

【 臨床経験 】

安全に高気圧酸素治療を行なうために — 総合臨床の立場から —

合志清隆¹⁾²⁾，溝口義人³⁾，豊永淳子⁴⁾，角谷千登士¹⁾，下河辺正行⁵⁾

産業医科大学 脳神経外科¹⁾，高気圧治療部²⁾
健愛記念病院 外科・胸部外科³⁾，看護部⁴⁾
共立病院 内科⁵⁾

救急・重症・難治性疾患の治療の一環として，高気圧酸素（HBO）治療が組み込まれる機会が増加している。この治療の特徴を一言で表現すれば，周囲よりも高い圧環境下の閉鎖空間で酸素吸入を行なう治療法となる。この点が救急・集中治療のなかでも特異的で，特殊環境での病状急変時への対処を常に念頭に置く必要がある。頻回に経験するのは呼吸器系の問題であり，次いで循環器系や中枢神経系である。いずれも迅速な対応を迫られる。さらに，治療装置内での機器使用では誤作動の可能性が常にあり，また輸液容器で使用可能な器材は限られる。HBO治療を安全に遂行するには，必要とされる一般の救急・集中医療に通じておくことと，この治療の特殊性を理解しておくことが重要である。

キーワード 医療事故，高気圧酸素

How are accidents controlled during hyperbaric oxygen therapy?

Kiyotaka Kohshi¹⁾²⁾, Yoshito Mizoguchi³⁾, Junko Toyonaga⁴⁾, Chitoshi Kadoya¹⁾, Masayuki Shimokobe⁵⁾

Department of Neurosurgery¹⁾ and Hyperbaric Oxygen Therapy Unit²⁾, University of Occupational and Environmental Health; Department of Surgery³⁾ and Nursing Administration⁴⁾, Ken-ai Memorial Hospital; Department of Internal Medicine⁵⁾, Kyoritsu Hospital

Hyperbaric oxygen (HBO) therapy has been applied to treat many patients diagnosed with emergent or serious diseases. However, using this method, accidents have been repeatedly induced during and after HBO treatment. Accidents involving vital organs like the lung, heart and brain have been serious in some cases. In addition, many medical machines don't normally operate under hyperbaric environment. The most important point to protect from these accidents is to recognize that HBO therapy is an emergent, intensive care medicine under specific condition, such as closed- and high-pressure environments. Hyperbaric medical doctors and technicians should have some specific knowledge and techniques about the treatment.

keywords medical accidents, hyperbaric oxygenation

はじめに

高気圧酸素（HBO）治療の歴史を振りかえると，その治療効果に注目され発展してきたことよりも，火災・爆発に代表される重大な医療事故を繰り返してきたといっても過言ではない。この治療法はさまざまな疾

患を治療対象とするが，患者管理で最も頻繁に支障を来たすのは呼吸器系で，次いで循環器・中枢神経系であろう。これまで経験してきた事例をもとに¹⁾，実際の治療で問題になったことを紹介する。また，医療全般にわたり危機管理の重要性が叫ばれているが，医

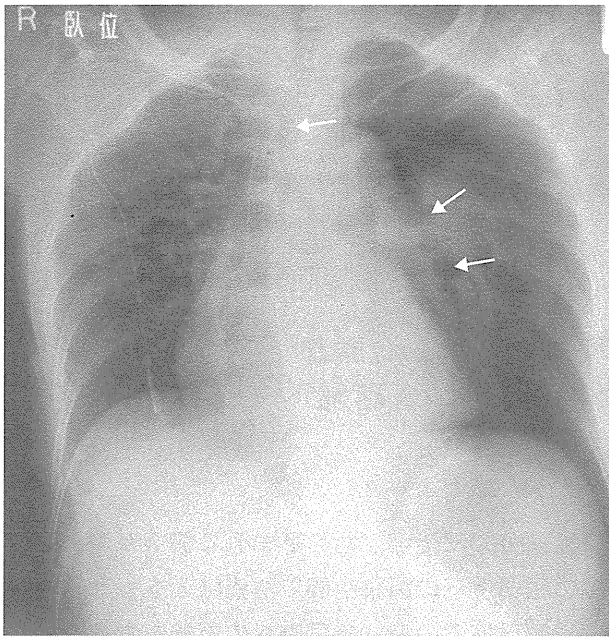


図1 緊張性気胸の胸部X線写真
左胸腔が気体で異常に拡張し、心臓や気管が強く圧迫されている(矢印)。

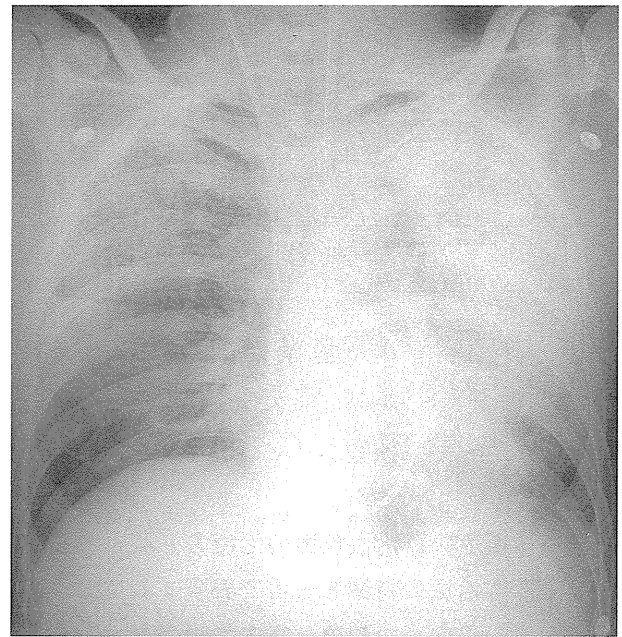


図2 肺の酸素中毒の胸部X線写真
びまん性に浸潤影が広がり、重篤な呼吸機能障害(ARDS)に陥っている。

療関連法規の解釈についても触れたい。

呼吸器系

1) 嚢胞形成性肺疾患

多くの患者で肺嚢胞症、特にblebを有していることは、開胸手術の際に頻繁に経験される。しかし、この病変を胸部の画像、特に単純X線写真のみで判断することは困難なことが多い。胸部CT画像で肺嚢胞が明らかとなり、多発性でも比較的小さな嚢胞の際には、必要とされればHBO治療を行ってきた。これらの肺嚢胞が破裂する頻度は低く、気胸を併発しても胸腔ドレナージで治癒している。しかし、単純X線写真で確認されるほどに巨大なbullaでは、破裂により気胸を併発すれば、破裂口が大きく胸腔ドレナージのみでの治癒が困難になることがある。さらに、巨大なbullaや陳旧性の結核の空洞では、破裂後の気胸だけではなく、腔内に出血を起し咯血がみられることがある。したがって、単純X線写真で肺病変が認められた際には、HBO治療の適応は極めて慎重に行なう必要がある。さらに、気管支拡張症では肺嚢胞症の合併も高頻度

であり、通常は比較的小さな肺嚢胞であるが注意を要する。

肺気腫や気管支喘息に代表される機能的な肺の閉塞障害では、前述の肺嚢胞を有していることも多いが、小病変であれば肺損傷から気胸を起こすことは稀である。

2) 医原性肺病変

救急患者では鎖骨下静脈穿刺にて中心静脈を確保することが多い。この際に気胸を作ることがあるが、初期の少量の気胸では胸部単純X線写真での判断が難しいことがある。この状態でHBO治療を行なえば、緊張性気胸を併発することになるが(図1)、減圧の最中に確認することは難しく、ましてや第1種装置では物理的に不可能である。通常は治療後早期に、浅い頻呼吸とショック症状の頻脈・血圧低下を示すが、この病状変化は減圧直後に気づくことは少ない。特に、全身状態が悪いか、あるいは意識障害の患者では、この併発症に気づくことに遅れる。

また、安全基準で決められている基準よりも高い治療圧で行なうか、HBO治療前に酸素吸入を受けてい

る患者では、肺の酸素中毒を来たしやす（図2）。この防止には、HBO治療前の呼吸機能や治療状況を確認しておくことはいうまでもない。

3) 気管・気道閉塞

気管内挿管がなされている患者の治療では、分泌物を吸引する必要がある。したがって、HBO治療前に分泌物の多さや、その排出の状態は確認しておくことが重要である。特に、第1種装置での治療では、気道閉塞につながりやすい¹⁾²⁾。また、極めて稀であるが、気管内の吸引操作の刺激にて気管支痙攣を起こすこともある。HBO治療中に生ずれば、気道抵抗が高圧環境下では増すために、気管支痙攣の判断が難しいと予測される。

それ以外に、挿管患者が治療装置内で自己抜管することがある。特に、意識障害に伴う錯乱状態の患者治療で時に経験される。自己抜管で最も重篤な併発症は、喉頭や声帯の浮腫による気道閉塞である。救急患者で挿管の際に声帯を傷つけているか、頭頸部の手術後で挿管されている際には、抜管直後に気道閉塞が起こり、瞬時に重篤な事態を招く。

気管支痙攣や抜管後の気道閉塞は病棟での患者治療で経験してきたもので、HBO治療中に起こしたことはない。しかし、このような危険性を常に念頭に置いた患者管理が重要である。

循環器系

1) 合併する心疾患

心疾患を有していない患者のHBO治療の際に、循環器系が問題視されることは少ない。しかし、高齢患者では期外収縮や心房細動がよくみられる。前者ではHBO治療にて期外収縮の発作増強は経験されるが、薬剤治療を要するまでになることは稀である。また、救急・重症患者ではショック状態に陥っていることが多く、血圧低下と同時に上室性頻脈がみられる。HBO治療前にはショック状態への対処を行なうが、時に頻脈への治療が必要なことがある。したがって、この種の循環器系の薬剤使用には日頃から通じておく必要がある。

心疾患を有している患者の治療では、HBO治療中に不整脈や虚血性心疾患を突発的に起こすことがある。例えば、心房細動は脳梗塞の主要な原因であるが、脳に限らず上腸間膜動脈に塞栓症を併発する。急激な腹痛を訴えた後に、全身状態の悪化とショック状態を呈する。しかし、HBO治療の対象疾患が脳塞栓症であり、意識障害や失語症を認める際には、この初期症状の判断が困難で、突発的にショック状態から死亡に至ったことがある。心房細動を有している患者では、全身に塞栓症を起こしやすいことを認識する必要がある¹⁾。

また、心房細動以外に虚血性心疾患の既往を有する患者も多く、HBO治療中に狭心症発作や急性心筋梗塞を併発することがある。この両者ともHBO治療は中止し、初期の救急的対処が必要になる。

2) 虚血性心疾患

以上の合併疾患とは別に、虚血性心疾患そのもののHBO治療に際しては、重篤な不整脈が誘発されやすいことに留意すべきである。第1種装置にて急性心筋梗塞の治療中に心停止を来したことがある。心停止の直後でも、意識は明瞭に保たれ体動も可能であったために、大きな咳をすることを指示し、その後は心拍動が再開し大事には至らなかった。この心停止の事例の経験からは、心疾患の治療は大きな危険性を伴うために、第1種装置では医師が必ず治療に当たるか、第2種装置で医師が同室した上で治療を行なうべきであると判断している。しかし、超急性期の心筋梗塞はHBO治療によく反応し、急速に胸部症状と心電図所見が改善し、心筋逸脱酵素であるCKの上昇が最低限に抑えられることが多い。いずれにしても、虚血性心疾患の治療はその適応も含めて慎重に行なうべきで、常に病状急変時の対処が可能な環境を整えておくことが必要である。

3) 血圧変動

循環器系の一つとして血圧の変動があるが、時にHBO治療中に血圧上昇を示すことを比較的高頻度に経験してきた¹⁾³⁾。これによって重篤な病状変化を引き起こしたことはないが、今後検討する課題であろう。

中枢神経系

1) 中枢神経症状

脳神経疾患のHBO治療で問題になるのは、意識障害を中心とした中枢神経症状と後述するけいれん発作である。意識障害を伴う患者で最初に必要な処置は鼓膜穿刺あるいは切開であるが、救急の現場では前者を行なう。さらに、嘔吐の可能性を判断することも重要である。酸素マスクを着けた意識障害の患者の治療では、胃内容物がマスク内に吐き出されれば気道閉塞や誤嚥などで、重篤な事態を惹起する。予防には胃管にて胃内容物を排出することであるが、食事を摂って時間が経っていない救急患者の治療では要注意である。第2種装置で医師が同室していない際には、危急的に同室している他の患者の協力を依頼し、その後対処してきた。第1種装置の酸素加圧方式では、意識障害の患者では嘔吐を考慮した体位をとる必要がある。しかし、空気加圧での第1種装置で上記の事態が生ずれば、極めて危険な結果を招く恐れがある。また、意識障害とは異なるが神経症状として失語症を有している症例では、鼓膜穿刺は体動が激しいために、この処置なしに治療を開始するが、加圧の初期段階で錯乱状態になる。第2種装置では医師が同室し対応するが、第1種装置では患者監視をしながら加圧に時間をかける必要がある。しかし、錯乱状態であれば無理な治療を行なわないか、どうしても治療が必要であれば薬剤にて鎮静後に鼓膜処置を行なう。

2) けいれん発作

けいれん発作は中枢神経系疾患に特有な併発症であるが、脳神経外科で扱う多くの症例でけいれん発作を起こすと考えて間違いはない。けいれん発作の病型と使用薬剤を事前に理解しておく必要がある。また、繰り返すHBO治療にてけいれん発作を誘発しやすくなる⁴⁾。けいれん発作と鑑別を要するのは中枢神経の酸素中毒だが、けいれん様の発作が認められれば全てけいれん発作と判断して対処した方がよい。特に、中枢神経系疾患の治療の際に、けいれん発作が生ずれば重積状態に移行することもあり、発作そのものが高い死亡率につながる。けいれん発作でチアノーゼを示

すほどの呼吸困難に至ることは多くはないが、HBO治療中に発作が起った際には急速減圧ではなく呼吸状態をみながら速やかに減圧する。

消化器系

治療で問題になるのは嘔吐であるが、前記したように消化器系疾患より中枢神経系疾患で注意を払う必要がある。イレウスに代表される消化器疾患では事前に胃管が挿入されており、胃液の排液がなされているので、可能な限りHBO治療の際にも排液を行なう必要がある。第2種装置では排液バッグを低く保持し持続的排液になるが、第1種装置では十分な排液は難しく、治療前に胃内容物が少ないことを確認しておく必要がある。しかし、嘔吐が問題になるのは、前記した意識障害を伴う脳神経系疾患の救急患者に際してであろう。

医療機器管理

1) 人工呼吸器

人工呼吸器は主に圧調節型と容量調節型に分けられるが、HBO治療では前者の一般機種の使用は難しい。後者の容量調節型の機器が使用可能かといえば十分ではなく、加圧により設定が全く違ったものになる。第1種装置では専用の人工呼吸器が開発され広く使用されているが、第2種装置内で安全に使用可能な人工呼吸器の開発が遅れている⁵⁾。患者の呼吸を人工呼吸器に合わせるために、経皮的に動脈血炭酸ガス分圧を測定しながら麻酔薬を増量するか筋弛緩剤まで使用したこともある。そこで分かったことは、HBO治療にて過呼吸あるいは頻呼吸が誘発されることであり³⁾⁶⁾、治療中には動脈血炭酸ガス分圧 (PaCO₂) を下げておく必要がある。大気圧と同様に40mmHg前後に設定すると、PaCO₂が徐々に治療中に上昇し、組織のアシドーシスを招来する。HBOによって血液による炭酸ガス運搬能が低下し⁷⁾⁸⁾、炭酸ガスが蓄積されることによる⁹⁾。しかし、人工呼吸器の使用に際しては、第1種あるいは第2種装置の種を問わず、慎重に取り扱う必要があることはいうまでもない。

2) 輸液機器

輸液機器はHBO治療装置内でも使用可能であるとされながらも、誤作動は頻繁に経験してきた。大気圧での設定から変更をしなければ、正常に作動することもあるが、途中で設定を変更したことで機能しなくなる。誤作動で最も多いのは作動停止であるが、それ以外に輸液が一気に注入されることもある。さらにHBO治療装置内に新たな輸液装置を入れると作動しないことが多い。このような機器の誤作動に対処するには、微量輸液装置を使用しないで患者の状態を治療前にみる試みも一つの方法であるが、機器の誤作動が起こった際の対処法を常に念頭に置く必要がある。基本的には、輸液ルートを最小限にしておくことである。この種の治療薬はショック状態に対する昇圧剤が中心になっているので、必要な薬剤の投与方法に通じることはいうまでもないが、これらをセットとして準備して危急の際に迅速に使用できるようにしている。

3) 輸液容器

治療中の静脈輸液は日常的に行われるが、第2種装置では輸液容器を中に持ち込み、第1種装置では専用機器で外部から注入を行なう。前者での輸液の際には、気体流入のないビニールのソフトパックであれば問題になることはない。しかし、容量によって外形が変形するプラスチックの容器では、ルート針を射入したゴムの部分から外気が流入し、減圧中にそれが加速しガス塞栓症を起こす危険性がある。プラスチックの容器使用では環境圧の影響を少なくするためには、液面より上部に大きな通気針をおき脱気を行なえば安全に使用できる。しかし、ガラスのビンでは腰椎穿刺針等を液面上まで刺入しても、針の先端が内溶液に触れ、その針そのものの大きさだけでは脱気が不十分であることが多い。輸液の容器選択では、些細な不注意で容易にガス塞栓症から死亡事故につながる。

一方、第1種装置での外部から注入の方法では、接続部が治療装置の部分で外れた際に、血液が逆流して噴出する事故が起こり、特に中心静脈ルートでの輸液では注意が必要になる。

表 1 患者管理のポイント

患者管理
1) 循環器系:不整脈, 心臓発作, 血圧上昇
2) 呼吸器系:嚢胞性病変, 医原性肺損傷, 気道閉塞
3) 中枢神経系:けいれん発作, 意識障害と失語症
4) 消化器系:嘔吐に伴う気道閉塞と誤嚥
医療機器・器材
1) 輸液装置:誤作動の可能性が高い
2) 人工呼吸器:誤作動の可能性が高い, 低炭酸ガス血症の保持
3) 輸液器材:ビニールソフトパック
診療技能と医療水準
1) 救急・集中治療:医療事故への対処法
2) 認定制度:医療内容を加味した認定
3) 保険診療:医療法, 医療保険法との関連

医療水準と注意義務

HBO治療で扱う疾患は多岐にわたり、さらに救急・集中医療の一つであることに異論はない。専門医療を安全に遂行する上で法的に重要視されることは、医療者の診療能力（知識と技能）を基盤とした医療水準と注意義務に集約される。個々の診療に必要なとされる診療内容に照らして、それぞれの医療水準と医療者の注意義務が規定される。これらは、単に医療事故訴訟の際の過失判断基準であるだけでなく、日々の診療の第一歩から問われるものである。

様々な医療事故がHBO治療にて繰り返されてきたことや、この治療法が救急医療の特殊領域であることから、担当する医師の知識と技能はそれに見合う必要がある。すなわち、救急医療を基本とした一般診療能力に加えて、この治療に不可欠な専門知識と技能が要求されることは当然である。

適切で、しかも安全に治療を行なうために、高気圧医学の専門医師や技師が認定されている。これらの認定制度の持つ意味は、HBO治療における医療水準を規定することになるが、裏を返せば医療者、特に医師の裁量権を制限することを意味しており、担当する医療者の責任は重大になる。

おわりに

これまで経験してきたHBO治療に関連した事故の

一部を紹介し、その問題点や対処法について述べた(表1)。この治療法は多くの疾患に高い有効性を示す一方で、特殊な救急・集中治療であることから、些細な不注意で重大な医療事故に結びつくことも理解する必要がある。

参考文献

1. 合志清隆, 中島正一, 宇都宮精治郎, 他: 第9回高気圧酸素治療セミナー報告. 日高圧医誌 34: 211-214, 2000
2. 合志清隆, 志垣天光, 豊永淳子, 他: 第10回高気圧酸素治療セミナー報告. 日高圧医誌 35: 45-47, 2000
3. 合志清隆, 木下良正, 安部治彦: 高圧環境での医療 -脳神経外科疾患を中心として-. 日高圧医誌 29: 195-201, 1997
4. Fenton LH, Robinson MB: Repeated exposure hyperbaric oxygen sensitizes rats to oxygen-induced seizures. Brain Res 632: 143-149, 1993
5. 伊東範行: 高気圧酸素治療関連のME機器. 高気圧酸素治療法入門(第3版) 日本高気圧環境医学会 p137-142, 2002
6. Kohshi K, Yokoata A, Konda N, et al: Intracranial pressure responses during hyperbaric oxygenation. Neurol Med Chir 31: 575-581, 1991
7. Christiansen J, Douglas CG, Haldane JS: The absorption and dissociation of carbon dioxide by human blood. J Physiol (London) 48: 244-271, 1914
8. Dautrebande L, Haldane JS: The effects of respiration of oxygen on breathing and circulation. J Physiol(London)55: 296-299, 1921
9. Lambertsen CJ, Kough RH, Cooper DY, et al: Oxygen toxicity. Effects in man of oxygen inhalation at 1 and 3.5 atmospheres upon blood gas transport, cerebral circulation and cerebral metabolism. J Appl Physiol 5: 471-486, 1953