

〔シンポジウム: 人工呼吸患者における代謝、栄養の諸問題〕

重症患者における酸素消費量と心拍出量の関係について

妙中信之* 日月
西村匡司* 武澤裕* 今中秀光*
純* 吉矢生人*

近年、敗血症や ARDS (Adult respiratory distress syndrome) の患者において、心拍出量や酸素供給量 (\dot{O}_2 delivery) を増加させると、その結果として酸素消費量が増加することがあることが報告されている¹⁾⁻³⁾。これは敗血症や ARDS 患者の末梢組織でのエネルギー代謝(酸素需給関係)の異常を指摘したものである。最近われわれは、動脈血酸素飽和度 (SaO_2)、混合静脈血酸素飽和度 (SvO_2)、酸素消費量 ($\dot{V}O_2$) を連続的に測定し Fick の原理を用いて心拍出量 (CO) を算出しこれを連続的にモニターするシステムを考案しすでに報告した⁴⁾。本システムはもともと循環状態を連続的にモニターすることを目標に考案したものであるが、CO のほか SvO_2 や $\dot{V}O_2$ をも同時に連続モニターし 3 者の相関係数などを検索すれば、重症患者におけるエネルギー代謝状態の時間的推移が把握できるはずである。今回、敗血症患者など人工呼吸中の数名の重症患者に本システムを応用したところ、若干の知見を得ることができたの

で報告する。

方法および対象

図 1 に本システムの概要を示す。 SaO_2 は指尖脈波形オキシメーター (Oximet MET-1471, ミノルタカメラ), SvO_2 は混合静脈血酸素飽和度モニターフォンのスワンガントカテーテル (Opticath P 7110, Oximetrix Mountain View), $\dot{V}O_2$ はレスピロモニター (RM-200, ミナト医科学) により連続的に測定し、その出力を A/D 変換しコンピューターにオンラインで入力した。コンピューターでは、これらの値とキーボードより入力した血中ヘモグロビン値から Fick の原理により CO を計算した。

$$CO = \dot{V}O_2 \times 100 / 13.9 \times Hb \times (SaO_2 - SvO_2)$$

CO : L/分

 $\dot{V}O_2$: ml/分

Hb : g/dl

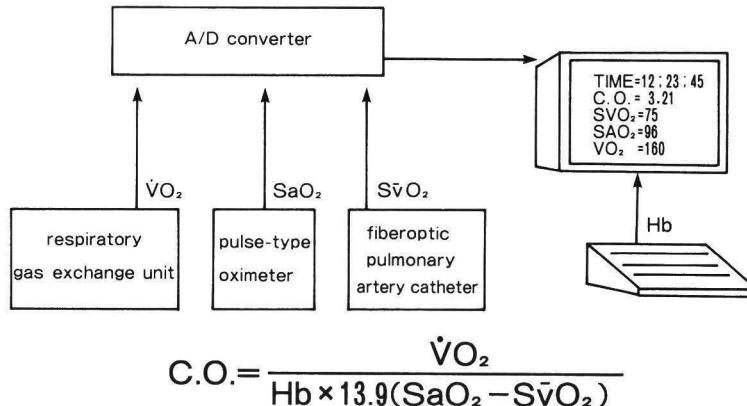
 SaO_2, SvO_2 : %

図 1 心拍出量連続モニターシステム

* 大阪大学医学部附属病院集中治療部

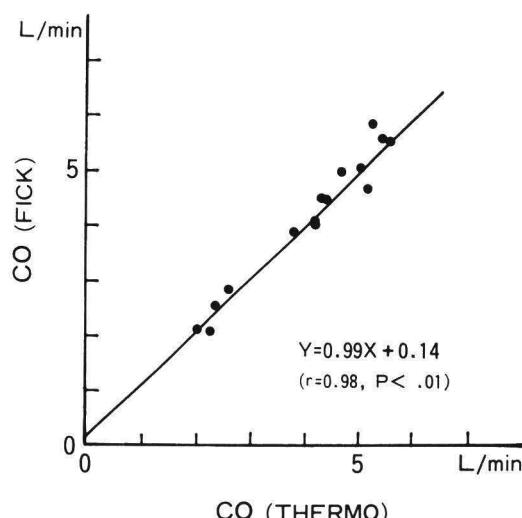


図 2 心拍出量連続モニターシステムにより測定した CO と熱稀釀法により測定した CO との比較

$\dot{V}O_2$ は一呼吸ごとに測定し、10 呼吸ごとの移動平均をとった。本システムにより求めた CO と熱稀釀法により求めた CO とを比較検討したが、両者は非常によい相関を示している⁴⁾ (図 2)。

なお、データは 20 秒ごとにサンプリングしてフロッピーディスクに記録、その後の解析に利用した。また、得られたデータは莫大な数になるため、新たに解析用のプログラムを作成した。本プログラムは、任意の時間帯において、各変数のトレンドグラフおよび各変数間の相関係数を自由に求めることを可能とするものである。

1987 年 1 月以後、大阪大学医学部附属病院集中治療部（以下、ICU）に収容された 5 症例に本システムを応用した（表）。これらの症例において、 $\dot{V}O_2$ はどのような状況下でどのような動きを示すか、 $\dot{V}O_2$ の変化に CO が追随して動くかどうか、また逆に CO の変化の結果として $\dot{V}O_2$ が変化することがあるか、そして SvO_2 はどんな動きをしていくのか、などを検討した。また、あわせて、われわれのシステムの今後の可能性について考察した。なお、これら 5 症例では少なくとも 4 時間ごとに行なった観血的動脈血ガス分析の結果 Sao_2 が経時にきわめて安定していたため、観血的に求めた Sao_2 をキーボードより入力した。これは

表 対象症例

No.	年齢	性	基礎疾患	備考
1	59	男	縦隔腫瘍術後	心タンポナーデ
2	59	女	脾臓癌術後	Hypovolemia
3	62	女	急性心筋梗塞	LOS
4	57	男	食道癌術後	興奮・体動
5	59	男	胆管癌術後	敗血症

LOS=low output syndrome

指尖脈波型オキシメーターにより得られる Sao_2 は体動や末梢循環の変化により影響されやすく、この Sao_2 の余分の変化を避けるためである。また、今回の症例では、ヘモグロビン値は少なくとも 4 時間ごとに測定され輸血などにより補正されてほぼ一定に保たれていた。

結果

各症例における $\dot{V}O_2$, SvO_2 , CO のトレンドグラフを検討した結果、下記のごとく症例ごとにそれぞれの病態に応じた特徴のある経時的变化を示した。

症例 1：59 歳、男（図 3）。

巨大縦隔腫瘍切除術後、肺炎および急性腎不全を併発し ICU に収容された。ドーパミンが投与されていたにもかかわらず血圧および CO がしだいに低下し、中心静脈圧が上昇し、UCG にて心タンポナーデと診断された。手術室に出診しタンポナーデ解除術を施行した。図 3 に示した 12 時間の経過中、 $\dot{V}O_2$ は多少の変動はあるものの毎分 180 ml 程度でほぼ一定している。これに対し、CO は手術により約 3.5 L/分から約 6 L/分へと急増し、それとともに SvO_2 も急上昇している。

〔コメント〕 心タンポナーデ解除術術前には CO の増加に限界があり、したがって、 O_2 delivery に限界があり、末梢組織での酸素要求量をまかなくするために結果として SvO_2 が減少していたものと考えられる。解除術術後は、心機能が回復し、 $\dot{V}O_2$ にみあう酸素供給も可能となり、結果として SvO_2 が上昇しているが、この経過が非常によくわかる。

症例 2：59 歳、女（図 4）。

脳頭部癌に対し試験開腹術および術中レントゲ

TT 59 男 心タンポナーデ（縦隔腫瘍術後）

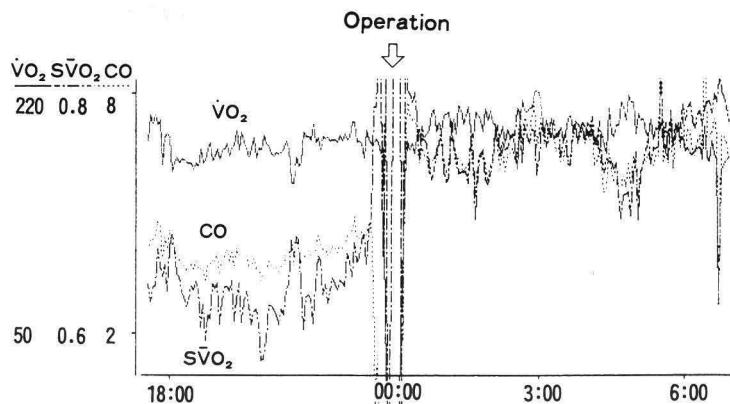


図 3 症例 1 における $\dot{V}O_2$, CO, SvO_2 の経時的変化
縦軸に $\dot{V}O_2$ (ml/分), SvO_2 (% $\times 10^{-2}$), CO (l/分), 横軸に時刻を示す。

KT 59 女 Hypovolemia (脾臓癌術後)

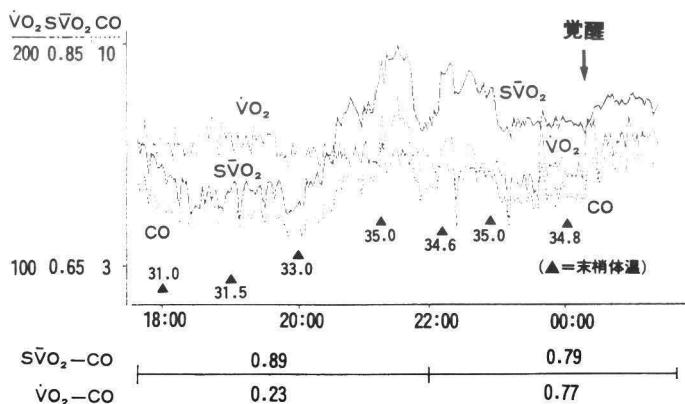


図 4 症例 2
 SvO_2 -CO, $\dot{V}O_2$ -CO は、それぞれの時間帯における両者の相関係数を示す。たとえば 18 時から 22 時までの SvO_2 のすべての値とそれに対応した CO のすべての値との相関係数は $r=0.89$ であったことを示す。

ン照射を施行した。心筋梗塞の既往がありさらに僧帽弁逆流、大動脈弁逆流、三尖弁逆流も認められたため術後 ICU 収容となった。図 4 に、 $\dot{V}O_2$, SvO_2 , CO の 8 時間のトレンドグラフと末梢体温の変化、また前半 4 時間と後半 4 時間ににおける SvO_2 と CO, $\dot{V}O_2$ と CO の相関係数を表示した。ICU 収容初期、麻酔の効果が残存している時期では、 VO_2 は変化が少なくほぼ一定の値をとり覚醒後上昇し始めている。一方、初期には Hypovole-

mia のため CO は低く、循環血液量の補正によりしだいに上昇、それに伴って SvO_2 、末梢体温ともに上昇した。 SvO_2 と CO および末梢体温は経過を通じてよく相関して動いたが、 $\dot{V}O_2$ と CO とは、ICU 収容初期にはあまり相関がみられず、CO が増加した後になりよく相関するようになってきている。

【コメント】この症例の場合 SvO_2 , CO および末梢体温は、ICU 収容初期常に相関して動いてお

MN 62 女 急性心筋梗塞

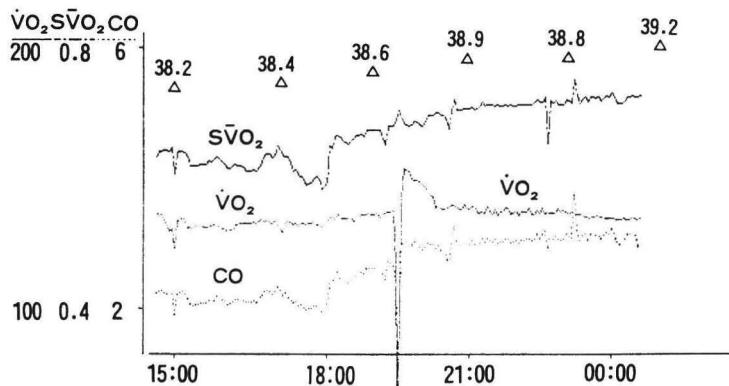


図 5 症例 3
△は体温 (°C) を示す。

SN 57 男 食道癌術後

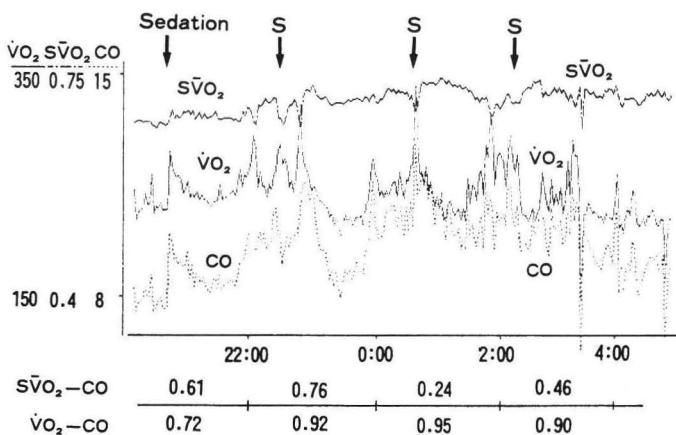


図 6 症例 4

り、いずれのパラメーターも循環の指標として有用であることがわかる。組織の増加した酸素需要をまかなうためには CO が増加し $\dot{V}O_2$ delivery が増加するか、動静脈酸素含量較差が増加するかである。したがって、Hypovolemia により CO が増加し得ない間は \bar{SVO}_2 はいわば代償的に減少してしまうが、循環血液量が補正され循環状態が改善した後には、CO の増加に伴って \bar{SVO}_2 は増加し、また末梢循環の改善により末梢体温は上昇する。この時期には覚醒に伴って $\dot{V}O_2$ が増加しても CO がそれによく追随できるようになり、結果として $\dot{V}O_2$ と CO の相関係数が上昇している。

症例 3：62 歳、女（図 5）。

腹部大動脈瘤に対する手術中に急性心筋梗塞を起こし、ICU に収容された。初期の約 10 時間を図 5 に示す。CO がきわめて低いことがわかる。この症例では deep sedation されており $\dot{V}O_2$ は、体温が 39°C 付近まで上昇しても増加せず、毎分約 130 ml 程度で一定している。19 時付近の $\dot{V}O_2$ の急激な落込みは気管内吸引のため、トランジューサーを一時はずしたことによる。その後約 40 分間 $\dot{V}O_2$ の上昇が認められる。

〔コメント〕 発熱しても $\dot{V}O_2$ が上昇しないのは、おそらく発熱の原因が感染症の時のような熱

HO 59 男 敗血症 (胆管癌術後)

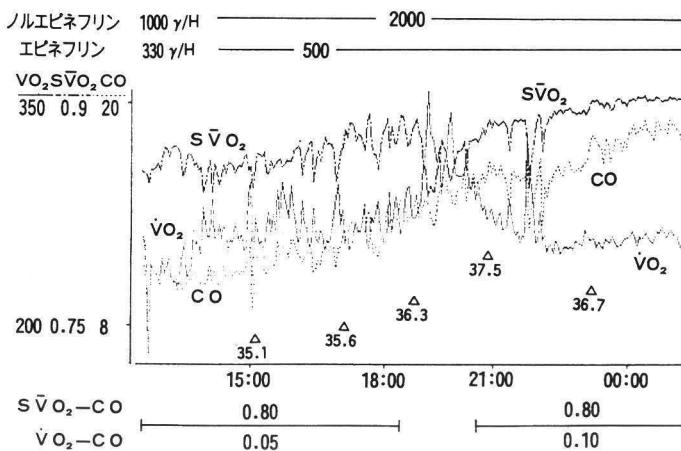


図 7 症例 5
△は体温 (°C) を示す

産生量の上昇にあるのではなく、LOS のため末梢循環が悪く熱の放散が障害されていたことにあるためだと考えられる。気管内吸引後長時間にわたり $\dot{V}O_2$ が上昇したままになっているのは、気管内吸引の刺激により覚醒してしまったためと考えられる。そういう意味では気管内吸引の影響はかなり長時間に及ぶようである。

症例 4: 57 歳、男 (図 6)。

食道癌術後、肺炎を合併したため、呼吸管理を目的に ICU に収容された患者である。しばしば興奮し不穏状態に陥ったため図 6 に示した 12 時間に内に 4 回の sedation を行っている。この症例で特徴的なことは、 SvO_2 がほぼ一定の値をとっているのに対し、 $\dot{V}O_2$ と CO が大きく変動している点である。 $\dot{V}O_2$ と CO は終始よい相関を示した。しかし、 SvO_2 と CO は相関係数にして 0.24 から 0.76 まで大きなバラツキがみられている。

〔コメント〕 この症例では SvO_2 はほぼ一定した値をとっている、酸素の需要・供給関係は適切に保たれていたと考えられる。循環状態が良好な健常者の反応に近いと思われる。本症例のような場合、もし SvO_2 のみをモニターしていると $\dot{V}O_2$ や CO の大きな変動を見逃す結果になるし、またどこか一点だけの $\dot{V}O_2$ や CO を測定してもそれが患者の真の状態を反映しているかどうか疑問を残すところである。

症例 5: ① 59 歳、男 (図 7)。

肝内胆管癌に対し肝右葉切除術を施行した後、胆道系の感染によると思われる敗血症に陥った症例である。図 7 は死亡の前日の 12 時間のトレンドグラフである。すでに収縮期血圧は 80 mmHg へと低下しており、CO は毎分約 13 L、血中乳酸値は 270 mg/dl と著明な乳酸性アシドーシスの状態であった。血圧低下に対処するためドーパミン、ドブタミンのほかノルエピネフリンおよびエピネフリンを投与しこれを增量した結果、血圧は上昇し CO は増加している。

〔コメント〕 血中乳酸値の高い敗血症患者において、CO を上昇させ酸素供給量を増やしてやると $\dot{V}O_2$ が増加することが報告¹⁾²⁾されているが、本症例では CO が上昇しても SvO_2 が相関して上昇するのみで、 $\dot{V}O_2$ は CO と相関しては増加しなかった。 $\dot{V}O_2$ はむしろ体温の変化とよく相関して動いている。

症例 5: ② (図 8)

図 8 に同じ症例の死亡直前の経過を示す。CO および SvO_2 は 3 時過ぎから低下し始めているが、 $\dot{V}O_2$ はその約 5 時間後になって低下し始めている。 $\dot{V}O_2$ と CO の相関係数をみると、0 時あたりからしだいに増加し始めている。

〔コメント〕 $\dot{V}O_2$ の低下の原因は、CO の低下による酸素供給量の低下のため、末梢組織の酸素

HO 59 男 敗 血 症

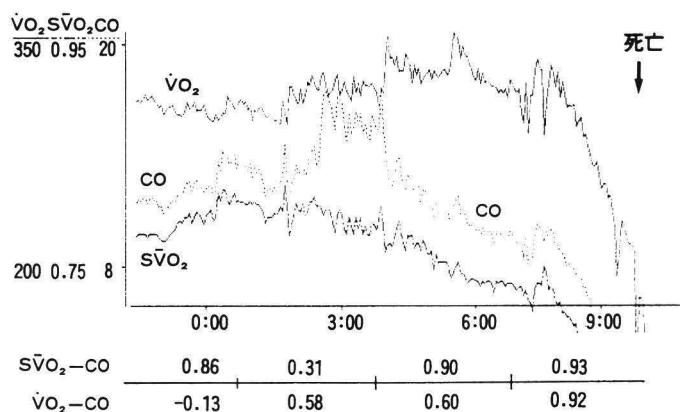


図 8 症例 5

需要を満たすための酸素供給量が SvO_2 の低下のみでは代償しきれなくなり、嫌気的代謝がさらに進行したか、あるいは細胞の壊死が進行したことによると考えられる。 $\dot{V}O_2$ と CO の相関係数がそれ以前から増加していたのは、 $\dot{V}O_2$ がはっきり減少し始める前からすでに CO の影響を受け始めていたことを想像させるものである。

考 察

われわれのシステムの最大の利点は、各パラメーターの連続的モニターができる点である。すなわち、個々の患者が現在どのような循環・代謝状態にあるかをある一時点の測定値のみから捉えるのではなく、経時的にどう変化しているかという流れの中的確につかむことができる点である。今回、これを 5 症例に応用した。まだ種々雑多な症例を 1 例ずつ経験したのみで研究はこれからというところであるが、今回得られた知見や、今後への可能性などをまとめて述べる。

発熱がある場合、感染症のように熱産生が亢進している時には $\dot{V}O_2$ は増加するが、LOS のように末梢循環不全によって熱の放散が障害されているときには、意外に増加しないことがわかった。

$\dot{V}O_2$ は麻酔薬や鎮痛鎮静薬が十分投与されないとほとんど変動を認めなかつたが、覚醒すると急に変動し始め、みかけの体動がなくともかなりの上昇を示した。また、中枢神経系の興奮やそれ

に伴う体動が大きい症例では、 $\dot{V}O_2$ は大きな変動を認めた。この場合の $\dot{V}O_2$ 上昇の原因は内因性カテコラミンの分泌亢進などによるものと考えられる。循環状態が良好であれば、 $\dot{V}O_2$ が変動しても CO はこれに追随して変動し SvO_2 は一定に保たれる。われわれのシステムによりこの経過を克明に把握することができた。心臓外科術後患者や心不全患者の循環状態の良否を把握するための指標として SvO_2 が用いられるが、最近これを連続的にモニターすることができる機器が使用可能となりその臨床的有用性が報告されるに至っている⁵⁾⁶⁾。しかしながら、このような症例の場合、 SvO_2 のみをモニターしていると $\dot{V}O_2$ や CO の大きな変動を見落すことになる。また、一時点でのみ測定した $\dot{V}O_2$ や CO は患者の真の循環・代謝状態を必ずしも反映しない可能性があり注意を要する。われわれのシステムのごく多くの変数を連続的にモニターすることは有用であると考えられる。

心タンポナーデや Hypovolemia など CO が増加し得ない状況下においては、末梢組織が必要とする酸素は SvO_2 の減少によってまかなわれているものと思われる。これらの要因が是正された後には $\dot{V}O_2$ の増加に伴って CO が増加し得るようになる。したがって、このような場合には初期には $\dot{V}O_2$ は SvO_2 とよく(逆)相関し、やがて循環状態の改善とともに CO とよく相関するようにな

る。もし CO が増加し得ない状況下で、たとえば人工呼吸器からのウィーニングなどにより末梢組織のエネルギー必要量が増加すれば SvO_2 はさらに低下し、おそらく代償しきれなくなつて嫌気的代謝が始まるものと考えられる。われわれのシステムをウィーニング時の $\dot{V}\text{O}_2$ や CO, SvO_2 の連続モニターとして応用すれば、呼吸循環状態の変化とともにそれに伴つた酸素需給関係の経時的変化を刻々と把握できるようになり、ウィーニングのための有力な指標を提供できる可能性がある。われわれのシステムの今後への可能性のひとつである。

敗血症の症例では、CO の増加に伴つて $\dot{V}\text{O}_2$ も増加するとの報告がある¹⁾²⁾。また、敗血症では CO をもっとふやして組織への酸素供給量をもつと増加させるべきだとの考えもある²⁾。敗血症患者、ことに血中乳酸値の高い患者では、CO はみかけ上多くいわゆる Hyperdynamic state にあるのに末梢組織では酸素を十分に利用しきれていな、したがつて末梢組織からみれば CO (O_2 delivery) はむしろ不足しており $\dot{V}\text{O}_2$ は CO により規制されてしまつて、といった状態にあるのではないかと考えられる。われわれの敗血症の症例(症例 5)では、カテコラミンなどにより CO が増加しても $\dot{V}\text{O}_2$ は増加し得なかつた。これは、血中乳酸値がきわめて高値を示してゐたことを考慮すると、敗血症としてきわめて末期の状態に陥つてゐたためかもしれない。また、われわれの症例では、死亡直前に CO の低下の後 $\dot{V}\text{O}_2$ が低下してくることが観察された。健常人においても O_2 delivery がある値(閾値)以下に低下すると $\dot{V}\text{O}_2$ もそれに平行して低下すること⁷⁾⁸⁾、そしてこの閾値は、ARDS 患者では健常人より高いことが報告³⁾ されている。おそらく血中乳酸値の上昇しているような敗血症患者においては ARDS 患者と似たような代謝状態にあるものと考えられる。症例 5 では CO は低下してきたといふもののまだ 8 L/分以上もあるのに、 $\dot{V}\text{O}_2$ はすでに低下し始めている(図 8)。敗血症の循環・代謝管理には、その病態把握や治療法についてまだまだ不明の点が多く残されている。今回の症例では $\dot{V}\text{O}_2$ と CO を連続的にモニターすることにより、両者の関係

の一部を明らかにすことができたように思われる。われわれのシステムにより敗血症の進行度や治療への反応性を的確に把握できる可能性がある。

おわりに

われわれの施設に収容された 5 症例を対象に検討した結果を報告した。 SvO_2 のみならず $\dot{V}\text{O}_2$ や CO をも連続モニターすることは重症患者の循環・呼吸・代謝状態を的確に把握するのにきわめて重要であると考えられる。われわれのシステムは前述したごとき今後への多くの可能性をもつてゐる。今後さらに症例を重ね検討を続けていきたい。

文 献

- 1) Haupt MT, Gilbert EM, Carlson RW : Fluid loading increases oxygen consumption in septic patients with lactic acidosis. *Am Rev Respir Dis* 131 : 912-916, 1985
- 2) Wolf YG, Cotev S, Perel A, et al : Dependence of oxygen consumption on cardiac output in sepsis. *Crit Care Med* 15 : 198-203, 1987
- 3) Mohsenifar Z, Goldbach P, Tashkin DP, et al : Relationship between O_2 delivery and O_2 consumption in the adult respiratory distress syndrome. *Chest* 81 : 267-271, 1983
- 4) Tachimori Y, Takezawa J, Okada T, et al : On-line monitoring system for continuous and real-time measurement of cardiac output. *Crit Care Med* 14 : 401, 1986
- 5) Krouskop RW, Cabatu EE, Chelliah BP, et al : Accuracy and clinical utility of an oxygen saturation catheter. *Crit Care Med* 11 : 744-749, 1983
- 6) Boutros AR, Lee C : Value of continuous monitoring of mixed venous blood oxygen saturation in the management of critically ill patients. *Crit Care Med* 14 : 132-134, 1986
- 7) Finch CA, Lenfant C : Oxygen transport in man. *N Engl J Med* 286 : 407-415, 1972
- 8) Shibutani K, Komatsu T, Kubal K, et al : Critical level of oxygen delivery in anesthetized man. *Crit Care Med* 11 : 640-641, 1983