坐位手術における空気栓塞

超音波断層心臓モニターを用いて

佐藤 周三・大平 貴之・戸谷 重雄・峯 徹*・佐々木知明*
茅野 真男**・原田 経敬***

Air Embolism during Neurosurgical Operations in the Sitting Position

Efficacy of Real-Time Two-Dimensional Echocardiography

Shuzo SATO, Takayuki OHIRA, Shigeo TOYA, Tohru MINE*, Tomoaki SASAKI*,
Masao CHINO** and Tsunetaka HARADA***

Department of Neurosurgery, Keio University, Tokyo; Departments of *Neurosurgery, **Cardiovascular
Disease and ***Clinical Laboratories, Ashikaga Red Cross Hospital, Ashikaga

Abstract

When a sitting operation is performed, early detection and prevention of air embolism are important. Air flow into the right heart system was monitored by a real-time two-dimensional echocardiograph in combination with a video-recorder. The heart was observed from the apical four chamber view by a detector placed under the xiphisternum and directed towards the base of heart. The echocardiography showed two types of air flow; one was the single-bubble type in which several bubbles flowed from the right atrium to the right ventricle, and the other was the stormy-bubble type in which a great number of air bubbles flowed en masse. The single-bubble type was observed during surgery involving the skin, muscle, or bone, and the air flow in this type could be interrupted by electrocoagulation, bone wax, etc. The stormy-bubble type was noted during surgery involving the muscle or dura mater. The air flow from the dura mater was most frequently observed. Retroflexion of the dura mater and then electrocoagulation would be required to prevent the air flow from the cut end of the dura mater. If electrocoagulation does not control the air flow from the cut end of the muscle, massive muscle suture by thick threads could prevent the air flow. Air flow into the right heart system in a sitting operation was more frequent than has previously been believed, and a small amount of air flow was noted even during minor surgery. Therefore, application of a sitting operation should be carefully undertaken.

Ultrasonic tomographic monitoring of the heart was useful in the early detection of air embolism because of its non-invasive technique and its high sensitivity.

Key words: air embolism, sitting operation, echocardiography

I はじめに

後頭蓋窩疾患や頸髄病変に対しての坐位手術は、術野の確保、出血した血液の排除という点で有用であるが、もっとも恐ろしい合併症である空気栓塞の発生率は平均20%¹⁸⁾、ときには50%⁸⁾と高頻度の報告がなされている。この空気栓塞は、後頭蓋窩疾患の手術に続発するだけではなく、下

垂体への transsphenoidal approach¹⁵⁾の際や、頭部固定器の head pin 部位からの空気流入による発生例¹⁾も報告されている。空気栓塞は pulmonary edema を発生させ^{4,11)}、致命的な事態を引き起こす可能性が大である。坐位手術における空気栓塞の問題は、従来から主として術中管理という点で、麻酔科的立場で論ぜられ、空気栓塞の早期発見とその処置について検討されてきた。今回、我々は脳神経外科

慶応義塾大学脳神経外科 *足利赤十字病院脳神経外科 **同循環器科 ***同中央検査部

Request reprints to: S. Sato, M.D., Department of Neurosurgery, Keio University, 35 Shinano-machi, Shinjuku-ku, Tokyo 160.

受稿 1981年9月8日 受理 1982年6月23日

Fig. 1 Toshiba real-time two-dimensional echocardiography (SSH-11A).

的立場より, real time two dimensional echocardiography を用いて, できるだけ早く空気流入を発見し, 空気の流入部位, 流入量と手術操作との関係のみきわめた上で, すばやく空気栓塞の防止を行うことに成功したので報告する.

II 対象と方法

対象は, 坐位または側臥位手術を行った後頭葉動静脈奇形1例, 後頭蓋窩腫瘍1例, 頸髄疾患1例である. なお空気の流入がみられた場合は, 術前に心腔内に挿入留置したスワングアンツカテーテルより空気の吸引を試み, このスワングアンツカテーテルを用いて, 術後に発生しうる肺水腫に対して対処した.

流入した air bubble の発見は, 東芝電子走査形超音波診断装置 SSH-11A を用いて, real time two dimensional echocardiography と videorecorder を併用し検討を加えた (Fig. 1). Air bubble の観察は心臓内で行い, 剣状突起下より心基部にプローベを向けた apical four chamber view 法を用いた (Fig. 2). 個体差によるエコー上のアーチファクトを除くために, 手術前に術中と同様の体位を患者にとらせ, プローベ接触部位にマーキングを行った. 手術中は, 空気の流入が予測されるような手術操作を行うときは, 連続的に real time two dimensional echocardiography によるモニタリング (Fig. 3) と, videorecorder による連続記録を行った. また術前, 右肘静脈よりスワングアンツカテーテルを挿入し, 心拍出量, 肺動脈圧, 右房内圧, 中心静脈圧を測定し, 肺血管抵抗, 全身血管抵抗を計算し, 術後の全身管理のためのコントロール値を求めた. これは, 空気栓塞発生後に発症しうる肺水腫の際の全身管理に備える

Fig. 2 Apical four chamber view.

Fig. 3 Monitoring of air embolism by real-time two-dimensional echocardiography in the sitting position.

ためである. 前述の測定値を得たのち, スワングアンツカテーテルの先端を右室流出路に留置し, 術中 echocardiography にて空気流入がみられた場合は, スワングアンツカテーテルより空気の吸引を試みた.

III 結 果

術前のコントロールの写真や, 術中, 空気流入がみられないとき, また空気流入が十分にコントロールされているときには, 右下に右房, 上方に右室, 中央に心房中隔, 心室中隔が位置し, 弁や心筋, 心房中隔, 心室中隔が, 心拍動に一致して動的に動いているのが観察された (Fig. 4). 空気流入時の心エコーの検討から, 空気流入の型には, 右房から右室へかけて1~数個以内の air bubble の流入のみみられる single bubble type (Fig. 5) と, 大量の air bubble が一塊となって流入する stormy bubble type (Fig. 6) とが観察された. Fig. 5, 6 のごとく静的な写真でみると, air bubble の同定は若干難しいが, 実際のテレビモニターでは

IVS : interventricular septum RV : right ventricle
IAS : interatrial septum RA : right atrium
TV : tricuspid valve LV : left ventricle
MV : mitral valve LA : left atrium

Fig. 4 Preoperative echocardiogram.

air bubbleが明るい小粒子となって、右心房から右心室へ渦状に移動していくため、その同定は比較的容易であった。

<手術操作と空気流入の関係>

皮膚切開：Fig. 5のごとく、single bubble typeのair bubbleが、皮切開始とともに一過性に観察された。もし連続的流入を認めた場合は、創周囲の皮膚の圧迫や皮膚クリップの装着で、air bubbleの流入は停止した。

筋膜、筋肉切開：数個のair bubbleの流入がみられるsingle bubble typeを示すこともあったが、大量のair bubbleが一塊となって流入するstormy bubble typeを示す場合もあった。Single bubble typeを示すときには、筋肉電気凝固や開創器による筋肉圧排によって、air bubbleの流入をコントロールできた。しかしstormy bubble typeを示した場合は、電気凝固のみではair bubbleの流入をコントロールすることは難しく、数回にわたる筋肉のmassiveな結紮によって、初めてair bubbleの流入を防止できた。なお

Fig. 5 Single bubble type echocardiogram.

筋肉を骨から剝離する際にも空気流入が観察された。

開頭、頭蓋骨切開：Air bubbleが断続的に入ってくるsingle bubble typeを示すことが多かった。空気流入箇所は骨表面や骨断端であり、比較的容易に同定できたため、骨ろう塗布や、電気凝固によりair bubbleの流入を比較的簡単に防止することができた。

硬膜切開：Air bubbleの流入が各手術操作の中でもっとも多くみられ、特に後頭下開頭の際にこの傾向が強かった。右房から右室へ向って多数のair bubbleが一塊となって流入する典型的なstormy bubble typeを示した。硬膜切開後に持続的な空気の流入がみられたが、その流入部位が明確に同定できないとき、硬膜切開断端部にwet cotton stripsを貼布し、上から生食水をかけて空気の流入を防ぐ試みを行ったが、空気流入量がやや減るのみで、依然として多量の空気流入が続いているのが観察されることもあった。この場合、硬膜断端の電気凝固と硬膜反転により、air

Fig. 6 Stormy bubble type echocardiogram.

bubbleの流入を停止させることができたが、後者の方法が有効であった。

Brain lesion の剔出、脳内病変の手術操作中には single bubble typeの空気の流入をみることはあったが、脳内の手術操作部位がはっきりとわかっているため、電気凝固により容易に air bubbleの流入はコントロールされえた。

術中空気流入を認めた場合は、術前から心腔内へ留置しておいたスワンガンツカテーテルを用いて空気の吸引を行うことはもちろんであるが、連続的にみられる stormy bubble typeでは、効果はほとんど期待できなかった。

IV 考 察

従来 air embolism の早期診断の方法として、食道聴診器^{11,17)}、Doppler ultrasonic detector⁹⁾、終末呼吸気炭酸ガス濃度(end-tidal CO_2 , F_tCO_2)²⁾、心電図の変化、中心静脈圧、血圧、脈拍、肺動脈圧測定¹³⁾などが報告されている。Englishら⁴⁾によれば、これらのモニターの sensitivity

は、① precordial Doppler ultrasound, ② pulmonary artery pressure の上昇、③ F_tCO_2 の低下の順であるとしている。しかし Marshall ら¹⁰⁾によれば、pulmonary artery pressure がもっとも感度が良いとし、Philip ら¹⁶⁾は Doppler ultrasound がもっとも sensitivity が高いとしており、意見の一致をみえていない。しかしこれらのモニタリングの多くは、空気栓塞のための心肺循環動態の二次的変化をとらえているものであり、術中操作と空気流入の関係を、時間的および量的なものとして観察したものではなかった。Doppler ultrasound は、1968年に Maroon ら⁹⁾が実用に供して以来広く使用されてきたが、これも空気流入による心音の変化をいかに早くとらえるかという方法で、流入量を客観的に把握したり、手術操作との関連を検討するのには不十分なものであった。これらの不備な点を解決するため、我々は real time two dimensional echocardiography を用いて心臓内の air bubble の発見を行った。超音波心臓断層法の基礎は、1967年 Ebina ら³⁾によって、従来のMモード超音波心臓断層法に代って、極近接水浸法を用いた高解像力の機械的走査法が開発されることによりつくられた。その後、高速度走査法の発展により real time の観察が可能となり、比較的最近になって実用化した。我々はこの心臓内断層法の real time という特性を生かし、心臓内の air bubble の検出に応用してみたが、従来のモニターと比べても感知性能は非常に高く、実験的にも、動的なごく小さい single air bubble でも検出可能であった。坐位手術にて air bubble が流入した場合、約2秒で心腔内に達するため、この real time の特性を用いることによって、air bubble をただちに検知することができ、手術操作と空気流入との関係が容易に把握できた。このため、すばやく空気流入を防止する操作を行うことができた。

坐位手術における空気流入は、些細な手術操作でも空気流入が認められたが、従来の報告でも、右房と open vessel の較差が存在すれば空気は必ず流入すると報告されている^{12,15)}。今回の我々の経験でも、この較差が存在すれば、後頭蓋窩病変や頸髄疾患に対する側臥位手術でも空気が流入することがわかった。

空気流入の型には、single bubble type と、大量の空気の流入のみられる stormy bubble type とが観察され、single bubble typeには、持続的な流入を示す型と、一過性の流入を示す2つの型がみられた。Table 1 に手術操作と空気流入の型の関係、およびそれに対処すべき手術手技を示した。Single bubble type の空気流入がみられるのは、皮膚、筋肉、骨表面や骨断端、脳病変の手術操作中であるが、一時的なものであれば特に処置は不用で、自然に空気流入の停止をみた。しかし持続的であれば電気凝固、骨ろう塗

Table 1 The relationship of air embolism and operative procedure

	Type	Operation area	Operative treatment
Single bubble	transient	skin, muscle, bone, brain,	none
	continuous	skin, muscle, bone, brain,	bone wax electrocoagulation
Stormy bubble		muscle	reflection of dura
		dura	electrocoagulation massive muscle suture

布、筋肉結紮などの手術操作を行うことが必要である。

Stormy bubble type を示すのは、筋肉と硬膜の手術操作中に多くみられ、特に硬膜切開時の空気流入が強く、諸家の¹¹⁾報告とも一致した。これは、硬膜の静脈は硬膜切開後もその構造上 open vessel の状態を保ちやすいため、他の組織より空気流入が多くなるものと考えられる。その対策としては、硬膜断端よりの空気流入を防ぐためには、断端の電気凝固を行うよりも硬膜反転を行うほうが時間的にも早く、また、容易に air bubble の流入を防止することができるので、まず硬膜を反転させたのちに断端の電気凝固を行うべきである。筋肉断端からの空気流入量は症例により多少の差があるものと考えられるが、多くは電気凝固や開創器による筋肉圧排によりコントロールすることができた。同操作を行っても空気の流入が持続する場合は、massive に筋肉を結紮することによって空気栓塞を防ぐことができた。従来、空気栓塞の予防として、術野を生食水や wet cotton strips で覆うべきであると言われていたが、菊田ら⁷⁾も効果が無かったと報告しているように、stormy bubble type の空気の流入がみられたときに、術野を生食水と wet cotton strips で覆ってみたが著明な効果はみられなかった。

Stormy bubble type の空気流入がみられたときに、術前に挿入したスワングアンツカテーテルより空気の吸引を試みたが、ほとんど吸引することはできなかった。Stormy bubble type の空気の流入が持続的にみられたときは、スワングアンツカテーテルより 2 ml から最高 20 ml の空気の吸引が行われた。もちろん、流入した空気がすべてスワングアンツカテーテルより吸引される訳ではないが、緊急の処置としては有用であると考えている。空気吸引だけの目的には、肺動脈カテーテルが有用¹⁰⁾と思われるが、real time two dimensional echocardiography を用いることにより空気栓塞の早期発見が可能であるため、スワングアンツカテーテルの術後全身管理に対する有用性を考慮し、我々は肺動脈カテーテルは用いず、スワングアンツカテーテルを使用してい

る。連続的にみられる stormy bubble type や、連続的 air bubble の流入のみられる場合は、カテーテルを用いて流入した空気を吸引することはほとんど効果がないことがわかった。

空気栓塞に対する麻酔科的処置としては^{12,18)}、両側頸部静脈の圧迫、人工呼吸器による PEEP⁸⁾の使用、antigravity suit の使用¹¹⁾、純酸素の吸入³⁾、右房カテーテルよりの空気の吸引⁷⁾、体位変換により、手術野を心臓より低位置にすることなどが行われているが、満足すべき結果を得ていることは少ない。したがって今回我々が報告したように、空気流入をすばやく発見し、手術操作によって空気流入をできるだけ早く防止して、大事に至らないようにすることが重要である。

V 結 語

1. 坐位手術における空気栓塞の発見に、超音波断層心臓モニターを使用した。これは sensitivity が高く、流入空気をただちに発見でき、他のモニターで検出しえない single air bubble でも検出可能であった。そのため空気流入原因の検索を早期に行うことができ、手術手技によって空気流入を予防できた。超音波断層心臓モニターは non invasive な空気栓塞の発見法であり、videorecorder を併用することによって、流入した空気を客観的に観察することができ、後日、詳細に手術操作と空気流入の関係を検討できた。Air bubble の流入の型には、single bubble type と stormy bubble type とがあり、臨床的に問題となるのは stormy bubble type であった。

2. 空気栓塞防止のための手術手技として、従来術野を生食水で覆うべきであると言われていたが、実際にその効果は少ない。硬膜よりの空気流入防止には、硬膜の反転が有用であった。

3. 坐位手術にての空気流入は避けえないので、坐位手術の適応は非常に厳密にすべきである。坐位手術を行う場合には、超音波断層心臓モニターと videorecorder との併用モニタリングを含めた可能な限りのモニターを用い、空気流入の早期発見、早期防止をすることが必要である。

なお、本論文の要旨は、第39回日本脳神経外科学会総会(1980年10月、金沢)において発表した。

文 献

- 1) Cabezu M, Gilsanz F, Vaguero J: Air embolism wound from a pin-type head-holder as a complication of posterior fossa surgery in the sitting position. *J Neurosurg* 55: 147-148, 1981

- 2) David H, Peter SS: Detection of venous air embolism. *Anaesthesia* 34: 578-582, 1979
 - 3) Ebina T, Tanaka M, Kosaka S, Unno K, Terakawa Y: Ultrasonotomography for the heart and great vessels. *Jpn J Med Sci Biol* 6: 16, 1967
 - 4) English JB, Westenskow: Comparison of nervous air embolism monitoring in supine dog. *Anesthesiology* 48: 425, 1978
 - 5) Jacob F: Treatment of air embolism. *JAMA* 241: 1681, 1979
 - 6) James AS Jr, David SL, Wade HR: Pulmonary edema following air embolism. *Anesthesiology* 40: 194-196, 1974
 - 7) 菊田 勇, 安達 寛, 竹原好文: 座位手術時の空気栓塞の治療. 麻酔XXVIII: 1070-1075, 1979
 - 8) Maravchick S, Delisler E, Welch F: The use of PEEP to identify the source of cardiopulmonary air embolism. *Anesthesiology* 49: 294-295, 1974
 - 9) Maroon JC, Codman JM, Horner TG, Cambell RL: Detection of minute venous air embolism with ultrasound. *Surg Gynecol Obstet* 127: 1236-1238, 1968
 - 10) Marshall WK, Bedford RT: Use of a pulmonary artery catheter for detection and treatment of nervous air embolism. *Anesthesiology* 52: 131-134, 1980
 - 11) Martin JT: Neuroanesthetic adjunct 1, 2. *Anesth Analg (Cleve)* 49: 577-593, 1970
 - 12) 丸山正則, 伊藤祐輔, 岩根 正: 座位脳外科の麻酔. 麻酔XXIV: 825-831, 1975
 - 13) Maurice SA: Intracardiac catheters in neurosurgical anesthesia. *Anesthesiology* 50: 50-67, 1979
 - 14) Michenfelder JD, Martin JT, Altenburg BM, Rehder K: Air embolism during neurosurgery. *JAMA* 28: 1353-1358, 1968
 - 15) Phillipa N, Albin MS, Chestnut JS: Air embolism during trans-sphenoidal pituitary operation. *Neurosurgery* 2: 39-41, 1978
 - 16) Philip LG, O'Brien RP, Britt WJ: The efficacy of Doppler monitoring for the detection of venous air embolism. *J Neurosurg* 54: 75-78, 1981
 - 17) Smith C: An end-oesophageal stethoscope. *Anesthesiology* 15: 566, 1954
 - 18) 立石春広, 古川哲二: 座位手術と空気栓塞. 麻酔XXII: 1-10, 1972
 - 19) Wilkins RH, Albin MS: Unusual entrance site of venous air embolism during operations in the sitting position. *Surg Neurol* 7: 71-73, 1977
- 〔別刷請求先: 〒160 東京都新宿区信濃町35, 慶応義塾大学 脳神経外科, 佐藤周三〕