

機器紹介

脈波型 (パルス) オキシメータ :
各機種の比較検討

今井 真* 真尾 秀幸* 山崎 潤*
水嶋 雅子* 劔物 修*

はじめに

動脈血の酸素分圧を無侵襲的かつ連続的に反映・測定するものとしては経皮酸素分圧計が普及している。同様に酸素飽和度に関しては、Wood 型あるいは多波長型オキシメータが従来から用いられていたが、較正に時間を要したり毛細管血を動脈化するため局所を加熱するなどその臨床使用にはいくつかの問題点があった。近年、これらの問題点を解決すべく脈波型オキシメータが開発・臨床応用されている。本装置の原理は、測定部を透過した光の強度が心臓の拍動に同期して変化することを利用して動脈血のみの光吸収を求めるものである。

現在では、数社から種々の機種が発売され麻酔科領域のみならず、各科での臨床および研究に使用されその評価は極めて高い。しかし、報告の多

くは、*in vitro* の SaO_2 との相関をみたものであり¹⁻⁸⁾、呼吸・循環系の変化がとくに大きいと思われる手術中での、使いやすさ、信頼性などを比較検討した報告はほとんどない⁹⁾。そこで、今回われわれは、同一患者に同時に数種類の脈波型オキシメータを装着しての臨床使用経験にもとづいて、各機種の性能ならびに特徴についての比較・検討を行ったので報告する。

1. 機種および使用対象

使用した機種は、①Minolta 社 SM-32 ② Nellcor 社 N-100 ③Ohmeda 社 Biox III ④ Ohmeda 社 Biox 3700 ⑤Bird 4400 である。これらを同一患者の各指に装着し、さらにオキシメータから多ペンレコーダ(理化電機製 R-50 型)に接続して酸素飽和度、脈波波形、心拍数を同時記録した(写真)。さらに症例によっては、橈骨

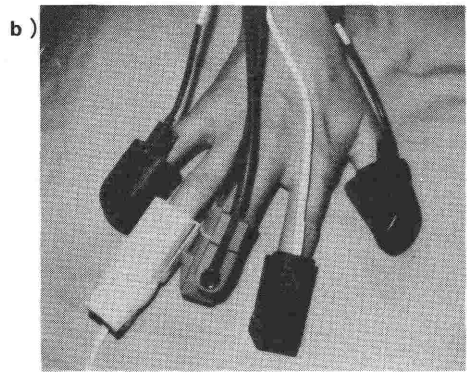
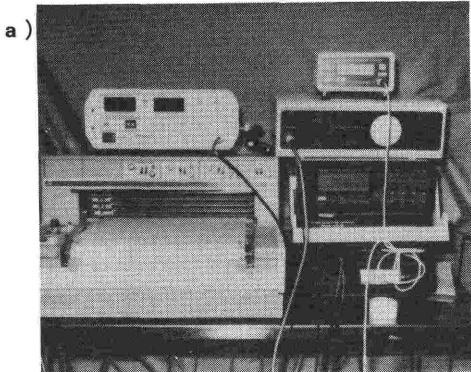


写真 a) 各種脈波型オキシメータを示す。右上から Bird 4400, N-100, BIOX 3700, SM-32 であり、左上から BIOX III, 多ペンレコーダである。

b) 各プローブを示す。第1指 (BIOX III), 第2指 (Bird 4400), 第3指 (SM-32), 第4指 (N-100), 第5指 (BIOX 3700) である。

*北海道大学医学部麻酔学教室

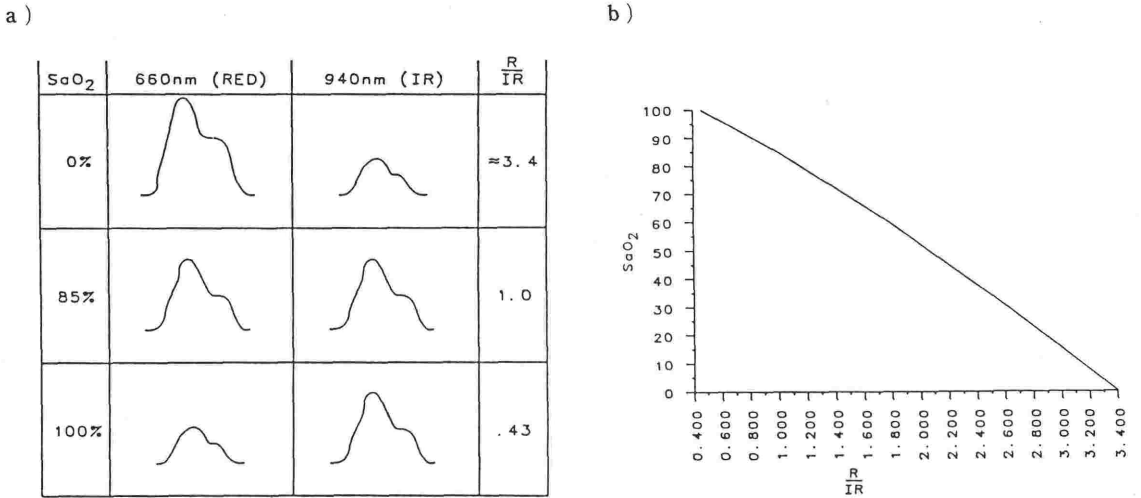


図1 脈波型オキシメータの測定原理

- a) 赤色光 (R) と赤外光 (IR) に対する脈波振幅の比 (R/IR) から SaO₂ が導かれる。
- b) その回帰直線を示す。横軸が R/IR, 縦軸が SaO₂ である。

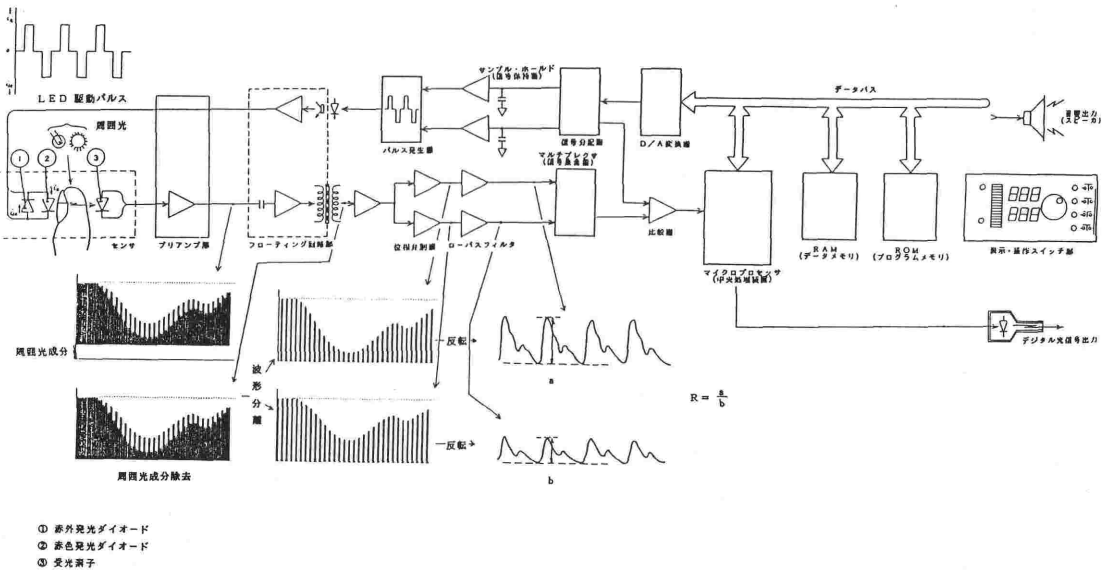


図2 脈波型オキシメータ (発光ダイオード型) のブロックダイアグラム

動脈から動脈血を採取して酸素飽和度を比較した。

対象は、健康成人における低酸素吸入、心臓外科 (人工心肺使用例)、肺外科 (片肺換気)、低血圧麻酔法、気管内挿管・抜管時、気管内吸引時および気管支ファイバー使用例などである。

2. 各機種の性能の比較

① 使用波長と光源：脈波型オキシメータの測定原理は、島田らの報告³⁾に詳しいが、図1、図2のごとく還元型ヘモグロビンおよび酸化型ヘモグロビンの2波長の光に対する吸光度の比をみることにある。図3に各ヘモグロビンの吸光係数を

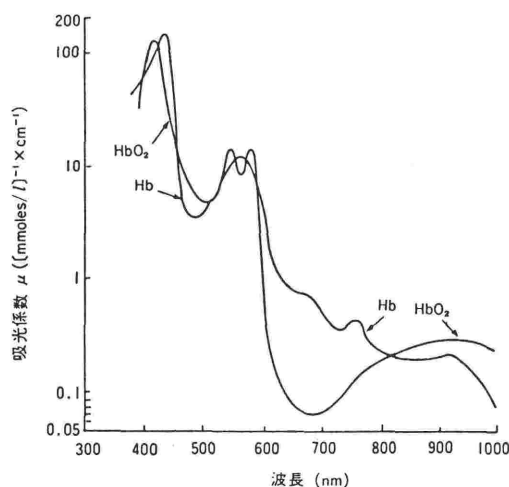


図3 HbO₂ および Hb の各波長における吸光係数（文献³⁾より引用）

示す。両者は、505 nm（緑色）および 805 nm（赤外光）で吸光係数が等しい。しかし、505 nm は、波長が短すぎて吸光が強すぎるので使用されない。また、SaO₂ に敏感かつ透過度の高い波長は 600～650 nm であり、この範囲では各ヘモグロビンの吸光係数に著明な差がみられる。そこで、SM-32 は 650 nm と 805 nm、N-100 は 660 nm と 925 nm、BIOX III および 3700 は 660 nm と 940 nm をそれぞれ使用している。

光源：SM-32 はハロゲンランプを使用し、受光側でフィルターをかけて分光しそれぞれの波長の吸光度を求めている。N-100、BIOX III および 3700、Bird 4400 は、2種類の発光ダイオードを使い、受光側にフォトダイオード（受光素子）をおき光电変換する。N-100 の赤外線波長 925 nm と BIOX III の 940 nm の違いは、機器製造時の発光ダイオードの供給の都合によるらしい。発光ダイオードは半永久的に使用可能であるが、ハロゲンランプには寿命がある。

測定条件の違いへの対応：指の太さ、爪・皮膚の色の違い、種々の雑音に対処するため、SM-32 では 710 nm の光を使っている。N-100 および BIOX 3700 では、発光ダイオードの強度を無段階に自動調節することにより対処している。

② **プローブ（センサー）：**前記の写真のごとく、SM-32 ではシリコンゴム性のプローブに太い2本のプローブケーブルが接続されるため、不

自然な力がかかり、はずれたり光線の軸がずれやすい。N-100 のプローブには、使い捨ての粘着テープ型と洗濯バサミ（クリップ）型の2種類がある。粘着テープは密着性が非常に良く、安定性が良いが、高価である（3000円）。洗濯バサミ型は、クッション付きでピンチ圧を軽減しているが、プリアンプまで 45 cm と短すぎる。BIOX III のプローブは、測定部位を 39°C に加温し、低SaO₂ 時の安定化や赤線発光用の発光ダイオードの安定化を行っており、さらに爪部と指腹部の区別が付きやすい。ケーブルコードも軽く適当な長さを有する。しかし、BIOX 3700 のプローブとの間に互換性が無い。Bird 4400 では、クリップ挟み型のほかに指の太さに合わせてテープで固定させる型があり、ケーブルは 2.4 m である。

プローブへの接触：プローブの圧迫や指先の振動により SaO₂ が誤って表示されるが、その度合は N-100 > SM-32 > BIOX III = BIOX 3700 であった。すなわち BIOX III および 3700 はアーチファクトに対して安定した値を表示することができる。

電気メス：BIOX III のみ影響を受ける。N-100 も説明書には、高周波メスの使用中に、このノイズで誤動作するとあるが困ったことは無かった。

③ **情報処理および応答時間：**SM-32 は演算結果の5秒毎の平均値を AD 変換し、デジタル表示している。N-100 は1秒間に数百回の情報処理を行ない7秒間の平均を表示する。BIOX III では1秒間に720回の2波長の光の ON, OFF を繰り返す、瞬時瞬時の SaO₂ を計算し、0.6秒毎にその平均値を求め、さらに8秒間の平均値を表示する。N-100 ではノーマルモードの7秒以外に、beat by beat および14秒の計3種類のモードがあり、BIOX III ではノーマルモードの8秒以外にファーストモードの4秒がある。BIOX 3700 では6秒の平均値を表示する。

機器安定時間：N-100、BIOX III、BIOX 3700、Bird 4400 では電源を入れてから数秒から十数秒後に、安定した測定結果が表示されるのに対し、SM-32 では較正に約2分間を要し、緊急時および電源プラグの差し換えの際には時間がかかりすぎる。

精度：SM-32、N-100、BIOX III とともに±2%

前後の精度をもつ。SM-32 では健康人に100%酸素を吸入させても SaO_2 の上限は98%であるのに対して、N-100 および BIOX III, BIOX 3700 では100%の表示がでる。BIOX IIIでは末梢循環不全状態では、 SaO_2 が102%と誤動作する。

④ 脈波：脈波型オキシメータでは急激に血圧が上昇した時や、三尖弁閉鎖不全などで静脈拍動が強い場合に誤動作が生ずることがあるが、とくに SM-32 では大きな脈波に弱いところがある。勿論、全機種ともに脈波が小さくなりすぎた場合には SaO_2 を測定できない。とくに N-100 や BIOX 3700 ではバーグラフの半分以下に脈波が小さくなると、その表示は信用できなくなる。

パルス音：SM-32, BIOX III, Bird 4400 はパルス音が一定なのに対して、N-100 および BIOX 3700 では、脈拍数の SaO_2 変調すなわち SaO_2 の変化に伴いトーンが変化するため、耳からも情報を入手可能である。

警報：全機種ともに SaO_2 の上・下限を任意設定可能である。N-100 では自動プリセットで電源を入れると SaO_2 85%以下、脈拍数140/分以上、55/分以下でアラームが鳴る。この脈拍数下限の設定が高すぎるため、アラームが鳴りやすい。

⑤ 表示：BIOX 3700, Bird 4400 が液晶表示であるほかは、発光ダイオードを使用している。SM-32 では、 SaO_2 のデジタル表示と脈波振幅のアナログ表示があるが、脈拍数は表示されない。N-100 は、 SaO_2 と脈拍数をデジタル表示し、かつ16ステップのバーグラフで脈波振幅をあらわしている。BIOX III と Bird 4400 は、 SaO_2 と脈拍数のデジタル表示のみで、脈波のアナログ表示がない。BIOX 3700 には画期的なことに脈波波形の画像表示が可能となっている。

記録：SM-32, BIOX III はともに SaO_2 , 脈波波形、脈拍数の出力端子があるが、N-100 では新たにインターフェイスを必要とする。その価格は49万円とやや高価であるが、出力を0-1ボルトから0-10ボルトまで4段階に調節でき、さらにフルスケールを0-100%と50-100%の2種類選択できるため、とくに0-10ボルトと50-100%の組み合わせで、 SaO_2 90-100%を明瞭に記録できる。

⑥ バッテリー：N-100 (1時間)、BIOX 3700 (1.5時間) には、バッテリーが内蔵されて

おり、回復室への搬送時¹⁰⁾に便利であり、さらに電源ノイズに影響されない利点もある。Bird 4400 は、とくにアルカリ電池では約20時間連続使用可能であり、再充電用の Ni-Cad 電池では10~12時間の使用が可能である。

⑦ 重量：SM-32 は 6.5 kg, N-100 が 7.3 kg, BIOX III が 4.6 kg, BIOX 3700 が 4.7 kg である。しかし、最近では Bird 4400 (0.8 kg) や CSI-501 など 1 kg に満たないものも発売され、携帯に便利である。

⑧ 価格：SM-32 は約100万円、N-100 が285万円、N-100 のインターフェイスが49万円、BIOX III が185万円、BIOX 3700 が250万円、Bird 4400 が130万円である。

3. 臨床使用成績

① 低酸素吸入： FiO_2 を0.14~0.10に変化させたときに、SM-32 では安定して表示しているときと極めて不安定なときとが交互に生じる。N-100 は反応が良すぎた敏感すぎて臨床所見および *in vitro* の SaO_2 とかけ離れた値を表示することがある。BIOX III および 3700はおおむね妥当な値を示す。

② 人工心肺使用時：人工心肺中は定常流のため全機種とも測定不能であったが、離脱に際して末梢皮膚温が 30~31°C と低下しているときに、BIOX III は *in vitro* の SaO_2 とほぼ同じ値を表示した。N-100 は基線が不安定すぎるが時々には *in vitro* に近い値を表示した。

③ 低血圧麻酔法および片肺換気時：末梢循環が良好な低血圧麻酔法施行時、および FiO_2 1.0 で SaO_2 が高い片肺換気時には、どの機種も安定した値を示した。

④ 気管内挿管時：サクシニルコリンによる fasciculation により、SM-32 および N-100 は SaO_2 の極端な低下をみせたが、BIOX 3700 は安定した値を表示し続けた。

抜管時：8才女児の抜管直後、SM-32 では88%と極端な低下を示したときに、N-100 および BIOX 3700 では96~97%と臨床状態に適った値を表示した(図4)。

⑤ 気管内吸引および気管支ファイバースコープ施行時：気管内吸引および呼吸停止を伴う1分以上の気管支ファイバースコープ検査により

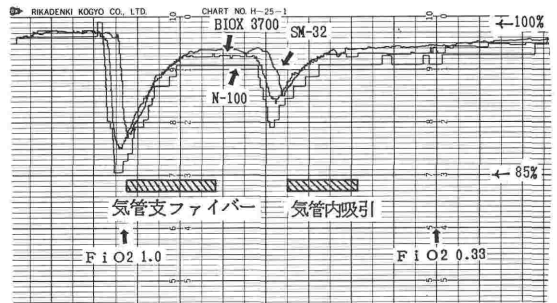
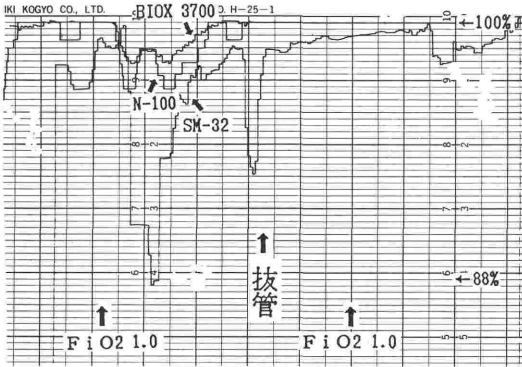


図4 気管内チューブ抜管時の SaO₂ の変化. 説明は本文参照のこと.

図5 気管内吸引および気管支ファイバー施行時の各機種 SaO₂ の変化. 説明は本文参照のこと.

SaO₂ は図5のごとく低下するが、SM-32、N-100、BIOX III の低下度合はいずれも同程度であった。呼吸再開による SaO₂ の上昇は、SM-32 がもっとも迅速でやや遅れて N-100 および BIOX III が続いた。

⑥ 回復室：術後呼吸状態がやや不安な患者に FiO₂ 0.21~1.0 まで変化させたときの SaO₂ を各機種で比較した。FiO₂ 1.0 では、SM-32 が99%、N-100 が100%、BIOX III が102%であり、FiO₂ 0.21 では in vitro で97%のとき SM-32 が97%、

N-100 が100%、BIOX III が102%であった。

まとめ

以上、各種脈波型オキシメータの性能ならびに利点・欠点を述べた。なお各機種性能の比較を表1にまとめた。

脈波型オキシメータは、無侵襲的であるという最大の特徴を有するため、近年その研究・開発は目ざましく、新機種には種々の優れた機能が備わっている。今回の5機種総合評価では、BIOX

表1 各機種性能の比較

	Minolta SM-32	Nellcor N-100	Ohmeda BIOX III	Ohmeda BIOX 3700	Bird 4400
プローブ	○クリップ型 (シリコンゴム)	○クリップ型 ◎粘着テープ型	◎クリップ型 (39℃に加温)	◎クリップ型 (39℃に加温)	○クリップ型 ○テープ固定型
プローブケーブルの取扱い	△(3m, 2本, 太い)	△(45cm, プリアンプケーブル4m)	○(2.44m)	○(2.4m)	○(2.4m)
プローブの安定性	○	△	◎	◎	○
電気メス対策	○	○	×	○	○
応答時間	5秒	7秒	8秒	6秒	3秒
機器安定時間	△(2分)	○(数秒)	○(数秒)	○(数秒)	○(十数秒)
パルス音(脈拍数の SaO ₂ 変動)	×	○	×	○	×
表示 (SaO ₂)	○	○	○	○	○
(脈拍数)	×	○	○	○	○
(脈波)	○	○	×	◎(波形表示)	×
バッテリー	×	○(1時間)	×	○(1.5時間)	○(10-12時間)
持ち運び	△(6.5kg)	△(7.3kg)	○(4.6kg)	○(4.7kg)	◎(0.8kg)
価格	約100万円	285万円	185万円	250万円	130万円
総合評価	△	○	○	◎	○

3700 が脈波波形が表示されること、プローブの安定性が良いこと、バッテリー内蔵の点で秀れていた。しかし今後、より小型軽量・廉価で全ての症例に手軽に装着可能な機種が開発が期待される。

脈波型オキシメータは、その信頼性が向上してきたとはいえやはり限界があり、例えばショック患者や重篤な呼吸不全状態などの危機的な状況では、どうしても動脈血採血によるガス分析が必要となる。そのうえで脈波型オキシメータの SaO_2 と比較されるものであり、現状では絶対的なモニターというよりも警報装置としてその価値があると考えられる。

麻酔・集中治療領域においては気管内挿管・抜管時、気管支洗浄、気管支ファイバースコープ施行時、片肺換気¹¹⁾ など、動脈血ガス分析では間に合わないくらいに変動の激しい場合¹⁰⁾ などにもっとも活躍できる。

稿を終えるにあたり、協力いただいた関係各位の皆様に深謝いたします。

参考文献

- 1) 浅利正明, 剣物 修: 脈波型オキシメータの麻酔科領域における応用, 麻酔 26: 205-207, 1976.
- 2) 諏訪邦夫: 動脈血酸素飽和度の非観血的測定, 呼と循 34: 125-128, 1986.
- 3) 島田康弘: 指尖脈波型 O_2 飽和度, 呼吸 5: 398-403, 1986.
- 4) 千村哲朗, 森崎伸之: 新しい oxygen saturation monitor (SM-32) と新生児の血中酸素飽和度の測定, 産婦人科の世界 37: 69-73, 1985.
- 5) 鈴川正之, 藤沢味代子, 松下芙佐子・他: 指尖脈波型オキシメータの使用経験, 麻酔 27: 600-605, 1978.
- 6) Deckardt, R., Steward, D. J.: Noninvasive arterial hemoglobin saturation versus transcutaneous oxygen tension monitoring in the preterm infant, Crit Care Med 12:935-939, 1984.
- 7) Yelderman, M. & New Jr. W.: Evaluation of pulse oximetry, Anesthesiology 59:349-352, 1983.
- 8) Mihm, F. G., Halperin, B. D.: Noninvasive detection of profound arterial desaturations using a pulse oximetry device, Anesthesiology 62:85-87, 1985.
- 9) Whitcher, C.: Perianesthetic oxygen saturation vs. the skill of the anesthetist, Anesthesiology 57:A172, 1982.
- 10) Hanning, C. D.: Oximetry and anaesthesia, 第33回日本麻酔学会総会招待講演, 京都 1986年4月.
- 11) Shulman, M. S., Brodsky, J. B., Mark, J. B. D., et al.: Non-invasive pulse-oximetry during one-lung ventilation, Anesthesiology 61:3A, 1984.