

Bioelectronics に基づいた体液と代謝の評価

吉 武 潤 一 谷 口 省 吾*

I はじめに

単細胞生物はそのおかれた環境によって、ある場合には分裂・増殖することができるし、またある場合には生存できずに死滅する。それである個体に病原菌が侵入した場合にもその個体の体液が菌の増殖に適した状況であるかどうかによって、発病するかどうか決定されると思われる。

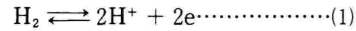
ところで体液の状況はどのような指標に基づいて評価できるのかという問題に関しては、従来から種々の意見が出されているが、まだ決定的なものはないようである。1952年に Kemeny は pH ($=\log \frac{1}{[\text{H}^+]}$), rH_2 ($=\log \frac{1}{[\text{H}_2]}$) ならびに R (電気抵抗) の3つの実測値から酸化還元電位(E), milliampere, μwatt を計算で求め、これらを biological condition を規定する bioelectronic factors と呼んでいる。

今日においても体液管理にあたっては、患者血液の電解質、血糖、尿の組成など、生化学的因子を基にして体液補正がなされており、前述した bioelectronic factors に関する研究はほとんどなされていなかった。

最近西ドイツ Med-Tronik 社より BE-Vincent 器が発売され、複合電極によって pH , rH_2 ならびに R が比較的簡単に測定できるようになった。筆者らは重症症例について bioelectronic factors の測定を行ってきたので、その成績について述べることにする。

II Bioelectronic factors

体液の pH , rH_2 ならびに R の実測値から、次の関係式によって、酸化還元電位(E), 電流(I), ワット(W) を計算することができる。



熱力学第2法則により

$$\begin{aligned} E &= \frac{RT}{2F} \log \frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}_2]} \\ &= \frac{RT}{2F} \left(\log \frac{1}{[\text{H}_2]} - 2 \log \frac{1}{[\text{H}^+]} \right) \\ &= \frac{RT}{2F} (\text{rH}_2 - 2\text{pH}) = 0.03 (\text{rH}_2 - 2\text{pH}) \cdots \cdots (2) \end{aligned}$$

$$E/R = I$$

$$E \times I = W$$

pH , rH_2 ならびに E の間には(2)式のような関係式が成立つので、 pH を横軸、 rH_2 を縦軸にとった pH - rH_2 diagram では、 E は右上りの直線として表示される。この diagram 上に患者の実測値を記入すれば、患者体液の bioelectronic な変化を経時的に表示することができる。

III 電極の calibration¹⁾

pH 電極は一般の pH 電極と同様 $\text{pH}=4.00$ と $\text{pH}=7.00$ の2種の標準液を用いて調整する。

rH_2 電極については $\text{pH}=4.00$ 標準液を用いて rH_2 を 17.2 に、 $\text{pH}=7.00$ の標準液を用いて $\text{rH}_2=23.3$ にセットする。これは図1の pH - rH_2 diagram の $E=276\text{mV}$ の線を示すことになる。ところで筆者らの経験では、すべての電極の特性を $E=276\text{mV}$ に近似させることには無理があり、各電極についてその特性をチェックすることが必要と思われた。このためには一定の E 値をもった標準液について pH と rH_2 を測定することが必要と思われる。Quinhydrone は benzoquinone(Q) と hydroquinone(H_2Q) の equimolecular mixture で、水に僅かに溶解し、次式のような E 値を示すことが知られている²⁾。

Junichi Yoshitake, Syogo Taniguchi*

九州大学 医学部 麻酔科

同 手術部*

〒812 福岡市東区馬出3丁目1-1

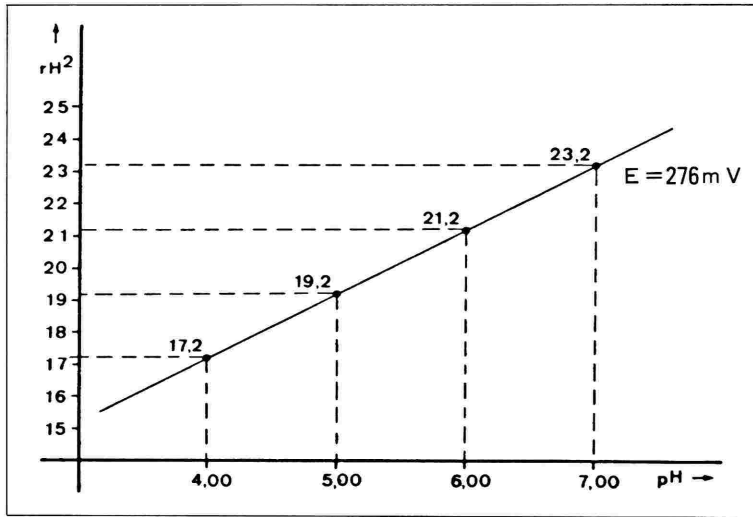
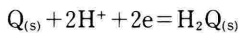


図1. rH₂電極のpH標準液を用いた calibration の方法



$$E = 0.699 - 0.0592 \text{ pH}$$

筆者らは0.15 Molの磷酸緩衝液(pH=7.00)に少量の quinhydrone 結晶を溶解させ、その pH と E を測定して実測された rH₂(または E)の補正をしている。

R については N/10KCl と N/50KCl 液を用い、表1に従って calibration を行った。

IV 正常人の血液と尿の測定値

早朝空腹時に健康成人より採取された動脈血、静脈血ならびに尿の測定値を表2に示した。動脈血と静脈血の測定値にはほとんど差はなく、動脈血については pH=7.40, E=240mV, R=200 ohm を正常値としてよいように思われる。

尿は血液に比べ R 値が低く、E 値にはあまり差は認められない。したがって μwatt 数がかなり高くなっている。一般に尿の bioelectronic factor ではばらつきが大きく、これは尿量に差があるためと考えられる。

尿の R は尿中に排泄される電解質濃度の上昇によって低下することが予想される。図2は横軸に尿中 $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Cl}^-$ を、縦軸に R の対数をとったものであり、よい相関が見られた。生体は尿中に多量の

電解質を排泄し、血液の μwatt を低く維持しようとしているものと考えられた。

酸素吸入によって PaO₂ を上昇させた場合、動脈血の E に変化が見られるかどうか調べた結果を示したのが図3である。PaO₂ の変化によって E 値はほとんど変化しなかった。

図4は動脈血の R とヘマトクリットとの関係を示したものである。ヘマトクリットの上昇によって R 値が高くなることを示している。

表1. 種々の KCl 溶液の correction factor (ohm)

T; temp. (C)

T	N/10	N/50	N/100
15°	95.3	446	872
16°	93.3	436	852
17°	91.3	426	834
18°	89.4	417	817
19°	87.5	408	800
20°	85.7	400	782
21°	84	392	767
22°	82.3	384	751
23°	80.6	376	736
24°	79.1	369	721
25°	77.9	362	708

表2. 健康成人の体液の bioelectronic factors

	Arterial blood	Venous blood	Urine
pH	7.404±0.026	7.381±0.027	5.689±0.431
rH ₂	23.0±0.4	22.8±0.6	19.1±0.7
R(ohm)	195.6±20.6	198.8±22.0	47.3±19.6
E(mV)	243.0±12.6	237.6±16.8	231.4±15.6
I(mA)	1.27±0.12	1.21±0.15	5.86±2.68
μW	310.9±35.4	288.3±47.8	1386.3±705.6

mean±SEM(n=20)

V 輸液剤と血液製剤の bioelectronic factors

日常臨床に使用される輸液剤と血液製剤について測定された bioelectronic factors の値を表3に示した。生理食塩水と乳酸リンゲル液はともに血清と似た電解質組成を有するので、細胞外液補充液と呼ばれている。これらの pH 値が血液のそれより低い点を除いても、E は血液の約1.6倍と高く、血液より酸化状態にあり、R 値は1/2~1/3と低く、μwatt の値が著しく高いことなど、血液とは著しく異なっており、体内の老廃物を排泄している尿のそれにむしろ近い状態にあるということが出来る。

5%ブドウ糖液は電解質を含まないため、R が高く、μwatt は著しく小さい。E 値は血液より著明に高く、本剤の投与によって生体の血液の酸化還元状態を酸化側に移行させる可能性があることを示している。

Hartmann-D 液(5%ブドウ糖を含む乳酸リンゲル液)は乳酸リンゲル液とほとんど差は認められない。KN-1A 液(5%ブドウ糖を含む half saline 液)は、生理食塩水に比べ R がかなり血液の R に近く、μwatts も生理食塩水のはほぼ半分に低下している。KN-1A 液よりもさらに電解質含量の少ない EL-3 号液では、R、E、μwatt がいずれもさらに血液のそれに近づいており、生体に投与された場合、血液性状を変化させる可能性は一層少ないことが予想される。

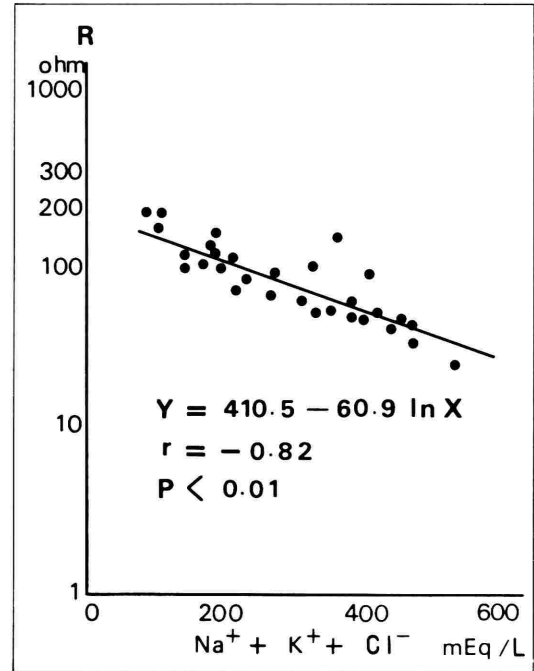


図2. 尿の specific resistance(R)と電解質濃度との関係(Rは対数表示) (n=30)

濃厚赤血球(P-RBC)液は動脈血に比べ pH が低く、E が高い。また R が著しく高いのは Ht が高いためであろうと思われた。CPD-保存血は pH と R が動脈血より低く、このため μwatt が高くなっている。Fresh frozen plasma (FFP)と plasma protein fraction (PPF)は赤血球を含まないため R 値が低く、E と μwatt も動脈血とかなり差があることが知られた。

VI 輸液剤の E 値の補正

表3に示された輸液剤や血液製剤は何れも E 値が正常者の血液に比べて高いので、それらを多量に輸注した場合、患者の血液の E 値を上昇させる可能性がある。そこで予め輸液剤の E 値を補正しておくことが必要と考えられる。

表4は 0.15 Mol/L 200 ml に quinyhydrone 0.5 g を溶解させた液に還元型グルタチオン(GSH)またはアスコルビン酸(AA)を加えた場合の bioelectronic factors の変化を示したものである。GSH または AA を加えることにより、E、rH₂ なら

表3. 各種輸液剤と血液製剤の bioelectronic factors

	pH	rH ₂	R(ohm)	E(mV)	I(mA)	μW
normal saline	6.14±0.41	24.9±0.5	63.9±0.8	378.0±22.3	5.92±0.38	2246.0±269.3
L/R*	6.34±0.20	25.5±1.1	76.4±1.2	384.1±26.9	5.03±0.36	1946.2±27.2
5% glucose	4.12±0.48	23.0±0.7	21400±15564	440.2±44.8	0.02±0.002	14.2±9.0
Hartmann-D*	4.51±0.08	22.5±0.8	84.3±1.1	402.4±24.5	4.77±0.30	1926.0±230.0
KN-1A*	4.89±0.40	22.2±0.6	130.5±2.9	380.3±24.2	2.86±0.15	1111.2±114.9
EL #3*	5.43±0.09	22.2±0.5	147.3±2.4	337.1±14.5	2.29±0.11	772.4±156.6
PRBC*	6.62±0.62	23.7±1.2	416.0±39.2	313.8±25.6	0.75±0.24	237.1±19.2
FFP*	7.17±0.42	24.8±1.1	73.0±9.2	313.8±21.2	4.30±0.36	1385.2±86.4
CPD blood*	6.91±0.32	23.5±0.8	137.3±11.2	290.4±12.6	2.12±0.29	616.3±42.6
PPF*	6.93±0.52	27.6±1.4	77.2±5.8	412.2±25.2	5.34±0.42	2214.2±98.2

* L/R=lactated Ringer's solution, Hartmann-D=lactated Ringer's solution with 5% glucose, KN-1A=half saline with 5% glucose, EL #3=Na 40mEq/L, K 35mEq/L, Cl 40mEq/L, lactate 20mEq/L, phosphate 15mEq/L, glucose 50g/L, PRBC=packed red blood cells, FFP=fresh frozen plasma, CPD blood=stored whole blood with citrate-phosphate-dextrose solution, PPF=plasma protein fraction

** All values are expressed as mean ± SEM. n=10

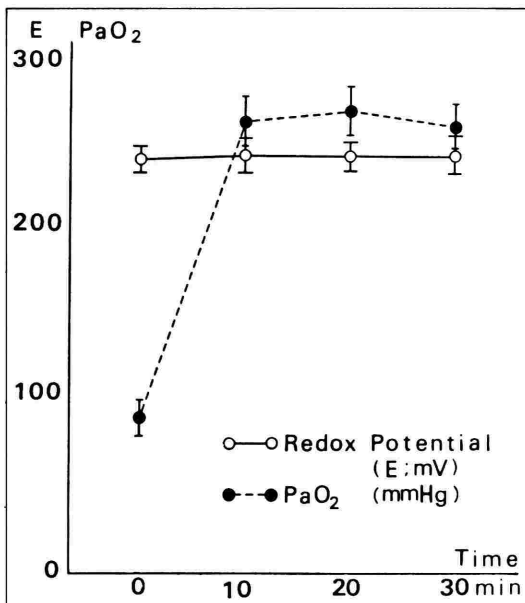


図3. 酸素吸入による動脈血の酸素分圧と酸化還元電位(E)の変化 (n=5)

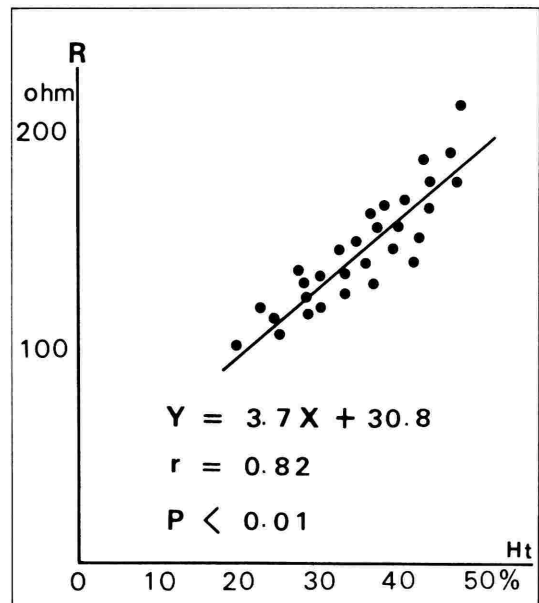


図4. 動脈血の specific resistance(R)と hematocrit (Ht)との関係 (n=30)

びに μwatt が低下するのが確かめられた。

表5は乳酸リンゲル液100mlにGSHを加えた場合の bioelectronic factors の変化を示したものである。この場合もEと μwatt の低下が見られ、かなり動脈血のそれに近づくのが知られた。

図5は著明な代謝障害があり、動脈血のE上昇を認めた症例に対するGSH(2.4g)の効果を示したものである。血液のE値に異常を有する症例にどのように対応するかは、今後検討さるべき問題であると考えられる。

表4. Quinhydrone 液*の bioelectronic factors に及ぼす還元型グルタチオン(GSH)とアスコルビン酸(AA)の影響

GSH(mg)	pH	rH ₂	R	E	μW
0	6.92	24.2	50	289.8	1681
150	6.88	23.5	50	271.2	1471
300	6.89	22.4	49	239.4	1170
450	6.85	21.0	49	198.0	764
600	6.84	20.8	49	193.0	759

AA(mg)	pH	rH ₂	R	E	μW
0	6.9	24.5	50	291.0	1693
200	6.86	23.6	53	266.4	1339
400	6.78	21.4	54	211.2	826
600	6.7	20.6	54	192.0	682
800	6.63	20.0	54	178.0	588
1000	6.58	19.6	55	169.0	520

* 0.15 Mol のリン酸バッファー液200mlに quinhydrone 0.5g を溶解したもの

表5. 乳酸リンゲル液(100ml)の bioelectronic factors に及ぼす還元型グルタチオン(GSH)の影響

glutathione (mg)	pH	rH ₂	R(ohm)	E(mV)	I(mA)	μW
0	6.32±0.20*	25.5±1.0	76.4±1.2	384.1±26.9	5.03±0.36	1946.0±27.2
150	6.30±0.08	24.0±0.8	75.6±0.5	342.5±9.03	4.53±0.12	1552.5±80.6
300	6.28±0.20	23.2±0.4	75.4±0.7	320.5±5.1	4.25±0.08	1363.0±45.2
450	6.20±0.07	22.2±0.3	75.0±0.8	294.5±5.5	3.93±0.42	1157.1±32.6
600	6.15±0.06	21.6±0.7	74.8±0.4	278.1±5.5	3.72±0.36	1034.2±37.8
mean±SEM (n=10)						

VII 血中乳酸値と酸化還元電位との関係

すでに1960年代よりショック症例において血中乳酸値は、その重篤度を示す指標として注目されていた。Broder ら(1964)³⁾は excess lactate が4 mmol/l を超えるショック症例は致命的であると報告している。Peretz ら(1965)⁴⁾は excess lactate よりも血中乳酸値そのものが重要であり、80 mg/dl (8.9 mEq/l) 以上の症例では18人中1しか生存しなかったと述べている。血中乳酸値(あるいは乳酸/ピルビン酸比)は、細胞の酸化還元電位を示す指標と考えられているので、血中乳酸値と酸化還元電位(E)との関係は興味あるテーマと考えられる。

1. 手術中の症例の血中乳酸値とEの変動

表6は九州大学手術部で手術を受けた症例中、術中1回以上血液ガスや血清電解質とともに乳酸値の測定がなされた症例と、その乳酸値のレベルを示したものである。

麻酔開始直後動脈血採血を行い、測定の結果以下の3指標を計算で求めた。

$$\text{anion gap} = \text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- - \text{HCO}_3^- < 16 \text{ mEq/l} \quad \text{.....①}$$

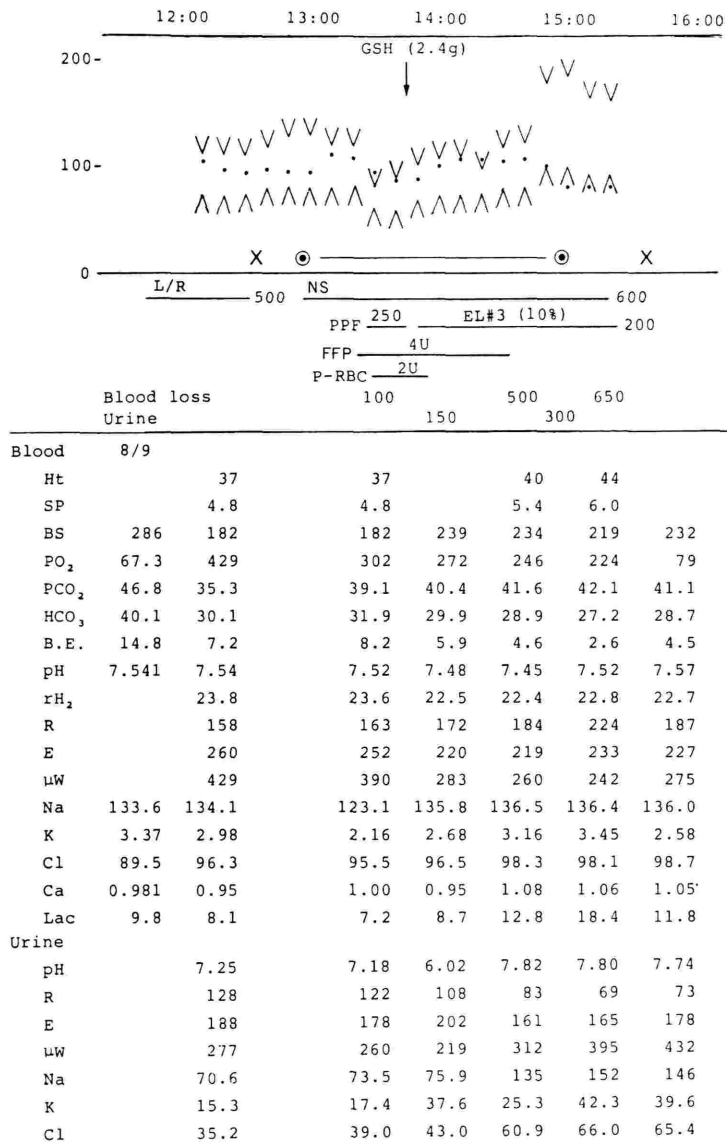
$$-2.5 \text{ mEq/l} \leq \text{B. E.} \leq +2.5 \text{ mEq/l} \quad \text{.....②}$$

$$290 \leq 2(\text{Na}^+ + \text{K}^+) + \text{glucose (mg/dl)} / 18 \leq 300 \quad \text{.....③}$$

(③は血漿浸透圧を示す指標とした。実際にBUNの測定がなされておらず、しかも麻酔開始後の採血であったのでやや血糖が上昇する傾向があったので上記の式で代用させたものである。)

上記の3条件を満たす症例53例を正常と考えその乳酸値の平均を求めると $9.3 \pm 2.5 \text{ mg/dl}$ (1.03 mmol/

S.S. 61 yrs. M. 45kg 160cm Pancreas Ca (P/O hepaticojejunostomy 3/28)
8/11 Gastrojejunostomy
GOE anesth.



S.S. 61才男子, 45kg, 160cm, 膵頭部癌で黄疸が出現(total bil. 13.8mg/dl)したため3月28日, 胆管空腸吻合術施行, その後黄疸は改善した。7月に入って食思不振, 嘔吐のため7月31日入院, 8月11日緊急手術にて胃空腸吻合術が施行された。著明な代謝性アルカローシスと低蛋白血症があり, 尿量は400~800ml/日であった。

手術開始時血中乳酸値は8.1mg/dlと正常域にあり, BE=7.2 (代謝性アルカローシス), 酸化還元電位(E)は260mVと高値であった。そこでGSH 2.4gを2回に分けて静脈内投与を行ったところ, Eは220mVまで低下し, あと次第に正常値(240mV)に近づいた。GSH投与後からBEは低下しはじめ, 代謝性アルカローシスの改善が認められた。血液のμWも高値であったのが急速に低下しほぼ正常域に達した。血液のEの適切な補正は代謝障害のある症例の治療に必要なものであると考えられた。

図5.

1)であり、これを正常値としてよいものと考えた。この表からも明らかなように、かなり重症と思われた症例でも血中乳酸値が45mg/dlを超えるものは少なく、測定された症例の87%は45mg/dl以内であった。

表7は予定手術症例の手術時間、血中乳酸値（最高値）、ならびに術中出血量を示したものである。手術時間の長いもの程出血量も多く、乳酸値も上昇する傾向が見られた。

表8は開心手術症例について、体外循環実施時間と動脈血乳酸値の関係をしらべたものであり、体外循環時間が長いもの程血中乳酸値が上昇することが示されている。

開心術症例の術中・術後の動脈血乳酸とEとの変化を調べたのが図6である。体外循環終了直後から乳酸値は著明に上昇するが、手術後第1日にはほぼ正常値近くに回復する。Eは体外循環終了後は20～30mV低下し、乳酸値とは逆相関を示す。術後第1日目にはEはほぼ正常域にもどる。このように開心術症例で生存した患者の術中・術後の経過において

は、血中乳酸とEとは比較的良好な逆の相関を示すように思われる。

次に左大腿部と腹部の刺創で出血性ショックの状態で搬入された症例を示す(図7)。外科的止血が試みられたが成功せず、手術中止後間もなく死亡した症例で、術中推定25000mlの出血があり、血液製剤約20000ml、晶質液約10000mlの投与がなされた。手術開始時血中乳酸はすでに高値を示し、術中はその状態が維持されている。動脈血のEは手術開始時は238mVとほぼ正常であり、13:15まではそれよりも高い値を維持している。その後急速に低下し、死亡に至った。図8は本症例のpH-rH₂ diagramを示している。pHは12:30で強い代謝性アシドーシスのため左方に移行しているが、重曹投与によって以後はある程度補正されている。13:15以降はEの急激な低下が招来され、死亡するに至っている。前回の本誌に示された肝破裂の症例⁵⁾も著しい出血性ショック状態にあり、乳酸値もE値もともにかなり高いレベルに維持されていた。このように急性の出血性ショックでは、乳酸値もEも高値となり、前述

表6. 麻酔管理症例中動脈血乳酸測定症例（1986年1月～4月）

科		1 外	2 外	脳外	心外	整形	眼科	耳科	産科	婦科	皮膚	泌尿	児外	計
手術症例 (緊急手術)		152 (14)	157 (20)	93 (27)	78 (21)	176 (2)	178 (23)	168 (5)	61 (38)	131 (8)	58 (2)	78 (8)	76 (18)	1406 (186)
乳酸測定症例 (緊急症例)		43 (7)	72 (9)	28 (6)	53 (8)	16 (0)	6 (1)	13 (1)	4 (2)	18 (2)	7 (0)	13 (2)	8 (3)	281 (41)
分	A. 0-18 mg/dL (0-2 mmol/L)	21 (3)	37 (6)	7 (3)	7 (3)	10 (0)	5 (0)	8 (1)	2 (0)	7 (0)	3 (0)	6 (2)	3 (2)	116 (20)
	B. 18-45 mg/dL (2-5 mmol/L)	17 (4)	32 (2)	19 (3)	22 (2)	6 (0)	1 (1)	5 (0)	2 (2)	10 (1)	4 (0)	6 (0)	5 (1)	129 (16)
	C. 45-90 mg/dL (5-10 mmol/L)	5 (0)	1 (0)	2 (0)	19 (0)							1 (0)		28 (0)
類	D. 90-135 mg/dL (10-15 mmol/L)		2 (1)		2 (0)					1 (1)				5 (2)
	E. > 135 mg/dL (> 15 mmol/L)				3 (3)									3 (3)

表 7. 予定手術症例の手術時間, 血中乳酸値及び術中出血量

手術時間(分)	症例数	乳酸値(mg/dL)	出血量(g/kg)
～ 60	4	10.4±3.1	2±1.9
60 ～ 120	13	15.7±6.8	3.8±3.1
120 ～ 180	46	16.0±7.5	8.2±7.6
180 ～ 240	47	20.6±7.5	13.9±14.5
240 ～ 300	22	20.3±9.9	18.9±12.8
300 ～ 360	19	26.9±11.9	31.7±48.3
360 ～ 420	15	29.8±9.7	37.2±27.2
420 ～	15	34.6±11.6	47.7±43.0

表 8. 開心術症例の動脈血乳酸値と体外循環実施時間

症例分類		予定手術					緊急手術
		A	B	C	D	E	
体外循環時間(分) (平均)		～60 (41)	60～120 (102)	120～180 (150)	180～240 (218)	240～ (303)	240～630 (375)
症例数		3	7	14	7	7	3
動脈血	麻酔開始時	10.4	8.0	8.8	8.1	7.8	55.0
乳酸値	体外循環開始時	10.6	16.6	21.4	23.4	23.5	81.8
平均	体外循環終了時	28.0	37.0	45.5	54.2	61.6	176.0
(mg/dL)	体外循環後120分	27.7	35.0	40.2	52.1	65.2	195.3

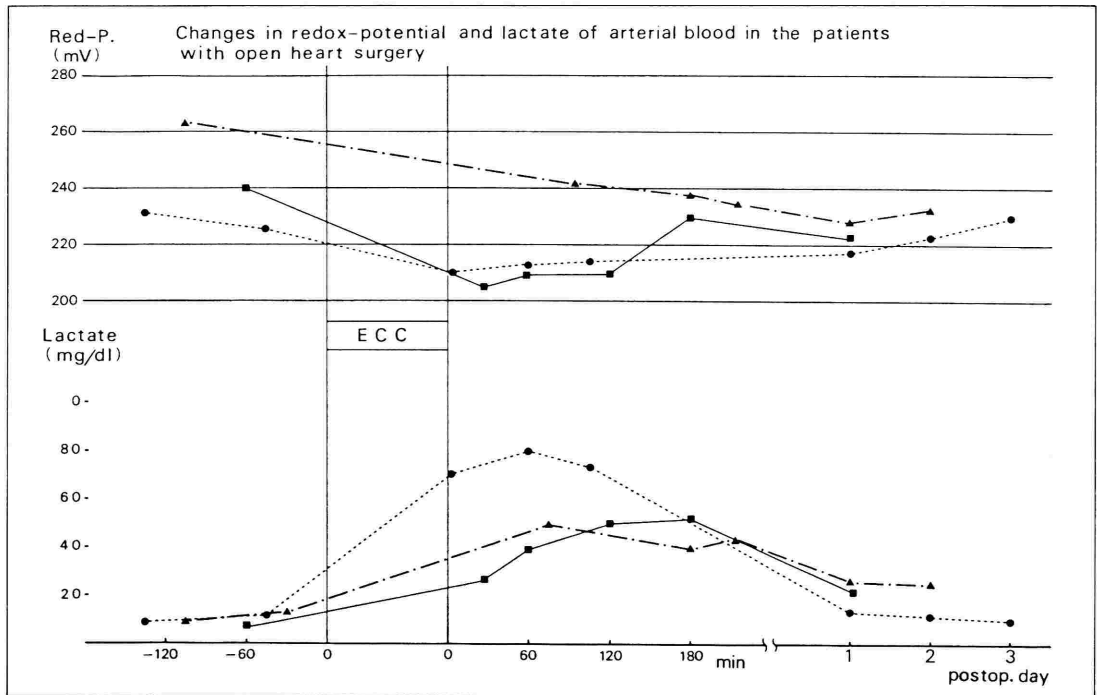
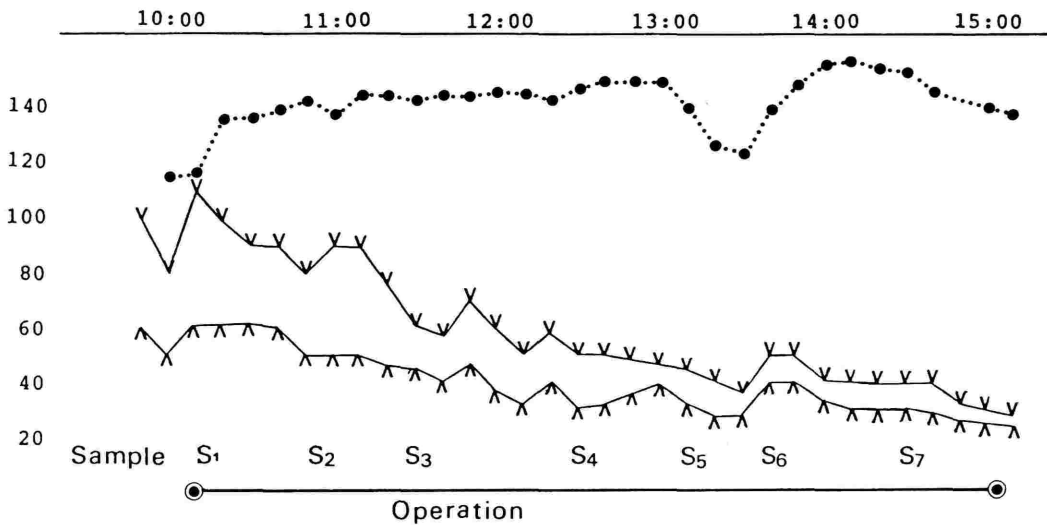


図 6.

48 Yrs. Male 70 Kg Stabwound of left thigh and abdomen



Blood loss		3000		14000		17800		25000	
Pco ₂	44.2	31.1	38.8	41.1	34.9	45.0	52.6		
PO ₂	400	451	453	360	417	178	100		
pH	7.182	7.194	7.165	7.061	7.189	7.155	7.199		
BE	-12.5	-15.5	-14.1	-19.0	-13.9	-13.1	-8.9		
γH ₂	22.2	22.7	22.8	22.1	22.6	21.7	21.2		
R	158	113	154	143	100	134	104		
R-P	238	254	254	242	248	223	207		
μW	359	570	418	409	617	372	412		
Lac	109	84	99	96			93		
BS	78	75	83	55	400	400	330		
Na	156	155	158	157	149	147	151		
K	3.3	3.6	3.5	4.3	3.8	3.3	3.5		
Cl	109	108	102	102	99	99	100		
Ht	42			38	17		20		
Sp	3.4	5.0		5.2	3.5		4.4		

図7. 左大腿部と腹部刺創患者の術中経過

pH-rH₂ Diagram

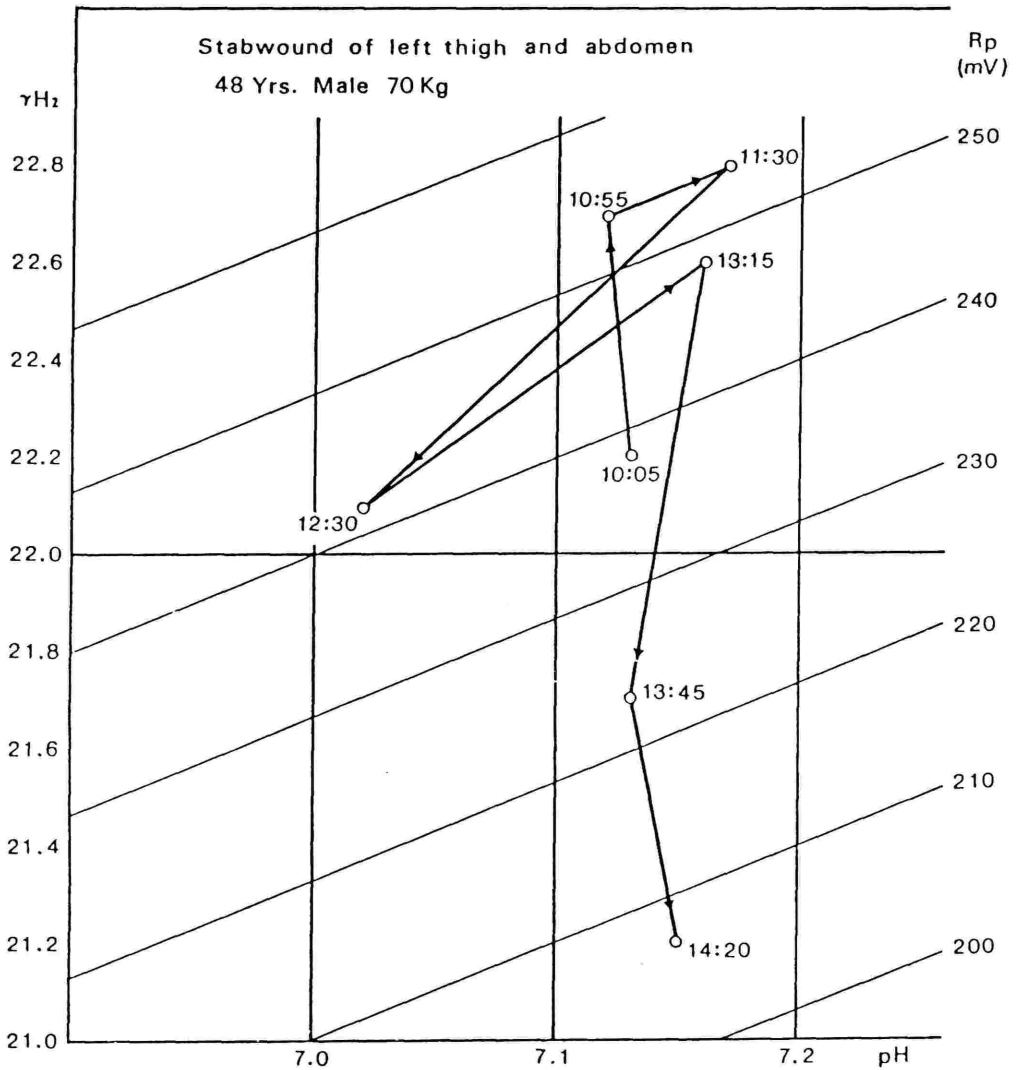


図8. 同患者のpH-rH₂ diagram

のような逆相関は認められなかった。このように侵襲に対し生体が十分反応できる間はE値は正常かやや高いレベルに維持され、乳酸産生も生体反応によって高まり、血中乳酸値が上昇するのであろう。侵襲に十分反応できない時期にはE値が低下し、乳

酸値は乳酸処理機構の低下のため高いレベルを維持しつづけるのではないかと考えられる。この意味からは血液の乳酸値よりもE値の変動によって生体の予後の良否はよく示されるのではないかと考えられる。

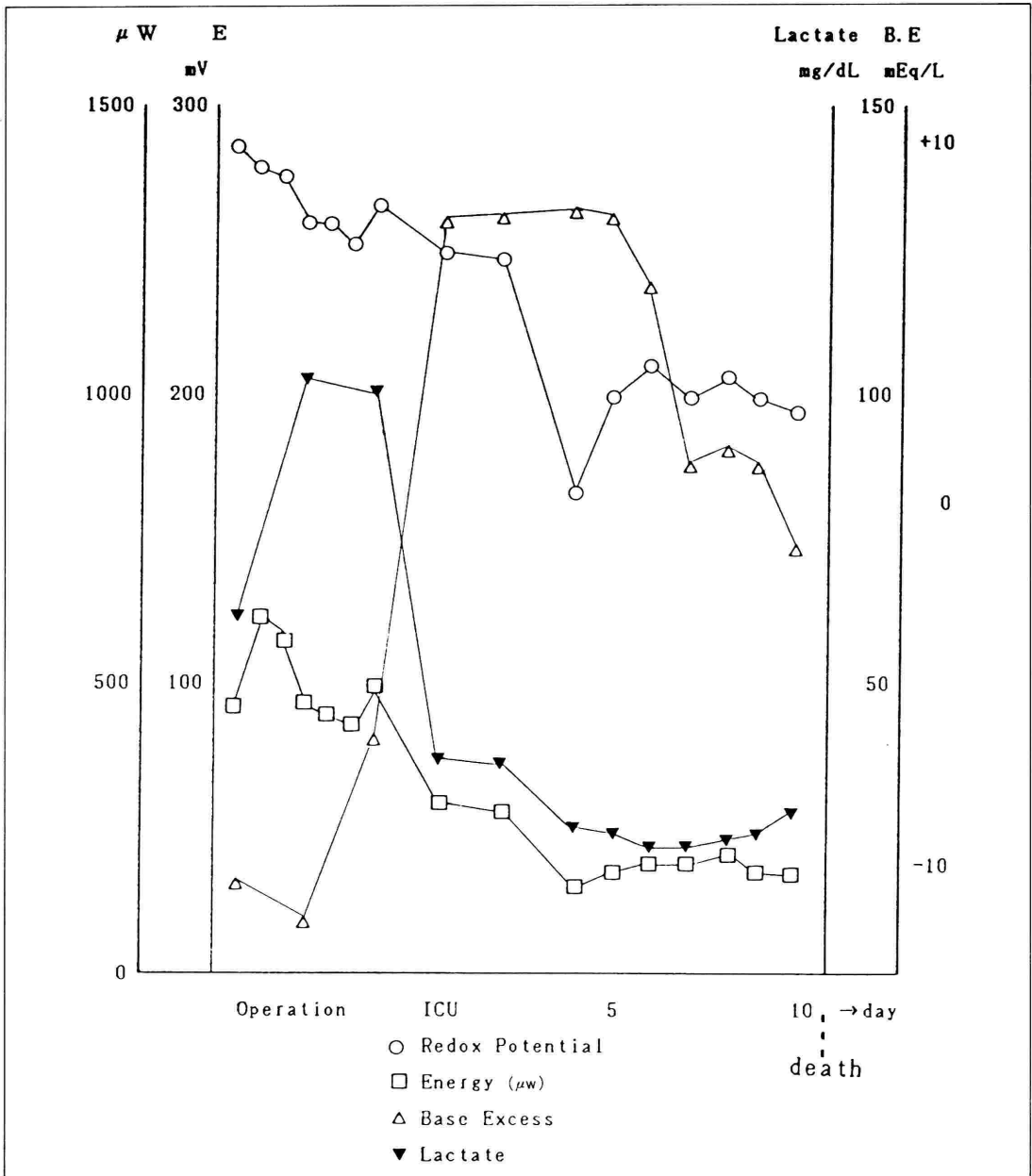


図9. 腹部大動脈破裂症例の術中・術後のE, μW , B.E, Lactateの変動

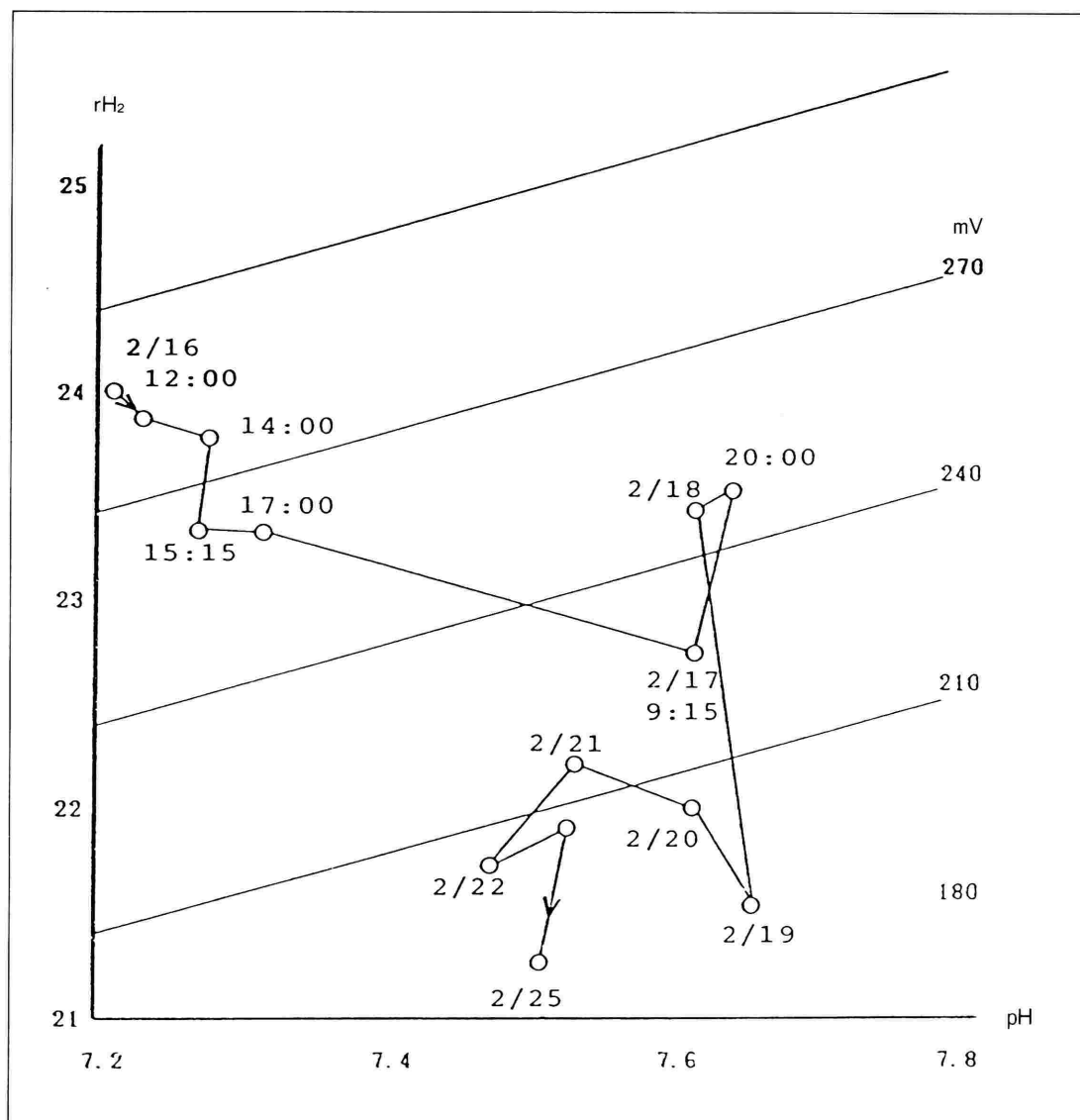


図10. 同症例のpH-rH₂ diagram

2. ICU 患者の血液酸化還元電位(E)

75才男子、腹部大動脈瘤破裂で緊急に大動脈瘤切除再建術が施行された。図9は本症のICUでの経過を示している。術中は乳酸値は高値となったが、術終了後は20~30 mg/dlと正常値の2~3倍のレベルであった。この乳酸の変化に対応して、術中はBEの著明な低下があり、ICUでは逆にBEは著しく上昇する。血液のEと μW は術中は正常値よりも高い

が、徐々に低下し、ICUに収容されて状態が悪くなるにつれて正常より著明に低下する。末期には複合臓器不全となり死亡したが、その時期には乳酸はやや増加し、BEは急激に低下する。Eと μW は低下したままである。図10は本例のpH-rH₂ diagramであり、術中はEが高く、pHは低下し、術後代謝性アルカローシスとEの低下がおり、200 mV以下に低下するようになれば極めて重篤な状態であると言え

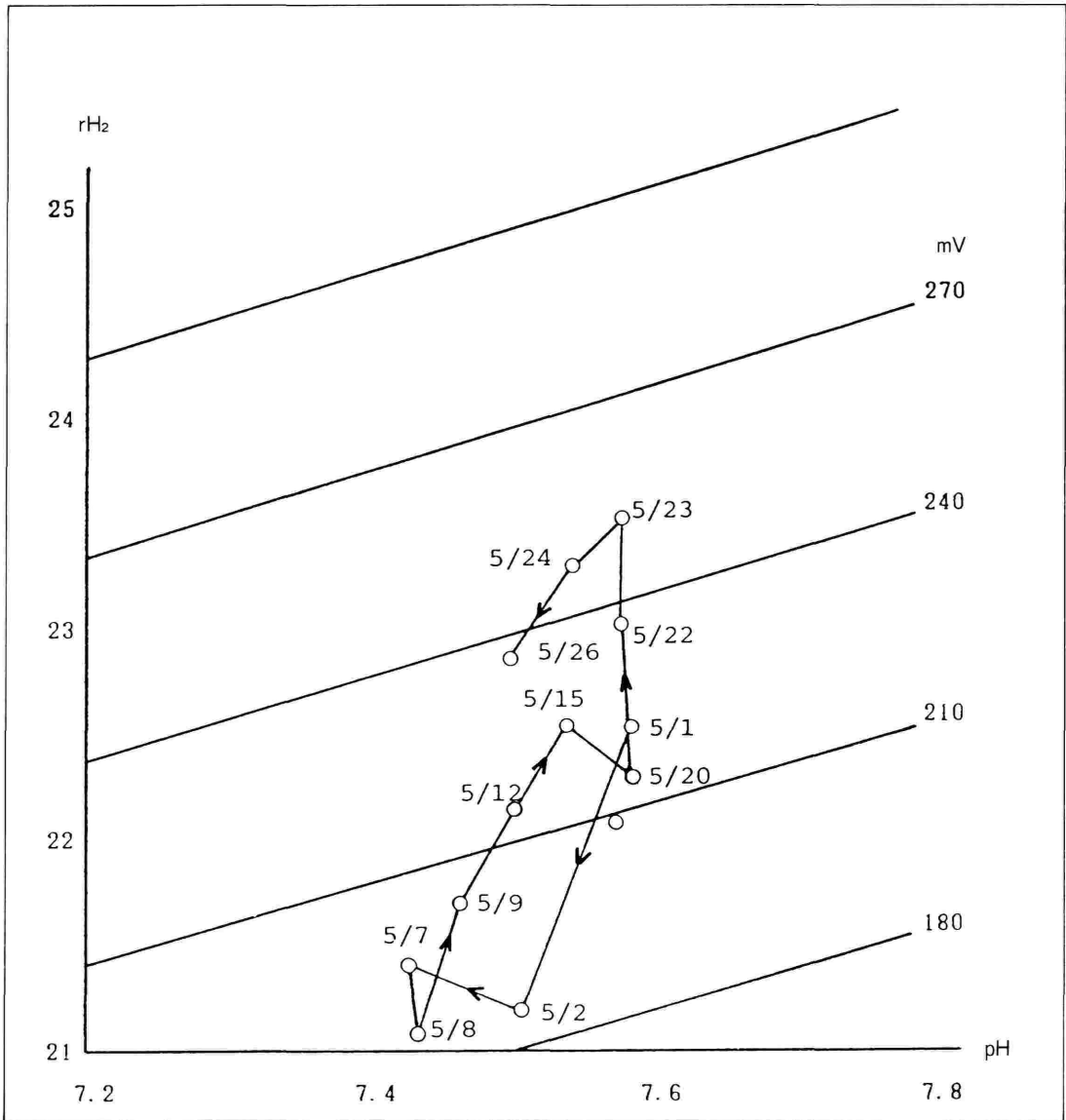


図11. A-C bypass術後症例のpH-rH₂ diagram

る。

次に示す症例は68才女子(体重58kg)で虚血性心疾患(NYHA II°)で4月7日にA-C bypass術をうけた。心肺時間は330分、手術時間は22時間であった。術後ICUで管理し、3週後にほぼ安定した状態にあったが、5月1日より状態が悪化した。図11は、本症例のpH-rH₂ diagramを示している。5月1日から5月15日まで2から4の臓器不全の状態にあり、

血液のEが210mV以下に低下している。5月15日以降回復にむかうにつれてE値は上昇し、5月26日に一般病棟に移ることができた。

V まとめ

以上人の血液と尿、輸液剤や血液製剤のbioelectronic factorsについて述べ、重症患者において血液や尿のbioelectronic factorsがどのように

変化し、血中乳酸の変動とどう関係するかについて述べてきた。現在のところ次のように要約できると考えられる。

1. 体液には生化学的特性とともに bioelectronic な特性(pH, rH_2 , E ならびに R)があり、それらは正常者では次のようにはほぼ一定に維持されている。血液では pH=7.40, rH_2 =23.0, E=240 mV, R=195 ohm である。

2. 血液ではルーチンに測定されている生化学的組成がほぼ正常でも bioelectronic factors が正常とは限らない。一般に血液の pH は比較の変動幅が小さいが、E の変動は大きい。

3. 血液の E が 200 mV 以下に低下する症例は生命の危険が高い。ショック症例の末期や複合臓器不全の患者に見られる。

4. 複合臓器不全患者では、血液の E の低下と、尿の E の上昇をきたす傾向がある。

血中乳酸値については次のようである。

1. 正常人の血液乳酸値は 9 mg/dl (1 mmol/l) 程度である。

2. 手術中は、手術時間が長くなる程、また出血量が増える程乳酸値は上昇するが、それでも一般に 45 mg/dl (5 mmol/l) 以上になるものは少ない。

3. 血中乳酸性が 45 mg/dl を超える場合はショックと考えてよい。

4. 開心術症例では体外循環時間が長くなる程血中乳酸値は高くなるが、手術後第一日目には正常値の上限近くまで回復している。

5. 急性出血性ショックでは、初期に生体反応の亢進する時期には乳酸産生の促進によると思われる血中乳酸値上昇と血液 E 値の上昇が見られる。ショックが進行すると E 値は下降し、200 mV を切るようになると生命の危険度が高まる。この時期にも血液乳酸値はなお高値を示すが、これは乳酸処理機構に障害がおこるためではないかと推定される。

このように血中乳酸値は侵襲に対する生体反応の程度と関係があるようであり、血液の酸化還元電位とは必ずしも同一方向に変動するとは限っていない。患者の生命の予後に関しては血液の E の変化が乳酸値よりも信頼性の高い指標になるように思われる。

参考文献

- 1) Taniguchi, S. Matsuyama, H, Irita, K & Yoshitake, J: The bioelectronic factors of human body fluids and intravenous replacement solutions. J. Anesth. 1: 22, 1987.
- 2) Serjeant, EP: Titrimetry using potential monitoring. In "Potentiometry and potentiometric titrations" A Willy-Interscience Pub. 1984, 61-69, NY, Chichester, Brisbane, Tronto & Singapore.
- 3) Broder, G & Weil, HM: Excess lactate: An index of reversibility of shock in human patients. Science (Wash. DC) 143: 1457, 1964.
- 4) Peretz, DI, Scott, HM, Duff, J, Dossetor, JB, MacLean, LD, & MacGregor, M: The significance of lacticacidemia in the shock syndrome. Ann. NY Acad. Sci. 119: 1133, 1965.
- 5) 吉武潤一: 細胞のダイナミズムと体液。侵襲時の体液・代謝管理, 1: 6, 1986.