかを知る指標であり、pHは体液の酸塩基平衡を知る指標である。
7.  $AaD_{O_2}$ は肺泡気と動脈血の間の $P_{O_2}$ 較差を求めた指標であり、肺泡換気量に影響されないガス交換障害を反映する。 $Pa_{O_2}$ とは目的に応じて適切に使い分けるべきであり、 $AaD_{O_2}$ を用いて評価する場合には、実測値である $Pa_{O_2}$ と $Pa_{CO_2}$ も判断材料とすべきである。

## 1. 動脈血ガス分析の意義

動脈血ガス分析は呼吸器疾患患者の治療方針に必要な情報を提供し、動脈血酸素化の状態や炭酸ガスの排泄状況を正確に知らせてくれるため、肺機能検査の最も重要な一つと考えられている。

かつては、血液ガス分析を耳朶血を検体として測定し、ガス交換を推測することも行われていた。しかし、耳朶血を検体とした場合、耳朶血が毛細管血であるため組織での酸素消費が問題となる上、採血時に空気との接触に伴うガス分圧の変動など、酸素分圧 ( $P_{O_2}$ ) や炭酸ガス分圧 ( $P_{CO_2}$ ) などが動脈血ガス分析値と解離することが十分に考えられる。事実、動脈血と耳朶血を同時に採取した検体をガス分析した結果でも、耳朶血の  $P_{O_2}$  は動脈血  $P_{O_2}$  よりも 5~10 Torr 低値を示すとともに、個々人のこれらの差異を予測することは困難と考えられている。以上から、耳朶血ガス分析測定値の臨床的信頼性は低く、肺機能検査の一部としてガス交換障害の有無を推定するため血液ガス分析を行なう場合には、動脈血を検体としなければならない。

動脈血ガス分析によって得られる情報は、肺のガス交換機能に加えて体液の酸塩基調節に関するものも含まれる。いずれも、他の肺機能検査からは得ることのできない情報であるため、若年者、高齢者を問わず省くことはできない。むしろ、循環系合併症も併せ持っている可能性の高い高齢者においては、組織への酸素供給状態を推測するうえからも、必須の検査とも言えるだろう。

動脈血ガス分析により得られる指標には次のものがある。

- ・動脈血酸素分圧 ( $Pa_{O_2}$ )
- ・動脈血炭酸ガス分圧 ( $Pa_{CO_2}$ )
- ・動脈血pH、酸塩基平衡

なお、測定機器によっては動脈血酸素飽和度 ( $Sa_{O_2}$ ) も直接測定できるものもあるが、多くは上記指標より計算上求められた指標である。

### 1) $Pa_{O_2}$

動脈血酸素化の指標であり、その低下はガス交換障害を意味する。 $Pa_{O_2}$  を規定する因子は吸入気酸素分圧、肺泡気動脈血酸素分圧較差、肺泡換気量の3因子である。また肺泡気動脈血酸素分圧較差を大きくして低酸素血症を来す病態生理学的要因としては、換気血流比不均等分布、シャント、拡散障害がある。

## 2) $\text{Pa}_{\text{CO}_2}$

肺胞換気量が適性であるかどうかをみることができる指標である。 $\text{Pa}_{\text{CO}_2}$ が高ければ肺胞低換気を、逆に低ければ肺胞過換気を意味する。肺胞換気量は分時換気量から死腔換気量を差し引いたものに相当する。

## 3) pH

酸塩基平衡の指標であり呼吸性因子と代謝性因子の両者を総合的に反映する。酸塩基平衡異常が存在する場合、それが呼吸性のものであるか代謝性のものであるかは $\text{Pa}_{\text{CO}_2}$ 値と重炭酸イオン濃度  $[\text{HCO}_3^-]$  とから判定できる。

## 2. 高齢者における採血と測定における留意点

動脈血ガス分析のデータはさまざまな要因によって変動するので解釈には注意が必要である。被験者側の問題・採血手技・測定に関する問題等があり、その中には高齢者特有の問題も含まれる。

### 1) 被験者側の条件

#### ①定常状態であることの確認

一般的に採血は被験者が定常状態にあることを確認して行う。動脈穿刺に際しての緊張、不安、疼痛などによる過換気あるいは息こらえを避けるため、被験者に安静換気を続けるよう指示する。採血が定常状態で行われたことが確認できた場合に限って、いわゆる肺胞気動脈血酸素分圧較差 ( $\text{AaD}_{\text{O}_2}$ ) を求めることができる。

#### ②過換気後低酸素血症 (post-hyperventilation hypoxemia)

動物実験においては麻酔の有無にかかわらず人工的に過換気をして $\text{Pa}_{\text{CO}_2}$ 値を安静時のレベルより低下させると、その値が体内の炭酸ガス産生により一定のレベルにまで再上昇してくるまで、横隔神経活動や換気運動が停止する。この場合、換気運動が再び出現する時点での $\text{Pa}_{\text{CO}_2}$ 値を無呼吸閾値と呼ぶ。同様の現象はヒトにおいても、麻酔下や睡眠中に人工呼吸器で過換気を誘発すると容易に観察できる。覚醒時には、この機序による呼吸停止はあまり起こらないが、稀に過換気後無呼吸として臨床的に問題となることがある (post-hyperventilation apnea)。また、過換気の後、無呼吸は起さなくとも、



いったん低下した $Pa_{CO_2}$ 値が徐々に戻ってくるまでの間、肺泡低換気が続くことがある。このとき、肺内に残存する酸素の容量は体内で産生・蓄積されてくる炭酸ガス容量に比べてより早く消費されるため、 $Pa_{CO_2}$ 値が正常値に戻るまでの間に著しい低酸素血症を呈することがある（過換気後低酸素血症）。この現象は採血前に何らかの理由でいったん過換気をした患者では、実際の採血時には低換気を起こす結果、原因不明の低酸素血症をきたすということで問題となる。一般に低酸素血症に対する呼吸感受性が低下していると起こりやすいといわれるので、この感受性が低下しているとされる高齢者ではとくに注意が必要である。

### ③体位の影響

採血時の体位は動脈血ガス分析結果に影響を与える重要な要素である。一般的に立位や座位から仰臥位に体位変化すると、重力による腹部臓器の影響が変わり、横隔膜は上方にシフトする。そのため、安静呼気位の肺気量（機能的残気量：FRC）は小さくなる。この影響はとくに肥満者であるほど強い。

呼気時に末梢気道が閉塞するclosing現象は正常の場合には安静呼気位を超えてさらに呼気努力を続けた場合に初めて起こる現象であるが、この現象は体位の変換によって機能的残気量が小さくなると安静換気の際にも起こりやすくなる。closing現象が起こった部位の肺は、シャント様効果によってその部位を流れる血液の酸素化を障害する結果、 $Pa_{O_2}$ は低下することになる。動脈血ガス分析結果に対する体位の影響はこの他呼吸パターンの変化を介しても起こりうる。

さらに体位の影響は肺内の血流分布にも影響するためシャントあるいはシャント様効果を有する病変の局在が重要な意義をもつことがある。たとえば、右肺のみに換気が障害された病変がある場合、右側臥位をとると低酸素血症が悪化することがあるのはその一例である。

### ④体温補正

血液は採血の時に注射器の中に閉じ込められ、外気と接しない限り本来ガス含量は変化しない。しかし、溶解度や平衡定数に対する温度の影響を反映して、体温と異なる温度で測定されたpH、ガス分圧は生体内における値とは異なることになる。通常の全自動分析装置では $37^{\circ}C$ に温度が設定されているので、 $39^{\circ}C$ の患者から採血した血液を温度補正なしで測定すると、pHは0.03高く（ $0.015/^{\circ}C$ ）、 $Pa_{CO_2}$ は約5~10%低く、 $Pa_{O_2}$ は約10~15%低く測定されることになる。これは、高熱のある被験者や低体温の高齢者の血

液ガスデータを見るときには常に留意すべき点である。

## 2) 採血時の注意と検体の管理

血液ガス測定のための採血用注射器は、最近はこの診療施設においてもキットとして用意されている。

この場合、ヘパリンがあらかじめ注射器内に入っているのを改めて用意する必要はない。しかし、このヘパリン量は最少量ですませるべきで、過剰の使用によりpHは低下する。したがって、注射器の内側を十分に湿らせたならそれでよく余分の量は採血前に棄てる。この際、注射器内に気泡が残らないよう細心の注意を払う。粉末リチウムヘパリン使用のディスポ注射器は、希釈による誤差が少なく優れているが、採血時の注射器の角度により内腔に気泡が残存することがある。採血後に誤って気泡が混入した場合は、速やかに除去する。また、針先からの空気の混入や接触を防ぐため、ゴム栓などでシールする。その後、注射器を震盪しヘパリンを混和させる。

血液ガスの測定は採血後直ちに行うことが原則である。しかし、やむを得ず、測定までに時間を要するときには、血液中の細胞成分による代謝を抑えるため、氷水中に保存する。この血球成分の代謝は、当然ながら酸素を消費するので酸素分圧は低下し、産生された炭酸ガスと乳酸によりpHの低下も招く。白血病患者のように末梢血白血球数が著しく増加し、かつ代謝も高い場合には、とくにその影響は強く出る。また、針先をシールしていても、プラスチック注射器の場合には内外筒の隙間や注射筒自身の壁を介して大気とはガスの拡散が起こりうるとされている。したがって、この点からも検体は氷水内に保存することが必要である。

なお、動脈血採血のかわりに以前は耳朶血採血がなされることもあった。これは、加温・摩擦した耳朶を切開して得られた血液は前毛細管血液とみなすことができるので動脈血に代用できるとしたものである。採血量が少ないこと、動脈穿刺をする必要がないなどの利点はあったが、今日行われることはない。その理由は、動脈血に比べて正確さに欠けること、採血器具の進歩により動脈穿刺が前述のように容易になったことによる。

## 3) 測定上の問題

### ① 一般的注意

最近では、実際の検体の測定は検査技師が担当することが多いが、緊急の場合などや

はり医師が自分でも測定できることが望ましい。測定の際には、注射器を再度よく震盪し内部の血球と血清の成分をよく混和する。注射器先端部は凝血した血液が付着していることがあり、測定装置の故障のもとになるので、検体注入前には少し血液を棄ててから分析機器に注入する。

### ②電極法による測定

血液ガスの測定を全自動分析計で行うと、多くの指標が結果として打ち出されてくるが、直接測定しているのは、pH、 $P_{O_2}$ 、 $P_{CO_2}$ だけで残りの指標は一定の仮定のもとに機器が自動的に算出したものである。ほとんどの機器ではpHはガラス電極法、 $P_{CO_2}$ はSeveringhausにより開発された $P_{CO_2}$ 電極による方法、 $P_{O_2}$ はポーラログラフの原理に基づく酸素電極（Clark電極）によって測定される。これら電極の精度管理は、正しい血液ガスのデータを得るためには必須である。電極の洗浄、膜の張り替え、精度管理用のアンプル注入液によるテストなどが定期的に行なわれなければならない。

### ③計算上の誤差

上述したように多くの血液ガス自動分析計においては直接測定しているのは、pH、 $P_{O_2}$ 、 $P_{CO_2}$ だけであるから、 $S_{O_2}$ 、 $HCO_3^-$ はこれらの値から計算で求められる。したがって、pH、 $P_{O_2}$ 、 $P_{CO_2}$ の指標のうちひとつでも大きな誤差がある場合には当然 $S_{O_2}$ 、 $HCO_3^-$ にもその影響がでる。近年、パルスオキシメータが一般臨床の場面で多用されるようになってきたため、動脈血ガス分析の結果から得られた $S_{O_2}$ 値の間に解離があつて解釈に苦しむことも多い。この場合、それぞれの機器による測定の特性和弱点をよく理解したうえで、その差異を検討する必要がある。

### 3. 動脈血ガス分析結果の評価

動脈血ガス分析は肺の障害の程度を判定するうえで最も重要な検査のひとつである。スパイロメトリーなどの肺機能検査は主として肺の換気機能をみる検査であるのに対して、動脈血ガス分析は肺のガス交換機能をみる検査である。換気機能の障害とガス交換機能の障害は必ずしもよい相関はしないため、どちらか一方の検査が他方を代用できるものではない。したがって、肺の障害の程度を最終的に判断する場合には換気機能とガス交換機能の両者を総合的に判断することが望ましい。また、動脈血ガス分析はこれまで述べてきた留意点に注意すれば、被験者の意図や努力とは無関係に肺の機能を判定できることから、スパイロメトリー等に比較してより客観的な指標とも言える。

動脈血ガス分析の測定項目の中で $Pa_{O_2}$ は動脈血酸素化の指標であり、肺の障害を判定するうえで最も大切な指標である。 $Pa_{O_2}$ 値は健常者であっても年齢とともに低下する。したがって、 $Pa_{O_2}$ 値の判定の際には年齢を考慮する必要があるが、一般的に明らかな病的ガス交換障害がなければ $Pa_{O_2}$ 値が70Torr以下になることはない。呼吸不全とは、「原因のいかなを問わず、動脈血ガス、とくに $O_2$ と $CO_2$ が異常で、そのために生体が正常な機能を営み得なくなった状態」と定義される。具体的には、室内空気呼吸時の $Pa_{O_2}$ が低下する呼吸器系の機能障害、またはそれに相当する異常状態を呼吸不全と定義することが多い。この呼吸不全の状態が安定期の状態で長期間続くときに慢性呼吸不全と呼ぶ。このような慢性呼吸不全の定義は、年齢とは無関係に、 $Pa_{O_2}$ が低下すれば生体の様々な機能が障害を受ける可能性が高いという臨床的観察結果に基づいたものであり、高齢者に対しても適応することのできる基準である。

なお、肺のガス交換障害を判定する指標として $Pa_{O_2}$ の代わりに肺泡気動脈血酸素分圧格差 ( $AaD_{O_2}$ ) を用いることがある。 $Pa_{O_2}$ の低下は肺泡と毛細管レベルにおける狭義のガス交換障害ばかりではなく、肺泡低換気によっても生ずる。そこで、肺泡換気量が適性であるかどうかを反映する $Pa_{CO_2}$ を使って肺泡レベルでの $P_{O_2}$ 値を求め $Pa_{O_2}$ との差から肺泡と毛細管の間の $P_{O_2}$ 較差を求めたものが $AaD_{O_2}$ である。この指標は、肺泡換気量に影響されないガス交換障害を反映するので、より正確に肺疾患自体に基づく障害を反映する可能性がある。一方、この指標は $Pa_{O_2}$ と $Pa_{CO_2}$ の実測値からいくつかの前提条件を基に計算で求めたものであるという欠点をもつ。また、生体機能に直接影響する酸素化の指標としては $AaD_{O_2}$ よりも $Pa_{O_2}$ のほうが臨床的に有用である。したがって、この両指標はその目的に応じて適切に使い分けるべきであり、 $AaD_{O_2}$ を用いて評価す

る場合には、実測値である $P_{aO_2}$ と $P_{aCO_2}$ も判断材料とすべきである。