

肺空気栓塞症の救急蘇生に関する実験的研究

第一編 静脈内空気注入法について

昭和41年12月22日 受付

信州大学医学部星子外科教室

(主任: 星子直行教授)

石 曾 根 滋 雄

Experimental Studies on Emergency Treatment of
Pulmonary Air Embolism

Part 1. On the Method of Intravenous Air Injection

Masuo Ishizone

Department of Surgery, Faculty of Medicine,
Shinshu University

(Director: Prof. N. Hoshiko)

緒 言

空気栓塞症の研究は1820年 Dupuytren がはじめて頸部手術の急死の原因に空気栓塞症が関与していることを研究して以来、今日に至るまで幾多の業績が報告されている。

近年心臓外科の進歩とともに体外循環や開心術に伴う空気栓塞症の発生およびその予防が注目され^{①②}, また一方頸部, 頸部, 胸部などの諸手術操作, 交通外傷, 診断や治療目的で行なう体腔内気体注入などにより気体栓塞症の発生頻度も多くなり, 時に急死の直接原因となつた報告も散見される^{③④⑤⑥}。更に急速加圧輸血中にも肺空気栓塞症の危険があり, Dornette & Orth^⑦, Ruesch^⑧, 尾家^⑨らが輸血の過誤による肺空気栓塞死の症例を報告している。

このように気体栓塞症の発生原因は多方面にわたつているが, その多くは偶発事故か過誤によるものであるため臨床報告例は比較的少ない。

偶発事故により急速に大量の気体が静脈系に入り, 肺空気栓塞症を起した場合の救急蘇生および患者管理の問題は, 一度本症が発生した場合すみやかな治療が必要であり, しかも手段を誤ると患者の生命が直接およびやかされるためきわめて重要な問題である。

急性肺空気栓塞症の救急蘇生法に関する文献的検討を加えてみるとほゞ次の如く大別される。

- 1) 開胸, 心穿刺, 心マッサージの問題
- 2) 事故発生直後の体位の問題
- 3) 呼吸管理の問題

心穿刺, 心マッサージの問題については心穿刺により心内気体を排除し肺循環障害を除去せんとする考え

であつて, Kleinschmidt^⑩は脳障害を起す以前に穿刺除去すべきであるとし, Gunderman^⑪は肺空気栓塞症の蘇生法を行なう場合, 機能不全に陥つてしまつたものでは蘇生は不可能であるとし, 心不全に陥る以前に対策をたてるべきであることを述べている。また Nicholson^⑫は気体侵入門や体位に対する対策をたてても回復し得ない場合には循環障害をおこしてから2~3分以内に開胸し, 心穿刺, 心マッサージを行なうべきであるとし, Ruesch^⑬も同様の処置を行ない, 心停止が現われたら開胸穿刺し気体を吸引後心マッサージを行ふべきであるとしている。しかしこのような処置を行なつても成功例は少なく, 山本^⑭の実験ではそのほとんどが心穿刺を行なつても死亡している。

体位の問題に関しても多くの研究報告があり, Mu-sgrove^⑮, Hamby^⑯らは静脈性空気栓塞症の治療に対し左側臥位が有効であるとし, Oppenheimer^⑰も犬の実験で右側臥位, 左側臥位, 背位の三者中静脈性空気栓塞症には左側臥位が最も有効で, 他の二者に比べ2倍近く生存率がよいと報告し, Nicholson^⑱や Ruesch^⑲も同様な意見を述べている。

このように文献的に追求してみると開胸, 心穿刺, 心マッサージおよび各種体位の問題はほぼその結論が出されているが, 呼吸管理の面ではまだ多くの疑問が残されている。

肺空気栓塞症に対する呼吸管理特に人工呼吸の役割については Durant^⑳, Nicholson^㉑, Ruesch^㉒らは気道の確保と100%酸素による人工呼吸をすすめているのみで, いかなる方法による人工呼吸が最も有効であるか, またいかなる条件で行なつたらよいか明らか

かでない。このことは空気栓塞症に関する適切な実験方法がなかつたことにも原因している。しかし著者はこの実験方法に多用途監視記録装置を応用し経時的な観察により病態生理学的に本問題を追求した。

肺空気栓塞症の救急蘇生の観点から問題になるのは急激に大量の空気が静脈系へ移行した場合で、緩徐に大量の空気が移行してもあまり問題にならない場合が多い⁽¹⁷⁾。急激に大量の空気が静脈系に注入された場合注入量と注入速度とがその動物の生死を左右する。これを実験的に研究する場合その注入方法が重要な問題となる。

この問題について諸家の研究報告では致死量に近い量を一気に注入し、それによつておこる動物の反応態度を観察しているものが多い⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。このような方法では短時間のうちに生体の反応を観察せねばならず、特に刻々変る呼吸機能の変化を正確にとらえることが困難である。それ故著者はできるだけ大量の気体を注入し、かつ比較的観察時間が長く、動物に各種の実験操作を加えた場合有意の差が出やすく、しかも急速空気注入の状態に近い注入方法および注入速度を知る目的で本実験を試み、いささか新知見を得たので報告する。

実験方法

実験動物には8.0~12.9kgの雑種成犬26頭を実験予定日の数日前より観察し健康犬のみを使用した。また実験開始4~5時間前から動物を絶食させた。

麻酔方法は比較的長時間持続性の静脈内麻酔剤Pentobarbital Sodiumの0.03gm/kg前後を下肢静脈より注入し、麻酔深度をⅢ期Ⅰ相またはⅡ相に保てるよう舌下静脈より追加注入して調節した。ついでカフ付気管内チューブを挿入して気道を確保したのち、空気注入実験を行なつた。

実験装置は脳波記録装置として、日本光電製4素子インク書き多用途監視記録装置を使用した。使用電極は皮下注射針より作つた頭皮電極を使用⁽²⁰⁾、誘導法は前頭部よりの単極または双極誘導法を用いた。

心電図記録装置には脳波との同時記録の場合上記監視記録装置を使用し、また一部の実験例では熱ペン式福田心電計を使用した。動脈圧はカテーテルを大腿動脈より挿入し電気血圧計のトランスジューサーに連結して測定した。

呼吸曲線記録装置にはキモグラフィオンを使用し、気管内チューブにT字型コネクターを接続させ、一端をゴム管を介したタンブールへ連結して描記し、更に血圧曲線は大腿動脈より誘導したカテーテルを水銀マ

ノメーターに連結して同時記録した。

空気注入にはあらかじめ実験犬の大腿静脈を露出し、これに内径1.0mm長さ120cmの心臓カテーテルを挿入し、その先端が胸腔内大静脈に位置するよう固定した。空気注入方法は、50cc注射器を用い、あらかじめ体重より算出された注入量、注入速度をもつて持続的に一定速度で空気を注入し続け、実験動物が死亡するまでに要した時間(注入開始より死亡までの時間)を生存時間とした。この場合注入速度は0.7cc~6.5cc/kg/minの範囲内の任意の速度をとつて実験を行なつた。

実験犬が死亡したと判定するのに、その動物の呼吸脳波、動脈圧の三者を連続的に観察して決定した。すなわち動脈圧がほぼ30mmHg前後に下降し、呼吸は停止し、しかも脳波が平坦波となる時期をもつて死亡したと判定した。心電図学的にはこの時期を過ぎてもなおQR-Complexがみられるものもある(図1, 2)。

実験成績

生存時間

犬26頭を使用して行なつた実験結果は表1に示す如くである。

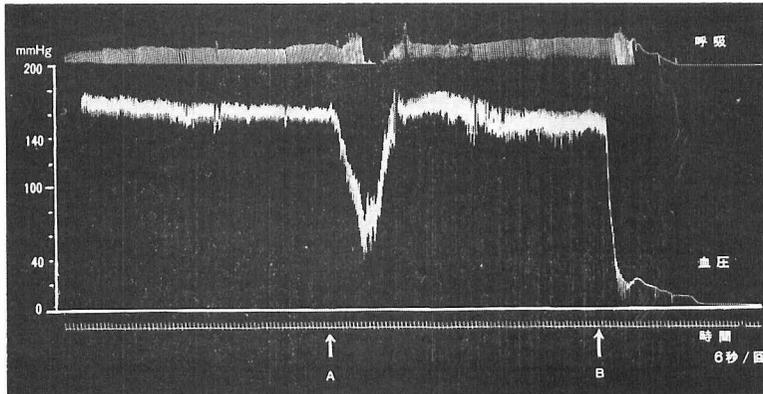
注入速度0.7~6.5cc/kg/minすなわち注入量の最大は1032cc、最小は77ccとなつていて生存時間の最長100分、最短1分30秒となつている。この結果を縦軸に注入速度、横軸に生存時間をとりグラフにしてみると、図3に示す如き分布図を示し、2.0cc/kg/min前後の注入速度を越えるか、またはそれ以下になると両者とも不安定な変化を示す。

換言すれば2.0cc/kg/minの注入速度前後の値が一番変動が少ない。また、表1に認められる如く注入速度を増すほど、致死量である全注入量が減少する傾向がある。

動脈圧、呼吸、脳波、および心電図の変化

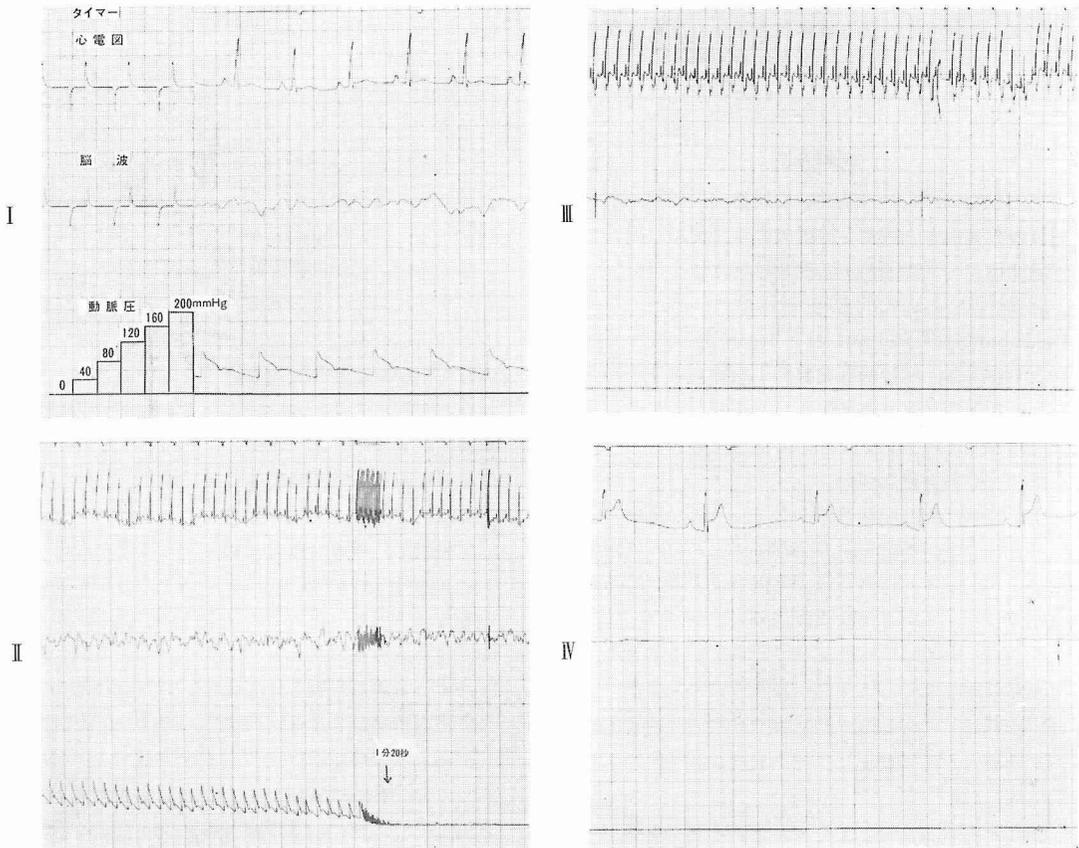
注入速度3.0cc/kg/minまでの急速注入時の動脈圧の変化は著明で、注入後よりほぼ直線的に下降し、同時に強い過呼吸が現われ、動脈圧が50mmHg前後に下降する頃急に呼吸停止を起す。脳波の変化では、呼吸停止直前頃から振幅が減少し、呼吸停止後30秒から平坦となりついに消失する。注入速度2.0cc/kg/min前後では、動脈圧は徐々に下降線を描き中等度の過呼吸が現われ、死亡前数分頃から比較的急激に下降し脈圧が消失する。脳波もほぼこれと一致して消失する。注入速度1.0cc/kg/min以下では、動脈圧は不定の変化を示し、時に術前値より高くなつたり、脈圧が増加

図 1 呼吸および動脈圧キモグラム



(A) は空気 5 cc/kg/min の注入速度で30秒間注入後中止し、致死量に達せず回復している。
 (B) は(A)の実験後呼吸が安定してから、5 cc/kg/min の注入速度で死亡するまで注入了。
 いずれの場合も動脈圧が急激に下降し30秒後にほぼ呼吸運動が停止している。

図 2 心電図, 脳波, 動脈圧曲線

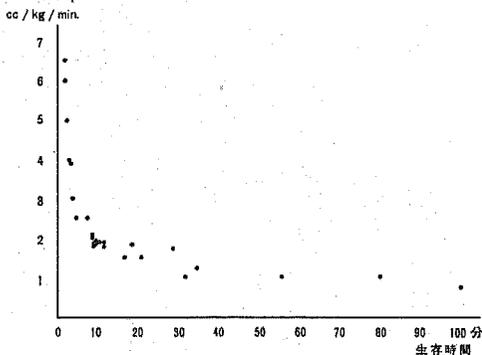


空気注入速度: 6cc/kg/min タイマー: 毎秒1回 記録紙速度: I IV: 5cm/Sec, II III: 1cm/Sec
 I 空気注入前, II 注入後1分20秒, 血圧20mmHg前後に近づく, III 1分40秒後, 脳波は平坦波となる
 (: 死), IV 2分20秒後, 脳波消失, 心収縮運動は残っている。

表 1 空気注入速度と生存時間との関係

実験動物 番	体 重	注入速度	全注入量	生存時間
No.	kg	cc/kg/min	cc	分 秒
1	9.5	0.7	665	100
2	12.9	1.0	1032	80
3	9.5	1.0	523	55
4	9.2	1.2	375	34
5	9.2	1.0	280	31
6	10.2	1.7	480	28
7	8.7	1.5	261	20
8	12.3	1.8	377	17/ 30"
9	8.3	1.5	199	16
10	11.6	1.9	236	10/ 40"
11	11.8	1.8	220	10/ 40"
12	10.2	1.9	189	10
13	10.4	1.9	178	9
14	9.1	1.9	155	9
15	10.2	1.9	165	8/ 30"
16	10.3	1.8	158	8/ 30"
17	10.4	2.1	175	8
18	10.6	2.0	170	8
19	12.1	2.5	202	6/ 40"
20	11.5	2.5	115	4
21	9.0	3.0	86	3/ 10"
22	9.5	3.9	110	3
23	10.0	4.0	100	2/ 30"
24	8.0	5.0	80	2
25	8.5	6.0	77	1/ 30"
26	10.0	6.5	98	1/ 30"

図 3 空気注入速度と生存時間との関係



することもある。呼吸運動も同様で過呼吸を伴ったりするが代償不全状態に入ると急激に血圧下降をきたし上記状態に陥る。心電図では注入後間もなくS波、T波の増高が現われ右位型を呈し、次いで多くはST降

下、T延長、更に房室ブロックが現われて心停止へと移行する。また同 注入条件でも強い呼吸運動を伴う症例ほど生存時間が延長される傾向が認められた。

総括並びに考按

以上の成績から一定の注入速度で持続的に静脈内へ空気を注入する場合、その注入速度はほぼ2.0cc/kg/min前後の値が最も安定した値を示し、しかも比較的忠実に急性肺空気栓塞症の状態を発生し得ることが認められた。肺空気栓塞症に対するHarkinsら^⑧やOppenheimerら^⑨の従来の研究方法によると注入速度を20~30秒以内に急速に大量の気体を注入しているため1~2分間以内に急激に生体の変化を起して動物は死亡している。それ故この間に救急蘇生法を施し、その効果を監視記録装置で判定しようとしても、細部にわたる観察は不可能である。しかも生存時間の長短でその効果を判定するのではなく、生存か死亡かの割合で効果を判定しなくてはならぬため実験頭数が膨大になり、実験動物として犬を使用する場合に限度がある。

著者はこの問題を解決するため一定の注入量と注入速度で持続的に気体を静脈内注射しその動物が気体注入開始より肺循環障害を起して死亡するまでに要した生存時間の長短により、各種救急蘇生法の効果を判定しようと試みた。このような実験方法はすでにRichardsonら^⑩により試みられてはいるが、彼らが行なつた実験目的は空気注入速度と致死量との関係を知るためのものであつた。著者の行なつた空気注入速度2.0cc/kg/min前後における動物の生存時間はほぼ8~11分の範囲内にありこの範囲内の生存時間は多用途監視記録装置や他の実験器具を使つて動物を観察する場合好都合な時間である。またこの注入速度においては急速大量注入時の各種監視記録結果とほぼ同じ所見が見受けられることや、この注入速度附近での実験数値が比較的安定した値を示すことなどの利点もある。以上よりこの注入速度は急性肺空気栓塞症の状態を示し、しかもこのような実験には、かなつた方法であると考えられる。

結 語

著者は肺空気栓塞症に対する救急蘇生の実験方法として次の如き方法を用い、この方法が実験動物を持続的に観察するのに有利な方法であることを確めた。

1) 持続的に一定速度で胸部下大静脈内に空気を注入し、途中動物に各種操作を加え、死亡するまでの生存時間の長短でその実験効果を判定する場合、本実験

条件にかなつた注入速度は2.0cc/kg/min前後の値が一番よく、比較的安定した実験結果を示す。

2) 空気注入速度が1.0cc/kg/min以下になると動物は相当長時間の持続的肺空気栓塞症に耐え得るが、3.0cc/kg/min以上では急死し、いずれの場合も、それぞれ不安定な値を示す。

3) 注入速度が増加すれば逆に致死量に相当する全注入量は減少する。

4) 呼吸停止、脳波における平坦波の出現などは、強い血圧下降を起さない限り現われない。また心電図上より見た心収縮運動は上記二者の消失より、かなり遅れて消失する。

5) 空気注入速度2.0cc/kg/minは急性肺空気栓塞症の状態を示しうる。

文献は第二編に一括して掲載する。