

# 温泉治療の血液 pH, $P_{CO_2}$ 並びに $P_{O_2}$ に及ぼす影響に関する研究

## 第 I 編. 測定機器及び測定条件の吟味

八 幡 隆 昭

岡山大学温泉研究所 温泉医学部門

(指導 森 永 寛 教授)

### 目 次

#### 第 I 編 測定機器及び測定条件の吟味

##### I 緒言

##### II 方法

##### A 採血及びその血液の保存方法

##### B 測定方法

##### III 成績

##### A 応答時間

##### B 再現性

##### C 経時の変化

##### D 小括

##### IV 考按

##### V 結論

##### 文 献

### I. 緒 言

溶液 pH の測定法は比色法と検電的測定法とに大別されるが、前者は精度の低さに大きな欠点があり、臨床的には殆んど用をなさない。電池の原理を応用して pH を測定するのが後者の方法で、ガラス指示電極が使用されて以来、現在では臨床上の主役を演じている。共存するイオンのいかにかわからず正確に  $\pm 0.005$  pH の精度で測定が可能である。

$P_{CO_2}$  の測定には pH と炭酸ガス含量とから HENDERSON - HASSELBALCH の式により求める間接法と DILEY *et al.* (1954) の気泡平衡法による直接法とが用いられていたが、STOW らに始まりその後 SEVERINGHAUS and BRADLEY (1958) により改良された現在では  $\pm 1$  mmHg の精度で測定可能な炭酸ガス電極法が用いられている。

$P_{O_2}$  の測定法は従来から酸素飽和度より算出する間接法と前述の気泡平衡法による直接法とがあるが、前者での精度は低く、後者では再現性に問題があり、誤差の大きな原因となっている。ポーラログラフイーの原理を用い

て溶液中の  $P_{O_2}$  を直接測定する方法は水銀滴下電極によるものが最初で、その後に白金電極が導入され CLARK がこれに改良を加えて今日用いられている  $P_{O_2}$  電極の基礎をきついたといわれる (LÜBBERS, 1966)。更に SEVERINGHAUS and BRADLEY (1958) は少量の検体で正確に  $\pm 1$  mmHg の精度で測定可能な超微量電極を開発した。

著者が使用した I. L. メーター 113 型の仕様は次の如くである。即ち、pH,  $P_{CO_2}$  並びに  $P_{O_2}$  の測定用電極にはそれぞれガラス、SEVERINGHAUS 及び CLARK 電極が用いられている。測定可能範囲は pH: 6.8~8.0,  $P_{CO_2}$ : 10~100 mmHg 及び  $P_{O_2}$ : スケールの選択により 0~160 mmHg または 150~800 mmHg で電極による再現性はそれぞれ  $\pm 0.005$  pH,  $\pm 0.5$  mmHg 及び 1.6 または 8.0 mmHg (full scale の 1%) である。別に恒温槽が組み込まれており、 $\pm 0.05^\circ C$  の精度で指示温度が維持されている。

著者は今後の実験をすすめる上で測定機器の性能及び測定条件を知る必要から、第 I 編において機器の再現性、応答時間及び試料の経時の変動について検討を加えた。

### II. 方 法

#### A. 採血及びその血液の保存方法

採血に際しては、あらかじめヘパリンで内腔を湿潤しかつ死腔を満した容量 5 cc の注射器に、血液のうっ滞をさけて速やかに肘静脈から 3~5 cc 採取し、空気の混入がないこと確かめたのち、ゴムキャップを施して氷水中に保存し、I. L. メーターで測定した。

#### B. 測定方法

測定開始に先だって緩衝液 pH: 6.84 及び 7.384 (I. L. 社製) を用いて、それぞれ pH のバランス及びスロープ調整を行ない、以後は 7.384 のみによる一点調整とした。 $P_{CO_2}$  には市販の炭酸ガスと窒素ガスとの混合気体を用い、通常は低濃度の炭酸ガスによる一点調整ですませた

が、テフロン膜ないしは電解質溶液を交換した際には高低両濃度の混合気体 ( $\text{CO}_2$ : 5% 及び 10% 前後) で二点調整を行なった。  $P_{\text{O}_2}$  の場合、上記ガスのいずれか一方を用いて零点調整を行ない、測定が午前、午後に行なうときはその両方で再調整をした。その後は空気を用いて一点調整を行なって測定に移った。

まず、血液を入れた注射器を両手掌間にて冷感を自覚しなくなるまで急速に回転かつ加温した。一方の口から試料を注入すると同時に分時計を作動せしめ、10秒後に他の口から試料が 1~2 滴滴下する速度でこれを行ない、注入操作を10秒間停止して、更に 1~2 滴を滴下させた。キューベット内に気泡の存在しないことを確かめてコックを閉じた。

試料注入開始時からメーターの読みが安定するまでの時間を応答時間と呼び、pH、 $P_{\text{CO}_2}$  及び  $P_{\text{O}_2}$  についてそれぞれ計測した。I. L. メーターの再現性をみるのには応答時間での読みをその試料での測定値とし、生理食塩水で十分に洗浄したのち再調整を行ない、3~5分後に第2回目の測定を行なって、両測定値間のバラツキを検討した。採血直後における第1回目の測定時点から15分間隔で60分後まで、経時的に計5回の測定を行なって値の変動を追求した。

### III. 成 績

#### A. 応 答 時 間

i) pH: 試料注入開始 1 分後のメーターの読みの平均

Table 1. Response time of pH,  $P_{\text{CO}_2}$  and  $P_{\text{O}_2}$  electrodes

| Subject<br>No.    | pH      |        |        |        |        |        |       |      |
|-------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
|                   | Seconds |        |        |        |        |        |       |      |
|                   | 30      | 60     | 120    | 180    | 240    | 300    |       |      |
| 1                 |         | 7.385  | 7.380  | 7.380  | 7.378  | 7.375  |       |      |
| 2                 |         | 7.384  | 7.380  | 7.375  | 7.373  | 7.370  |       |      |
| 3                 |         | 7.348  | 7.348  | 7.347  | 7.346  | 7.345  |       |      |
| 4                 |         | 7.430  | 7.430  | 7.425  | 7.422  | 7.420  |       |      |
| 5                 |         | 7.355  | 7.355  | 7.354  | 7.352  | 7.350  |       |      |
| M. V.             |         | 7.380  | 7.379  | 7.376  | 7.374  | 7.372  |       |      |
| C. L.             |         | ±0.040 | ±0.040 | ±0.038 | ±0.037 | ±0.037 |       |      |
| $P_{\text{CO}_2}$ |         |        |        |        |        |        |       |      |
| 1                 | 39.8    | 42.5   | 43.5   | 43.5   | 43.5   | 43.5   |       |      |
| 2                 | 34.6    | 35.5   | 35.9   | 36.0   | 36.0   | 36.0   |       |      |
| 3                 | 44.0    | 47.0   | 48.2   | 48.5   | 48.6   | 48.6   |       |      |
| 4                 | 42.0    | 44.5   | 45.5   | 45.5   | 45.7   | 45.9   |       |      |
| 5                 | 52.0    | 54.0   | 53.7   | 53.5   | 53.5   | 53.5   |       |      |
| M. V.             | 42.5    | 44.7   | 45.4   | 45.4   | 45.5   | 45.5   |       |      |
| C. L.             | ±7.9    | ±8.4   | ±8.1   | ±8.0   | ±7.9   | ±8.0   |       |      |
| $P_{\text{O}_2}$  |         |        |        |        |        |        |       |      |
| 1                 | 28.0    | 27.5   | 27.0   | 26.8   | 26.0   | 25.2   | 25.0  | 25.0 |
| 2                 | 57.2    | 57.2   | 57.5   | 57.3   | 57.0   | 56.5   | 56.3  | 36.0 |
| 3                 | 33.0    | 32.5   | 32.5   | 32.5   | 32.0   | 32.0   | 32.0  | 32.0 |
| 4                 | 44.5    | 43.5   | 43.5   | 43.5   | 43.5   | 43.5   | 43.3  | 43.2 |
| 5                 | 45.0    | 45.0   | 45.0   | 45.0   | 45.0   | 44.5   | 44.2  | 44.0 |
| M. V.             | 41.3    | 41.1   | 41.1   | 41.0   | 40.7   | 40.3   | 40.2  | 44.0 |
| C. L.             | ±14.1   | ±14.7  | ±15.7  | ±15.0  | ±15.0  | ±15.0  | ±14.8 |      |

M. V. = Mean Value

C. L. = 95% Confidence Limits

Table 2. Reproducibility of pH,  $P_{CO_2}$  and  $P_{O_2}$  Measurements

| Subject No. | Measurement |        | $\Delta pH$ | Measurement |        | $\Delta P_{CO_2}$ | Measurement |        | $\Delta P_{O_2}$ |
|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|--------|-------------------|-------------|--------|------------------|
|             | First       | Second |             | First       | Second |                   | First       | Second |                  |
| 1           | 7.440       | 7.445  | 0.005       | 45.5        | 45.5   | 0.0               | 42.0        | 41.5   | -0.5             |
| 2           | 7.455       | 7.455  | 0.000       | 59.5        | 60.0   | 0.5               | 41.0        | 40.0   | -1.0             |
| 3           | 7.420       | 7.420  | 0.000       | 55.5        | 56.5   | 1.0               | 19.0        | 18.5   | -0.5             |
| 4           | 7.405       | 7.425  | 0.020       | 43.5        | 44.5   | 1.0               | 28.0        | 27.0   | -1.0             |
| 5           | 7.360       | 7.350  | -0.010      | 52.5        | 53.0   | 0.5               | 33.5        | 33.0   | -0.5             |
| 6           | 7.450       | 7.450  | 0.000       | 58.0        | 59.0   | 1.0               | 22.5        | 22.0   | -0.5             |
| 7           | 7.370       | 7.375  | 0.005       | 45.0        | 44.0   | -1.0              | 64.5        | 64.5   | 0.0              |
| 8           | 7.475       | 7.475  | 0.000       | 53.0        | 53.2   | 0.2               | 34.0        | 34.0   | 0.0              |
| 9           | 7.430       | 7.440  | 0.010       | 43.5        | 43.5   | 0.0               | 62.5        | 62.5   | 0.0              |
| 10          | 7.385       | 7.385  | 0.000       | 36.0        | 36.5   | 0.5               | 47.5        | 47.0   | -0.5             |
| M. V.       | 7.419       | 7.422  | 0.003       | 49.2        | 49.6   | 0.4               | 39.5        | 39.0   | -0.5             |
| R. L.       |             |        | $\pm 0.018$ |             |        | $\pm 1.6$         |             |        | $\pm 0.8$        |

M. V. = Mean Value  
R. L. = 5% Rejection Limits

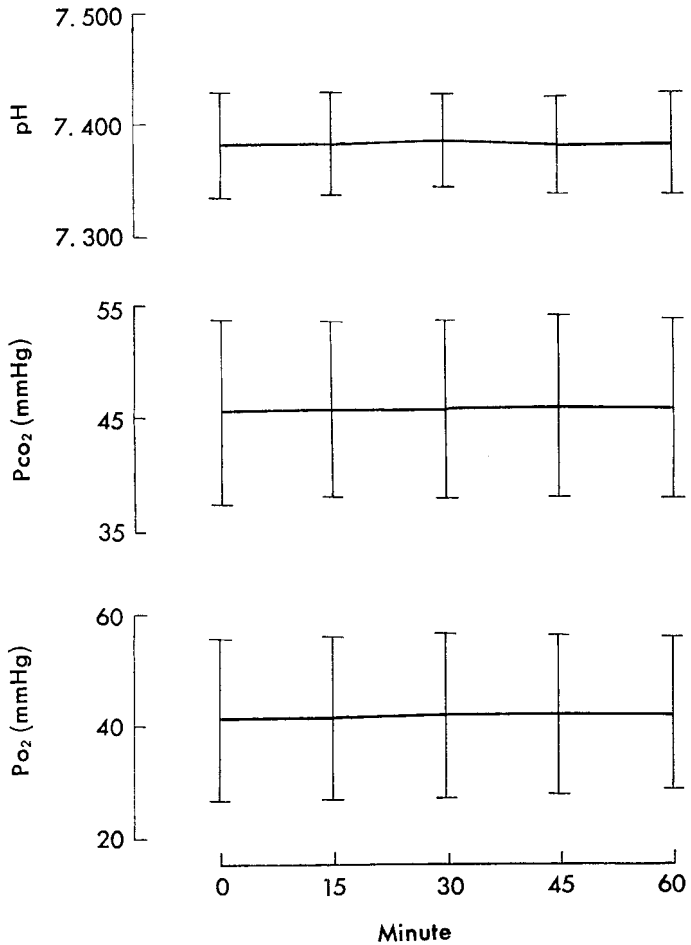


Fig. 1. Response Time of pH,  $P_{CO_2}$  and  $P_{O_2}$  Electrorode

値は 7.380 であり、続く 30 秒間にも変動がみられず安定している。以後徐々に減少の傾向を示すがその減少率はわずか (0.002 unit/min) で 5 分後の値はなお電極による誤差の範囲内である。

ii)  $P_{CO_2}$ : 注入開始 30 秒後の読みの平均値は 42.5 mmHg である。1 分後の値は 44.7 mmHg, 2 分では 45.4 mmHg となり比較的急上昇し、その増加の割合も大きい。以後安定してほぼ平坦な線を描く。

iii)  $P_{O_2}$ : 注入開始 30 秒後の読みの平均値は 41.3 mmHg でなだらかな勾配の直線状に減少する傾向があるが 45~75 秒の間で安定した値 (41.1 mmHg) をとっている。以後の減少率は 0.3 mmHg でかつ 5 分値は電極による誤差の範囲内の変動である。

## B. 再現性

i) pH: 第 1 回目の測定値の平均は 7.419 であり、第 2 回目のそれは 7.422 である。両測定値の差の範囲は  $-0.010 \sim 0.020$  (平均: 0.003) で 5% 棄却限界は  $0.021 \geq x_0 \geq -0.015$  である。

ii)  $P_{CO_2}$ : 第 1 回及び第 2 回目の測定値の平均はそれぞれ 49.2 及び 49.6 mmHg である。両測定値間の差は  $\pm 1.0$  mmHg (平均 0.4) 以内で 5% 棄却限界は  $2.0 \geq x_0 \geq -1.2$  mmHg である。

iii)  $P_{O_2}$ : 両者の測定値の平均は 39.5 及び 39.0 mmHg であり、差の範囲は  $-1.0 \sim 0.0$  mmHg (平均  $-0.5$ ) で 5% 棄却限界は  $0.3 \geq x_0 \geq -1.3$  mmHg である。

## C. 経時的変化

i) pH: 採血直後における測定値の平均 (0 値) は 7.380 で、15 分値との間に差がない。30 分値は軽度の増加

(+0.002), 45 分及び 60 分値はわずかに減少 ( $-0.002$ ) の傾向がみられるがいずれの変動も測定誤差の範囲内である。

ii)  $P_{CO_2}$ : 0 値 45.4 mmHg で以後多少の変動 (0.1~0.3 mmHg) は認められるが一定の傾向はみられず、測定誤差範囲内の変動である。

iii)  $P_{O_2}$ : 15 分値は 41.2 mmHg で 0 値と同値であるが以後、徐々に増加の傾向を示しているが、0 値との間に有意差は証明されない。

## D. 小 括

i) pH,  $P_{CO_2}$  及び  $P_{O_2}$  の三者を同時に測定する場合、試料注入はまず  $P_{CO_2}$ , 次いで pH,  $P_{O_2}$  の順序で行ない、メーターの読みは pH,  $P_{O_2}$ , 最後に  $P_{CO_2}$  の順で記録するのがよいと考えられる。

ii) pH,  $P_{CO_2}$  及び  $P_{O_2}$  の再現性は良好であり、測定条件そのものも妥当と解される。

iii) 採血直後の測定ないしは氷水中保存の試料では、少なくとも 60 分以内の測定値の信頼性は高いという結果がえられた。

## IV. 考 按

採血時ないし保存時におこりうる変化としては次の如きものが考えられる。

i) 血液のうっ滞による影響: 血流の遅滞は組織での酸素消費量を増大せしめ、炭酸ガスの蓄積をおこし pH の低下をきたすが、これらの変化を除くためには駆血帯をはずして 1 分間も放置すれば充分であるという (LOONEY *et al.*, 1934).

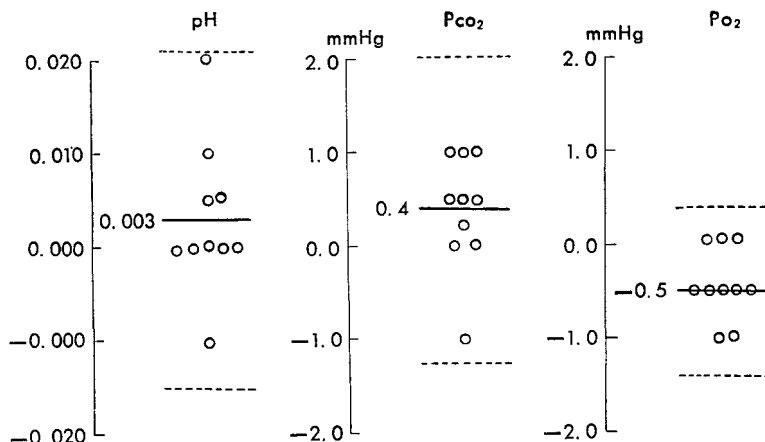


Fig. 2. Reproducibility of pH,  $P_{CO_2}$  and  $P_{O_2}$  Measurements

ii) 外気との接触及び気泡の混入: 斎藤及び本田(1955)は外気との接触が10秒以内であれば pH,  $P_{CO_2}$  に計りうる程の変化がないことを認めており, ANDERSEN(1961)は2分間大気に接触させたときの pH の増加の平均値は 0.005 であると報告しているの、あらかじめ注射器及び注射針の死腔を抗血液凝固剤で満しておくこと、採取に際しては注射器内筒を強く引き過ぎないこと、及び気泡が認められれば速やかに駆出してゴムキャップを施すことで pH,  $P_{CO_2}$  の変化を少なくすることができよう。

iii) 抗血液凝固剤の影響: 抗血液凝固剤にはクエン酸, 重碳酸塩, ヘパリン等があるが, 前二者は凝固を抑制する最小有効濃度が比較的高く, 血液の稀釈, pH の変化

を来しやすいので, その影響が最も少なく, しかも微量で有効なヘパリンが使用されている (YOSHIMURA, 1935; SEVERINGHAUS *et al.*, 1956; ANDERSEN, 1961). 仁木及び平川(1962)は抗凝固作用の他に解糖を抑制し, かつ pH には影響を及ぼさないとして 2.3% 乳酸水素カリウム液の使用を推奨している。

iv) 血液稀釈の影響: YOSHIMURA (1935) は血液に生塩水を10%以下の割合で混合したのでは pH は不変であったとし, ANDERSEN (1961) は生塩水の 12~13% 混入で pH にはあまり変化がみられないが,  $P_{CO_2}$  は高い割合で減少することを示しており, ヘパリン 1mg/ml 添加血液ならば大きな誤差はないと述べている。

Table 3. Changes of pH,  $P_{CO_2}$  and  $P_{O_2}$  Values in 60 minutes

| Subject No. | pH      |        |        |        |        |
|-------------|---------|--------|--------|--------|--------|
|             | Minutes |        |        |        |        |
|             | 0       | 15     | 30     | 45     | 60     |
| 1           | 7.385   | 7.385  | 7.387  | 7.385  | 7.385  |
| 2           | 7.380   | 7.380  | 7.380  | 7.384  | 7.377  |
| 3           | 7.349   | 7.350  | 7.355  | 7.348  | 7.355  |
| 4           | 7.430   | 7.440  | 7.435  | 7.430  | 7.435  |
| 5           | 7.355   | 7.350  | 7.354  | 7.345  | 7.340  |
| M. V.       | 7.380   | 7.380  | 7.382  | 7.378  | 7.378  |
| C. L.       | ±0.046  | ±0.046 | ±0.041 | ±0.043 | ±0.045 |
| $P_{CO_2}$  |         |        |        |        |        |
| 1           | 43.5    | 43.5   | 43.5   | 43.5   | 43.5   |
| 2           | 35.9    | 36.5   | 36.3   | 36.2   | 36.3   |
| 3           | 48.2    | 49.2   | 49.0   | 49.5   | 49.0   |
| 4           | 45.5    | 45.5   | 45.5   | 45.8   | 45.0   |
| 5           | 53.7    | 53.2   | 53.0   | 53.5   | 53.6   |
| M. V.       | 45.4    | 45.6   | 45.5   | 45.7   | 45.5   |
| C. L.       | ±8.1    | ±7.8   | ±7.8   | ±8.1   | ±8.0   |
| $P_{O_2}$   |         |        |        |        |        |
| 1           | 27.8    | 27.0   | 27.4   | 28.0   | 29.8   |
| 2           | 57.3    | 57.7   | 58.0   | 57.3   | 58.0   |
| 3           | 32.5    | 33.5   | 33.0   | 33.7   | 34.2   |
| 4           | 43.5    | 43.0   | 44.0   | 43.5   | 44.0   |
| 5           | 45.0    | 45.0   | 45.0   | 46.5   | 45.2   |
| M. V.       | 41.2    | 41.2   | 41.5   | 41.8   | 42.2   |
| C. L.       | ±14.3   | ±14.6  | ±14.7  | ±14.2  | ±13.6  |

M. V. = Mean Value

C. L. = 95% Confidence Limits

v) 保存中の血液代謝の影響: 血液とくに白血球における解糖が進行して pH 並びにガス分圧が変動するのでこのため NaF の使用が有効であるといわれたが  $P_{O_2}$  の変化を抑制できず (TORRES, 1963), pH,  $P_{CO_2}$  についてもその効果に期待が薄く使用に消極的である (古屋, 1960; 鈴木ら, 1962). また赤血球からの  $K^+$  の遊出を来たすので不適当とされ (吉村ら, 1960), pH,  $P_{CO_2}$  に関して変動が大きいことからその使用を否定するものもある (ANDERSEN, 1961).

変化の度合は保存する温度によっても差がみられる. ANDERSEN (1961) は  $0^\circ \sim 4^\circ C$ ,  $22 \sim 24^\circ C$  及び  $38^\circ C$  で保存した場合の pH,  $P_{CO_2}$  の変動を調べて, 最初の 3 時間の時間変化率を pH についてそれぞれ  $-0.006 \pm 0.004$ ,  $-0.024 \pm 0.012$  及び  $-0.062 \pm 0.021$ ,  $P_{CO_2}$  についてそれぞれ  $0.6 \pm 0.6$  mmHg,  $2.5 \pm 1.1$  mmHg 及び  $4.8 \pm 1.3$  mmHg であることを認め,  $0^\circ \sim 4^\circ C$  保存血の変動が最小で, 3 時間以内では有意の差がみられないと報告している. 藤原 (1966) は  $8^\circ C$  及び  $30.8^\circ C$  の保存血で pH,  $P_{CO_2}$  及び  $P_{O_2}$  の変動を 8 時間にわたって追求し, 前二者については ANDERSEN と同じ傾向をみており,  $P_{O_2}$  についてはそれぞれ  $-0.6 \pm 1.0$  mmHg 及び  $-0.6 \pm 4.2$  mmHg であると述べている. 室温  $23^\circ C$  に

放置しても 15 分以内の測定成績では殆んど変化のないことが確かめられているが (佐伯, 1967), 採血直後に測定を行なうのを原則とし, やむを得ず保存血を用いる場合は氷水中に保存するのが次善の策と考えられる.

ガラス電極の感度は温度に関係しており, 温度  $1^\circ C$  の変化で 0.015 単位程度の変動を来たすものとみられる (ROSENTHAL, 1948; 斎藤, 1955). 仁木及び平川 (1962) は温度  $37^\circ C$  の測定で起電力が安定するまでに要する時間は大体 1 ~ 3 分以内であると述べており, 著者の成績と一致している.  $P_{CO_2}$  電極の応答時間に関係する因子としてはテフロン膜の厚さ, テフロン膜とガラス電極との間の  $NaHCO_3$  濃度とその液層の高さ及び検体中の  $CO_2$  濃度等があげられるが, 前二者は一定の規格のもとに設計, 製造されておるので実際の測定時に問題となるのは後者, つまり  $CO_2$  濃度であろう. ガスでも血液試料でも平衡に達するのに 1 ~ 8 分を要するが, その時間は連続測定の際に二者間の  $P_{CO_2}$  値の差により変化する. 即ち,  $P_{CO_2}$  電極を一定の  $P_{CO_2}$  値をもつガスで平衡させておきそれより低い  $P_{CO_2}$  値の検体で平衡させると高い  $P_{CO_2}$  値のものより時間が遅れるといわれる (GAMBINO, 1961). 著者の成績は 2 分でほぼ応答が完了しており, 比較的早い時間で平衡に達している.

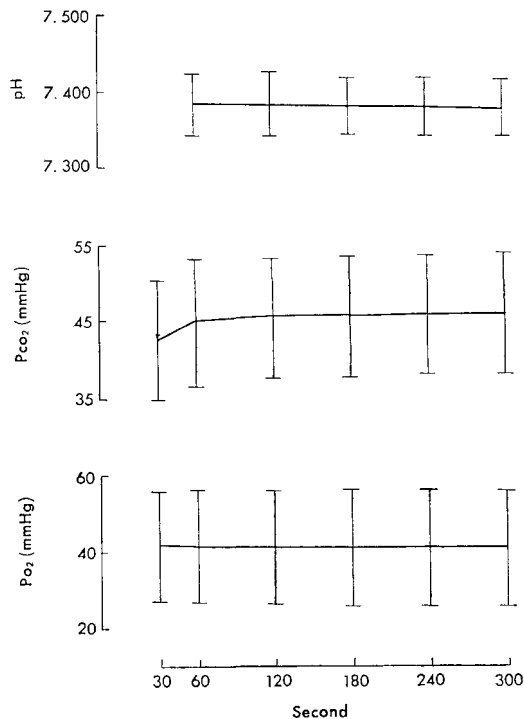


Fig. 3. Changes of pH,  $P_{CO_2}$  and  $P_{O_2}$  Values in 60 Minutes

$P_{O_2}$  電極の応答時間は  $O_2$  透過性膜の性質, 白金電極表面積の大小, あるいは検体の性質等によって影響される。膜を通して白金電極表面への  $O_2$  拡散速度が検体内のそれより速い場合には, 検体の膜に近い部分の  $P_{O_2}$  は低下し, 電極から得られる電流量は徐々に低下し, 血液のような粘稠度の高い液体ではこの減少が目立って来る (SEVERINGHAUS *et al.*, 1958)。 $P_{O_2}$  電極の応答は速やかで 30~60秒で平衡がえられ,  $P_{O_2}$  値の高いもの程早いとするものもあるが, I. L. メーター 113型による成績では (TORRES, 1963),  $P_{O_2}$  値 0~150 mmHg における 90% 応答時間は 10~15秒 (平均: 12秒) で, 150 mmHg を越えた場合にはむしろ遅延しており,  $P_{O_2}$  値 760 mmHg のときのそれは 20~30秒 (平均: 25秒) である。平衡に達した後, 血液では白血球の代謝によって  $P_{O_2}$  値は徐々に減少し, その度合は  $P_{O_2}$  値の高い血液程減少率が大きいといわれる (TORRES, 1963)。著者の応答時間 45~75秒という成績は平均的な値と考えられる。

血液 pH は 37°C の体温で測定するのが原則で, 笹本 (1962) は恒温槽を有するものとそうでないものとの 2台の pH 計を用いて, 同じ氷水中保存血液を殆んど同時に測定した結果, 両 pH メーターの読みの差は両者の誤差の範囲の和を越えており, その原因として後者での測定時の温度が室温より低かったためと推定している。更に電極の導線は厳重に絶縁されておる必要があり, 電極外面や導線の汚れのないことをチェックし, 電極電位に及ぼす周囲からの静電気の影響を防止できる様に留意することが望ましい (笹本, 1962)。またガラス電極を長時間使用していると血液の如き蛋白質を含んだ検体の場合にはガラス膜面に蛋白質の薄膜が附着するため, 感度が減少し, 再現性が低下するので測定毎に生塩水で充分洗滌し, 終了時には pH 電極洗滌液を数分間満した後洗滌し, 生塩水を充滿させおくようすすめられており, これは電極の乾燥による不定定さを除く意味で重要である (二木ら, 1962)。その他 KCl 橋の血液や NaCl による汚染は I. L. メーターにおける pH の再現性に影響するといわれる (長谷川, 1965)。以上述べた諸点を含めてあらゆる注意をはらった上で得られる最高の精度は  $\pm 0.003$  位とされており (SEVERINGHAUS, 1956), 仁木及び平川 (1962) は小数位 3 桁にある値は実際上誤差範囲にある数値と理解すべきであるという。また古屋 (1960) によれば pH メーターが  $\pm 0.01$  以内の性能であれば, 得られる値は  $\pm 0.02$  以内で真の値と一致するとみなされる。著者の成績で 5% 棄却限界は  $0.003 \pm 0.018$  であり古屋の云う条件を満足するものといえよう。

$P_{CO_2}$  電極をガスで調整する場合, 流量によって電極部分が容易に冷却され, 乾燥して, 測定値が不正確とな

ることがあるので, 短時間, 断続的に流してやるのがよいといわれる (SEVERINGHAUS *et al.*, 1958)。これによる誤差を少なくするために既知の  $P_{CO_2}$  値のガスで平衡させた血液で調整すると同時に, 読みとる時間をチェックすることがすすめられる。実際にガスの  $P_{CO_2}$  値と  $P_{CO_2}$  電極による測定値との差は  $0.08 \pm 0.13$  mmHg で後者の方が有意に高値を示しているが, 平衡を得る間の解糖による差と考えられている (GAMBINO, 1961)。著者の成績では 5% 棄却限界は  $0.4 \pm 1.6$  mmHg でやや再現性が低いと思える結果である。

$P_{O_2}$  の再現性は  $P_{O_2}$  値の高いものと低いものとで異なり, 前者で差が大きい。即ち, TORRES (1963) は 15分以内に 2 回行なった両測定値間の差は空気呼吸時で 0~7 mmHg (平均: 1.14), 100%  $O_2$  呼吸時は 0~35 mmHg (平均: 7.80) であるといい, しかも第 2 回目の測定値の 92% は前回のものより低値をとることを認めており, その原因として保存時 (37°C) の酸素消費によるものとしている。著者の成績は氷水中保存にもかかわらず同様の傾向がみられたが測定値間の変動範囲は  $-1.0 \sim 0.0$  mmHg (平均:  $-0.5$ ) で TORRES のものより小さい。

採血後の pH 並びにガス分圧の経時的变化に関する成績のうち, ANDERSEN (1961), 藤原 (1966) のものは保存中におこりうる変化として先に述べてあるのでその他の研究者の成績を検討してみよう。pH について長谷川 (1965) は 0°C 保存のヘパリン加血で 3 時間までは不変, 室温では採血後 15 分間頃までに 0.02 前後, 以後はさらに緩徐な低下傾向があるといい, 吉村ら (1960) は 2.3% 蓆酸カリ加血の 25°C 及び 0°C 保存では採血後 24 時間以内の測定値の低下は 0.01 以内であって温度による差はみられないと述べている。一方, GAMBINO (1961) は 0°C 保存血 (ヘパリン加) の pH が採血後 1 時間は安定であることを認めたが,  $P_{CO_2}$  値は無変化ないし 2 mmHg 弱の増加をみており, 0°C 保存時にもなお酸素消費がおこっている結果とし, 還元ヘモグロビンの緩衝作用により pH は一定に保たれていると説明している。反対に長谷川 (1965) は 0°C の保存では 3 時間まで変化が認められないという。著者のヘパリン加血 (0°~4°C 保存) での成績は pH,  $P_{CO_2}$  値については不変といってよく,  $P_{O_2}$  については増加傾向を示すが電極による誤差が  $\pm 1.6$  mmHg とみこまれており, 誤差の範囲内と解するのが妥当である。

## V. 結 論

I. L. メーターを用い, 人静脈血の pH,  $P_{CO_2}$  並びに  $P_{O_2}$  を測定し, 機器の性能及び測定条件について検討し

た結果、次の如き成績を得た。

1) 試料注入開始後から pH,  $P_{CO_2}$  及び  $P_{O_2}$  の平衡に達するまでの時間 (応答時間) はそれぞれ 1分~1分30秒, 2分~2分30秒及び 45~75秒である。したがって三者同時に測定を行なう場合には注入を  $P_{CO_2}$ , pH 及び  $P_{O_2}$  の順で開始するのがよく、読みを記録するのは、pH,  $P_{O_2}$  及び  $P_{CO_2}$  の順で行なうのがよいことが示された。

2) 同一試料を 3~5分間隔で2回測定したときの両測定値間の差の範囲は pH:  $-0.010 \sim 0.020$  (平均値: 0.003),  $P_{CO_2}$ :  $-1 \sim 1$  mmHg (平均値: 0.4) 及び  $P_{O_2}$ :  $-1.0 \sim 0.0$  mmHg (平均値:  $-0.5$ ) であり、5%棄却限界はそれぞれ  $0.021 \geq x_0 \geq -0.015$ ,  $2.0 \geq x_0 \geq -1.2$  mmHg 及び  $0.3 \geq x_0 \geq -1.3$  mmHg であった。三者とも比較的良好な再現性を示すことがわかった。

3) 氷水中保存のヘパリン加血を用いて60分間に亘る15分間隔での経時的測定の結果は pH,  $P_{CO_2}$  及び  $P_{O_2}$  値に有意の変動が認められなかった。したがって、採血直後に測定が不可能な場合、氷水中に保存した試料を遅くとも60分間以内に測定するのが次善の策と考えられる。

## 文 献

- ANDERSEN, O. S. (1961). Sampling and storing of blood for determination of acid - base status. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, **13**, 196-204.
- GAMBINO, S. R. (1961). Determination of blood  $P_{CO_2}$ . *Clin. Chem.*, **7**, 336-344.
- 長谷川 博 (1965). 血液 pH,  $P_{CO_2}$  測定誤差の検討. 臨床病理, **13**, 116.
- 藤原孝憲 (1966). 酸一塩基平衡に関する測定法. 山村秀夫編 酸一塩基平衡の臨床, 初版, 朝倉書店. 東京, pp. 21-61.
- 吉屋清一 (1960). 血液 pH測定下の諸問題—採血より測定まで—. 臨床病理, **8**, 205-211.
- LOONEY, J. M. and CHILDS, H. M. (1934). A comparison of the collection of blood to be used in the determination of gases. *J. Biol. Chem.*, **104**, 53-58.
- LÜBBERS, D. W. (1966). Methods of measuring oxygen tensions of blood and organ surfaces. In: *A Symposium on Oxygen Measurements in Blood and Tissues and their Significance*, edited by PAYNE, J. P., HILL, D. W. J. and A. Churchill, London. pp. 103-127.
- 仁木偉盛夫, 平川千里 (1962). 血液 pH測定の実際. 臨床病理, **10**, 423-428.
- RILEY, R. L., PROEMMEL, D. D. and FRANKE, R. E. (1945). A direct method for determination of oxygen and carbon dioxide tensions in blood. *J. Biol. Chem.*, **161**, 621-633.
- ROSENTHAL, T. B. (1948). The effect of temperature on the pH of blood and plasma in vitro. *J. Biol. Chem.*, **173**, 25-30.
- 斎藤幸一郎, 本田良行 (1955). 微量ガラス電極による血液 pH およびその温度係数の測定. 日新医学, **42**, 167-171.
- 笹本 浩 (1962). 臨床家より見た pH メーターの問題点. 臨床病理, **10**, 419-422.
- SEVERINGHAUS, J. W., STUPFEL, M. and BRADLEY, A. F. (1956). Accuracy of blood pH and  $P_{CO_2}$  determinations. *J. Appl. Physiol.*, **9**, 189-196.
- , and BRADLEY, A. F. (1958). Electrodes for blood  $P_{O_2}$  and  $P_{CO_2}$  determination. *J. Appl. Physiol.*, **13**, 515-520.
- 鈴木清, 田村文彦, 高木康 (1962). pHの測定. 呼吸と循環, **10**, 425-431.
- TORRES, G. E. (1963). Validation of oxygen electrode for blood. *J. Appl. Physiol.*, **18**, 1008-1011.
- YOSHIMURA, H. (1935). Effects of anticoagulants on the pH of the Blood (Studies on the blood pH estimated by the glass electrode method. II.) *J. Biochem.*, **22**, 279-295.
- 吉村寿人, 藤本守, 仁木偉盛夫 (1960). 血液 pHの諸問題. 呼吸と循環, **8**, 599-601.

## STUDY ON EFFECTS OF BALNEOTHERAPY ON BLOOD pH, $P_{CO_2}$ AND $P_{O_2}$ PART 1. EVALUATION OF MEASUREMENT APPARATUS AND METHODS OF THE PROCEDURES

by Takaaki YAHATA (Director: Prof. Hiroshi MORINAGA) *Division of Internal Medicine, Institute for Thermal Spring Research, Okayama University.*

*Abstract* Human venous blood pH,  $P_{CO_2}$  and  $P_{O_2}$  were measured with I. L. Meter. Its reproducibility and response rate were evaluated as well as methods of the procedures.

1) Time required to reach the stability of pH,  $P_{CO_2}$  and  $P_{O_2}$  reading after the sample injection was 1~1.5 min., 2~2.5 min. and 45~75 sec., respectively. It is



recommended in the measurement of these parameters at the same time that the sample injection starts with  $P_{CO_2}$  electrode, followed by pH and  $P_{O_2}$  in this order and that readings are recorded in the order of pH,  $P_{O_2}$  and  $P_{CO_2}$ .

2) Range of differences between the two values measured in the interval of 3 ~ 5 min. were pH :  $-0.010 \sim 0.020$  (mean: 0.003),  $P_{CO_2}$  :  $-1.0 \sim 1.0$  mmHg

(mean: 0.4) and  $P_{O_2}$  :  $-1.0 \sim 0.0$  mmHg (mean :  $-0.5$ ). Their 5 % rejection limits were  $0.021 \geq x_0 \geq -0.015$ ,  $2.0 \geq x_0 \geq -1.2$  mmHg and  $0.3 \geq x_0 \geq -1.3$  mmHg, respectively.

3) The pH,  $P_{CO_2}$  and  $P_{O_2}$  of the heparinized venous blood stored in ice water showed no significant changes in 60 min. and they gave practically the same results as the measurement just after shedding.