

●原 著

重症患者に対する高気圧酸素療法の患者管理について

湯 佐 祚 子*

集中治療を必要とする重症患者が高気圧酸素療法 (HBO) の絶対的適応疾患を有することが特に救急患者では多い。このような症状の変化しやすい患者に対する HBO が HBO に伴う種々の治療上の制限のより患者のリスクを上げてはならないし、必要な集中治療は継続しなければならない。更に組織への酸素の供給が適切になされているかどうかの評価も必要である。

第2種高気圧酸素治療装置を使用する HBO 中の重症患者の管理として、患者の評価、院内での患者の移動、治療準備、装置内でのモニターと患者管理等につき概説した。

重症患者の管理では HBO の効果とリスクのバランスを考慮することが重要である。重症患者の集中治療及び HBO の生理と技術の知識を持った医師、資格のあるスタッフと必要な機器、モニターが準備されていることが重症患者の HBO の効果と安全のために重要な因子となる。

キーワード：高気圧酸素療法、集中治療、HBO モニター

Management of critically ill patients undergoing hyperbaric oxygen therapy

Toshiko Yusa*

*Department of Anesthesiology, University of the Ryukyus

Absolute indications for hyperbaric oxygen therapy (HBO) exist for critically ill patients who need intensive care, particularly in emergency conditions. Restrictive conditions during HBO must not put these patients on additional risk, and monitoring devices, treatment procedures and other nursing procedures used in intensive care must be continued. Also quality control and evaluation of the effectiveness of oxygen delivery to tissue are mandatory, especially as the patients are in an unstable state.

The manner in treating critically ill patients with HBO using the multiplace chamber was outlined; including patients selection for HBO, intra-hospital transport and preparation of equipments, monitoring in the chamber, patients management during HBO. It is necessary to give full consideration to the risk versus benefit especially for critically ill patients. Physicians who are knowledgeable in the management of critically ill patients,

as well as a thorough understanding of hyperbaric physiology and medical technique unique to HBO, well-trained staffs and the availability of appropriate equipments are important factors for the successful treatment of critically ill patients with HBO.

Keywords :

Hyperbaric oxygen therapy
Critical care
HBO monitoring

はじめに

高気圧酸素療法 (HBO) の対称となる患者には ICU 管理下にある様な重症患者も含まれ、緊急的 HBO を必要とすることが多い。これら重症患者を対象とした HBO での患者管理上の注意点、問題点につき、これまでの主に体外循環を使用した心・大動脈外科手術後患者の第2種高気圧酸素治療装置による HBO の管理の経験をもとに検討した。

*琉球大学医学部麻酔科学講座

患者の評価

まず HBO をはじめるまえに患者が HBO の適応かどうかの評価が重要である。その基準として以下の点を考慮する必要がある。

1) HBO の禁忌疾患の有無と HBO を行って効果があるかどうかである。HBO の絶対的禁忌として未治療の気胸があることはよく知られているが、胸腔ドレーンを挿入すればよい。しかし鎖骨下より IVH カテーテルを挿入したばかりの患者では HBO 前に胸部レントゲンで確認しておく必要がある。意識障害患者では脳出血がないかを確認しておく必要がある。また既に平圧下で高濃度の酸素を必要としている患者では、肺酸素中毒の危険性と HBO を必要とする疾患の重症度及び緊急度を考慮する必要がある。

その他の絶対的禁忌として抗癌剤の投与患者がある。Doxorubicin (Adriamycin[®]) は心毒性があることはよく知られているが、動物で HBO と併用すると死亡率が上がることから¹⁾、少なくとも HBO 前 1 週間に中止すべきとされている。また Cis-Platinum は DNA 合成を阻害するため、fibroblast 生成と collagen 合成が抑制される。HBO の併用でこの細胞毒性が増強されるため²⁾、Cis-Platinum 投与患者の創傷治癒の目的での HBO は逆に HBO により増悪する可能性がある。その他薬剤投与と HBO の併用で注意しなければならない薬として disulfiram (Antabuse[®]) がある。Disulfiram は活性酸素に対し SH 結合を含む酵素と競合するため酸素中毒に対して予防効果があるが、disulfiram はまた内因性 superoxide の scavenger である superoxide dismutase の生成を抑制する³⁾。従って頻回の HBO を必要とする患者では禁忌と考えられる。

2) 装置内での種々の制限により HBO 中に患者のリスクを上げないかどうかである。救急患者(例えば減圧症 Type II) でショック状態の患者では HBO 前にショック状態を改善させてから開始すべきである。意識障害患者では気管内挿管してから開始するのを原則とすべきである。即ち装置内で患者管理ができる迄 HBO は開始しないことである。

3) 重症患者にとって HBO は治療の一部であることを忘れてはならない。疾患自体は絶対的適応

疾患であっても、外科的処置を優先させたほうがよい場合があるということである。例えば重症ガス壊疽は HBO の絶対的適応疾患ではあるが外科的処置(創部の解放)が第一である。その後に来るだけ早期の HBO と抗生物質の併用で治療すべきである。外科的処置が遅れたり不十分であると予後はよくないし、HBO の開始が遅れても予後はよくない⁴⁾。

4) 必要な継続的治療やモニターが HBO 中も継続できることが必要である。従って腹膜透析やバルーンポンピングが必要な患者では HBO を施行することは現段階で不可能である。

準備

HBO を必要とする重症患者は ICU と同様の care が出来ることが理想である。心電図、観血的直接動脈圧、人工呼吸器、吸引装置は必ず準備する。その他装置内に持ち込む為と救急患者用に、救急薬品、輸液及びそのセット、カテーテル類(尿道、気道内吸引用)、気道確保機器(エアウエイ、マスク、アンビューバッグ等)をカートなどに常備して置くと救急時に役にたつ。

問題は病棟や ICU からの移動で、重要でない輸液路、ドレーン類をクランプし、直接圧と ECG モニターを portable に変え、必要ならば pulse oximeter をつけ、100%酸素により移動用人工呼吸器又は用手人工呼吸により移動する必要がある。HBO 中必要な循環作動薬、infusion pump (予備)等を HBO 前に用意しておくことを忘れてはならない。更に患者の HBO 前の人工呼吸器の setting の条件、ガス分析結果を聞いておくこと装置内での管理の参考になる。

移動により患者のリスクを高める可能性のある場合は、状態が安定するまで HBO は行わないのが安全である。必ず医師を同伴させ、出来れば主治医を含め医師 2 名で装置内の患者を管理するのが安全である。

装置内での患者の管理

1. Catheter, tube 類の管理

①口腔、咽頭、気管、chest tube、NG tube、surgical drain のための吸引装置が使用可能にしておくことは必須である。② NG tube は開放にしておけば問題はない。③ Foley Catheter は屈曲を注意す

る以外問題はない。④ Surgical Drain で bellow, bulb evacuation のものは高気圧環境下でも問題ない。ただ吸引低下を防ぐために drain 液や air を HBO 開始前に出来るだけ抜いておくことが必要である。⑤ Chest tube が入れている場合で clamp している場合は気胸のサインに注意し、ゆっくり減圧する。電源が使用可能ならば Water seal も使用可能であるし、また Heimlich 一方弁も使用可能と報告されている⁹⁾。

2. 循環系の管理

A. 輸液

①加圧、減圧時には drip chamber 内の air と溶液の境界面が変化するため、特に減圧時には air の注入に注意する。② plastic bag が良いが、ガラス瓶では vent (air 抜き)が必要である。③通常の輸液方法では正確な速度調節が出来ないので、循環作動薬等はシリンジポンプ、infusion pump を使用する。シリンジポンプの誤作動については既に報告したが⁹⁾、HBO 前に充電しておくことと、予備を装置内に入れておくことを忘れてはならない。高気圧下で使用可能な infusion pump として報告されているのは、Imed series, Life Care, IVAC 770, Reatemender III 等である⁷⁾。

B. モニター

重症患者では ECG はもとより循環状態が不安定な患者では観血的直接動脈圧を必ずモニターすべきである。HBO により循環系のパラメーターが影響をうけることはよく知られている⁹⁾。圧ではなく酸素分圧上昇による全身の血管抵抗の上昇に比例して心拍出量は減少する。Wattel ら⁹⁾の重症患者での測定では心拍数の減少と全ての平均圧(動脈圧、肺動脈圧、右心房圧、肺毛細血管圧)の上昇がみられるが、心係数には変化がない。

動脈圧モニターで持続的 flashing に加圧バッグを使用している場合は加圧減圧時に圧の調節が必要であるし、0 点の調節を環境圧が一定になった時もう一度行う必要がある。モニターは装置の内外で同時に観察できるようにしておく方がよい。その他中心静脈圧、肺動脈圧も動脈圧同様に測定できるし、Swan Ganz catheter による心拍出量の測定も必要であればモニターできる。Thermodilution technique により心拍出量は測定できるが、thermodilution curve による測定では温度、density、血液と注入液の比熱に依存する

が、HBO によるこれらのパラメーターの変化は心拍出量の計算には影響しない。ただし calibulation は加圧の前後で行う必要があり、バルーン内への液体の注入は禁忌である⁹⁾。

C. Pacemaker

植え込み型 Pacemaker は高気圧環境下で問題はない。重症患者では back-up として temporary pacemaker を着けていることが多い。Chamber 外に pulse generator を置き pacing すれば問題はない。我々の施設では接続がないので battery による pacemaker (Medtronics) を使用しているが、テストで 3.6 ATA で誤作動の報告があるので注意が必要である¹⁰⁾。使用している pacemaker が HBO 中に使用して安全かどうかをしらべておくべきである¹¹⁾。

D. 除細動

高気圧環境下で除細動機を使用すると電極盤に発生する電気アークによる火災、モニターのブラウン管の破損の危険がある。しかし除細動機を装置外に置けば可能である¹²⁾。

3. 呼吸管理

A. マスク

気管内挿管されている患者では問題はないが、 $F_{I}O_2 \approx 100\%$ になっているかどうかが重要で、マスクがフィットしていないと HBO の効果があがらない。現在本邦で使用されている非再呼吸型のマスクでテストしてみると酸素流量が 10 l/min では $F_{I}O_2 \approx 0.92-0.93$ であり 15 l/min で 0.98 である。終末呼気の CO_2 も 10 l/min > 15 l/min になるので使用するマスクについてチェックしておくべきである (図 1)。

B. 気管内チューブのカフ

気管内挿管されている患者では気管内チューブのカフ内の空気量が加圧減圧で変化することに注意しなければならない。通常空気の代わりに液体を入れることが推められているが、HBO 終了後 suction effect で液体が抜けにくいことがあるので、chamber 内に医師が同伴している場合は内圧をモニターして air による調節をする方がよい。“Fome-cuff” Silicone Endotracheal tube であれば問題はない。

C. 人工呼吸

重症患者では大部分で人工呼吸を必要とする。装置内での人工呼吸機の setting は平圧下での

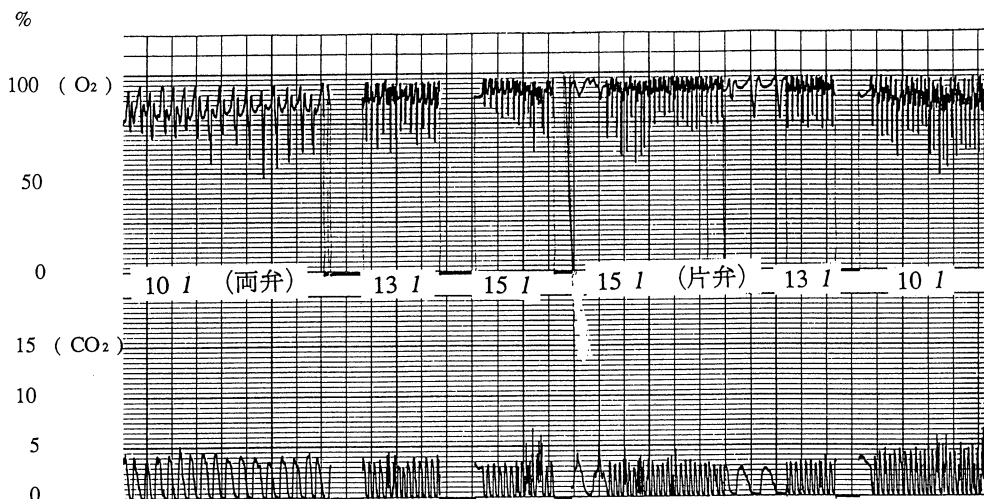


図1 非再呼吸型マスクでの酸素流量による O_2 , CO_2 濃度の変化

両弁使用より片弁（一方の弁を取り外す）の方がやや O_2 濃度が高く、 CO_2 濃度が低くなる。

setting とガス分析の結果を聞いておくのと参考になる。しかし高気圧環境下では ventilator に種々の影響がある。

a. 環境圧上昇による物理的变化

加圧に伴う物理的变化として、①駆動圧=供給圧-環境圧であるので HBO 中は低下する。②ガス密度=ガス常数×ATA であるので圧上昇に比例して増加する。③ガス圧縮率 ($\Delta V/\Delta P$) = V/P_{ATA} であるので、 V を一定とすると環境圧上昇に比例して圧縮率は低下する。④流量はガス密度に反比例するので、HBO 中は流量は減少、抵抗は増加し、Reynolds number も増加する。

b. Ventilator の種類による影響

上述した物理的变化によって使用する ventilator の種類により平圧下と比較して加圧時の変化への影響が異なってくる。

1) 従量式 (1 回換気量を設定) では、抵抗増加、流量減少により呼吸時間が延長して呼吸回数が減少する。

2) 従圧式 (気道内圧を設定) では抵抗増加により 1 回換気量が減少する。更に流量減少により呼吸時間が延長して呼吸回数も減少する。

3) 吸気時間設定式

吸気時間設定式の ventilator ではガス圧縮率

低下を timing chamber が感知して吸気時間が設定されるため、HBO 中は呼吸回数が増加する。更に吸気時間の短縮と共に流量も低下するため、1 回換気量が著明に減少する。

高気圧環境下で使用する場合、①装置内で場所を取らず portable である、②動力源としてガス式か、電動式では 6volt 以下、③換気範囲が 1-20 l/min、呼吸回数が 10-40 回/min で呼吸回数に関わらず 1 回換気量が一定、④換気パラメーターが圧の影響を受けず大気圧下と同じで一定、⑤酸素 (20-100%)、空気、nitrox に変換可能、⑥排気装置がある、⑦ PEEP (終末呼吸陽圧) のみならず CPPV (持続陽圧換気)、IMV 又は SIMV (間欠的強制換気又は trigger に合わせた間欠的強制換気) のモードが出来る、⑧火災の危険がない、等が ventilator の理想的条件である⁵⁾⁷⁾⁹⁾。

現在までに Emerson, IMV Bird, Urgency Bird, modified Bird Mark II, Penlon Oxford, Pneupac normobaric & hyperbaric version, Ohmeda Logic 07, Sechrist 500A, Servo 900 C, 900D, Monaghan SIMV 225 等の ventilator がテストされている^{13)~17)} が理想的なものはない。最近、高圧ガス作動で servo 機能により自動的に環境圧により吸気量又は吸気時間を補正する

表1 Penlon Ventilator 機能への加圧の影響

	Units	Surface	33fsw	66fsw	165fsw
Breath interval	second	4	4	4	4.5
Breath rate	minute	15	15	15	13.3
Inspiratory flow rate	liter/s	60	55	44	40
Expiratory flow rate	liter/s	60	40	38	30
Peak pressure	cmH ₂ O	20	25	32	38
End-expiratory pressure	cmH ₂ O	0	0	2	8
Tidal volume	ml	1000	1000	1000	1000
Temperature	celsius	26	26.6	26.8	27.9

	Units	Surface	33fsw	66fsw	165fsw
Breath interval	second	4.5	4.5	5	7-23
Breath rate	minute	13.3	13.3	12	8.5-2.6
Inspiratory flow rate	liter/s	30	25	25	20
Expiratory flow rate	liter/s	50	37	37	30
Peak pressure	cmH ₂ O	45	50	58	65
End-expiratory pressure	cmH ₂ O	0	2	6	25
Tidal volume	ml	1000	1000	1000	1000
Temperature	celsius	25.5	26.6	27.2	27

上段は抵抗, コンプライアンス (50ml/H₂O) が正常の場合, 下段は中等度の抵抗, コンプライアンス (15ml/H₂O) の場合。Youn B, Houseknecht R (J Hyperb Med, 1991)¹⁶⁾

ventilator (Hyper 60-VF Siare, RCH Lama) が報告されているが, ICU で使用できるものではない。

我々は Penlon Oxford を使用している。これは高圧ガス駆動, 従量式で調節呼吸のみができる。テスト lung で31 ATA までテストされている。3 ATA まででは1回換気量, 気道内圧, 呼吸数にほとんど影響がないと報告されている¹⁸⁾。しかし, その後, 同様にテスト lung で6 ATA までテストした結果は, 表1のように環境圧上昇により, 正常人の場合でも3 ATA で呼吸数, 1回換気量は変化が無いが流量低下と終末呼気で気道内圧が上昇し, 肺コンプライアンス低下, 気道抵抗が増加した場合は, 1回換気量のみは一定であるが, 呼吸数増加, 吸気及び呼気流量低下, 気道内圧増加と, 2 ATA 以上では呼気終末で気道内圧が0にならず, auto PEEP の状態になる¹⁶⁾。また調節呼吸しか出来ないで, 自発呼吸があり補助呼吸が必要な場合は用手補助呼吸しなければならないし, 排気システムがないため装置内酸素濃度上昇があ

る。更に bucking が起こると sedation をするか, 弛緩薬の投与が必要になり, ventilator よりの weaning に影響することになる。

C. モニター

適性換気のモニターとして capnography をするか, 呼吸数と呼気量を wright respirometer でモニターするのがよい。

高気圧環境による wright respirometer への影響は3 ATA で補正係数が0.97であるので¹⁷⁾, 通常の HBO ではほとんど影響がないと考えられる。

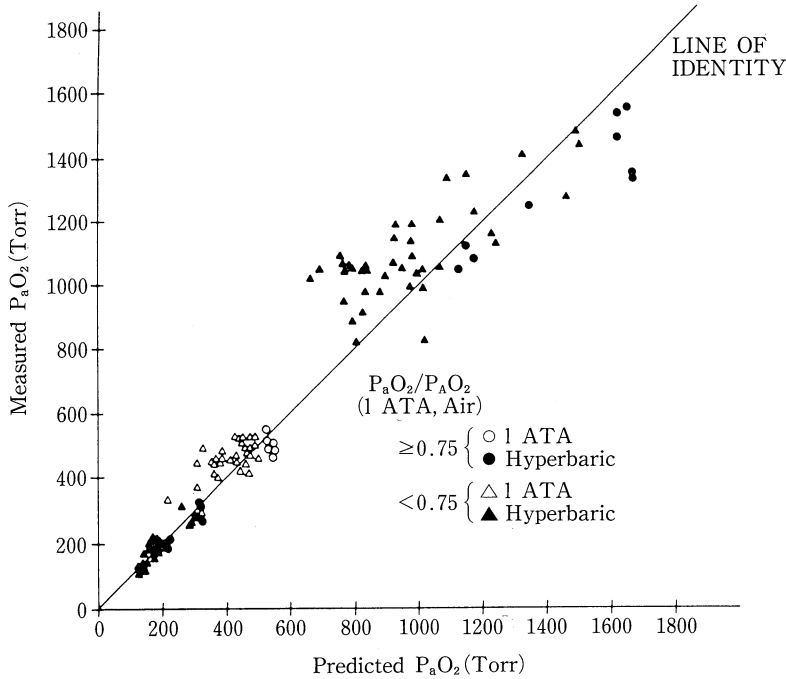
HBO の効果の評価

1. 動脈血酸素分圧 (PaO₂) の測定

HBO の効果は組織酸素分圧上昇によるため, 動脈血酸素分圧が参考になる。

①直接 chamber 内で測定, ② HBO 中に採血して大気圧下でただちに測定, ③大気圧下で測定した PaO₂ より予測, の方法がある。

1) 最近バッテリー作動, portable のガス分析機



大気圧下でのガス分析値より PaO₂/PAO₂ を計算
 $PACO_2 = PaCO_2$, $R = 0.8$ とする
 $PaO_2/PAO_2 (a : A)$
 $= PaO_2/F_1O_2 (P_{BAR} - 47) - PaCO_2 (1.25 - 0.25 F_1O_2)$

HBO 中の PaO₂ 予測値
 $PaO_2 (pred) = (a : A) [(760 P_{ATA} - 47) - PaCO_2]$

$PO_2 (meas) = 0.974 PO_2 (pred) + 59.6$
 $(r = 0.96, P = 0.0001)$

図2 高気圧酸素下での PaO₂ の実測値と大気圧下で測定したガス分析値からの予測値の関係

Moon RE et al (Underwater and Hyperbaric Physiology IX, 1987)²²⁾

が発売されており、高気圧下で使用可能になっている¹⁹⁾。

2) 0.85-3.0 ATA の高気圧下で血液と生理食塩液をトノメートして大気圧下で測定した PaO₂ と比較した報告では、ほぼ予測値と平行しており、臨床的に利用可能である²⁰⁾。

3) arterioalveolar oxygen tension ratio (動脈-肺泡 酸素分圧比) が個人で比較的一定であることから²¹⁾、この比を大気圧下で求め、 $R = 0.8$ 、 $PACO_2 \approx PaCO_2$ と仮定し、肺泡気酸素分圧の計算式より PAO₂ を求めて、高気圧環境下の PaCO₂ を予測するものである。肺泡気-動脈血の分圧較差

が大きい場合も実測値と良く相関している²²⁾ (図2)。

2. pulse oximeter

PaO₂ が高いので意味がないと考えられているが、肺泡気と動脈血酸素分圧の較差が大きい患者では air break の時の hypoxia の予防になる。Air break の時大気圧下で50%以上の酸素を必要とする患者では 2 ATA でも25%の酸素が必要である。

3. 経皮酸素分圧 (PtcO₂)

局所、全身の循環障害のモニターであり、絶対値は PaO₂ と差があるが、鎖骨下での径皮酸素分

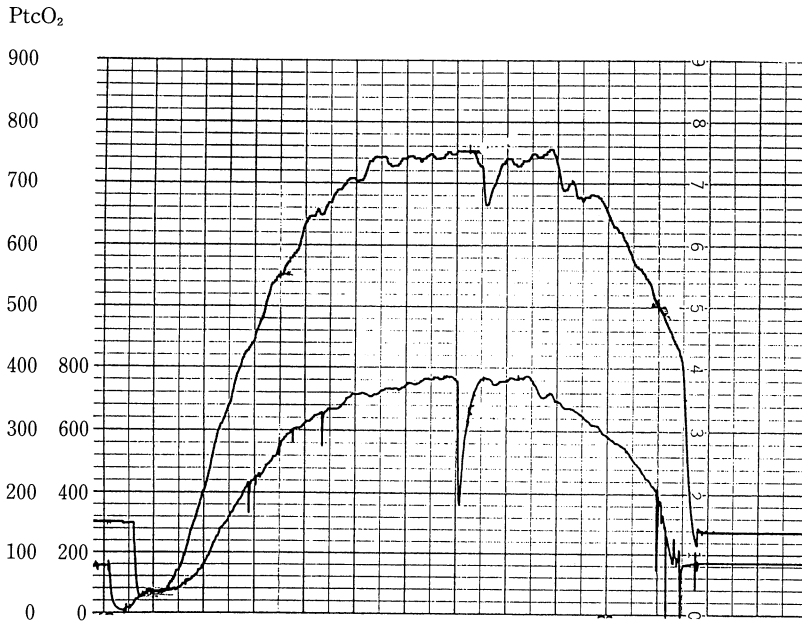


図3 鎖骨下で測定した高気圧酸素療法中の PtcO₂
途中の低下はマスクがずれた時。

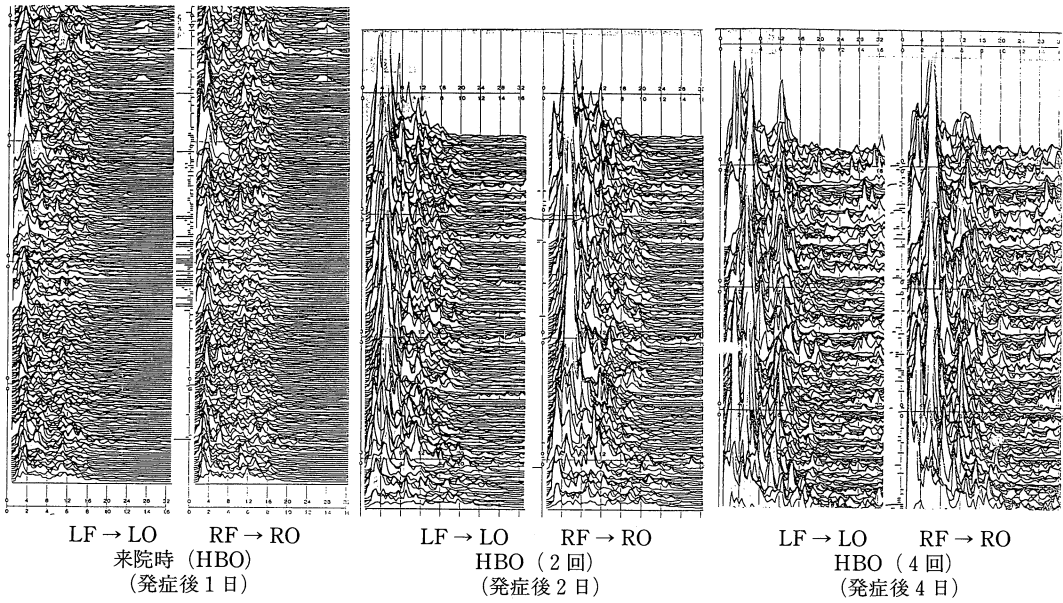


図4 減圧症脳脊髄型患者の脳波
意識回復過程の spectral analysis (Berg-Fourier) によるモニター。

圧は正常人では PaO_2 の約70%である²³⁾。従って吸入酸素濃度のチェックとして役立つ。例えばマスクがフィットしていない場合(図3)、瀕回の吸引による酸素濃度低下等のばあいである。

局所循環障害での HBO の効果は組織への酸素の供給と末梢循環をモニターすることで評価できる。末梢組織への酸素の供給は末梢での PtcO_2 に反映されている²⁴⁾。従って reference として鎖骨下での PtcO_2 を同時に測定することにより評価できる。末梢循環は laser Doppler Verocimetry で評価できるので²⁵⁾、総合的な末梢循環障害では PtcO_2 と laser Doppler Verocimetry を同時にモニターすることで HBO の効果を評価できる²⁶⁾。

4. 脳機能のモニター

高気圧環境下での脳機能のモニターとして① Traditional EEG, ② Evoked Potential, ③ Spectral analysis (Berg-Fourier) ④ 頭蓋内圧 (ICP) による評価が報告されている。

1) は artifact が多く、電極の設置に時間がかかることが欠点であるが、hyperoxia の影響のモニターとして検討されている²⁷⁾。

2) Auditory brainstem responses (ABR) と somatosensory evoked potentials (SSEP) が使用されている。特に SSEP は減圧症による脊髄障害の評価に有用である²⁸⁾²⁹⁾。

3) Compressed EEG の記録ができる。Neurotrac (Interspec Medical) を使用して意識障害患者での HBO の効果を評価することができ、図4は減圧症脳型患者での意識障害回復過程をモニターしたものである。

4) 重症脳障害患者では脳浮腫により頭蓋内圧上昇から脳灌流圧の低下により二次的脳障害を来す。従って ICP 測定はよいモニターとなる。ICP により HBO の効果も検討されている³⁰⁾³¹⁾。

まとめ

重症患者の HBO 管理では HBO による治療効果と HBO によって発生するリスクのバランス及び使用する装置の性能、モニターの制限や管理医の能力を考慮して行うべきである。

【参考文献】

1) Upton PG, Yamaguchi KT, Myers S, Kim-dwell TP, Anderson RJ: Effects of antiox-

idants and hyperbaric oxygen in ameliorating experimental doxorubicin skin toxicity in the rat. *Cancer Treat Rep* 70:503-507, 1986

- 2) Kindwall EP: Contraindications and side effects to hyperbaric oxygen treatment. In *Hyperbaric Medicine Practice*. Kindwall EP (ed). Best Publishing Company, Flagstaff, AZ, 1994, pp45-56
- 3) Heikkalia RE, Cabbat FS, Cohen G: In vivo inhibition of superoxide dismutase in mice by diethyldithiocarbamate. *J Bio Chem* 251:2182-2185, 1976
- 4) Bukker DJ, van der Kleij AJ: Clostridial Myonecrosis. In *Handbook on Hyperbaric Medicine*. Oriani G, Marroni A, Wattel F (eds). Springer-Verlag. Milano, 1996, pp362-385
- 5) Moon RE, Camporesi EM: Clinical care at altered environmental pressure. In *Anesthesia 4th edition*. Miller RD (ed). Churchill livingstone, Tokyo, 1994, pp2277-2305
- 6) 野原 敦, 湯佐祐子, 当山貴子, 伊波 寛: 高気圧治療装置内における輸液ポンプおよびシリジポンプの安全性と正確性について. *日高压医誌* 24:139-143, 1989
- 7) Pelaia P, Rocco M, Di Lauro E, Spadetta G: Safety and HBO therapy. In *Handbook on Hyperbaric Medicine*. Oriani G, Marroni A, Wattel F (eds). Springer-Verlag. Milano, 1996, pp715-736
- 8) 湯佐祐子: 高気圧酸素療法の物理と生理. *ICU と CCU* 21:833-839, 1997
- 9) Wattel F, Mathieu D, Neviere R: Management of HBO patients. In *Handbook on Hyperbaric Medicine*. Oriani G, Marroni A, Wattel F (eds). Springer-Verlag, Milano, 1996, pp647-659
- 10) Youn B, Kozikowski R: Temporary pacemaker malfunction in the hyperbaric chamber *Undersea Biomedical Research* 16 (suppl):56-57, 1989
- 11) Kratz JM, Blackburn JG, Leman RB, Crawford FA: Cardiac pacing under hyperbaric conditions. *Ann Thorac Surg* 36:66-68, 1983
- 12) Martindal LG, Milligan M, Fries P: Test of an R-2 defibrillator adapter in a hyperbaric chamber. *J Hyperb Med* 2:15-25, 1987
- 13) Blanch PB, Desautels DA, Gallagher TJ: Deviations in function of mechanical ventilators during hyperbaric compression. *Respir Care* 36:803-814, 1991
- 14) Gallagher TJ, Smith RA, Bell GC: Evaluation of mechanical ventilators in hyperbaric envi-

- ronment. *Aviat Space Environ Med* 49:375-376, 1878
- 15) Moon RE, Bergquist LV, Conklin B, Miller JN: Monaghan 225 ventilator use under hyperbaric conditions. *Chest* 89:846-851, 1986
 - 16) Youn B, Houseknecht R: The penlon oxford ventilator. A second look. *J Hyperb Med* 6:255-261, 1991
 - 17) Kindwall EP, Goldmann RW: Equipment, procedures and medical care of hyperbaric patient. In *Hyperbaric Medicine Procedures*. St Luke's Hospital, Milwaukee, Wisconsin, 1984, pp38-40
 - 18) Saywood AM, Howard R, Goad RF, Scott C: Function of the oxford ventilator at high pressure. *Anaesthesia* 37:740-744, 1982
 - 19) Sutton T, Freese M, Saur S, Swaby G, Fife CE, Berry J: Testing of a portable blood gas analyzer under hyper/hypobaric conditions. *Undersea Hyperbaric Med* 21(suppl):50, 1994
 - 20) Weaver LK, Howe S, Berlin SL: Normobaric measurement of O₂ tension of blood and saline tonometered under hyperbaric O₂ conditions. *J Hyperb Med* 5:29-38, 1990
 - 21) Gilbert R, Keighley JF: The arterial/alveolar oxygen tension ratio. An index of gas exchange applicable to varying inspired oxygen concentrations. *Am Rev Resp Dis* 109:142-145, 1974
 - 22) Moon RE, Camporesi EM, Shelton DL: Prediction of arterial PO₂ during hyperbaric treatment. In Bove AA, Bachrach AJ, Greenbaum LJ, Jr. (eds), *Underwater and Hyperbaric Physiology IX, Undersea and hyperbaric Medical Society, Bethesda MD, 1987*, pp1127-1131
 - 23) Hart GB, Meyer GW, Strauss MB, Messina VJ: Transcutaneous partial pressure of oxygen measured in monoplace hyperbaric chamber 1, 1.5, and 2 atm abs oxygen. *J Hyperb Med* 6:223-229, 1990
 - 24) Wattel FE, Mathieu DM, Nevriere RR: Transcutaneous oxygen pressure measurements. A useful technique to appreciate the oxygen delivery to tissues. *J Hyperb Med* 6:269-282, 1991
 - 25) Smits GJ, Roman RJ, Lombard JH: Evaluation of laser-Doppler flowmetry as a measure of tissue blood flow. *J Appl Physiol* 61:666-672, 1986
 - 26) Abbot NC, Swanson Beck J, Carnochan FM, Spence VA, James PB: Estimating skin respiration from transcutaneous PO₂/PCO₂ at 1 and 2 atm abs on normal and inflamed skin. *J Hyperb Med* 5:91-102, 1990
 - 27) Torbati D: Oxygen and brain physiologic functions: A review. In Bove AA, Bachrach AJ, Greenbaum LJ, Jr (eds), *Underwater and Hyperbaric Physiology IX, Undersea and hyperbaric Medical Society, Bethesda MD, 1987*, pp659-690
 - 28) Mitchell P, Erwin CW, Camporesi EM, Moon RE, Goad R, Mebane Y, Stolp B, Bennett PB: Latency and amplitude of somatosensory evoked potentials in normal subjects breathing air and oxygen at 1 and 2.8 ATA. In Bove AA, Bachrach AJ, Greenbaum LJ, Jr. (eds), *Underwater and Hyperbaric Physiology IX, Undersea and hyperbaric Medical Society, Bethesda MD, 1987*, pp1025-1030
 - 29) Overlock R, Dutka A, Farm F, Jr., Okamoto G, Suzuki D: Somatosensory evoked potentials measured in divers with a history of spinal cord decompression sickness. *Undersea Biomed Res* 16(suppl):89, 1989
 - 30) Ohta H, Hadeishi H, Nemoto M, Kawamura S, Hinuma Y, Suzuki E: Transient effect of hyperbaric oxygen on cerebral blood flow and intracranial pressure. *J Hyperb Med* 5:3-13, 1990
 - 31) Sukoff MH, Ragatz RE: Hyperbaric oxygenation for the treatment of acute cerebral edema. *Neurosurgery* 10:29-38, 1982