

困難である。

呼吸困難の調査は通常聴取によって調査を行う。呼吸困難の分類にはいくつかの方法があるがよく用いられるのは Hugh-Jones の分類である。この分類を基礎として次のように区分する。

- 第Ⅰ度： 同年齢の健康者と同様に仕事ができ、歩行、登山あるいは階段の昇降も健康者と同様に可能である。
- 第Ⅱ度： 同年齢の健康者と同様に歩くことに支障ないが、坂や階段は同様に昇れない者
- 第Ⅲ度： 平地でも健康者なみに歩くことができないが、自己のペースでなら 1 Km 以上歩ける者
- 第Ⅳ度： 50 m 以上歩くのに一休みしなければ歩けない者
- 第Ⅴ度： 話したり、着物を脱ぐのにも息切れがして、そのため屋外にでられない者

呼吸困難は、じん肺の肺機能障害を判断するうえで重要であり、被検者から正確に聴き取る必要がある。聴取に当たっては、問診票を用いると比較的的確な判断が可能である。問診票は、検査の場面で問診票に記載された方法により直接被検者から聴き取ってもよいし、あらかじめ被検者に記入させて、検査の場面で再確認を行ってもよい。

判定は問診票の記載に基づいて次のように行う。

- 第Ⅰ度——“息切れを感じない”，又は、①に“できる”
- 第Ⅱ度——①に“できない”，②に“歩ける”
- 第Ⅲ度——②に“歩けない”，③に“歩ける”，又は、③に“歩けない”，④に“歩ける”
- 第Ⅳ度——④に“歩けない”，⑤に“できる”
- 第Ⅴ度——⑤に“できない”

ロ. せきとたん

気道の慢性炎症性変化に伴う症状を把握するためには、せきとたんの症状についての的確に調査する必要がある。慢性的なせき、たんの症状を把握するための調査方法として現在最もよく用いられている方法は、BMRC (British Medical Research Council) の呼吸器症状についての問診票を用いた方法である。この方法では、せき又はたんの有症者を「1年のうち3か月以上毎日のようにせき又はたんがあり、2冬以上にわたるもの」としている。じん肺における気道の慢性炎症性変化のは握のためには、上記の定義を勘案して「1年のうち3か月以上毎日のようにせきとたんがある」ことを最低限は握する必要がある。

症状のは握に当たっては、呼吸器症状の調査の際に通常用いられているような問診票をもとに行う必要がある。問診票への記載は、原則として検査の場面で被検者に質問をしてその結果

を記入する。あらかじめ被検者に問診票を渡して記入させた場合でも、検査の場面では必ずチェックする必要がある。

このような方法でせき及びたんの症状があつて、かつ、たんの量が多く膿性である場合には「続発性気管支炎」のり患を疑う必要がある。

ハ. 心悸亢進

肺機能の低下に伴って特に体動時に心悸亢進を訴えることがあるが、心悸亢進をしばしば呼吸困難と誤って表現することがあるため、両者を区別して聴取する必要がある。

ニ. その他の症状

その他の心呼吸器系の自覚症状についても、検査の場面で聴取を行う。胸痛、熱感、脱力感、盗汗等の訴えがある場合には合併症のり患を疑う必要がある。

ホ. 喫煙歴の調査

喫煙は特に呼吸器症状との関連が注目されているが、その影響の的確な評価については必ずしも明確にされていない。しかし、じん肺有所見者の健康保持のために行う保健指導等の場面では、喫煙歴の情報は重要であり、問診票を用いて調査を行う。

(4) 他覚所見の検査

主に、視診と聴診により他覚所見の検査を行う。

イ. 視 診

じん肺の進展に伴って動脈血中の酸素分圧が低下してくる。毛細血管の還元ヘモグロビン量が増加すると口唇等にチアノーゼが出現するほか、ばち状指が出現することもある。

ロ. 聴 診

じん肺の進展に伴って呼吸音の減弱等の呼吸音の異常、水泡音や捻髪音等の副雑音が聴取されることがある。

石綿肺では、その早期から両肺底部に捻髪音が聴取されることが特徴であり、石綿ばく露労働者については特に注意を払う必要がある。

【付】 問 診 票

氏名		(男・女)	生年月日	記入 昭和 年 月 日 明治 年 月 日()才 大正 昭和
1. 次の病氣にかかったり、かかっているといわれたことがありますか？ (はい、いいえのいずれかの□にVの印をつけて下さい。)				
		はい	いいえ	

- | | | |
|--------------|--------------------------|--------------------------|
| ① 肺結核 | ☐ | ☐ |
| ② 胸膜炎 (ろく膜炎) | ☐ | ☐ |
| ③ 慢性的気管支炎 | ☐ | ☐ |
| ④ 気管支拡張症 | ☐ | ☐ |
| ⑤ 気管支喘息 | ☐ | ☐ |
| ⑥ 肺気腫 | ☐ | ☐ |
| ⑦ 心臓の病氣 | ☐ | ☐ |
| ⑧ その他の胸部の病氣 | ☐ | ☐ |

2. 「呼吸困難 (息切れ)」について次の質問の「感じる」、「感じない」のいずれかの□にV印をつけて、「感じる」と答えた人は次の質問に移って下さい。

階段をのぼったり、ゆるやかな坂をのぼる時に息切れを感じますか？

感じる ☐ 感じない ☐

→ その程度はどの程度ですか？ 矢印に従って答えて下さい。
(「ここで終り」になる人は次の質問に進まなくて結構です。)

① 息切れを感じないで同年齢の健康な人と同じように仕事をしたり、坂や階段をのぼれますか？

できる ☐ できない ☐

(ここで終り)

② 同年齢の健康な人と同じように息切れを感じないで平らなところを歩くことができますか？

歩ける ☐ 歩けない ☐

(ここで終り)

③ 平らなところを自分のペースでなら1キロメートル以上休まずに続けて歩くことができますか？

歩ける ☐ 歩けない ☐

(ここで終り)

④ 息切れのために途中で休まないで平らなところを50m以上歩けますか？

歩ける ☐ 歩けない ☐

(ここで終り)

⑤ 話をしたり、着物を脱ぐのにも息切れがし、息切れのために外出することができませんか？

できる ☐ できない ☐

3. 「せき」についての次の質問のはい、いいえのいずれかの□にV印をつけて下さい。(「はい」の場合には矢印に従って次の質問に移って下さい。)

① 冬に、朝起きると、いつも、すぐせきがでますか？

はい ☐ いいえ ☐

② そのようなせきは週5日以上でますか？

☐ ☐

③ 冬に昼間や夜、よくせきがでますか？

☐ ☐

④ そのようなせきは1日7回以上、週5日以上でますか？

☐ ☐

⑤ このようなせきは、年に3か月以上続けて毎日のようにでますか？

☐ ☐

4. 「たん」についての次の質問のはい、いいえのいずれかの□にV印をつけて下さい。(「はい」の場合には矢印に従って次の質問に移って下さい。)

	はい	いいえ
① 冬に、朝起きると、いつも、すぐたんがでますか？	☐	☐
② そのようなたんは週5日以上でますか？	☐	☐
③ 冬に昼間や夜、よくたんがでますか？	☐	☐
④ そのようなたんは1日2回以上、週5日以上でますか？	☐	☐
⑤ このようなたんは、年に3か月以上続けて、毎日のようにでますか？	☐	☐
5. どうきについての次の質問のはい、いいえのいずれかの□にV印をつけて下さい。	はい	いいえ
最近歩いたりするとどうきがしますか？	☐	☐
6. 喫煙についての次の質問の①と③についてははい、いいえのいずれかの□に印Vをつけて下さい。(「はい」の場合には矢印に従って次の質問に移って下さい。)	はい	いいえ
① 今までにたばこを吸ったことがありますか？	☐	☐
② 現在たばこを吸っていますか？	☐	☐
③ 何才の頃から吸いはじめましたか？	() 才頃から	
④ 1日何本くらい吸いますか？		
10本未満	☐	
10本～19本	☐	
20本以上	☐	

5. 肺機能検査

(1) 肺機能検査の体系

じん肺の所見があると認められた者 (エックス線写真像で一側肺野の1/3を超える大陰影があると認められた者を除く。)のじん肺管理区分の決定に当たっては、じん肺による肺機能障害が著しいか否かを判断する必要がある。そのため、じん肺法においては、じん肺にかかっているか又はその疑いのある者で胸部エックス線撮影検査と胸部臨床検査により合併症に罹患している疑いのない者及び合併症に関する検査で療養を要する合併症に罹患していないと診断された者を対象に肺機能検査を行うこととされている。

肺機能検査は、1次検査と2次検査に分けて行う。

1次検査では、スパイロメトリーによる検査とフロー・ボリューム曲線の検査を行い、スパイロメトリーによる検査よりパーセント肺活量 (%VC) 及び1秒率 (FEV_{1.0}%) を求め、フロー・ボリューム曲線の検査より最大呼出位から努力肺活量の25%の肺気量における最大呼出速度 ($\dot{V}_{25}$) を求める。

2次検査では、動脈血ガスを測定する検査を行い、動脈血酸素分圧 (PaO₂) 及び動脈血炭酸ガス分圧 (PaCO₂) を測定し、これらの結果から肺胞気・動脈血酸素分圧較差 (AaDO₂) を求める。

動脈血ガスの測定に先立って耳朶血の酸素分圧を測定し、酸素分圧が80 TORR 以上であれば動脈血採血を省略して「著しい肺機能障害がない」と判定してよい。

2次検査は、次のいずれかに該当する者に対して行う。

- ① 自覚症状、他覚所見等から1次検査の実施が困難と判断された者
- ② 1次検査の結果等から「著しい肺機能障害がある」と判定された者以外の者で、1次検査の結果が「要2次検査」の基準に至っており、かつ、胸部臨床検査の呼吸困難の程度が第Ⅲ度以上の者
- ③ 上記①、②に該当しない者で、1次検査の結果が「要2次検査」の基準に至っていないが、胸部臨床検査の呼吸困難の程度が第Ⅲ度以上の者
- ④ 上記①から③までに該当しないが、エックス線写真像が第3型又は第4型と診断された者の体系をフローチャートにすると図7のごとくなる。

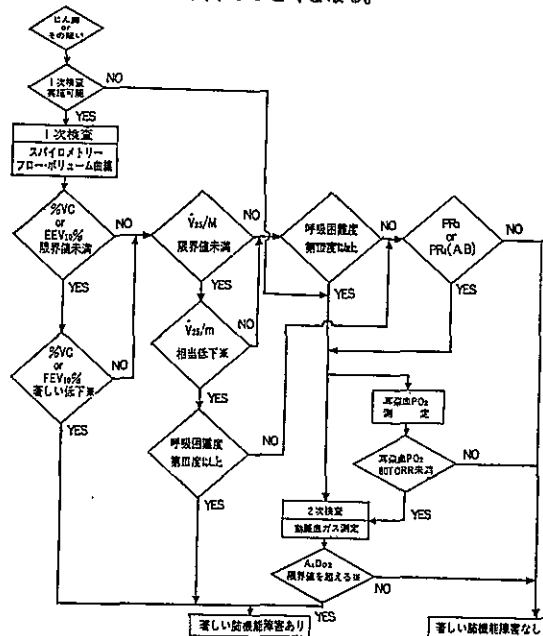


図7 肺機能検査のフローチャート

備考： ※の印のあるところについては、過去の検査結果、他の所見等をふまえて医師の総合的評価による判定を必ず行うこと。

(2) 1次検査の内容と方法

イ. スパイロメトリーによる検査

肺内気量の変化を口から出入りするガス量で表し、ガス量を縦軸に、時間を横軸にとって表現

した曲線をスパイログラムとよぶ。スパイログラムに基づく検査をスパイロメトリー、スパイロメトリーのための器械をスパイロメーターという。

スパイロメーターには機械式と電子式とがある。前者には湿式と乾式とがある。肺内気量の変化に応じて自由に移動する円筒又はふいごの動きをペンの動きに変え、記録紙の上にスパイログラムを描記する装置が機械式スパイロメーターである。気流速度をフローメーターにより電氣的に検出し、電子回路で積算して気量変化を求める装置が電子式スパイロメーターである。通常、それぞれの指標の値がデジタル表示されるか又はプリントアウトされるが、スパイログラムは、必要に応じてブラウン管又はX-Yレコーダーに表示される。

機械式スパイロメーターは、構造が単純で大きい誤差を生ずることがなく、価格が安いのが特色であるが、機械的な構造に由来する抵抗（インピーダンス）が結果に影響すること、計算の手間がかかることが欠点である。電子式スパイロメーターではこのような欠点は回避されており、操作が簡単で特性もよく、次に述べるフロー・ボリューム曲線の指標を含めて結果を直ちに読み取ることができる特色がある。ただし、校正を常時行っておくことが大切である。

(イ) 検査法

a. ベネディクト・ロス型レスピロメーターを用いるスパイロメトリー

最もよく用いられている13.5ℓベネディクト・ロス型スパイロメーターの構造は図8のごとくである。

なお、スパイログラフを行うときは弁を取りはずして換気時の抵抗を減らす。

また、カイモグラフの速度は、③の速度切換レバーを用い、肺気量分画の測定では速度1（低速度）を、努力肺活量、1秒量の測定では速度60（高速度）を用いる。

スパイログラムは次のようにして求める。

- ① スパイロメーターの準備をととのえた後、まず被検者に立位又は坐位でなるべく楽な姿勢をとらせ、検査の目的、方法などを十分に説明する。マウスピースを正しくおさえさせ、ノーズクリップで鼻を閉塞する。マウスピースはくわえた時に上下の歯の間げきを確認するためのストッパーがついたものを用いる。ディスクの回転速度は、速度1（低速度）を用いる。唇とマウスピースとの間から空気もれがないように特に注意する。高齢者などで、口からの空気もれのあるときに

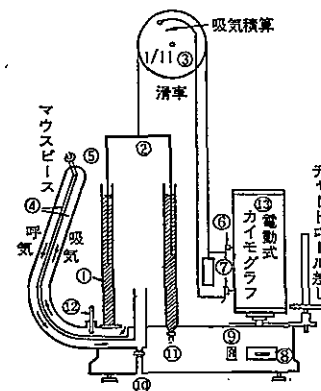


図8 13.5ℓベネディクト・ロス型スパイロメーターの構造

- ①水槽 ②ベル ③浮子 ④ゴム管
- ⑤マウスピース ⑥スパイログラフ・ペン ⑦ベンチログラフ・ペン
- ⑧速度切換レバー ⑨スイッチ ⑩O₂供給コック ⑪水抜きロック ⑫温度計
- ⑬電動式カイモグラフ

は、絆創膏で唇とマウスピースを固定するとよい。

- ② 被検者の呼吸の状態が平静にもどったら、活栓をまわしてスパイロメーターの回路に連結し、ベルの中のガスを呼吸させる。同時にスイッチを低速度目盛 1 (32mm/分) に入れて、記録紙を回転させる。
- ③ 数回の安静換気を行わせて、基準位が安定したことを確かめる。
- ④ 安静換気について、特に深い吸気を行うことなく安静吸気の終りに続いて、ゆっくり最大呼出を行わせる。呼出が終了したら安静呼吸に戻らせる。この場合の最大呼出は急激に行うことなく、ゆっくり行わせる。
- ⑤ スパイログラム上で、呼気位がもとの基準位に戻ったのを確認したら、ゆっくりと吸気を行わせる。最大吸気位に達したと思われたら、再びゆっくりとできるだけ頑張って呼出させる。十分に呼出したら、再び安静呼吸に戻し基準位を記録した後、被検者からマウスピースをはずす。

最大呼気位及び最大吸気位に達すると、スパイログラムはほぼ水平にギザギザを描き、横ばいの状態となる。これは被検者が適切に行ったか否かの目安になる。なお、測定開始時と終了時の基準位とはほぼ一致する。大きな差、ずれがあるときは空気もれがあると考えられる。マウスピースのくわえ方に注意するとともに、スパイロメーターの回路の点検を行う必要がある。

- ⑥ 次に回路内の空気を入れかえた後、再び被検者にマウスピースをくわえさせ、努力呼出曲線の検査を行う。すなわち、数回安静呼吸をした後、できるだけ頑張って最大吸気位に達したら、カイモグラフの回転を高速 (速度目盛 60, 32mm/秒) に切り替えるときもにできるだけ速く、かつ、できるだけ一気に呼出を行わせる。呼出が完全に終わったことを確認してスイッチを切り、ノズクリップをとり、マウスピースから口をはずす。この最大努力下に呼出させたガス量が、努力肺活量 (FVC) で、呼出開始からの 1 秒間の呼出ガス量が 1 秒量 (FEV_{1.0}) である。(図 9 参照)

スパイログラムによって得られる肺気量諸値は、図

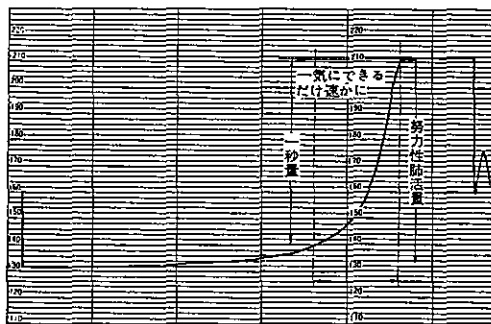


図 9 努力肺活量と 1 秒量

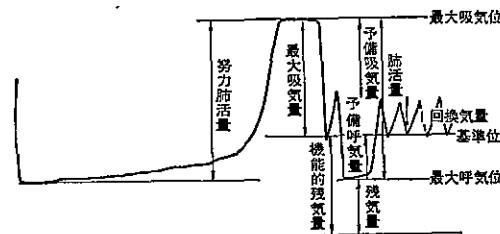


図 10 肺気量分画

10 の残気量、機能的残気量を除いた値である。

スパイログラムから得られた実測値 (高さ: mm) にベルファクターを乗じて得られたガス量は大気圧、室温、水蒸気飽和状態 (ATPS: ambient temperature and pressure, saturated with water vapor) であ

り、これを 37°C、大気圧、水蒸気飽和状態 (BTPS: body temperature and ambient pressure, saturated with water vapor) に換算する。換算に当たっては表 1 の係数を用いれば便利である。

表 1 ATPS から BTPS への換算のための表

A	B	C	A	B	C
°C	P _{H₂O}	BTPS Factor	°C	P _{H₂O}	BTPS Factor
6	7.0	1.174	22	19.8	1.091
7	7.5	1.168	23	21.1	1.085
8	8.0	1.164	24	22.4	1.080
9	8.6	1.159	25	23.8	1.075
10	9.2	1.153	26	25.2	1.068
11	9.8	1.146	27	26.7	1.063
12	10.5	1.143	28	28.3	1.057
13	11.2	1.138	29	30.0	1.051
14	12.0	1.133	30	31.8	1.045
15	12.8	1.128	31	33.7	1.039
16	13.6	1.123	32	35.7	1.032
17	14.5	1.118	33	37.7	1.026
18	15.5	1.113	34	39.9	1.020
19	16.5	1.107	35	42.2	1.014
20	17.5	1.102	36	44.6	1.007
21	18.7	1.096	37	47.0	1.000

b. 電子式スパイロメーターを用いたスパイロメトリー

電子式スパイロメーターには、フライシェ型のもので熱線型のものがある。検査法は次のとおりである。

- ① 電子式スパイロメーターを電源につなぎ、スイッチを ON にして検出部である気速計が温まるのを待つ。気速計が温まらないうちに呼気を気速計に吹き込むと、水滴が付着して正しい測定ができなくなる。

- ② 気速計の校正を行う。
- ③ 被検者に、検査の目的、要領を十分に説明して理解させる。
- ④ スパイロメーターに性別、年齢、身長、室温等の情報を入力する。
- ⑤ 被検者を立位又は坐位とし、正しい、安定した姿勢をとらせる。
- ⑥ 検出部を被検者に正しく保持させ、マウスピースを口にくわえさせる。これとともに、ノーズクリップで鼻からの呼吸をとめる。
- ⑦ この時、一時呼吸をとめさせる。
- ⑧ 手早く準備をすませたら、被検者に深吸気させる。最大吸気位でスパイロメーターのトリガーが働いたことを確認する。
- ⑨ できるだけ速かに、かつ、できるだけ大量の呼出を一気に行わせる（努力呼出）。
- ⑩ 最大呼気位まで呼出を終了したことが確かめられたら、被検者に軽く吸気を行わせる。この吸気でスパイロメーターのトリガーが作動する。
- ⑪ ブラウン管又は X-Y レコーダーの表示を見て、正しい努力呼出が行われたか否かをチェックする。
- ⑫ 必要な指標の値を読み取る。
- ⑬ 少なくとも2回この操作を行う。もし、この2回の検査成績が異なるときには、更に1回検査を追加する。
- ⑭ 電子式スパイロメーターでは、準備が整ってから呼出に入るまでに時間がかかると誤差が大きくなる。この場合には、リセット・スイッチを押すか、又は操作をはじめからやり直す。
- ⑮ 電子式スパイロメーターの表示した数値は BTPS に換算されているので、特に換算を行う必要はない。

(ロ) パーセント肺活量及び1秒率の算出

a. パーセント肺活量 (%VC) の算出

このようにして得られた肺活量と身長及び年齢から算出された肺活量基準値との比をとり、パーセント肺活量を算出する。肺活量基準値の算出に当たっては Baldwin らによる式を用いる。なお、Baldwin らの式では肺活量は ml の単位で得られる。しかし、肺活量は l の単位で表すことが便利なので計算式は次のように表現できる。この場合の身長は m の単位で表す。

$$\text{男性: } (2.763 - 0.0112 \times \text{年齢}) \times \text{身長 (m)}$$

$$\text{女性: } (2.178 - 0.0101 \times \text{年齢}) \times \text{身長 (m)}$$

Baldwin らの式は、背臥位の健康者について求められたものである。健康診断における

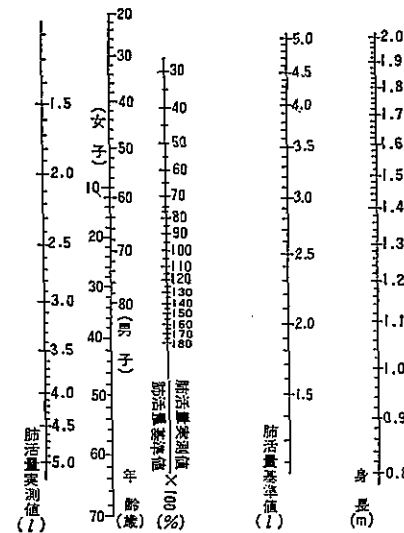


図 11 肺活量基準値とパーセント肺活量を求めるノモグラム

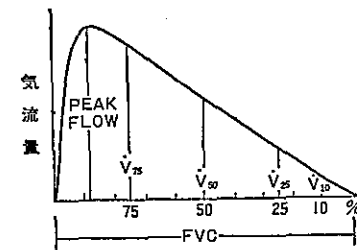


図 12 フロー・ボリューム曲線

端で最大吸気位に、右端は努力呼出終了時の呼気位に相当する。この2点間の距離は努力肺活量である。この図形から最大吸気位から呼出を行う際の任意の肺活量における呼気流速を求めることができる。(図 12 参照)

フロー・ボリューム曲線の高さは、呼出の際にみられる最大の気流速、すなわち Peak flow を表し、図形からその Peak flow に到達したときの肺気量も知ることができる。フロー・ボリューム曲線のはじめの部分は、被検者の肺・胸郭系の換気力学的特性に加えて、被検者の呼出努力の程度によってきまる (Effort dependent) が、曲線の終りに近い部分の形状は、被検者の努力

肺活量の測定は、通常、立位で行われるため、Baldwin らの式で計算して得られる値は、健康予測値として用いるのではなく、1つの尺度として利用するにすぎないので、被検者の検査時の体位が異なるが便宜的にこれを利用する。

$$\text{パーセント肺活量} = \frac{\text{肺活量}}{\text{肺活量基準値}} \times 100(\%)$$

なお、算出に当たっては、図 11 に示すノモグラムを用いるとよい。

b. 1秒率 (FEV_{1.0}%) の算出

通常、1秒率は Gaensler によるものを用いる。1秒率を算出するためには、スパイログラムより努力肺活量と1秒率を求め、これより算出する。

$$1 \text{ 秒率} = \frac{1 \text{ 秒量}}{\text{努力肺活量}} \times 100(\%)$$

ロ. フロー・ボリューム曲線の検査

スパイログラムは、縦軸に肺気量を、横軸に時間をとって表現されるものであるが、フロー・ボリューム (Flow-volume) 曲線は縦軸に気流速を、横軸に呼出気量をとって表現された図形である。普通フロー・ボリューム曲線というときは、呼気時のものであり、吸気時のものは、吸気フロー・ボリューム (Inspiratory flow-volume) 曲線と呼ぶ。横軸上の原点は曲線の左

の程度に影響されことなく (Effort independent), 肺・胸郭系の換気力学的特性によって決定される。

フロー・ボリューム曲線を求めるには最大吸気位から努力呼出を行う間の時々刻々の肺気量とそれに対応する呼気 (又は吸気) 気流速度とを同時に測定する。この曲線の横軸上に表示される“気量 Volume”は本来“肺内気量”であるべきであるが、曲線の起点と終点は最大吸気位と努力呼出の終り (吸気フロー・ボリューム曲線の場合は最大呼気位と努力吸入の終り) であるから、それは必ずしも残気量を含めた肺内気量の絶対値でなくともよい。日常の検査では、呼出 (又は吸入) された気量をこれにあてて。しかし、努力呼出の際には胸腔内圧が上昇し、肺内ガスが圧縮されるので呼気量と肺内気量の変化とは必ずしも一致しない。気道閉塞が強いほど肺内ガス圧縮は著明となる。フロー・ボリューム曲線を求めるには、体プレチスモグラフを用いて肺内気量を測定する方法もあるが、臨床検査では気速計で呼気 (又は吸気) 気流速度を求めて、それを積分するか、スパイロメーター (ふいご型, WEDGE 型, box 型) を用いて求めた気量を採用することが普通に行われている。この場合の呼気量 (又は吸気量) は肺気量の変化分とは正確に等しくはなく、実用的に両者の差は無視できるとの立場にたっている。スパイロメーターを用いてフロー・ボリューム曲線を求めるため努力呼出を行うには、スパイロメーターの機械的インピーダンスが曲線の形状に影響を及ぼすので、あらかじめその性能を吟味する必要がある。気速計を用いて測定をする場合には気速計の周波数特性に注意しなければならない。20 Hz 位までの変化に忠実に反応する Fleisch 型気速計、あるいはこの目的のために作製された熱線流量計は十分利用できる。曲線をオシロスコープ、特にストレージ型オシロスコープに表示し、これを写真撮影する方法が望ましい。気流速度を A-D 変換して記憶素子に記憶させ、それを加算して呼出気量を求め、ブラウン管にフロー・ボリューム曲線を表示し、また評価のためのパラメーターを算出する方法もとられるようになった。曲線を X-Y レコーダーで描記する方法は便利ではあるが、X-Y レコーダーの周波数特性の制約をうけて曲線に変形をきたすことがある。この変形は呼出初期の立上がり部分に著しいが、曲線の評価を呼出の終りの部分に限定して行うのであれば、検出部と表示部の周波数特性にさほど神経質にならずとも実用上大きな支障はない。

[フロー・ボリューム・メーターの校正]

フロー・ボリューム曲線を調べるためのフロー・ボリューム・メーターのほとんどは電子式のスパイロメーターそのもの又はその応用型である。気流速度の測定にはいろいろな種類の検出器が用いられているが、いずれのものであっても、検査実施の際に患者の気道内分泌物がとび出して検出器にひっかかってその精度をくわえることがある。したがって、検出器は使用のたびに清掃にしなければならない。検出器は水洗できるものが望ましいが、なかには構造上の理由で水洗できないものもある。最低 1 日 1 回は水洗を行う必要があるが、可能なら検査のたびに目で見

て検出器に喀痰が付着していないことを確かめる。検出器 (気速計) は予備を少なくとも 1 台用意しておいて必要に応じて取替えることが望ましい。

なお、検出器の校正のためにプラスチック製の容量一定のピストン式の簡単な装置が市販されている。これを検出器に接続して一定量の空気を検出器に送り、メーターの読みを送った空気既知量と比較する。この操作を異なる送気速度で数回試みればフロー・ボリューム・メーターの日常の校正の目的を達することができる。この校正は、頻回に検査を行うときには少なくとも 1 日 1 回、及び、検査中にメーターの読みに不審を生じたときには適宜校正を行う。この簡便な校正では不十分な場合にはメーカーに修理・点検を依頼する。メーターの読みと送気量との相違が僅かである限りは補正係数で読みを補正してもよいが、両者の相違が著しい場合にはメーカーによる修理を行う必要がある。

上述したようなピストン型校正器が手許にない場合には、ベネディクト・ロス型レスピロメーターを代りに用いることができる。

(イ) 検査法

検査は、スパイロメトリーに準じて行う。最大吸気位から、被検者に最大限の速やかな努力性呼出を行わせる。少なくとも適当な間隔において 3 回検査を反復する。

(ロ) $\dot{V}_{25}$ (努力肺活量の 25% における最大呼出速度) の算出

努力肺活量の 25% における呼出速度 (l/秒) を読みとる。

なお、気管や喉頭の狭窄がなく Peak flow がカットされたような型を示す場合は、呼出努力が十分でない場合であり、このような曲線は採用するべきではない。

(3) 2 次検査の内容と方法

2 次検査は、(1) で述べたように、1 次検査で“要 2 次検査”と判断された者等に対して行う。

イ. 肺泡気・動脈血酸素分圧較差 (AaD_{O_2}) 測定の意義

呼吸機能障害の総合的評価の指標として動脈血ガスは重要な意義を有する。ことに末梢気道・肺泡領域を中心とする、いわゆる肺の末梢領域における障害を検知する手段としてその役割は重い。近年、血液ガス分圧測定の技術が進歩したので測定そのものの実用性も十分高まったといえる。しかしながら、動脈血の酸素又は炭酸ガス分圧が肺におけるガス交換障害のみならず、循環障害あるいは組織レベルにおけるガス代謝障害を含めて、生体におけるガス運搬障害を経過的に反映することは当然であり、またその評価に当たって、酸素分圧と炭酸ガス分圧とを別個に評価することは、妥当性を欠くきらいがあり、何らかの検討の必要性が考えられてきた。

動脈血酸素分圧の異常低下は、すなわち、いわゆる低酸素動脈血症であり、それ自体の生理学的意義は大きい。しかしながら、動脈血酸素分圧の異常低下を認めたからといって直ちに肺にお

けるガス交換障害が原因であるとはいえない。また、動脈血酸素分圧が正常範囲内にあっても、肺胞換気の状態によっては肺泡レベルにおける交換障害が存在しないとは断定できない。したがって、肺におけるガス交換障害の評価を肺泡気・動脈血酸素分圧較差 (AaD_{O_2}) について検討することが望ましい。 AaD_{O_2} は肺におけるガス交換障害の総括的評価の指標であって敏感にその異常を反映することが知られている。

ロ. 検査法

肺泡気・動脈血酸素分圧較差を算出するためには、動脈血の酸素及び炭酸ガス分圧を測定する必要がある。酸素分圧及び炭酸ガス分圧の測定は動脈より採血した動脈血を用いて行うが、上腕又は股動脈採血の前段階で耳朶血を採血し、これを用いて酸素分圧を測定し、測定結果が 80 TORR 以上であれば、上腕又は股動脈からの採血を省略して、「著しい肺機能障害がない」と判定してよい。また、2 次検査を 1 次検査との別の日に行う場合には、必要に応じて 2 次検査に先立って 1 次検査もあわせて行う。(なお、TORR はトリチェリ (torricelli) の略である。トリチェリは真空の分野で用いられ、水銀柱 1mm にほぼ等しい。したがって 1 TORR = 1 mmHg と取り扱って差し支えない。)

検査方法の基本は次に述べるとおりである。

(イ) 採血の方法

ア. 動脈血採血

(a) 動脈の穿刺部位

普通上腕動脈から採血するが、穿刺困難な場合は大腿動脈を穿刺する。また橈骨動脈から採血してもよい。上腕動脈を穿刺するときは、硬い腱膜のところは避け、正中神経に刺入しないように気を付ける。大腿動脈では内側に太い静脈が走っているから、誤って静脈血を採血しないように注意する。

(b) 必要な器具と薬品

5 ml 又は 10 ml ルアロック注射器 硬めの腕枕 生ゴム片
バイアル入りのヘパリン (1,000 単位/ml) アルコール綿 水銀

(c) 採血の手順

- ① 呼吸の状態によって検査成績が変わるから、常に静かな呼吸をするように指示する。できるだけ採血に先立って 20 分間静臥させる。
- ② ヘパリンを約 0.2 ml 注射器にとる。(なお、使用するヘパリンの量は、注射器の内面をうるおし、かつ、その死腔をうるめる量である。ヘパリンに溶解している O_2 及び CO_2 は、血液に含まれている O_2 及び CO_2 に比べれば著しく少ないため、その絶対量はあまり問題にならない。)

- ③ 注射器内部によくヘパリンをゆきわたらせる。
- ④ 死腔をヘパリンで満たして、注射器内部の気泡を完全に駆除し、更に採血するときに気泡が入らぬようにする。
- ⑤ 腕枕を被検者の肘関節の下に入れ、前腕をやや外転させる。(図 13 参照)

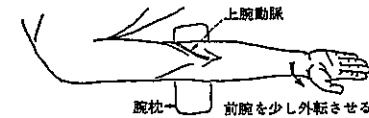


図 13 採血時の腕の位置

- ⑥ 穿刺部位を清潔にする。石鹼水であらかじめ洗っておく方がよい。消毒はアルコール綿により、穿刺する皮膚をよく拭く。
- ⑦ 針の刺入を行う前に、まず指先で肘関節部の上腕動脈の脈拍を触れて、動脈の存在位置とその走行をよく調べる。次に動脈の真上から刺入角度約 30° で皮膚を穿刺し、血管の走行に沿って針先をすすめ、針先が拍動の最もよく触れる点にくるようにする (大腿動脈では垂直に刺入する)。皮膚穿刺の刺激のため被検者の換気量が増加していることが多いから、ここで再び呼吸を静かにさせ、数呼吸待ってさらに針をすすめ動脈を穿刺する。穿刺に成功すれば、血液は拍動性に注射器内に上がってくる。通常の検査のためには 3 ml を採血すればよい。(図 14 参照)

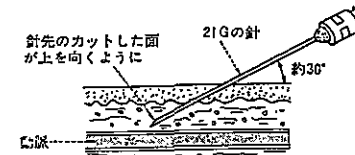


図 14 動脈穿刺

- ⑧ 採血後、針を抜き取ったら皮下出血を防止するため、直ちに動脈穿刺部位より心臓に近い部位を指でしっかりと 5 分間圧迫する。(図 15 参照)

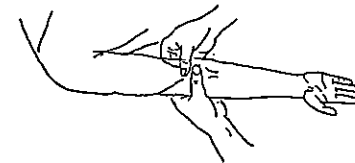


図 15 圧迫

- ⑨ 採血に用いた注射器に時計皿に入れた水銀を1滴吸込み、すぐに針先にゴム片をつけて針孔を塞ぐ。注射筒を両手のひらにはさんで、これをころがすように動かし、ヘパリンを血液全体に行き渡らせる。(図16参照)

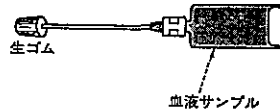


図16 針先をふさぐ

- ⑩ 血液サンプルは、採血後できるだけ速かに分析を終了する。採血終了から分析までに時間をおくと、血液サンプルの酸素分圧、炭酸ガス分圧、pHが変化するので補正を行わなければならない。補正を行う場合でも、経過時間が長くなると誤差が大きくなるので、極力、採血後、短時間に分析を終了すべきである。

b. ガラス毛细管採血

採血に当たって被検者に十分に安静を保たせることは動脈血採血の場合と同様である。

耳朶を切開して、内腔をヘパリンに浸したガラス毛细管を用いて耳朶血を採血する(図17参照)

あらかじめ耳朶を加温し、摩擦して十分充血させ、うえて耳朶を十分深く切開して自然に流出してくる血液は、前毛细管血液とみなされるので、動脈血として測定に供しうる。

採血部位を切開したら、最初の血液の1滴は拭き去り、続いて流出する血液をガラス毛细管に採取する。採血後毛细管の一端をパテで塞ぎ、他側から鉄片を挿入しその側もパテで塞ぐ。毛细管の外側に磁石をあてて中の鉄片を動かし、採血直後にヘパリン

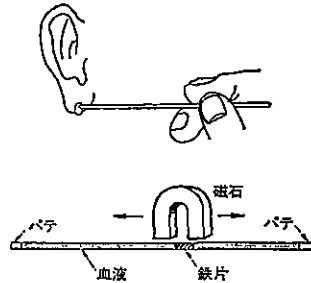


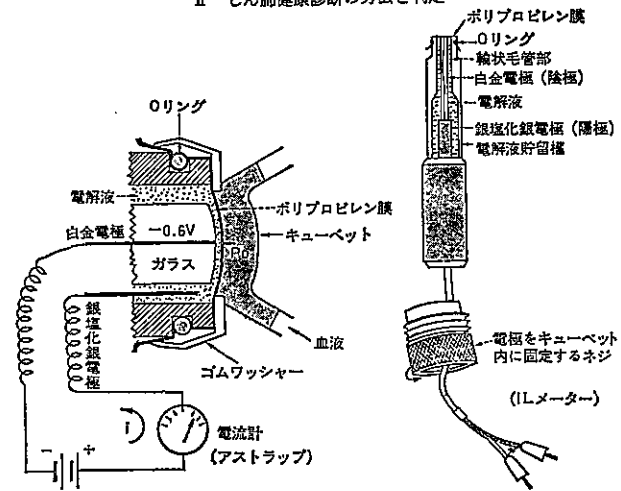
図17 ガラス毛细管への採血

と血液を混和する(図17参照)。測定直前に血漿と血球を混和するのはもちろんである。採取した血液サンプルは、空気と接触すると酸素分圧が突際より高い値に出てくることがあるため、手早く採血を終了しなければならない。

ガラス毛细管による採血法は、採血量が少なくてすむ。

(ロ) 酸素分圧及び炭酸ガス分圧の測定

原則として、血液ガス分析は採血後直ちに実施すべきである。室温の下で血液の O_2 分圧は分単位でも急速に低下することを銘記すべきである。



(a) 先端構造

(b) 電極の全貌

図18 クラーク電極

動脈血の酸素及び炭酸ガス分圧の測定方法には、正確に速く測定でき、検体量が少なくて済む等の理由により電極法が勧められる。ここでは、IL社のILメーターとラジオメーター社のアストラップ装置を例に測定法の実験を示す。

a. 酸素分圧測定の実験

(a) P_{O_2} 電極の整備

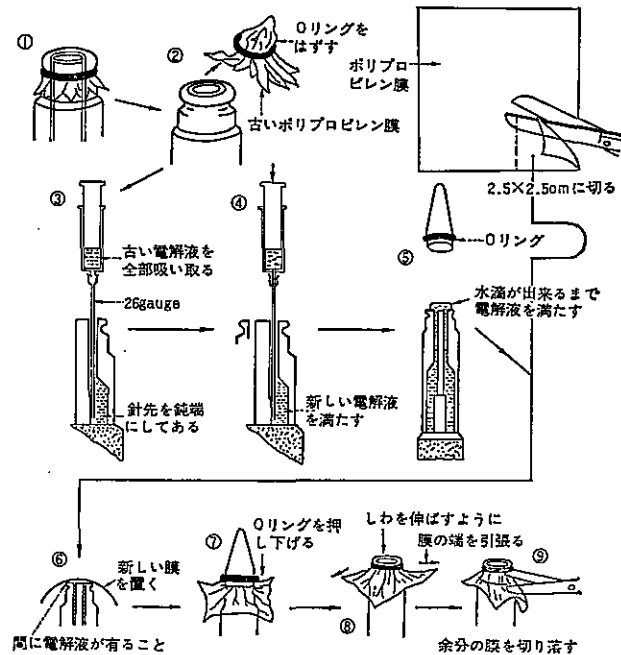
キューベットの内に電極を固定しているネジをゆるめて P_{O_2} 電極をとり出し、次のようにして電極の整備をする。(図18参照)

[ILメーターの P_{O_2} 電極の場合]

電解液とポリプロピレン膜の交換は、図に従って行う。(図19参照)

膜の交換がすんだら電極の先端をよく観察する。もし気泡があったら、指で軽く膜面を押えて輪状毛管部の方へこれを追い出す。さらに、電極の先端部を下に向けて振りながら、毛管部の気泡を電解液貯留槽へ移動させる。

電極をキューベットの内に挿入する際には、事前に電極の外表面とキューベットの内面をガーゼで拭き、乾いた状態にしておく必要がある。キューベットの内の電極は、固定ネジによって締められる。締めすぎると、白金電極先端の電解液と輪状毛管部の電解液との交通が途絶し、逆にゆるすぎると、試料室の気密性が得られず、いずれも、不安定で測定不能の原因となる。適当なネジ締めにするには、ネジを締めながら、急に抵抗を感じ始めたところから約半回転

図 19 P_{O_2} 電極の整備 (IL メーター)

さらに締めればよい。試料排出口又は注入口の一方を塞いでおいて、他方から注射器で空気を軽く押し込み、空気もれをテストしながら、電極固定ネジを締めていき、空気もれがなくなる所まで締めれば、最も確実である。

電極を固定したら試料室に生理食塩水などの伝導性液体を注入する。切換えスイッチを P_{O_2} 測定位置にし、電源スイッチを“MEMB CHK” (メンブランチェック) に切り換える。電極が正常に働いている場合、メーターの針は $P_{O_2} 0$ を指す。針が振り切れるときは、ポリプロピレン膜に穴があいているか、キューベットの内部が濡れている場合である。“MEMB CHK” で異常の時は、試料室の生理食塩水を蒸留水で洗った後に、空気を注入して試料室を空にしてから、電極をキューベットから取り出し、キューベット内面と電極の外表面などをガーゼでよく拭きとる。このような処置によって“MEMB CHK” が正常になることもあるが、なお異常があるときは、再び膜を交換し正常になるようにする。“MEMB CHK” が正常であったら、試料室に蒸留水を満たしておく。膜を交換したばかりの電極は、不安定であるから一晩放置した方がよい。

膜の定期的交換は通常1か月毎に行うが、“MEMB CHK” が不良となれば直ちに行う。

【アストラップの P_{O_2} 電極の場合】

基本的には、IL メーターの P_{O_2} 電極と同じである。内部電極はジャケットからはずせるようになっている。

ポリプロピレン膜の交換は、図 20 に示す順序に従って行い、同時に電解液も交換する。ただし、アストラップでは簡単なメンブランチェックの装置は付属していない。膜が不良のときは、 P_{O_2} ゼロ溶液を注入したときには、指針が目盛の 0 から大きくずれるか、液体サンプルを入れたときに、指針が不安定で左右に振れるか、あるいは、メーターの感度が異常に高くなる。この場合は膜を交換する。

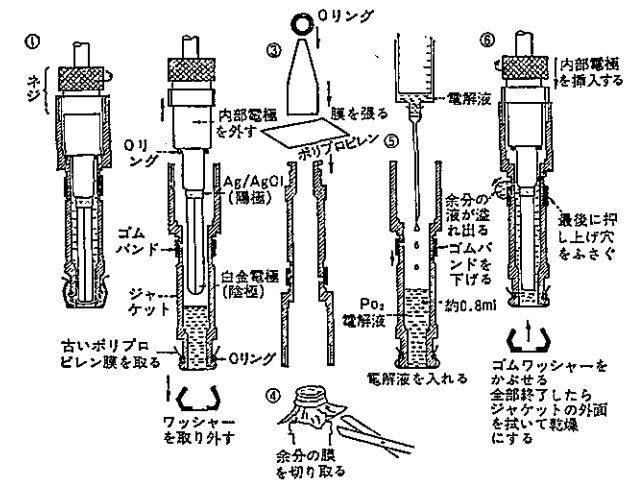
(b) P_{O_2} 電極の校正

P_{O_2} 電極の校正は、被検血液の一部をガス平衡装置トノメーターによって、既知の P_{O_2} の混合ガスで平衡させたものによって行う。これが最も正確な方法である。臨床検査としては、それほどまでの正確さは要求されないの、既知 P_{O_2} の混合ガスか、または既知 P_{O_2} の混合ガスと平衡に達している水溶液で校正する。

IL メーターとアストラップとの校正法を以下に述べる。装置によって校正法が決められているのではなく、いずれの方法を用いてもよい。

【IL メーターの P_{O_2} 電極の校正】

IL メーターでは、 P_{O_2} 電極のゼロ点調整に、 O_2 を含まない約 10% CO_2 混合 N_2 ガス

図 20 P_{O_2} 電極の整備 (アストラップ)

(P_{O_2} , 電極の校正にも用いる)を用いる。もちろん, O_2 を含まない N_2 , He などを用いてもよい。高い方の P_{O_2} 点の校正には, 室内空気 (20.93% O_2) 又は N_2 に 5% CO_2 と 12% O_2 をまぜた混合ガスを用いる。

P_{O_2} 電極校正の手順は, 次のようにして行う。

- ① 切換えスイッチを“160 P_{O_2} ”にセットする。
- ② 校正ガスの流量調節がしやすいように, 試料室を通して出てくるガスをビーカーに入れた少量の水の中に導き, 生ずる気泡を観察する。まず O_2 ゼロのガスを試料室に流入させる。静かに小流量からはじめ, 気泡がポコポコと一つずつ数えられる程度に調節する。この流量で5~10秒間流したら, ガスの注入を一時止める。
- ③ 約20秒の間隔で O_2 ゼロガスの注入を繰り返し, メーターの針が安定して動かなくなるまで続ける。毎回のガス注入は, 温度平衡の点から少量とし, 数回気泡が出る程度にする。
- ④ “ P_{O_2} , ZERO”調節ツマミを回して, メーター指針が P_{O_2} 0mmHg を指すように調節する。
- ⑤ 更に O_2 ゼロガスを少量流し, 指針が0mmHgからずれていないことを確かめたら, “ P_{O_2} , ZERO”ツマミをロックして動かないようにする。
- ⑥ 次いで, 12% O_2 混合ガスあるいは空気を, O_2 ゼロガスの場合と全く同じ流量, 間隔で注入し, メーター指針が安定するまで続ける。
- ⑦ “ P_{O_2} , BALANCE”ツマミを回して, 指針を校正ガスの O_2 分圧に合わせる。

校正ガスの P_{O_2} は,

$$P_{O_2}(\text{mmHg}) = (P_B - 47) \times \frac{\text{ガスの濃度}(\%) }{100}$$

P_B 大気圧
47 37°Cのときのガス体中の飽和水蒸気圧

により算出する。

この場合“ P_{O_2} , BALANCE”ツマミをいっぱい回しても, メーターの針が合わせようとしている目盛までこない場合は, メーター裏面の“ P_{O_2} , RANGE”切換えスイッチを操作して, 針が合うようにする。

- ⑧ 校正ガスをもう一度注入して, 校正を再確認する。

〔アストラップの P_{O_2} 電極の校正〕

アストラップでは, 電極の校正に水溶液を用いる。ゼロ点調整には,

$$\begin{aligned} &0.01 \text{ モル 硫酸液} \quad 5\text{ml} \\ &\text{硫酸ソーダ} \quad 100\text{mg (目分量でよい)} \end{aligned}$$

の割合に加えた溶液を用いる。溶液を作るには, 針をつけた注射器の外筒に(内筒を抜き取った)硫酸ソーダを入れ, 硝酸液を注入したら内筒を挿入して注射筒内で溶解して作る。作った溶液は1日は使用し得る。

電極の感度を調整するには, 付属している恒温槽中の循環水を用いる。その P_{O_2} は空気中の P_{O_2} に等しいのであるが, 循環水が空気中の P_{O_2} と平衡に達するためには, 水温が37°Cになってから30分以上経っている必要がある。

実際の手順を簡単に述べる。

- ① 試料室に O_2 ゼロ溶液(室温でよい)を満たし, 針が安定するのを待って, ゼロ点調節ネジを回して目盛の0に合わせる。
- ② 試料室をゆっくりと蒸溜水で2~3回よく洗浄する。
- ③ 恒温槽に注射器の針先を入れ, 循環水を注射器内に数回出し入れした後にこれを取り出し, P_{O_2} 電極の試料室に注入する。指針が上がって安定したら, 感度調整ツマミを回して, P_{O_2} 目盛を空気中の P_{O_2} に合わせる。
- ④ 電極が確実に校正されたら, 室内空気を試料室に注入し, その時のメーターの目盛を読み, これを“gas reading”として記録しておく。

血液の P_{O_2} を実測する前には, 毎回室内空気を試料室に注入し, 5mmHg以内のずれならば, メーターの針を元の“gas reading”にもどしてから実測に移る。測定終了後にも同様のチェックを行う。いずれの場合も5mmHg以上指針がずれているときには, 恒温槽の水で電極を校正し直す必要がある。

このように, P_{O_2} 電極は, 二点校正を行う必要があるが, 0点はほとんどずれることがないので, 毎日1回校正すればよい。しかし, P_{O_2} の感度調節(高 P_{O_2} の校正)は測定毎に頻回に行う必要がある。

(c) 血液 P_{O_2} の実測

ルアロック注射器に採取した血液の P_{O_2} は, 次の手順で測定する。

- ① 試料注入口に付けてあるルアロックアダプターに, 血液の入った注射器をはめ, 血液をゆっくり注入して, 試料室のサンプル出口につないだビニールチューブに血液が見え始めるまで行う。この際, 試料室内に気泡があってはいけない。
- ② メーターの指針は, しだいに上昇し約1分30秒で安定し, 約15秒間持続するから, その間に目盛を読みとる。試料注入から指針が安定する(フラットに達する)までの時間は, 電極の条件, 特に膜の厚さに関係するので一定ではない。

アストラップでは, メーターの読みがそのまま血液の P_{O_2} を表すが, IL メーターでは, 電極の校正をガスで行っているために次式により補正する。