

# 體外循環중 發生한 大量 空氣塞栓에 대한 上空大靜脈을 통한 一時的逆灌流

— 治驗 2例 —

李載成\* · 孔國英\* · 崔鍾範\* · 崔順浩\*

— Abstract —

## Temporary Retrograde Perfusion via Superior Vena Cava for Removing Massive Air Embolism during Cardiopulmonary Bypass — Two Case Report —

J.S. Lee, M.D.\* , K.Y. Kong, M.D.\* , J.B. Choi, M.D.\* and S.H. Choi, M.D.\*

Massive air embolism during cardiopulmonary bypass is uncommon but serious and often lethal complication. Following this catastrophic event, the immediate institution of retrograde arterial blood perfusion via superior vena cava was made to remove air emboli from cerebral circulation.

This method was performed by removing the arterial perfusion line from aortic cannula and connecting it to superior vena caval cannula. Then, retrograde perfusion at a flow rate of 2L/min via superior vena cava was carried out for 3 minutes. After air returning from the aortic cannula was identified, each line was connected to the cannulae primarily.

In 2 cases who had massive air emboli due to air pumping into arterial line, the postoperative complete recovery resulted from this technique, which was used in conjunction with other therapy postoperatively.

### 緒 論

體外循環중 發生하는 大量 空氣塞栓은 드물지만 그것이 發生한 경우는 치명적인 合併症을 야기할 수 있다. 腦가 가장 침범당하기 쉬운 臟器이고 不可逆의 腦 損傷을 야기할 수 있다.

특히 大量 空氣塞栓이 體外循環중 發生하게 되는 경우 즉시 應急조치를 施行함으로써 死亡을 豫防하거나 永

久的인 神經學的 損傷을 防止할 수 있다.

본 圓光大學校 醫科大學 胸部外科學教室에서는 體外循環중 發生한 大量 空氣塞栓을 上空大靜脈을 통한 一時的 逆灌流를 施行함으로써 空氣塞栓을 除去한 2例를 治驗하였기에 文獻考察과 함께 報告하는 바이다.

### 症 例

#### 症例 I

患者는 23歲 男子로서 勞作性 呼吸困難과 左側 胸痛을 主訴로 入院하였다.

過去歷과 家族歷은 特記할만한 事項이 없었다. 理學的 所見上 心音은 規則的이었으나 grade III/IV度의 부드러

\* 圓光大學校 醫科大學 胸部外科學教室

\* Department of Thorac & Cardiovascular Surgery, College of Medicine, Wonkwang University

1986년 10월 16일 접수

은 收縮期 雜音이 左側 第2肋間緣에서 가장 크게 들렸으며 第2音의 固定的인 分離가 있었고 다른 所見은 正常範圍였다.

血液所見, 尿所見, 一般化學檢査所見은 모두 正常範圍였다.

胸部單純攝影上 特記할만한 所見은 없었으며 心電圖檢査에서는 右心室肥大와 不完全 右脚차단을 보였다. 右心導子法을 施行한 바 上下空靜脈과 右心房的 酸素飽和度 差異가 12~20%였고 카테타가 心房中隔缺損을 통하여 左心房 및 右側 肺靜脈으로 通過하였다.

이상의 所見으로 心房中隔缺損症의 診斷下에 開心術을 施行하였다. 全身麻醉下 胸骨 正中切開로 心臟을 露出시킨 후 헤파린 3mg/kg을 右心房을 통해 注入하고 動脈管은 上行大動脈, 靜脈管은 右心房壁을 통해 上下空靜脈에 挿入하였다. 大動脈 遮斷 후 心筋停止液을 투여하였고 28°C 내외의 低溫法을 併行한 體外循環下에 右心房 切開를 施行하였다. 右心房을 切開하는 동안 氣泡酸化器內 動脈血 서유수준을 不注意하게 감시한 結果로 인해 大量的 空氣가 순간적으로 動脈管을 통해 大動脈을 지나 全身血流內로 들어갔다. 이때 곧바로 動脈캐틀라와 動脈管을 離管시키고 또한 上空大靜脈캐틀라와 動脈管을 連結하고 動脈캐틀라는 開放시킨 뒤 心肺器의 灌流量을 2ℓ/min로 3分동안 유지하였다. 開放된 大動脈캐틀라를 통해 血液과 空氣가 逆流되는 것을 確認한 후 원상태로 灌流캐틀라와 動脈管, 上空大靜脈管을 連結

하고 灌流量을 원래대로 유지한 狀態에서 心房中隔缺損을 矯正하였다(Fig. 1). 體外循環 時間은 50分이었고 大動脈 遮斷時間은 38分이었다.

術後 氣管枝內 挿管과 呼吸器를 이틀간 使用하였고, 左側 胸壁과 左側 팔에 輕微한 경련이 보였으며 左上胸壁에 點狀出血이 나타났다. 空氣塞栓과 右側 腦半球의 出血 診斷아래 thalamonal, pentothal, mioblock, valium 등으로 진정을 시키면서 mammitol 과 oradexon 을 投與하였다. 術後 3일째 點狀出血은 消失되고 左側 팔목 움직임도 호전되었다. 患者는 術後 20일째 完全히 回復되어 退院하였으며 手術後 6個月이 지난 現在 까지 별 問題없이 추적관찰 중이다.

## 症例 II

患者는 17歲 男子로서 運動時 呼吸困難과 青色症을 主訴로 入院하였다. 過去歷上 잦은 上氣道 感染과 어릴 때부터 先天性 心臟疾患이 있다는 것을 알고 있었다.

理學的 所見으로는 中度的 青色症과 棍棒上指(Clubbing finger) 多指症이 觀察되었으며 左胸壁은 突出되어 있었고 心搏動波型을 認知할 수 있었다. 心聽診上 grade IV/VI의 거친 收縮期 雜音이 胸骨左緣에서 聽取되었고 胸骨左緣에서 진전음을 느낄 수 있었다. 呼吸音은 正常이었고 肝 및 비장의 肥大나 腹水所見은 없었다. 血液學的 檢査上 入院당시에 血色素는 20.5 g/dl, 白血球 7000/mm<sup>3</sup>, 赤血球 710 萬/mm<sup>3</sup>, 血小板 22 萬/mm<sup>3</sup>,

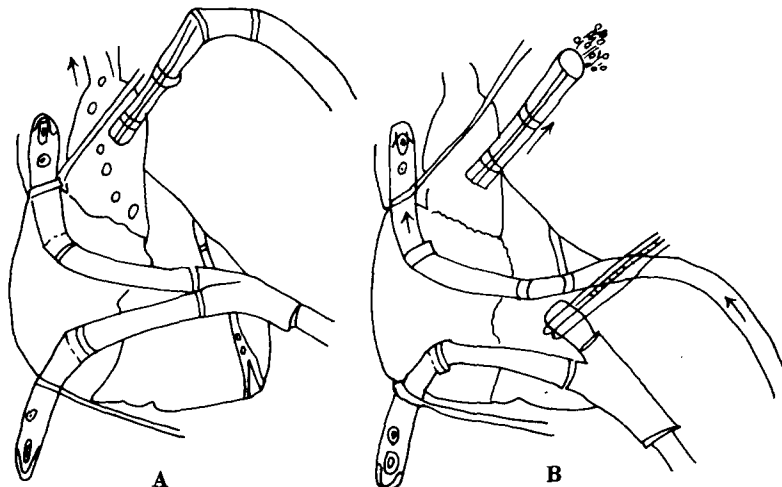


Fig. 1. A, Massive air embolus into the systemic circuit via the aortic cannula. B, The technique of retrograde perfusion into the superior vena caval cannula with simultaneous venting through the aortic cannula.

헤마토크릿 62% 및 赤血球沈降速度는 5mm/hr였다. 血化學的 檢査에서 血清電解質, 肝機能 및 腎機能은 正常이었고 尿檢査도 正常이었다. 單純胸部X-線 寫眞上 心尖部는 거상되었으며 肺血管陰影은 正常 내지는 약간 減小된 形態로 보였으나 兩側 血管陰影의 差異는 없었다. 또한 心電圖上 160°의 우측 轉위와 右心室肥大 所見을 보였다. 心導子術 所見上 左心室과 大動脈의 酸素飽和度가 各各 90%와 87%로 非飽和된 狀態였고 右心室과 肺動脈사이에 酸素分壓상승이 거의 없어 一側性 短絡이 있음을 알 수 있었으며 右心室과 肺動脈 사이에는 약 60mmHg의 收縮期壓 差異를 보이고 있었다. 또한 Patent Foramen Ovale를 통해 카테타가 右心房에서 左心房으로 자유로이 通過되는 것이 觀察되었다. 右心房造影術上 右心房에서 造影劑가 느린 速度로 消失되었고 兩側 肺血管이 희미하게 보였으며 右心室은 거의 造影되지 않았다.

이상의 所見으로 확실히 4 症候群과 Patent foramen ovale 診斷下에 手術을 施行하였다. 手術은 全身 麻酔下에 胸骨正中切開後 心囊을 切開하여 心臟을 露出시켰다. 中等度の 低體溫下에 完全體外循環을 實施하고 大動脈을 遮斷하여 心停止液을 注入한 後에 右心室 出口部位에 縱切開를 가했다. 縱切開後 右心室에 大量的의 피가 流入되면서 氣泡酸化器의 動脈血 貯留水集이 갑자기 떨어지면서 動脈管을 통해 全身 血液內로 大量的의 空氣流入이 일어났다. 症例 1에서 施行한 바와 같이 造作하고 心肺器의 灌流量을 2ℓ/min로 약 3分동안 維持하였다.

이 때 直腸溫度는 27℃였으며 開放된 大動脈 캐를라로부터 血液과 空氣가 逆流되는 것을 確認한 후 原狀態로 回復시켰다. 右心室流出路는 心囊 및 人造렛치를 利用하여 확장 再建하였으나 肺動脈에서 逆流되는 血液가 너무 많아 手術部位로부터 充分한 吸引이 困難하여서 心室中隔缺損은 봉합하지 못했다. 體外循環 時間은 95分이었고 大動脈遮斷 時間은 80分이었다.

患者는 手術後 10日째 人工呼吸器를 除去할 수 있었고 術後 13일간 Dopamine 補助를 要하였다. 術後 3일째 單純胸部X-線 寫眞上 肺浮腫 樣狀을 보였고 4일째 左側に 氣胸이 나타났으며 術後 약 10일째 이상 所見이 거의 消失되었다. 手術後 特別한 神經學的 所見은 보이지 않았으며 grade IV/V의 거친 收縮期 雜音이 胸骨左緣에서 청취되었다.

患者는 術後 40일째에 退院하였으며 術後 20個月이 지난 現在까지 별 問題없이 追跡觀察중이다.

體外循環中 發生한 空氣塞栓은 左側 肺動脈이 未發達하고 左側肺血管에 부행血流가 增加된 狀態에서 一時的으로 右心室로 大量的의 血液이 流入되어 酸化器의 動脈血 貯留水準이 떨어지면서 大量的의 空氣塞栓이 必然的으로 招來되었다.

## 考 案

體外循環 도중 發生하는 空氣塞栓은 드물지만 그것이 일어나면 致命的인 合併症을 야기할 수 있다.

1960年代에 Nicks<sup>1)</sup>, Siverstein<sup>2)</sup>, Allen<sup>3)</sup> 등의 報告에서는 心臟手術동안 體內 空氣塞栓 發生頻도가 0~11.7%를 보이고 있다. Stoney<sup>4)</sup>에 의하면 1972년부터 1977년까지 375,000 施術에서 心肺器에 관련된 事故로 인해 야기된 損傷이나 死亡은 1000例의 施術中 1例의 비율로 일어났고 이중 動脈管을 통해 일어난 空氣塞栓은 429例였는데 61例가 永久的인 損傷을 입었으며 92例에서 死亡했다고 發表했다.

Mills<sup>5)</sup>는 1971년부터 1979년 사이 3626例의 施術에서 8例의 空氣塞栓을 報告했다. 우리나라에서는 各病院에서 報告한 正確한 統計가 없기 때문에 確實한 頻度を 알기가 어려운 실정이다. 體外循環도중 發生하는 空氣塞栓의 原因은 多樣한데 酸化器의 動脈血 貯留水準의 不注意한 觀察로 인해 不時에 空氣가 流入되는 경우가 가장 많다<sup>4-8)</sup>.

또한 로울러펌프에 벤트나 動脈管이 거꾸로 設置되어 들어가는 경우, 心內吸引이 肺動脈에 깊이 挿空氣가 肺循環을 통하여 左心房으로 들어간 경우, 心停止 동안 貯留된 心臟內 空氣를 充分히 除去하지 못한 狀態에서 心搏動이 갑자기 돌아온 경우, 凝固된 酸化器에서 空氣가 動脈管內에 形成된 경우, 體外循環동안 酸化器가 갑자기 離脫하는 경우, 管과 酸化器의 統合性이 부서지는 경우, 動脈血流를 공급하는 로울러펌프가 加速化 된 경우<sup>9)</sup>, Pulsatile assist device의 파열, 뒤틀린 靜脈管때문에 酸化器로 靜脈流入이 막힌 경우, 펌프에서 나오는 動脈管이 꼬여 動脈管에 空氣가 들어가는 경우, 급작스럽게 靜脈流入을 停止시킨 경우, 血管擴張劑의 使用으로 펌프기사가 이것을 認知 못한 狀態에서 靜脈流入이 떨어지는 경우, 體外循環 停止後 arterial perfusion control knob가 完全히 조여지지 않은 狀態에서 동맥펌프 head가 아주 천천히 돌아가서 空氣가 들어간 경우, 酸化器 自體에 결함이 있는 경우 등을 空氣塞栓이 야기되는 原因으로 들 수 있다.

開心術時 心臟이 大氣에 露出되므로 心臟 各房, 肺靜脈, 大血管에 空氣가 남아 있는데 體外循環 終了時 手術醫師의 기호에 따라 多様な 方法으로 남아 있는 공기를 除去한다<sup>10-14)</sup>. 남아 있는 空氣를 除去하는 方法과 技術이 잘못되어도 空氣塞栓이 일어날 수 있고<sup>15)</sup> 완벽하게 施行되었다고 하더라도 微細氣泡가 血液內에 남아 있을 可能性은 많다<sup>16)</sup>.

空氣塞栓이 일어난 경우 治療方法은 個々の 患者나 病院에 따라 多様하다.

지금까지 研究되어지고 실지로 사용되는 方法과 藥物들을 보면 일단 空氣塞栓이 發生하면 心肺器를 停止하고 患者를 高度의 Trendelenburg 體位를 取하고 腦血管에서 空氣의 逆行排出를 위하여 上行大動脈에 큰 刺傷을 形成하거나 上空大靜脈을 통한 一時的 逆循環을 시키고 體外循環을 回復시킨 후 低體溫冷却을 시행한다. 低體溫時에는 動脈血流과 動脈壓이 減小되어도 血液과 組織에서 空氣의 溶解度를 增加시켜서 塞栓크기를 減小시킨다. 따라서 虛血狀態가 일어나는 동안에 腦代謝를 保護하고 腦空氣塞栓 後에 오는 腦浮腫을 減小시킴에 따라 腦機能 장애를 極小化할 수 있다. 본 胸部外科에서 施行한 上空大靜脈을 통한 一時的인 逆灌流에 對한 文獻은 거의 없으며 Mills에 의하면 空氣塞栓이 大量으로 發生할 경우 上行大動脈캐틀라를 除去하고 大動脈캐틀라를 上空大靜脈캐틀라에 插入시킨 後 低體溫法(20℃)과 함께 逆灌流를 1~2ℓ/min 速度로 1~2分 동안 施行하는 方法을 기술하고 있다. 이 方法에서 空氣가 大動脈切開部位로 되돌아 오는 것을 직접 確認함으로써 그 效果를 알 수 있다. 이 方法을 空氣塞栓이 發生한 5名의 患者에서 施行했는데 術後 어떤 神經學的 結함도 발견하지 못한 것으로 보아 逆灌流와 成功的인 結果 사이에 關係가 있는 것으로 報告했다. 그 외 管狀動脈에 空氣粒子가 남아 있을 시 손으로 문질러내거나 管狀動脈末端部位에 작은 바늘로 천공하고 藥物로써 血壓을 상승시켜 管狀動脈에 남아 있는 空氣를 除去시킬 수 있다. corticosteroid는 虛血과 低酸素症으로부터 組織을 보호하는 效果로 사용되고<sup>17)</sup> Penobarbital로 이를 利用한 心麻酔를 함으로써 腦를 保護하는데 사용될 수 있다. 또 100% 酸素로 換氣시키면 高分壓에서 氣의 溶解度가 血中에서 增加되어 塞栓 크기를 줄일 수 있다. 高壓酸素탱크의 利用은 最近에는 腦損傷을 極小化하기 위해 가장 有用한 方法으로 되고 있다<sup>4,6,7,18-22)</sup>. 그러나, 이 方法의 短點은 塞栓事故가 일어났을 때 곧바로 事用이 不可能하고 危險하며 治療의 皮할 수 없는 지역은 남

아 있는 損傷을 加重시킬 수 있다는 點들이다.

Steward는 “空氣塞栓 發生時 高壓酸素탱크使用을 위해서 手術過程을 되도록 빨리 終了시켜야 한다”는 前題에 對해서는 反對意見을 提示했는데 그들은, 低體溫法을 適用시켜 空氣塞栓의 效果를 充分히 줄인 후 高壓酸素療法을 手術後 適用시킴으로써 手術後에 좀 더 完全한 回復를 보일 수 있다고 主張하고 있다.

Menasche<sup>23)</sup>는 fluorocarbon이 腦損傷에 대해 保護를 나타낼 수 있다는 것을 動物實驗에서 證明했는데 이 方法은 임상에 곧 도입될 수 있을 것으로 전망된다.

空氣塞栓을 防止하기 위해 體外循環 동안에 계속적으로 心肺器를 監視해야 하고 그것이 發生時에는 민첩하게 心肺器를 中止하고 다음 조치를 해야 한다. 스위치가 곧바로 作動될 수 있어야 함은 물론이다. 體外循環을 시작하기 前에 心內吸引과 벤트를 手術 테이블에서 멸균된 水液으로 먼저 가동해보아야 하고 각 라인의 統合성과 흐름의 方向을 確認해야 한다. 또한 灌流라인의 Clamping을 막기 위해 Clamp Count를 體外循環前에 實施한다. 動脈血流필터를 로울러펍프의 遠位부에 設置하면 微細한 空氣粒子를 잡을 수 있고 大量塞栓이 일어난 경우 어느 정도 時間的 여유를 가질 수 있다<sup>24,25)</sup>. Blood level alarm sensor, weight-activated alarm sensor, infrared sensing device 등이 실지로 이용되고 있는 일종의 感知장치인데 거짓감지하는 경우가 많다. 動脈管 近位부에 ball valve device는 大量 空氣流入을 막는다. 이러한 device와 自動적으로 動脈血공급 로울러펍프를 閉鎖시킬 수 있는 장치가 필요하다. 만약 수축대 주위에서 이상한 雜音이 있으면 곧바로 心肺器 作動을 中斷해야 하고 動脈血공급 로울러펍프가 갑자기 빨리 돌아가면 心肺器를 끄고 로울러펍프를 손으로 돌린다. 手術이 끝날 무렵 細心한 注意를 기울여 心臟內의 空氣를 除去하고 肺를 換氣시켜 肺靜脈으로부터 남아 있는 空氣를 除去시킨다.

體外循環前에 해야 할 무어는 空氣塞栓으로부터 保護效果를 나타내는데 헤파린은 血液에 닿는 모든 部位에 血小板 凝착을 減小시키고 結果적으로 白血球 침착이 줄어들면서 내피손상이 적어진다. 그러므로, 手術중 activated clotting time 측정은 헤파린의 血中濃度 유지를 위해서 매우 重要한 檢査이다.

最近에 體外循環중 發生하는 大量 空氣塞栓의 頻度는 體外循環에 대한 경험의 증대, 術中에 心臟 各房에서 空氣를 除去하는데 細心한 注意, 體外循環로써 보다 안전한 장치의 使用, 심폐기사의 전문화등으로 줄고 있

는 傾向이지만 아직도 文獻에 실리는 것이 두려운 나머지 報告된 正確한 統計가 없으며 體外循環에 重要한 課題로 남아 있다<sup>2,26-29)</sup>.

## 結 論

본 圓光大學校 醫科大學 胸部外科學教室에서 體外循環中 發生한 大量 空氣塞栓을 上空大靜脈을 통한 一時的 逆灌流를 施行함으로써 空氣塞栓을 除去한 2例를 治療하였기에 空氣塞栓에 對한 原因, 治療, 豫防法에 對해서 文獻考察과 함께 報告하는 바이다.

## REFERENCES

- Nicks R: Arterial air embolism. *Thorax* 22: 320, 1967.
- Siverstein A, Krieger HP: Neurologic complications of cardiac surgery. *Arch Neuro* 3: 601, 1960.
- Allen P: Central nervous system emboli in open heart surgery. *Can J Surg* 6: 332, 1963.
- Stoney WS, Alford WC Jr, Burrus Gr, et al: Air embolism and other accidents using pump oxygenators. *Ann Thorac Surg* 29:336, 1980.
- Mills NL, Ochsner JL: Massive air embolism during cardiopulmonary bypass: causes, prevention, and management. *J. Thorac Cardiovasc Surg* 80: 780, 1980.
- Steward D, Williams WG, Freedom R: Hypothermia in conjunction with hyperbaric oxygenation in the treatment of massive air embolism during cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 24: 591, 1977.
- Kidwall EP: Massive surgical air embolism treated with brief recompression to fix atomospheres followed by hyperbaric oxygen. *Aerospac Med* 44: 663, 1973.
- Doyle DL: The prevalence of gross air embolism during cardiopulmonary bypass. *16th International Conference. AmSECT, San Diego, March 1-3, 1978 (Abst)*.
- Kurusz M, Shaffer CW, Christman EW, Tyers GFO: Runaway pump head: New cause of gas embolism during cardiopulmonary bypass. *J. Thorac Cardiovasc Surg* 61: 258, 1971.
- Lawrence G.H. et al: Effective measures in the prevention of intraoperative aeroembolus. *J. Thorac Cardiovasc Surg* 62: 731, 1971.
- Lemole G.M. et al: A method preventing air embolism in open heart surgery. *J. Thorac Cardiovasc Surgery* 71: 557, 1976.
- McGoon D.C.: *Technics of open-heart surgery for congenital heart disease. Current problems in Surgery* 68: 3, 1968.
- Padula R.T. et al: Intracardiac air following cardiectomy. *J. Thorac Cardiovasc Surg* 62: 736, 1971.
- Taber R.T. et al: Prevention of air embolism during open heart surgery. *Surgery* 68: 685, 1970.
- Roth JA, Cukingnan RA, Scott CR: Use of activated coagulation time to monitor heparin during cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 28: 69, 1976.
- 최수승 외 : 개심술후 뇌기능장애에 대한 임상적 고찰. *대한흉부외과학회지* 18 : 746-752, 1985.
- Safar P, Bleyaert A, Nemoto EM, Moossy J, Snyder JV: Resuscitation after global brain ischemia-anxia. *Crit Care Med* 6: 215, 1978.
- Takita H, Olszewski W, Schimert G, Lanphier EH: Hyperbaric treatment of cerebral air embolism as a result of open-heart surgery. *J. Thorac Cardiovasc Surg* 55: 682, 1968.
- Winter PM, Alvis JH, Gage AA: Hyperbaric treatment of cerebral air embolism during cardiopulmonary bypass. *JAMA* 215: 1786, 1976.
- Bross W, Bross T, Koltowski A, et al: Behandlung Zerebraler Luftembolien in der Herzchirurgie. *Med Klin* 69: 1672, 1974.
- Calverley RK, Dodds WA, Trapp WC, et al: Hyperbaric treatment of cerebral air embolism: A report of a case following cardiac catheterization. *Can Anaesth Soc J* 18: 665, 1971.
- Myers RAM, Baker T, Cowley RA: Hyperbaric medicine: state of the art, 1979. *Am Surg* 48: 487, 1982.
- Philippe Menasché. et al: Fluorocarbon: A potential treatment of cerebral air embolism in open-heart surgery. *Ann Thorac Surg* 40: 494, 1985.
- Spencer FC, Rossi NP, YU SC, Koepke JA: The significance of air embolism during cardiopulmonary by pass. *J. Thorac Cardiovasc Surg* 49: 615, 1965.
- Gomes OM, Pereira SN, Castagna RC, Bittencourt D, Amaral RVG, Zerbini EJ: The importance of the different sites of air injection in the tolerance of arterial air embolism. *J. Thorac Cardiovasc Surg* 65:563, 1973.
- Bass RM, Longmore DB: Cerebral damage during open heart surgery. *Nature* 222:30, 1969.
- Branthwaite, MA: Neurological damage related to open heart surgery. *Thorax* 27:748, 1972.
- Brierley JB: Brain damage complicating open-heart surgery.

- Proc Soc Med* 60:858, 1967 (cited from Javid et al: *Thorac Cardiovasc Surg* 58:502, 1969).
29. Ellis RJ: Cerebral dysfunction following cardiopulmonary bypass, in Utley JR (ed): *Pathophysiology and techniques of cardiopulmonary bypass*. Baltimore. Williams and Wilkins, 64:1982.
-