

総説

空気塞栓

榊原欣作\* 高橋英世\* 小林繁夫\*

生体の血管系内に気体が侵入し、これが気泡を形成して血管内に係留し、血管内腔が閉塞された状態をガス塞栓と総称する。多くの場合、気体が空気であるために、一般的には空気塞栓 air embolism と呼ばれることが多い。空気塞栓が示す症状あるいは経過は、血管内に侵入した空気の種類およびそれが係留した血管の部位などによって多彩に修飾され、まったく無症状のままに終始する場合から症状の出現が急速で瞬間死に近い重篤な経過をたどる場合まで、はなはだ多岐にわたっている。

本稿では、僅かではあるが自験例を中心として、空気塞栓の概略を要約したい。

1. 空気塞栓の原因・契機

空気塞栓は、血管系の破損部から血管内に空気が流入した場合、あるいは開放された循環系の閉鎖時に誤って気泡を遺残した場合、または外力によって血管内に空気を送入した場合などに発生する。具体的にいえば、たとえば胸部外傷とくに肺静脈の損傷あるいは分娩などに伴って発生し、あるいは開心術時の合併症として、または血管造影その他さまざまな医療行為に際しての偶発合併症としても発生する。

われわれの経験した症例は27例で、表1に示されるように、すべてなんらかの医療行為を契機として発生した空気塞栓であった。近年の医学の進歩に伴って、検査や治療のために循環系に侵襲を加える機会が著しく増加したことも、あるいはこの偶発合併症としての空気塞栓発生の増加の一因

表 1. 原因・契機別にみた空気塞栓症例数およびこれらの症例のなかで空気の血管内流入が確認または証明された症例数

原因・契機	症例数	空気の血管内流入が確認、証明された例
脳動脈造影	5例	1例 (20%)
開心術	7	0 (0)
血液透析	10	10 (100)
座位開頭術	4	4 (100)
頸部手術	1	1 (100)
計	27	16 (59)

となっているかも知れない。なお前述のように、成書などには分娩時に空気塞栓を発生することがあると記載されているが、われわれの経験症例中には分娩に合併した患者はなかった。また大気圧よりも高い気圧環境に曝露されていた生体が不適正な方法によって大気圧に復帰した場合などにも空気塞栓を発生することがあるとされているが、このような不適正減圧を契機とする症例にも現在まで遭遇したことはない。

空気塞栓の原因・契機に関して注目されるいまひとつの点は、発生の原因・契機の別によって、空気の血管内への侵入すなわち空気塞栓の発生が確認されたか否かについて明らかな差異が認められる事実である。表1に示されるように、脳動脈造影を契機としての5例では1例だけに気泡の流入が確認されたに過ぎない。開心術関連の7例も、心切開創の縫合閉鎖時、十分と考えられた心臓腔内の空気除去を行っている。換言すればこれらの症例では、その後に発生した中枢神経系の障害に

\*名古屋大学医学部附属病院高気圧治療部

ついて、その原因となる可能性のある因子として微細気泡の注入あるいは心腔内気泡遺残に原因を求めるほかないと考えられた症例であった。これに対して、人工腎臓による血液透析中の10例、座位開頭術中の4例および頸部手術中の1症例などでは、全例に空気の侵入が確認ないし証明されているのであって、この点で脳動脈造影および開心術関連の症例とは明らかな差異があり、空気の侵入が確認できるか否かは、原因・契機の別によって、かなり明確な対照を示すことがみられる。

## 2. 空気塞栓の病型

空気塞栓は血管内に侵入した空気が血管内腔を閉塞した状態であるから、動脈系および静脈系のいずれの側にも発生する可能性がある。

動脈系に空気が侵入した場合には、特別の場合を除き、気泡は血流の方向にしたがって末梢の方向に送られて塞栓する。多くの部位では、動脈は近接する他の動脈とのあいだに交通枝その他の連絡路を有するので、ある動脈の閉塞によってその動脈からの血液供給圧が低下した流域へは、それらの連絡路を通じて他の動脈からの血流が維持され、多くの場合、重大な障害を発生するにはいたらない。しかし、明らかな動脈性の吻合枝を欠除するいわゆる終動脈 end-artery に空気が塞栓した場合には、塞栓部位よりも下流の流域には他の動脈からの血流の代償的供給はなく、この部分には虚血のための低酸素症が発生する。おなじく動脈の空気塞栓でありながら、他の多くの動脈でほとんどあるいはまったく無症状に経過するのに比して、脳動脈に空気が塞栓した場合に、毎常、重篤な症状を呈する理由はこの点にある。また冠状動脈に空気が塞栓した場合、冠状動脈は終動脈ではないが、側副血行を介して供給される血流が相対的に過少な場合には、塞栓発生直後の急性期に心筋虚血の症状を呈する場合がある。

静脈系に空気が侵入した場合は、血流にしたがって気泡は一次的には肺動脈に塞栓し、いわゆる肺空気塞栓を形成する。肺空気塞栓においては、症状の軽重は主として侵入した空気の量の多寡および肺毛細管床の状態の両者に依存し、まったく無症状に経過する場合から非常に重症に陥る場合まで、きわめて多岐にわたる。

したがって臨床的に重要な空気塞栓の病型は、冠および重症肺空気塞栓の三者であるということが出来る。しかし現実には冠状動脈の空気塞栓が単独に発生することは特殊な場合を除いてきわめてまれで、ほとんどすべての場合に脳空気塞栓と合併して発生し、しかもこの場合にも脳塞栓に由来する症状がより重篤かつ永続的である。このようにみると、空気塞栓において臨床的に重要な病型は脳空気塞栓および重症肺空気塞栓の両者であることが理解されよう。事実、自験の27例も、表2に示されるように、すべてこのいずれかに属

表2. 空気塞栓の原因・契機と病型の別

原因・契機	症例数	病型(例数)
脳動脈造影	5例	脳空気塞栓(14例)
開心術	7	
血液透析	10	
座位開頭術	4	肺空気塞栓(13)
頸部手術	1	

していた。すなわち脳動脈造影および開心術に関連する症例はすべて脳空気塞栓で、また血液透析を契機とした10例中の2例も脳空気塞栓であった。また血液透析に由来する残余8例ならびに座位開頭術および頸部手術を契機とした症例の全例が肺空気塞栓であった。これらの事実からも、臨床的に重要な意義を有する病型は脳空気塞栓および重症肺空気塞栓の両者であることが理解されるであろう。

## 3. 空気塞栓の症状

空気塞栓の重要な病型が脳空気塞栓と重症肺空気塞栓の両者であることは前項に述べたとおりである。これらはいずれも血管系内への空気の侵入によってもたらされる病態ではあるが、両者の呈する症状は、当然のことながら、まったく異なったものであることはいうまでもない。以下、自験例の経験を中心として、両病型の主要な症状を要約する。

### 3-1. 脳空気塞栓

脳空気塞栓の自験14例について、それぞれの主要な症状をとりまとめて、表3に示した。No. 1

表 3. 脳空気塞栓症例の主要な症状

No.	性	年齢	疾患	契機	主要症状
1.	♂	65歳	左内頸動脈血栓	左総頸動脈造影	右不全片麻痺→右完全片麻痺, 5分後意識喪失→半昏睡, 失語症.
2.	♂	55	頸動脈・海綿状洞瘻	左総頸動脈造影	一過性意識喪失(4分後回復), 両側視力完全喪失→両側左半盲.
3.	♀	60	左動眼神経麻痺	右内頸動脈造影	両側視力喪失, 対光反射(-), 軽度意識障害(記銘力, 計算力), 失語症.
4.	♂	64	グライウィツ腫瘍脳転移	左内頸動脈造影	中等度意識障害(見当識, 記銘力), 右完全片麻痺, 失語症.
5.	♂	41	脳動脈硬化?	左総頸動脈造影	一過性意識喪失→半昏睡, 右完全片麻痺, 失語症.
6.	♂	23	慢性腎不全	血液透析 (左前腕外シャント)	四肢強直, 全身痙攣, 意識喪失→昏睡, 対光反射(-), 瞳孔散大, 呼吸不整.
7.	♂	38	慢性腎不全	血液透析 (左前腕内シャント)	全身痙攣, 数分後意識喪失→昏睡, 対光反射(-), 瞳孔縮小不同.
8.	♀	7	ファロー四徴	開心根治術	下肢痙攣→上肢強直→全身痙攣, 昏睡, 呼吸不整→停止, 瞳孔縮小同大.
9.	♂	26	僧帽弁・大動脈弁閉鎖不全	開心弁置換	無呼吸, 血圧低下, 瞳孔不同→散大, 対光反射(-), 左バビンスキ(+).
10.	♀	36	二次孔心房中隔欠損	開心根治術	半昏睡, 左完全片麻痺, 両側足クロス(+), バビンスキ(+).
11.	♀	39	二次孔心房中隔欠損	開心根治術	昏睡, 左完全片麻痺, 全身痙攣, 瞳孔縮小, 対光反射(-).
12.	♀	47	心内膜床欠損	開心根治術	昏睡, 呼吸不整微弱, 全身痙攣重積, 瞳孔縮小, 対光反射(+).
13.	♀	37	僧帽弁狭窄	開心交連切開	昏睡, 痛反射(-), 瞳孔不同(右>左), 対光反射(+), 一左完全片麻痺.
14.	♂	44	僧帽弁狭窄	開心交連切開	昏睡, 痛反射(-), 左足クロス(+), →四肢痙攣.

から5までは脳動脈造影を契機とした症例であり, No. 6 および7は血液透析実施中の事故として発生した症例である. No. 8 以下の7例は開心術後の遷延性中枢神経系障害の原因として空気塞栓が疑われた症例である. 契機によって脳空気塞栓の症例をこのように3群に区分してみると, それらの呈する症状にはかなりの差異のあることに気付く.

たとえば開心術関連の7症例は, すでに記したように, すべて心腔内の空気の完全除去後に心切開創を閉鎖したと信じられながら, 術後の遷延する中枢神経系障害の原因として最終的に脳空気塞栓を疑わなければならなくなった症例である. したがって, もしこれらの症例が真に空気塞栓であったとしても, その発生は全身麻酔下の, しかも多くの場合に体外循環中であるため発生の直後にそれを知ることは至難といわざるを得ない. 同時に, 中枢神経系障害の諸症状も当初は全身麻酔からの覚醒の遅延と考えられることは避けられないことで, また麻酔あるいは体外循環, さらに開

心術後それ自体というような特殊な条件が空気塞栓の症状を複雑に修飾することもまた避けられないところである.

これに反して, 脳動脈造影および血液透析関係の症例では病像を修飾する他の因子がない. 加えてNo. 5, 6 および7の3例では空気の流入が確認されていたため, 中枢神経系障害の諸症状が空気塞栓によるものであることは発生直後から認識されているなどの点で, 開心術関連の症例などは明らかな対照を示している.

これらの症例における症状を概観すると, まず脳動脈造影に由来する5症例は, すべて, 総頸動脈ないしは内頸動脈造影に随伴した合併症として発症しているため, その障害部位すなわち塞栓の部位は, いずれも頸動脈流域と推測される. この症例群における発生直後からの症状には, 全体を通じて, いくつかの特徴的な共通点を挙げる事ができる. すなわち5例中の3例に塞栓発症直後ないし数分後に始まる意識喪失がみられているが, いずれも一過性で数分後には意識水準のかなりの

改善を見、他の2例では意識障害はさらに軽微であった。また片麻痺および失語症がそれぞれ3例ずつにみられたほか、視力喪失ないし半盲などの視力障害を2例に認めている。

これに対して血液透析中に空気塞栓を発生した2例は、いずれも左前腕に設置された外シャントまたは内シャントから動脈側に空気が侵入した症例である。この場合、かなりの強圧をもって空気が動脈内に送入されたため、気泡は血流に逆行して動脈内を中枢へ向かって遡上し、上腕動脈、腋窩動脈を経て鎖骨下動脈に到達し、その一部がここから順行性に椎骨動脈に流入、脳底動脈にいたる経路をたどって脳空気塞栓を形成したと考えられる。

したがって気泡の一部は脳底動脈から後大脳動脈へ流入、その末梢に塞栓するとともに、さらに一部は後交通動脈を経て内頸動脈に入り、これから分岐する前および中大脳動脈流域にも塞栓を形成することによって重篤な脳神経症状を呈するとともに、また一部は椎骨動脈ならびに脳底動脈からの分枝を介して小脳および延髄、橋などの動脈塞栓をも惹起し、小脳・脳幹部症状もこれに加わって、その症状を一層重篤化したと考えられる。空気流入直後から出現し、急速に進行して昏睡にいたった高度の意識障害ならびにこれと併行して当初から始まった全身痙攣、瞳孔不同大あるいは対光反射障害などの瞳孔異常、過呼吸または呼吸失調などの呼吸異常その他の多彩な症状は空気塞栓が広範囲にわたっていることを示す証左のひとつで、2例の経験でしかないが、脳底動脈系の空気塞栓の典型的な症状のほとんどすべてがこれらの症例に示されていたように考えられる。

これらに反して開心術後の症例では、その発生の時期には塞栓の呈する症状は全身麻酔によって遮蔽され、空気塞栓の可能性が疑われるまでかなりの時間が経過していたことに加えて、手術侵襲および体外循環の影響などの多くの因子が関与して症状を修飾するが、しかしこれらの症例の症状も結局は脳神経症状、小脳・脳幹部症状などの多様な組み合わせであったことは表3に示したとおりで、また開心術関連の場合には塞栓の範囲、重篤度などが個々の症例によってまったく異なっていることも同時に示されている。

以上の自験例の所見から脳空気塞栓の症状を総括すれば、おおよそ次のごとくであろう。

一側の頸動脈系の塞栓では比較的軽微な意識障害を呈し、意識喪失に陥っても多くは一過性である。不完全または完全片麻痺、片側知覚鈍麻ないし麻痺、半盲および失語症などが主要な症状である。

脳底動脈系の塞栓ではより重篤な症状を呈し、意識障害は昏睡の水準に達して回復傾向に乏しく、脳神経症状のほか、小脳・脳幹症状として瞳孔異常、呼吸障害などがこれに加わる。脳血栓の場合に比して痙攣が多発する印象を否定し得ない。

ただし、これらの症状は、当然、脳血栓の症状と基本的には軌を一にするもので、脳動脈造影関連の症例あるいは開心術関連の症例のあるものでは脳血栓または脳血栓塞栓との確定的鑑別を行い得ない場合もあるが、空気が血管系内へ侵入する機会の有無ならびに年齢、前駆症状あるいは原因疾患としての動脈硬化などの有無、他の臓器などへの塞栓の既往の有無などによっておおよその鑑別は行うことができると考える。

### 3-2. 肺空気塞栓

重症肺空気塞栓の自験13例をその契機によって群別し、それぞれの主要症状を要約して表4に示した。No. 15からNo. 22までの8例は血液透析中に体外回路から静脈内へ空気が入って肺空気塞栓を形成した。No. 23~26の4例は座位開頭術中に脳静脈洞損傷部から空気を吸引し、No. 27も頸部手術中に、おそらく同様の機序によって術野の静脈小損傷部から空気を吸引して肺空気塞栓に陥った。

これらの症例では、脳空気塞栓の場合とはまったく対照的であって、前に表1にも示したように、全例、血管内への空気の侵入が確認ないし証明されている。すなわち、血液透析関連の症例では空気の侵入は医療職員によって発見、空気塞栓の発生が確認されている。また座位開頭術中および頸部手術中の症例では術野における静脈損傷部からの空気の吸入音の聴取、前胸壁に固定した聴診器または超音波血管内気泡監視装置による気泡音または異常エコーなどの検出あるいはCVPカテーテルなどを利用しての右心腔内における空気の存在の直接の証明によって空気塞栓の発生が知られ

表 4. 肺空気塞栓症例の症状

No.	性	年齢	疾患	契機	症 状	
					(初期症状)	(主要症状)
15.	♂	36歳	慢性腎不全	血液透析	胸部圧迫感, 咳嗽, 胸痛	進行性意識障害→昏睡, 痙攣, 努力呼吸→呼吸停止.
16.	♀	54	慢性腎不全	血液透析	昏倒, 血圧(-), 脈拍(-), 20分後心停止.	* }
17.	♀	47	慢性腎不全	血液透析	胸痛, 意識障害→半昏睡, 呼吸困難, 対光反射(+), ラ音(+).	
18.	♂	34	慢性腎不全	血液透析	胸痛, 咳嗽, 呼吸困難.	
19.	♂	54	慢性腎不全	血液透析	咳嗽, 前胸部絞扼感.	
20.	♀	62	慢性腎不全	血液透析	咳嗽, 胸内苦悶, 胸痛.	
21.	♂	54	尋常性乾癬	血液透析	咳嗽, 胸部圧迫感.	
22.	♂	50	慢性腎不全	血液透析	胸内苦悶, 一過性意識喪失, 頭痛, ラ音(+).	
23.	♀	29	小脳虫部奇形腫	座位開頭術	血圧(-), 期外収縮(卅), 気泡音.	
24.	♂	50	右聴神経腫瘍	座位開頭術	心停止, 血圧(-).	四肢強直, 瞳孔不同大, 昏睡.
25.	♂	36	右小脳血管芽腫	座位開頭術	血圧低下, 期外収縮(卅), 気泡音.	チアノーゼ, 血圧不安定, 対光反射(-), 四肢痙攣, 昏睡.
26.	♀	9	松果体腫瘍	座位開頭術	徐脈, 血圧低下, 気泡音, 半昏睡.*	
27.	♂	2	右頸部血管腫・リンパ管腫	頸部根治手術	呼吸障害, 気泡音.	呼吸困難, 努力呼吸, 昏睡, 瞳孔散大・不同大, 左片麻痺.

\* : 発症後短時間のあいだに治療が開始されたため, 全症状を初発症状として記入.

ている。このため空気の侵入によって発生したさまざまな異常は、当初から、すべて空気塞栓の症状として理解されてきた。脳空気塞栓の多くがさまざまな可能性を順次否定して後に最終的に疑われたことと比較すれば、この点もまた肺空気塞栓の特徴のひとつであるということができよう。

表 4 に示した自験 13 例のうち、No. 15～22 の 8 例は慢性腎不全その他に対する血液透析中の事故として発生した症例である。発生直後から空気塞栓であることが認識され、麻酔その他、症状を隠蔽する因子もないため、その症状はよく捕捉されている。初期の症例で治療開始まで一昼夜にわたって姑息的な対症療法が試みられた No. 15 では、時間の経過に伴って症状は進行し、約 6 時間後からは咳嗽、胸痛などの初期の肋膜刺激症状に代わって呼吸障害に由来する低酸素症のための諸症状が次第に強調され、進行性の意識障害が遂には昏睡の域に達し、脳幹症状も出現するにいたっているが、No. 16～22 の 7 例は、本格的な治療開始までの時間が著明に短縮されたため、呈した症状はほぼ初発症状の範疇に属する。

これに対して No. 23 以降の 5 例は、いずれも手

術中の偶発合併症として肺空気塞栓を発生した症例である。これらは、空気塞栓発生時には、すべて全身麻酔下であり、またできるだけ早期に高気圧酸素治療を開始するために手術を途中で中止した No. 26 の 1 例を除けば、他はすべて手術を一応は完了している。したがってこれらの症例における初期の症状はすべて他覚所見である。若干の例外もあり、また自覚症状と他覚所見とを対比しなければならぬ点に問題はあるが、全体としてみると、血液透析関連の症例群に比して、座位開頭術中および頸部手術中の症例群における血行動態の変動はより大きかったのではないかという印象を否定することができない。これらの症例では、もし全身麻酔中でなければ、その自覚症状も血液透析関連の場合よりさらに強烈ではなかったかと推測され、このような機序による肺空気塞栓では、静脈損傷部から右心腔内へ吸引される空気量が通常想像されるよりもはるかに多量であることが示唆され、症状の進行も急速で、数時間後には強度の低酸素症のための諸症状が出現するにいたる。

さてこれらの自覚症状、他覚所見などを通覧すれば、肺空気塞栓の症状はおおよそ次のように要

約されよう。

初期症状として咳嗽はもっとも普遍的な症状であるが、その他、胸痛と表現される肋膜炎、胸内苦悶あるいは前胸部絞扼感なども記載されるいわゆる心前痛、呼吸困難などがほぼ共通した症状で、これら諸症状の突発は肺空気塞栓によっていわゆる急性肺性心の状態が惹起されたことを示している。これらのうち、呼吸困難あるいは胸部圧迫感などと表現される呼吸障害の発現機序は容易に理解される場所であるが、その他の症状の発生機序は、咳嗽および肋膜炎などについては塞栓が肋膜刺激となって発生し、また心前痛あるいは胸内苦悶などについては肺の感覚受容体から迷走神経を介しての反射的な冠状動脈攣縮に由来する急性心筋虚血によって発生するものと考えられる。

初発症状の重篤度を決定するもっとも重要な要因のひとつは塞栓空気量であり、空気量がさらに増加して広範囲にわたる肺動脈閉塞が発生した場合には、症例 No. 23, 25 あるいは 26 などのように突発的な血圧低下ならびに極度の場合には血圧測定不能の状態に陥り、頻発する期外収縮および徐脈などが同時に認められる。これは肺動脈の広範囲の塞栓によって発生した急激かつ著明な心拍出量の減少およびこれに伴う冠血流量の減少によって招来された急性心不全がもたらした諸症状である。さらにこのような症例では多くの場合に意識障害を伴うが、これも主として心拍出量の減少に伴う脳血流量の激減によって惹起される。またこのように広範囲の肺毛細血管床閉塞が急激に発生した場合には肺動脈圧が著明に上昇するので、これによって開放された肺動・静脈間短絡を通じて気泡の一部が左心系に移行し、これが冠状動脈および脳動脈などに塞栓することも、さきに記した期外収縮、徐脈あるいは意識障害などの成因のひとつとなっていると推測される。

空気量がさらに多量の場合には、塞栓発生直後に意識を喪失して昏倒、脈拍触知不能、血圧も測定不能となり、同時に多くは呼吸も停止し、放置すればそのまま死亡する。かりに人工的に呼吸が維持されても早期に心停止に陥るなど、予後が不良であることは No. 16 の経過にみられるとおりである。No. 24 の場合は全身麻酔中の発症のため、意識障害の突発は認められていないが、おそ

らく No. 16 と同程度の広範囲に肺の空気塞栓を惹起したものと推測される。これらの場合は、大量の空気が右心房および右心室内に充満して右心のポンプ機能を途絶させ、血液循環が遮断される結果、突発的なショック死様の経過を示すと考えられる。

これらの症状は血栓による肺動脈の塞栓、通常のいわゆる肺塞栓の臨床症状と本質的に異なるものではないが、多少の差異はあるようである。たとえば肺動脈の血栓塞栓の多数例について詳細な検討の行われた Urokinase Pulmonary Embolism Trial (以下、UPET と略記) の成績<sup>2)</sup> などと比較すると、血栓塞栓では呼吸障害の症状が肋膜刺激症状よりも優位を占めるのに対して、少数例ではあるが自験の空気塞栓ではとくに初期においてこの関係が逆転している印象を否み難い。この理由はかならずしも明らかではないが、ひとつには空気塞栓では栓子としての気泡は血栓による場合に比して一層微細化し、肺動脈のより末梢まで到達してこれを塞栓すると思われる点にも関係があるのではないかと考えられる。

#### 4. 空気塞栓の診断

空気塞栓の診断は、これまでの記載からも明らかのように、現在なお多くの問題点が残され、その確定診断は毎常かならずしも容易ではない。

脳空気塞栓の場合、空気の動脈内への流入が確認された症例は、自験例においても血液透析中に発生した 2 例および脳動脈造影中の 1 例、全 14 例中の 3 例に過ぎなかったことは前にも記したとおりである。他の症例は、脳動脈造影例では造影剤注入回路から気泡を完全に除去したと確信されていた症例であり、また開心術関連の症例も心切開創の縫合閉鎖時に心臓腔内の気泡の除去が完全に行われたと確信されていた症例である。これらの症例ではその中枢神経障害の原因となりうる他のすべての因子を消去したのちにも空気塞栓の可能性を完全には否定できず、疑診として脳空気塞栓が想起されたに過ぎない。このように原因の確認がまれにしかできないことが、脳空気塞栓の確定診断を困難にする最大の理由である。

またこの場合、かりに脳動脈造影を行ったとしても微細な気泡による閉塞は証明し難く、また閉

塞を証明しえたとしても、それが血栓と空気のいずれによる閉塞かを決定することは不可能である。しかも血栓と空気のいずれによる閉塞も、呈する症状に本質的な差異のないことが両者の鑑別をより一層困難なものとしている。

しかし肺空気塞栓<sup>8)</sup>では、脳の場合に比較すれば、その診断は容易である場合が多い。自験13例のすべての場合に空気の静脈内への流入がなんらかの現象として認識されていたことにも示されるように、なによりもまず、その原因となる空気の流入を多くの場合に確認することができるからである。

空気の血管内への流入が確認され、その直後から咳嗽、胸痛などの肋膜刺激症状が出現し、次いで呼吸困難などの呼吸障害が進行し、その後これらに代わって意識障害などの低酸素症に由来する諸症状が顕性化する経過は、肺空気塞栓と確定診断してほぼ誤ることはない。聴診上、きわめて初期を除き、肺野にはかなり早期から主として非連続性のラ音を、また心音では肺動脈第2音の亢進などを聴取し、またこれらと相前後してほぼ同じ時期から胸部X線写真にも瀰漫性の陰影の出現をみるようになるなどの検査所見は、診断確定のために補助的な根拠を与えるものと考えられる。

なお肺動脈の血栓による塞栓の場合には、たとえば、UPET<sup>1)</sup>においても非常に多数例の診断経験から肺血管造影が確定診断のためにきわめて有用な検査法であるとされている。自験の肺空気塞栓に対して肺血管造影を試みた経験はないが、しかし空気塞栓の場合には栓子としての気泡は血栓などよりもはるかに微細化して肺動脈の末梢に塞栓するため、肺血管造影の診断価値は血栓塞栓の場合ほど高くないと思われる。

## 5. 空気塞栓の治療

空気塞栓は、血管内に侵入した空気が気泡となって血管内腔を閉塞した状態およびこの閉塞によって惹起された病態をいう。したがって空気塞栓の治療は、なによりもまず、血管内腔を閉塞している気泡を消滅させることに第一の目標がおかれなければならないことは当然で、このため従来から一般的には再圧療法 recompression がひろく行われてきた。

再圧療法は、元来、潜水病 diver's disease あるいは潜函病 caisson disease などとも呼ばれるいわゆる減圧症 decompression sickness の治療のために開発された治療法である。減圧症は、大気圧よりも高い気圧環境に曝露されている生体に対して過激な速度の減圧を行って大気圧に戻した場合などに発生する。この疾患の発生機序は、高気圧環境内での呼吸によって生体内には溶解空気量が増加し、このうち不活性ガスであるため生体によって代謝されないで蓄積して異常に増量した溶解窒素が、過激な減圧によって、気泡となって血液中および組織中に出現することによると考えられてきた。再圧療法は、このような機序によって発病した減圧症患者に対して、再度、加圧を行って過激な減圧の行われる前の高い気圧環境に戻し、患者の体内に発生した気泡を圧縮することによって気泡の内圧を環境気圧と等しい圧力にまで上昇させ、これによって気泡が血液中および組織水分中へ再溶解することを促進しようとする治療法である。したがって気泡の発生機序こそ異なるものの、空気塞栓もまた気泡の血管内腔閉塞をその本態とするものであってみれば、減圧症に対する場合と同様の奏効機序を期待して、空気塞栓に対しても再圧療法が行われてきたことは当然で、従来は再圧療法は空気塞栓に積極的に対処する唯一の治療手段と考えられてきた。

われわれは、再圧療法とはまったく異なる着想到に立脚して、後記する高気圧酸素治療に従事してきたが、その初期に、患者1名だけを収容し、酸素ボンベに連結して使用する小型の高気圧酸素治療装置だけによって治療を行っていた当時、外見上は再圧療法と類似の治療法であると一般に考えられたため、きわめてまれにはあるが、潜水病などの治療を行わなければならない事態に遭遇したことがあった。このような場合、当時は再圧療法について格別の見解をもっていなかったのに、その当時の一般的な風潮にしたがって空気による再圧療法を行わなければならないと考え、その都度、高圧空気ポンベを購入し、高気圧酸素治療装置としての本来の使用法ではないが、酸素ポンベを空気ポンベに取替えて装置に連結し、使用していた。しかし深夜、突然の依頼をうけた重症潜水病患者の救急治療に当たって、空気ポンベを購入

することができなかつたため、やむをえず次善の方策と考へて行つた高気圧酸素治療が、意外にも、それまでに行つた空気による再圧療法の場合に比較して、はるかに短時間のあいだに、はるかに秀れた効果を示した症例を経験した。この経験が偶然のものであつたか否かを検討するため、その後の減圧症4例にも高気圧酸素治療を試みたところ、同様の効果をすべての症例に挙げることができた。

その後、まったく別の社会的な理由によつて、われわれの施設では減圧症の再圧療法を行うことを中断して現在にいたつてゐるが、初期に減圧症患者に対して行つた高気圧酸素治療が秀れた効果を發揮した自らの経験およびこれらの経験に関する考察に立脚し、その後の臨床において、空気塞栓は再圧療法の対象とはせず、一般的な風潮に背いてもっぱら高気圧酸素治療を行う方針によつて現在にいたつた。したがつて以下、われわれが空気塞栓に対して行いつつある高気圧酸素治療について、その概略を記述する。

### 5-1. 高気圧酸素治療の特殊性

大気圧よりも高い気圧環境を人工的に造成し、そのなかで患者に酸素吸入を行わせることによつて、生理的な大気圧環境内での空気呼吸時にはきわめて微量しか存在しない動脈血中の溶解酸素を異常に増量させ、換言すれば異常に高い酸素分圧を有する動脈血をつくることによつて、急性および慢性の、全身的ならびに局所的のあらゆる低酸素状態を迅速かつ適確に改善しようとする酸素療法を高気圧酸素治療という。その名称が示すとおり一種の酸素療法ではあるが、大気圧環境のなかで行われる通常の酸素療法とはまったく異質の酸素療法である。すなわち通常の酸素療法では血液中のヘモグロビンに結合する結合型酸素の増量にその主たる目標がおかれ、血液中のヘモグロビンがすべて酸素によつて飽和されれば、それ以上、結合型酸素を増加させることができない。また大気圧中での酸素療法では肺胞気の酸素分圧の上昇にも一定の限界があり、この限界を越えて肺胞気酸素分圧を上昇させることができないため、溶解酸素の増加にもまた一定の限界がある。したがつて大気圧環境で行われる酸素療法においては動脈血中に増加させることのできる酸素の量には絶対に越えることのできない一定の限界が存在する。

これに対して高気圧酸素治療は、前記のように、動脈血の水分中に溶解する溶解酸素を増量させようとする酸素療法である。周知のとおり気体の液体への溶解は、温度が一定であれば、気体の圧力に比例し、圧力が高いほど溶解量は増加する。したがつて肺胞気酸素分圧の上昇に比例して、換言すれば酸素吸入を行う環境気圧の高さに比例して動脈血中の溶解酸素量は増加し、その増量には限界がない。このように同じく酸素療法ではありながら、高気圧酸素治療は通常の酸素療法とはまったく異なつた特殊な酸素療法であるといふことができる。

### 5-2. 高気圧酸素治療の装置

高気圧酸素治療を実施するためには、人工的に造成された高い気圧環境のなかで酸素吸入を行うことができる装置、すなわち高気圧酸素治療装置が必要である。

高気圧酸素治療装置は、使用の主たる目的の別などによつて種々の形態の装置が製作されているが、大別すれば患者1名だけを収容する小型高気圧酸素治療装置と、複数、時にはかなり多数の患者を同時に収容し、または重症患者の治療に當つて医師、看護婦その他の職員を同時に収容することができる大型高気圧治療装置とに区分される。

小型装置では、装置を酸素ボンベあるいは中央供給酸素源と連結し、酸素を直接に装置内へ送入して装置内の気圧を上昇させる方式がひろく一般的に採用されている。この方式では特別な酸素吸入用の設備を必要とせず、患者は装置内部の雰囲気呼吸していれば、それがそのまま高気圧環境内の酸素吸入になり、構造が単純で操作も容易であり、設置のためにも広い空間を必要としないなど、多くの利点があり、価格も大型に比較すれば低廉であるなどの理由のため広く普及している。しかしこれらの利点はその半面、また問題点ともなるものであつて、一度に1名の治療しか行けない小型それ自体に由来する制約などのほか、装置内部に酸素を送入して加圧するため火災予防の見地からの配慮が必要とされ、内部に収容された患者の生体情報も心電図および脳波など最小範囲に限定される<sup>3)</sup>などの制約をうけざるをえない。加えて重症患者であっても患者だけを装置内に密閉しなければならぬため、異常事態の突発ある

いは症状の急変などへの遅滞のない対応などにも困難な問題が残されている。

これに反して、大型装置では構造は著しく複雑化し、これに伴って操作も煩雑となり、またその設置に要する空間や付帯設備が巨大化することなどは避けられず、小型装置の利点を裏返した問題点が指摘されるが、半面、装置内部の昇圧は高圧空気によって行われるため火災予防のためにそれほど大きな配慮を必要としないで、さまざまな診療行為を大気圧環境内におけると同様に安全に行うことができる。また重症患者の治療時には患者だけでなく医師あるいは看護婦その他の職員も同時に装置内に収容し、高気圧酸素治療中も必要に応じてあらゆる処置を行うことができる。このように大型装置には治療装置としてより秀れた数多くの特性があるので、もし可能であれば、重症患者の治療の場合には大型装置を使用することがより望ましいと考える。

大型装置の1例として、図1にわれわれの高気圧治療装置の俯瞰図を示した。本体は直径5m、長さ9m、内容積150m<sup>3</sup>の横置型の耐圧鋼製円筒で、この図の左端に装置内部への入口がある。装置の内部は左側の準備室的な機能をもった副室と、手術室ないし治療室として使用される右側の主室とに二分された複室構造としている。この複室構造によって、主室が加圧されたままの状態においても、副室の気圧を昇降させることによって外部から主室へ入室し、あるいは主室から外部へ退出

することを可能とした。

副室にはまた高気圧環境内での滅菌水による手指洗浄区画および長時間の装置内滞在時に備えるサナタリ区画などを設け、さらに血液ガス分析を高気圧環境内で行う区画もこのなかに設け、主室の機能を補助する空間とした。

主室は、図2、および図3にみられるように天井・床間高2.8m、床面積約20m<sup>2</sup>の手術室としての内装を施し、心臓外科および脳神経外科などの高度の水準の手術を含むあらゆる手術を高気圧環境内で行うことを可能とするよう、現代的な手術室として必要と考えられる設備と機器とを完備した。手術台、无影灯および麻酔器などは、すべて、高気圧環境内での使用という特殊な条件に耐えることができるように、われわれが新しく開発した特殊仕様の機器である。これらの設備・機器はまた、重症患者に対する救急の高気圧酸素治療の場合にもきわめて有用で、大型装置を高気圧重症治療室 hyperbaric I.C.U. として活用するために十分な機能を発揮している。

### 5-3. 高気圧酸素治療の治療条件

高気圧酸素治療を実施するためには、それぞれの疾患にもっとも適当する治療条件、すなわち患者を高気圧環境に収容しておく治療時間、その疾患治療のために必要とされる治療圧力値、大気圧から治療圧力値まで昇圧する時間すなわち加圧速度および治療圧力値から大気圧まで復帰させるための減圧プログラムなどの選定ならびに治療の反

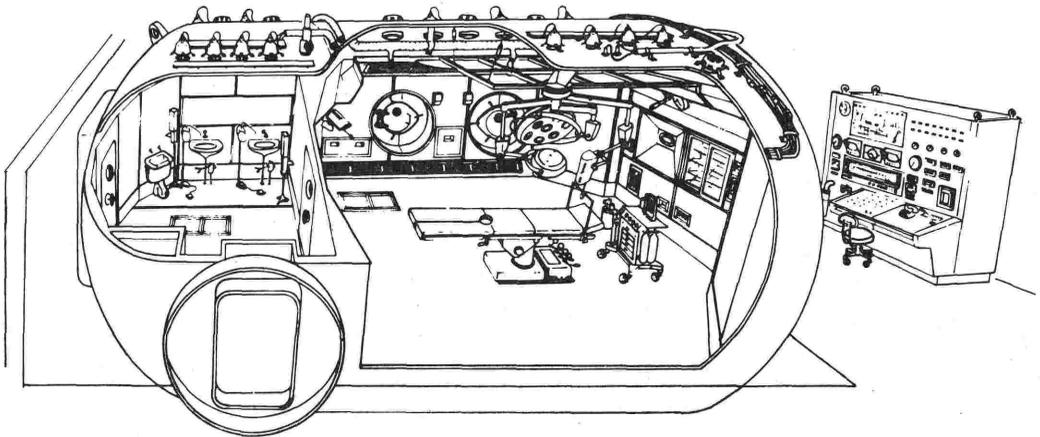


図 1. 大型高気圧治療装置の内部構造

左の副室(準備室)と右の主室(手術・治療室)との二重構造で、主室を加圧して使用している時も、主室の気圧を変化させずに、主室への出入を可能としている。

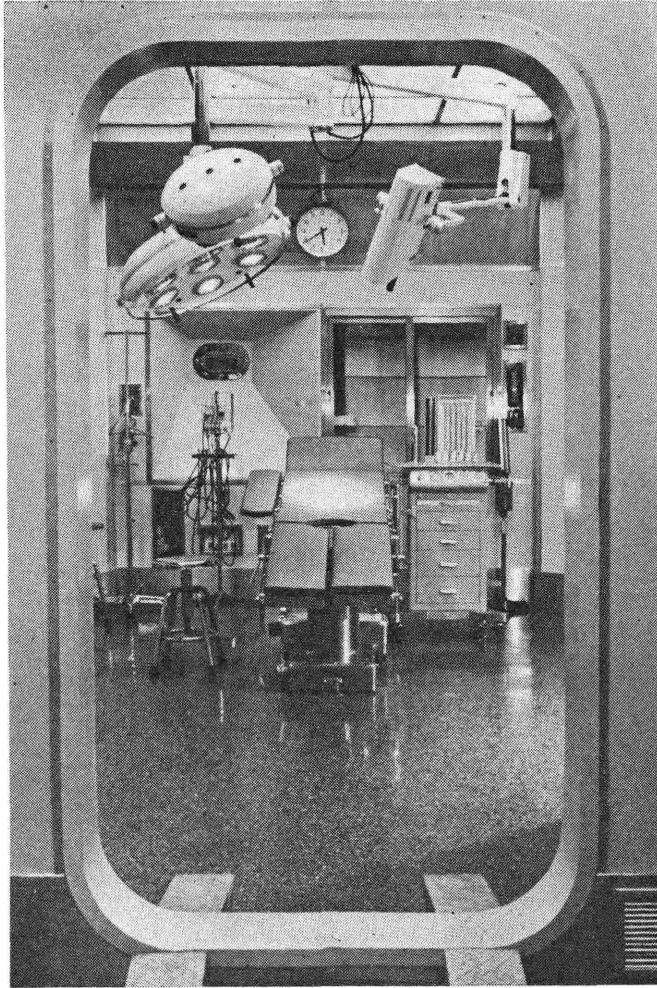


図 2. 大型高気圧治療装置の副室からみた主室の内部

復頻度の決定などを行わなければならない。

初期の臨床経験に乏しいあいだ、長短さまざまな治療時間ならびに比較的低い圧力値からかなり高い圧力値までの種々の治療圧力値の組合わせによって治療が行われたが、数年間の試行錯誤とそのあいだの臨床経験の集積によって、現在では大多数の患者に使用する基本的な治療条件として図4に示される2種類の治療条件が確立されるにいたった。

図4の左側は2絶対気圧（大気圧は1絶対気圧、大気圧+1絶対気圧の意味。以下、絶対気圧 atmosphere absolute をATAと略記）の治療圧力値による全体で75分を要する治療条件で、右側は3ATA・90分の治療プログラムである。これらとは別に時には3.8ATA・120分の治療条件

も使用されるが、日常臨床のためには前記の両者では十分であると考えている。空気塞栓などの重症例の治療の場合には、当初は、2ATA・75分および3ATA・90分の治療を1日各1回、連日の条件によって行い、以後は症状の変化などに対応して治療条件を変更する方針によっている。

#### 5-4. 高気圧酸素治療の空気塞栓に対する

効果<sup>5-8)</sup>（本項の記述中の症例No.については表3および4を参照）

自験症例の27例の全例に対して、高気圧酸素治療を中心とする治療を行った。その成績を表5に、主として治療開始までの時間と治療成績との関係について要約した。この表では脳空気塞栓と肺空気塞栓を区分してはいないが、これまでの記載に

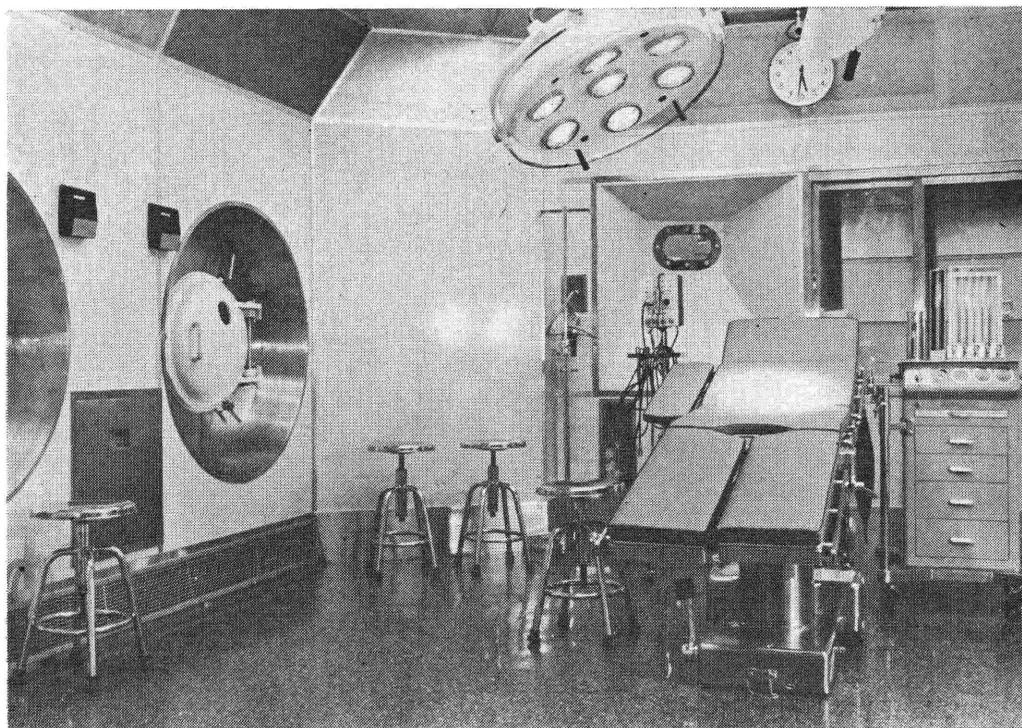


図 3. 大型高気圧治療装置の主室における設備と機器

左側の壁面の円形の部分は、主室を加圧して使用している時、主室の気圧を変化させずに物品を出入させる設備。

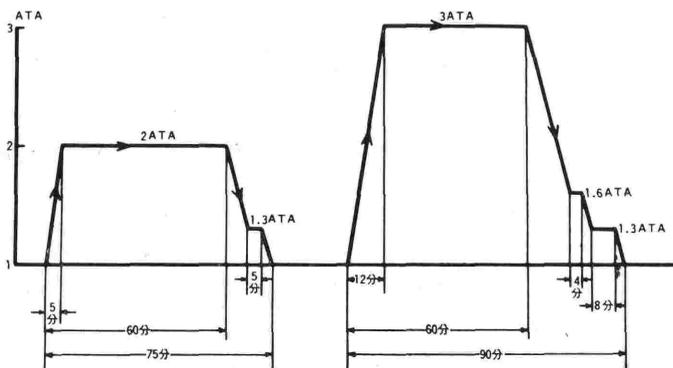


図 4. われわれが常用する高気圧酸素治療の治療条件

よっても明らかなように、脳動脈造影および開心術を契機とする全例ならびに血液透析例中の治療開始までの時間が25時間および40時間の2例、計14例が脳空気塞栓であって、血液透析の残る8例、座位開頭術の4例と頸部手術中の1例を合わせた13例が肺空気塞栓であった。

脳動脈造影を契機とした5例中、空気の動脈内への流入が確認され、その直後から意識喪失その

他の典型的な諸症状を呈しながら、遠隔地からの搬送に時間を要し、治療開始までに30時間を要した症例No. 5および視力障害を主症状とし、意識喪失などがみられなかったために他の検索が優先された結果、発症19時間後に治療が開始されたNo. 3の2例は治療開始の遅延した症例であるが、傍俸にも高気圧酸素治療によって症状は完全に消失した。むしろ発症後2～4時間のあいだに治療

表 5. 空気塞栓症例に対する高気圧酸素治療の治療開始までの時間と治療成績

原因・契機	症例数	治療開始までの時間	治療成績		
			全治	軽快	死亡
脳動脈造影	5例	4～30時間	4例	1例	0例
開心術	7	6例: 20～27	2	1	3
		1例: 120	0	1	0
血液透析	10	2例: 20～25	2	0	0
		7例: 0.5～6	6	0	1*
		1例: 40	1	0	0
座位開頭術	4	2～5	2	0	2
頸部手術	1	24	1	0	0
計	27		18	3	6

\* : 搬送中心停止

の開始された3例中の1例, No. 1では右片麻痺, 言語障害などを後遺症として残し, 総頸動脈などにおける壁在性血栓を造影操作によって遊離させた脳血栓塞栓の可能性をも否定できないと考えられたほかは, すべて全治と判定され, 治療開始までの時間が治療成績に及ぼす影響があまり大きくないことを示す結果をえた。

開心術関連の症例では, 空気塞栓を最初に示唆した症状は, 全例, 意識障害であったが, 前にも記したとおりこれらの症例が心臓腔内の気泡遺残または体外循環回路からの空気の送入などの確認された症例ではなかったため, 当初は空気塞栓の症状とは考えられず, 体外循環の影響なども相加した全身麻酔からの覚醒遅延と考えられた。その結果, 高気圧酸素治療の開始が著しく遅れ, 大部分の症例が術後一昼夜内外を経過して初めて治療をうけ, さらにNo. 13では, 術後の血行動態が不安定で移送も躊躇されたため, 術後5日後, ようやく治療が開始された。

7例中, 4例を救命することができたが, 3例は死亡した。

救命4例中, 症例No. 11は症状をまったく残さない全治, No. 14は動作性能力に若干の障害を遺した略全治, No. 10は精神機能は完全に回復させたが左下肢に運動機能障害を残存, また治療開始が6日目になったNo. 13は左上肢運動機能障害と記銘力障害を残し, No. 10とともに軽快に区分した。死亡3例中, 症例No. 8は閉胸中に一過性の心停止を惹起, これが予後に大きく影響, 術後40

時間で再度, 心拍停止をきたし, 蘇生できなかった。No. 9は術後血行動態が安定せず, 多量の昇圧剤によって辛うじて血圧を維持したが高気圧酸素治療に反応せず, 術後48時間から心室細動を繰り返し, 90時間後に除細動不能に陥った。No. 12は不安定な血行動態に加えて全身痙攣が重積, 鎮痙剤に反応せず, 大量の筋弛緩剤投与によってようやく鎮痙した症例で, 6日後に死亡した。3例とも低心拍出量症候群が予後にもっとも大きく関与した重要な因子であったと考えられる。

血液透析に由来する10例では, 初期の2例, 脳塞栓のNo. 6および肺塞栓のNo. 15は, いずれも高気圧酸素治療の効果が周知されない時期の症例で, 種々の対症療法がまったく無効だった後に初めて試みられたため, 発症後それぞれ20および25時間を経過していたが, 倥倥にも2例とも全治させることができた。この2例の結果が関係者に知られた結果, その後の7例は, すべて肺塞栓であるが, 発症30分後ないし6時間のあいだに治療が開始され, 1例を除き, 他は良好な経過をたどった。No. 7は比較的最近の症例であるが, 遠隔地で発生, 40時間後によりやく高気圧酸素治療の行われた脳塞栓で, この例も唯1回だけの治療によって意識の回復をえた。血液透析例中, 唯一の死亡例はNo. 16で, かなり多量の空気が右心腔に充満して循環遮断状態に陥ったものと推定され, 直後から脈拍の触知および血圧測定が不能となり, 発症20分後, 当院への救急車中で心停止, 2時間後に一旦は心蘇生をえたが, 18時間後に死亡した。

座位開頭術中に発生した4例は、全例、空気の流入が確認され、その結果、2ないし5時間後には治療が開始されているが、2例を救命したに止まった。死亡2例はいずれも流入空気量が多く、No.24は術中に心停止、心室細動を呈し、正常調律に回復するまでに20分、血圧回復までに50分を要した。またNo.25では少量の空気流入を数回繰り返した後に CVP カテーテルから 80ml 以上の空気を吸引除去したほどの大量塞栓を続発したものと術中記録から推察され、循環動態の安定までに90分余を要し、両症例ともこの間の低酸素症によって中枢神経系に非可逆性変化を惹起したと推定される症例であった。

頸部手術例は、術後、次第に低酸素症が進行、麻酔から一旦は覚醒したが、12時間後から意識障害を呈し、20時間後には左片麻痺が出現、二次的に脳塞栓を続発したことが疑われ、24時間後ようやく高気圧酸素治療が開始された症例で、全治させることができた。

これらの結果からみて、治療開始までの時間の長短が高気圧酸素治療の効果に与える影響が大きいものではなく、かなり遅れて治療の開始された症例においても、かなりの高い確率をもって、きわめて秀れた効果を期待することができると考えてよいと思われる。

表6には病型別にみた治療成績を示した。肺空気塞栓の成績には及ばないまでも、脳空気塞栓においても全治率がかなり高いことは注目されるべき

である。放置すれば、かりに生命は救いえたとしても、植物化の可能性の大きいこれらの症例を完全に社会復帰させることができた成績は高気圧酸素治療の効果の大きさを証明する事実であるといえることができる。

5-5. 空気塞栓に対する高気圧酸素治療の奏効機序<sup>4)</sup>

空気塞栓に対する高気圧酸素治療の奏効機序は三段階に区分される。

第一の機序は、空気による再圧療法の奏効機序と同様、環境気圧を上昇させることによって血管内の気泡を圧縮し、気泡内圧を環境気圧と等しい圧力値にまで上昇させ、このことによって気泡の血液中への再溶解を促進しようとする機序である。第二の機序は、高気圧環境内での酸素吸入によって、血液の窒素分圧を迅速に極限まで低下させる。このことによって窒素を主成分とする気泡の血液への溶解を促進する機序である。空気による再圧療法では、一面、気泡内圧の上昇によって気泡の血液への溶解を促進しようとするものの、他面、高気圧環境内での空気呼吸によって血液中への溶解空気ひいては溶解窒素量が増加し、血液の窒素分圧上昇を招来して気泡の血液への溶解を減殺する機序を伴っている。高気圧酸素治療が、空気塞栓に対しても、また冒頭に記したように減圧症に対しても、より秀れた効果を発揮する理由のひとつはここにある。第三の機序は高気圧酸素治療の低酸素症改善効果である。脳空気塞栓では気泡が

表 6. 空気塞栓症例に対する高気圧酸素治療の病型別にみた治療成績

病 型	原因・契機	症例数	全 治	軽 快	死 亡
脳空気塞栓	脳動脈造影	5 例	4 例	1 例	0 例
	開 心 術	7	2	2	3
	血 液 透 析	2	2	0	0
	(計)	(14)	(8)	(3)	(3)
肺空気塞栓	血 液 透 析	8	7	0	1*
	座位開頭術	4	2	0	2
	頸 部 手 術	1	1	0	0
	(計)	(13)	(10)	(0)	(3)
計		27	18	3	6

\* : 搬送中心停止

塞栓した動脈の流域には高度の低酸素症が発生する。前記の二機序によって気泡が消失すれば血流は再開するが、この再開血流によって運ばれる動脈血に異常に多量の溶解酸素が存在し、したがって異常に高い酸素分圧を有するため、低酸素症に陥っている流域の脳組織に効果的に酸素が供給され、迅速な低酸素症の改善がえられる。また肺空気塞栓では肺動脈への気泡の塞栓によってガス交換能が障害され、全身性の低酸素症が進行するが、高気圧酸素治療はこの場合にもきわめて有効である。この機序もまた空気による再圧療法には望みえない高気圧酸素治療独自のものである。

空気塞栓に対する高気圧酸素治療の効果は、以上の三機序が相加して発現されるものであると考えられる。

なお最近の趨勢として、減圧症に対する再圧療法についても大きな変革がみられ、従来の空気だけによる再圧療法に比して、酸素と空気とを交互に使用するいわゆる酸素再圧療法が提唱され、これによってより短時間のあいだに、より適確に治療効果を上げることができることが相次いで報告され、甚だしきは、終始、酸素だけを使用する再圧療法さえも提案されるにいたっている。再圧療法における世界のこのような新しい風潮は、一面では、初期にわれわれが減圧症患者にみとめた高気圧酸素治療の卓効が偶然のものではなかったことを示すと同時に、まったく別の分野に属することではあるが、空気塞栓に対してもっぱら高気圧酸素治療を行ってきたわれわれの方針の正当性を支持するものであり、またその奏効機序に対するわれわれの考察が大筋において誤りのないものであることを裏書きするものであると考えられる。

以上、自験例を中心として空気塞栓の概略を要

約した。空気塞栓は、まれに発生する外傷などを契機とする場合を除けば、その多くは医原的な原因または契機によって発生するもので、従来、詳細な記述の比較的乏しかった分野ではないかと考えられる。乏しい経験ではあるが、この総説が多少とも参考になれば望外の幸いである。

なお本稿の記述中、中心静脈栄養の回路から空気を吸引した肺塞栓、血液透析中に発生した肺塞栓、脳動脈造影中に発生した脳塞栓、各1例、計3例の空気塞栓を経験した。肺塞栓2例は全治、脳塞栓は右片麻痺を残す軽快であるが、所見としてとくに新しく書き加えるべきものはなかった。

## 文 献

- 1) Urokinase Pulmonary Embolism Trial, A National Cooperative Study (以下、UPET と略記). *Circulation* (Suppl. II) 47 : II-43. 1973.
- 2) UPET. *Circulation* (Suppl. II) 47 : II-83. 1973.
- 3) 日本高気圧環境医学会 : 高気圧酸素治療の安全基準. 日本高気圧環境医学会雑誌 15 : 42~57, 1980.
- 4) 榑原欣作 : 心臓外科と高気圧酸素. 日本胸部外科学会雑誌 20 : 543~563. 1972.
- 5) 榑原欣作, 高橋英世, 小林繁夫 : 人工臓器合併症としての空気塞栓症およびその高気圧酸素治療の臨床経験. 人工臓器 11 : 196~199, 1982.
- 6) 榑原欣作, 高橋英世, 小林繁夫 : 開心術の合併症, とくに空気塞栓について. 日本胸部外科学会雑誌 30 : 648~650, 1982.
- 7) 榑原欣作 : 空気塞栓症と高気圧酸素治療法. 救急医学7 (3月臨時増刊号) : 87~90, 1983.
- 8) 榑原欣作, 高橋英世, 小林繁夫 : 肺空気塞栓症に対する高気圧酸素治療法の臨床経験. 日本胸部臨床 42 : 283~291, 1983.