



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	静脈注射による空気栓塞の實驗的研究
Author(s)	中根, 英夫; NAKANE, Hideo
Citation	低温科學, 7, 101-116
Issue Date	1951-09-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17503
Type	departmental bulletin paper
File Information	7_p101-116.pdf



静脈内注射による空気栓塞の實驗的研究*

中 根 英 夫

(低温科學研究所 醫學部門) (醫學部第一外科學教室)
(昭和21年9月受理)

I. 緒 言

静脈内注入による空気栓塞に関する報告は、臨牀醫學、基礎醫學の兩方面に於いて從來かなり多數に上つている。しかし栓塞死の死因に就いては未だ決定的な結論に達していない。さて栓塞死に関する從來の説を大別すると肺臟死説、心臓死説及び腦死説の3者となる。肺臟死説は肺動脈及びその分枝或は肺臟毛細管に迷入した空気泡沫により栓塞をおこし、循環障礙、呼吸面積の減少により死亡するものとなるものである。心臓死説は更に次の二つに大別される。即ち右心房室の負荷過重、或は體靜脈の鬱血による心臓活動力の減退乃至消失による心臓機能障礙を死因とするものと、冠狀動脈の栓塞による循環障礙を死因とするものとである。腦死説は栓塞による腦の機能障礙に死因をおくもので、3説の中で最もはやく即ち1903年 Bichat により始めて唱えられたものである。その後支持するものがあつたが具體的證左に富んだものは少く、最近はやど顧られていない。從來の實驗方法をみるに各臟器、特に腦、心臓、肺臟の3者に就いて綜括的相關的な検討を行つたものはなく、また中には死後の所見のみに重點をおいているものもある。このような從來の實驗方法の缺點を補うとともに機能病理の立場から次の方法によつて實驗をすすめた。即ち腦波、呼吸曲線、心電圖の同時連續撮影を行い、前2者の所見より廣義の腦機能の栓塞死に對する意義を検討し、心電圖より心臓機能のそれを追究し、更にこれらの綜合的觀察より肺臟の役割を検討し、もつて栓塞死の病理を明らかにしようとした。

II. 實驗方法

實驗動物には體重ほぼ2kgの成熟家兎を用いた。家兎を無麻酔のまま固定臺に背位に固定し電氣的に完全に遮閉された小室に入れて實驗操作を行つた。腦波及び心電圖の撮影には、抵抗容量結合によるそれぞれ4段及び3段の低周波増幅器並びにH型Vibratorを用いた。その設計圖、特性曲線その他の機能、更に誘導方法は當研究所田中、森田の方法に倣つた。呼吸曲線は呼吸時に於ける胸膜腔内壓の變化を乾電池を利用し電氣的變化となし、H型Vibratorを作動させ、これを上記の腦波、心電圖とともに同時撮影を行つた。

* 北海道大學低温科學研究所業績 第126號

空氣栓塞の實驗方法は 5cc の注射筒を用い、家兎の右側耳靜脈に空氣 5cc をそのまま注射した。注射時間は 10 秒とし、途中の注入速度には特に意を用い可及的に同一條件となるようにした。腦波の分析方法については諸家の見解區々で未だ一定していない。家兎の腦波は人の場合と異なりかなり複雑である。よつて田中の採用した方法に倣い 9 Hz 以上のものはすべて速波とし、9 Hz 未滿はこれを徐波とし、周波數、振幅、連續度の外に波形をも考慮した。なお本増幅器の設計上の性能、感度の關係より β 波に屬するものは判定困難な場合が多いので觸れないことにする。心電圖に於いては個々の變化とともに綜括的變化様式に對して特に意を用いることにした。

III. 實驗成績

腦 波

實驗前、即ち空氣注射前の腦波をみると No. 26. (褐色, ♂, 體重, 2.7 kg) では 10 秒間の撮影で約 1 秒連續する比較的判然とした 10 Hz 前後の速波が 2 群みられる。徐波の周波數、周期等には特異的關係は認められないが 4 Hz が最も多い。No. 21 (白色, ♀, 2.8 kg) では 11~12 Hz 前後の約 2 秒連續するものが 2 群みられる。徐波は綜じて尖塔形で 5, 4, 3 Hz が多い。No. 24 (白色, ♂, 2.0 kg) では速波は 1 群で徐波に重疊出現の傾向が強い。その周波數約 10 Hz で約 1.2 秒連續している。徐波は前例とほぼ同様である。No. 23. (褐色, ♀, 2.1 kg) では定型的紡錘形をもつた 13 Hz 前後の速波が約 12 秒連續してみられ、更に 9 Hz, 連續度 2.7 秒のものも不整な波形で現われている。徐波は總じてやや不規則な尖塔形である。No. 20 (白色, ♀, 2.7 kg) では綜括的に尖塔形である。11 Hz 前後の不規則な速波がみられる。徐波では 3 Hz が比較的多い。

空氣注射後に於ける腦波に於いては、まず目につくことは振幅の減少である。即ち No. 24 では特に著しく實驗前の $\frac{1}{2}$ 以下である。No. 21 では 78%, No. 20 では 69%, No. 26 では 79% で一般に 20~30% の減少である。No. 23 では減少の度は少かつた。No. 21, No. 23 では注射中で速波がみられるが、他の 3 例では何れも認められなかつた。しかしながら、それらの速波は何れも不規則、不整なものである。徐波では No. 21, No. 23, No. 26 では 5, 4 Hz, が過半數をしめ、No. 20 では 4, 3 Hz が多くみられる。No. 24 では 5, 4 Hz が比較的安定連續出現する傾向が認められるが δ 波とは言いがたい。

注射終了後より腦波消失に至る經過についてみるに、No. 26 では速波は全くみられない。45 秒迄は注射中とほぼ同様な波形であるが振幅は漸次減少の傾向を辿る。1 分になるとかなり著しい變化がみられる。即ち實驗前の腦波の性格が殆ど全く失われ、その上軽度ではあるが δ 波の傾向がみられる。1 分 30 秒では更にこの傾向は強くなり、2 分 30 秒で軽度ながら振幅は増大した。その間における周波數は 5, 4, 3 Hz が最も多く 45 秒, 1 分 30 秒では 4 Hz が多い。3 分では振幅は増大し周波數は 3 Hz が大多數をしめ、これに 2 Hz が不規則に混在している。4 分

後半では振幅は逆に減じて實驗前の約 $\frac{1}{2}$ となる。4分30秒では更に減じ總じて低い不規則な丘狀の連続する波形を示す。その後減少の傾向は更に大となり、5分10秒では殆ど直線狀である。それ以後腦波は再現しない。

No. 21 では速波乃至速波様のものが30秒及び1分でみられた。即ち30秒では8 Hz の速波様波形のものがみられ、1分では徐波に重疊して不整である。徐波では15秒で實驗前の尖塔形は既に鈍化の傾向がみられ、1分までかかる鈍化の傾向が增強しその振幅は減少している。即ち振幅は30秒では實驗前の68%、1分では約 $\frac{1}{2}$ である。1分15秒では實に著しい變化がみられる。即ち振幅は38%に減じ實驗前の尖塔形は殆ど全く崩れている。即ち不規則な徐波が低電壓で雜然出現している。1分30秒では振幅は増大するが總括的に實驗前の尖塔形は崩れる。2分では振幅は再び減じ實驗前の約 $\frac{1}{3}$ にすぎず、その上頂點の鈍化した丸みをおびた徐波が不規則ながらも連続出現する傾向がみられる。2分15秒では不規則な丘狀の連続で振幅は實驗前の $\frac{1}{6}$ にすぎない。2分30秒では軽度ながら振幅はやや増大した。その後は振幅は再び漸減し3分30秒で腦波は消失した。

No. 24 では15秒迄は注射中とほぼ同様な所見であるが、30秒ではこれが失われ振幅、周波數ともに不規則性が增強した。振幅は大小區々であるが強いて平均を求めると實驗前の約 $\frac{1}{2}$ にすぎない。その後振幅は漸減し1分15秒では約 $\frac{1}{5}$ 、1分45秒では腦波は全く認められない。

No. 23 では15秒で11 Hz 前後の速波が2群みられたが、以後の経過ではみられなかつた。徐波は振幅を減じても尖塔形は保つている。30秒では著しい變化として實驗前の尖塔形の消失、即ち頂點の鈍化がみられた。2分では實驗前の約 $\frac{1}{6}$ の振幅である。2分30秒で腦波は消失した。

No. 20 は以上の4例と比べ腦波の消失はかなりおくれた。實驗前の尖塔形の性格は10分45秒までみられた。速波は全く認められない。振幅は多少の變動はあるが全體として漸次減少する。8分及び8分30秒で實驗前の約1.4倍の振幅をもつ2 Hz のものがみられた。8分迄の周波數は5、4及び3 Hz が多い。11分では著しい變化、即ち實驗前の尖塔形の消失及び振幅の減少(實驗前の約 $\frac{1}{5}$)を來した。即ち、全般的に頂點の鈍化した比較的安定した徐波の連続であり、4 Hz が極めて多數に出現している。11分30秒で腦波は消失した。

呼吸曲線

家兎正常時の呼吸數は40~50前後を示すが、本實驗では呼吸曲線描記のために實驗方法の項で述べたような操作を加えているため呼吸數は増加を來し通常150前後となる。しかしながら規則性は保たれており、これをもつて實驗前の對照とする。No. 26 では實驗前156の規則的な呼吸であつた。注射後數秒で呼吸はやや不規則となり振幅は増大の傾向がみられたが、注射終了前に於いて再び規則的となり145であつた。その後1分30秒までほぼ規則的であるが呼吸數は漸次減少している。1分45秒で一時呼吸數は軽度ながら増加した。その後は再び減じ、

3分30秒頃よりは呼吸曲線の振幅はかなり浅少となり、呼吸曲線は緩やかな丘状となり呼吸数は更に減じ40代となつた。同時に吸息期で呼吸曲線の深さは餘り變らず、ほぼ静止状態の後短い呼息期に移る傾向が漸次著しくなつてきている。4分30秒では吸息期は呼息期より著明に延長を來しており、同45秒では大きな緩やかな呼吸曲線となり平均24に減じた。更に緩徐且つ小振幅となり、5分8秒で呼吸曲線は全く停止した。即ち、呼吸停止は本例では脳波消失より僅かに2秒早く、心搏動の停止は呼吸停止より約20分おくれた。即ち呼吸曲線は注射後一時振幅を増加し不規則となるが、再び規則性をとり戻した失う。呼吸数はその後次第に減少し3分30秒頃よりは再び緩徐となり漸次吸息期の延長するのがみられた。かかる呼吸曲線の變化は他の例に於いてもほぼ同様であつた。即ち No. 21 では注射後20秒前後で一時頻數となり且つ荒く強盛となつたが、50秒では再び平靜な規則的呼吸となり、その後呼吸数は漸減し2分5秒、即ち脳波消失に1分25秒先立つて停止した。No. 24 では10秒頃より不規則且つ荒くなり、1分15秒では更に不規則性が加わり、1分45秒即ち脳波消失と殆ど同時に停止した。No. 23 では20秒頃より著しくなり1分50秒頃やゝ平靜となつた。2分18秒で即ち脳波消失より12秒前に停止した。No. 20 では20秒頃より呼吸曲線はかなり不整となつたが40秒で平靜となつた。5分15秒頃より漸次緩徐となり9分で停止した。即ち脳波消失より2分30秒ほどはやかつた。

心 電 圖

實驗前に於いては心搏數は260 (No. 26)~300 (No. 24) で平均279で何れも正常調性調律である。心電圖の誘導には偏導子を可及的に一定部位即ち心尖においたが、各例により多少の差異は免がれず特に R 波、S 波の振幅には變動がみられた。

次に空氣注射中に於ける心電圖では、No. 26 では一過性ではあるが注射中に於いて速脈がみられた。T 波は實驗前の約1.5倍に増高した。No. 23 に於ける變化はかなり著しいものであつた。即ち房室間の完全杜塞、更に心室自働の亢進に伴なう期外收縮の發現、M 字型 QRS 群などである。以上にたいして No. 21 では實驗前と全く同様であり、No. 20 では心搏數の軽度の減少を示した外は總じて實驗前と同様であつた。

次に注射終了後の心電圖をみるに No. 26 では15秒で期外收縮が平均 $\frac{5}{2}$ に現われ、30秒では洞性不整脈 (RR 間隔 0.24~0.38秒) で平均220の心搏數を示したが期外收縮は消失した。45秒では第1回目のかかなり激しい障碍所見がみられた。即ち30秒後半で一時消失していた不整脈が再びあらわれ期外收縮が加わり不整脈の度は増強され、更に ST の上昇により ST, T は上向性の單相曲線を畫くに至つている。これは1分でやや恢復の傾向にある。即ち心搏數の増加、心搏動の規則的調律がとり戻されている。1分45秒では不整脈は再び現われ徐脈の傾向となり、ST は降下を示す。即ち第2回目の障碍がみられる。2分では調律は再び規則性をとり戻し心搏數は軽度ながら恢復している。T 波は陰性を示しその後4分まで續いている。3分では期外收縮が稀にみられた外はほぼ同様な経過である。3分30秒で心搏數は軽度に増加した

が4分では調律は再び崩れた。即ち RR 間隔 0.43~0.52 秒。平均 130 の心搏數となつた。これは實驗前の約 $\frac{1}{2}$ である。4分後半では不整脈の消失、心搏數の恢復 (214) がみられた。即ち4分前半は第3回目とみられる障碍所見である。4分15秒では第4回目とみられる所見、即ち規則的調律の消失が起りはじめた。これは房室完全杜塞に期外收縮が加わつたための複雑な變化である。心搏數平均 122 であるにすぎない。本時期後半より心搏數は再び恢復し4分30秒で 200 となり、また陰性を示してきた。T 波は陽轉した。即ち心搏數はかなり減少しているが、その他の所見は實驗前のそれに類似している。これも4分45秒後半で心搏數は再び減じはじめ5分10秒では極度に減じ 43 にすぎない。家兎の呼吸は5分8秒で停止した。その後心搏數は漸次恢復し10分では 95 まで増したが、以後は漸減し終に 25 分で停止した。即ち心搏動停止は腦波、呼吸停止にほぼ 20 分おくらせている。即ち本例では一過性でまもなく恢復する障碍所見が前後 5 回にわたりみられた。呼吸停止後、即ち5分30秒後の心電圖で軽度であるが心機能が恢復する傾向が認められたが、呼吸停止による血中酸素缺乏症が增強され、これが栓塞自身の變化に加わり増悪の度をましたものと考えられる。

No. 21 では1分15秒で第1回目とみられる障碍があらわれた。即ち房室不完全杜塞、いわゆる 2:1 Block に期外收縮が加わり心搏數は平均 150 で實驗前の約 $\frac{1}{2}$ にすぎない苦しい徐脈であつた。1分30秒では杜塞は平均 5:1 の割にみられる。ために心搏數は 240 となつた。2分心搏數 250 であるが同 15 秒になると再び苦しい障碍が現われた。即ち心搏數は平均わずか 52 にすぎない。その上期外收縮、ST の著明な降下、T 波の二相性等がみられ、これは第2回目の障碍とみられる。2分30秒では心搏數は 224 まで恢復した。なお期外收縮が 5~6 宛連続して 2 回出現したが以後は總じて規則的洞性調律である。2分45秒前半で一時心搏數はかなり減じ 168 となつたが、3分では 294、その他各棘波の所見も實驗前のそれと極めて類似する所見であつた。このいわゆる正常復歸も3分15秒より再び心搏數の減少、不整脈、陰性乃至二相性の T 波などに變つた。3分30秒後半でその變化は更に增強された。心搏數は僅か 60 にすぎない。そのうえ洞性不整脈、房室不完全杜塞もみられる。この所見は同 45 秒では極度に増悪され、心搏數は 25 にすぎなくなる。即ち以上が第4回目とみられる苦しい障碍である。5分で心搏數は 125 と恢復したが T 波は陰性である。7分よりは再び増悪し房室不完全杜塞、心搏數の減少が現われ、10分では房室完全杜塞、心房振顫の所見がみられるに至り心搏動は終に 45 分で停止した。即ち呼吸、腦波消失より約 40 數分おくれた。本例は2分5秒で呼吸停止したが、その後の経過中 2分30秒後半及び3分でいわゆる正常復歸とみられる所見があつたことは心臟栓塞死の意義に對し注目すべき點であらう。

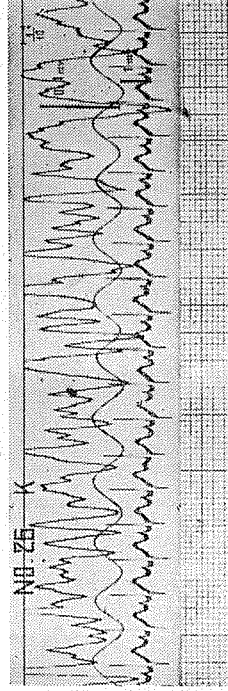
No. 24 では呼吸停止前であるが正常復歸またはこれに類似する所見は 15 秒及び 45 秒でみられた。即ち注射中にみられた不整脈、期外收縮は 15 秒には全く消失し心搏數は 295 である。45 秒では 30 秒の期外收縮はなくなり規則的調律で實驗前の所見とほぼ同様である。即ち 30 秒の所見は軽度であるが注射中の變化につづく第2回目の障碍とみられる。1分前半では ST 降下、

二相性の T 波の所見は現われているが、なお規則的調律で心搏數にも變動がない。後半になると突然はげしい變化が現われた。即ち房室不完全杜塞、不整脈性の著しい徐脈（平均 150）である。1 分 15 秒では更に期外收縮が加わり不整脈は増強され、心搏數は漸減の度を加えており 1 分 30 秒で更にはげしくなり同 45 秒では房室完全杜塞、ST 降下、二相性の T 波などを來し心搏數は 54 にすぎない。以上の 1 分後半より現われ 1 分 45 秒で最高の域に達している心電圖の變化は第 3 回目の著しい障碍とみられる。2 分では房室間は依然完全杜塞であるが心搏數は 106 となり、2 分 15 秒では不完全杜塞となり期外收縮が現われ、ために總じて不整脈であるが心搏數は増加してきている。2 分 30 秒では再び減じた。3 分で房室間の杜塞は消失し心搏動は規則的調律である。この恢復の傾向は餘り續かず 3 分 30 秒では再び不完全杜塞、期外收縮などがみられ心搏數平均 151 と減じた。このような所見は 5 分までほぼ同様につづき、加うるに ST 降下、T 波の陰性化などもみられた。心搏數は更に減じ 10 分では心房振動がみられ、不整脈は極めて著しく RR 間隔 0.46~1.18 秒である。T 波は著しい二相性である。終に 40 分で心搏動は全く停止した。即ち腦波、呼吸停止におくれること約 38 分である。本例では一過性の障碍所見は前後 4 回に互りみられ、その中 1 分後半より同 45 秒にかけてみられた變化が最も著しいものであつた。2 分 30 秒、即ち呼吸停止後でもかかる變化様式はみられた。また心電圖の所見では房室間の刺戟傳導の障碍が極めて屢々且つかなり持続的に出現している。

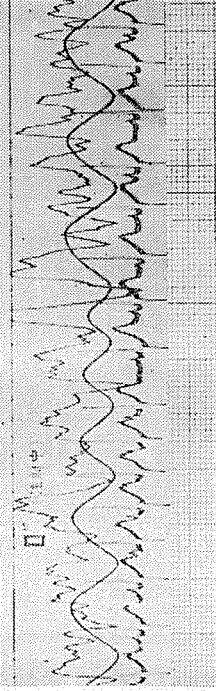
No. 23 では前述したように注射中に既に極めて著明な障碍がみられたが、注射終了前に於いて忽然消失し實驗前の所見に恢復した。その後 30 秒前半まで續いた。30 秒後半になると再び著しい障碍が現われた。即ち房室不完全杜塞がいわゆる 2:1 Block の形で現れており、更に期外收縮もみられ心搏數は 140 に減じた。45 秒では更に増強され完全杜塞の形をとるに至つた。心搏數は 73 と減じたが 1 分には再び増加の傾向がみられた。即ち 45 秒の所見は注射中の所見に次で第 2 回目のものでいよう。以後 10 分まで房室完全杜塞がつづいていることは房室間の刺戟傳導が如何に著しく障碍されたかを示す好例である。2 分 15 秒までは心搏數は 130 代を前後している。QRS 群は M 字型を呈した。2 分で一時房室間の杜塞がなくなつたが再び完全杜塞の所見を示し、2 分 30 秒では洞性の不整脈が加わり、心搏數は僅かに 58 を算えるにすぎない。2 分 30 秒の所見は第 3 回目の障碍と考えられる。10 分では心搏數 122 と増加し、房室間は不完全杜塞の形となり、やや恢復した所見である。以後再び心搏數は減じ、呼吸、腦波の停止に約 12 分おくれて心搏動は停止した。呼吸、腦波停止前後、即ち 2 分 30 秒で平均 58 にすぎない著しい徐脈をみたこと、及び呼吸停止後でも軽度ながら心機能恢復の所見がみられたことは注目すべき成績である。本例では一過性の障碍所見は前後 3 回にわたつてみられた。

No. 20 では 30 秒前半までは心搏數に於いて 10~20 の減少をみた外は實驗前の所見とほぼ同様であつた。30 秒後半に至ると突然洞性の著しい徐脈となり（心搏數 176）且つ不整脈の度を加えた。これは 45 秒前半で最強となり心搏數は平均 140 にすぎない。その後半より心搏數は恢復し不整脈は消失し諸變化の恢復の傾向が著しい。1 分では心搏數 300 その他の所見もいわ

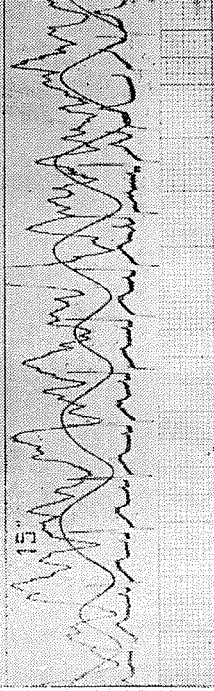
No. 26
對照
(實驗前)



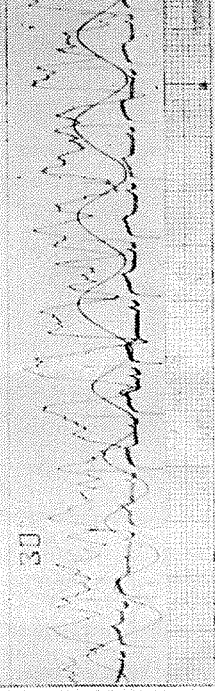
注射中



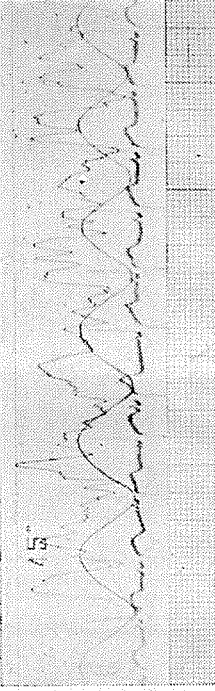
注射後
15 秒



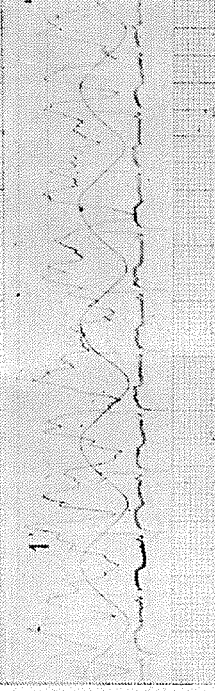
同上
30 秒



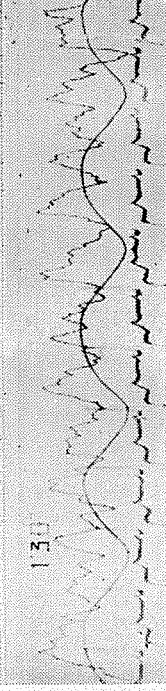
同上
45 秒



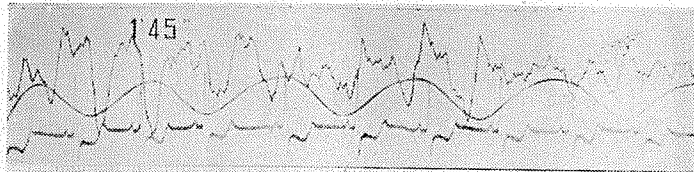
同上
1 分



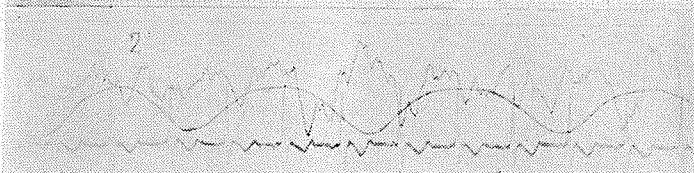
同上
1 分 30 秒



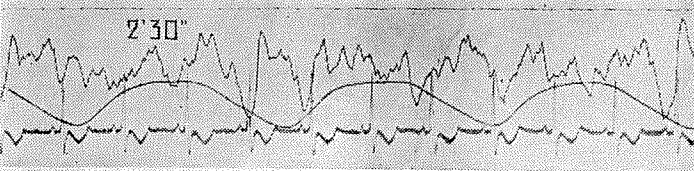
同 上
1分45秒



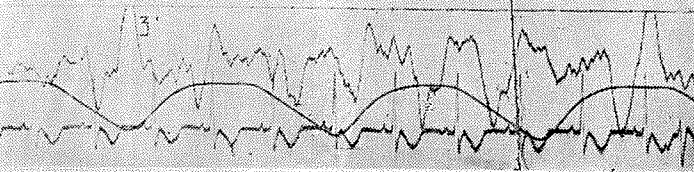
同 上
2分



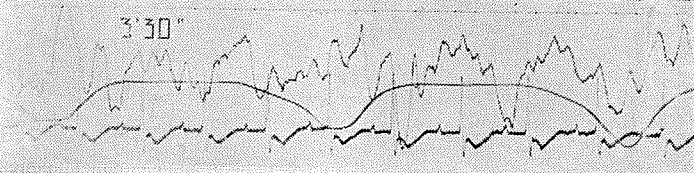
同 上
2分30秒



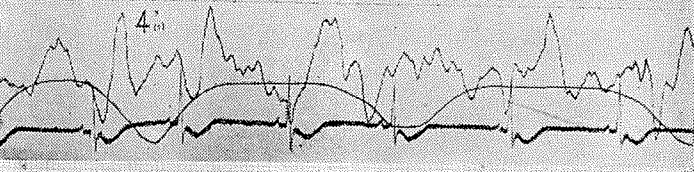
同 上
3分



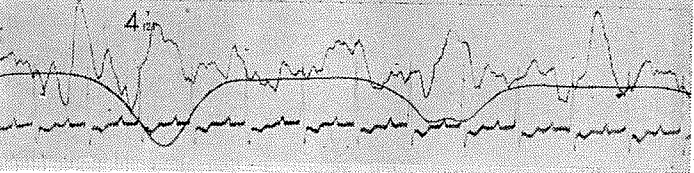
同 上
3分30秒



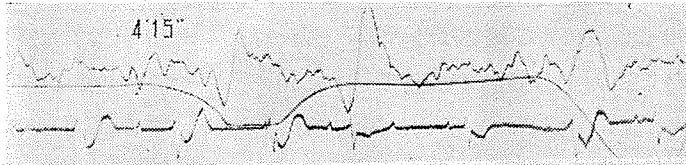
同 上
4分前半



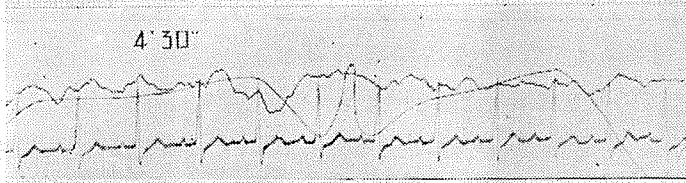
同 上
4分後半



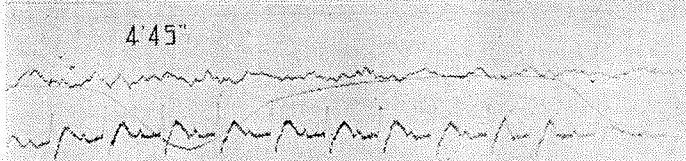
同上
4分15秒



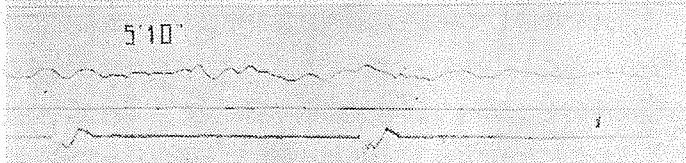
同上
4分30秒



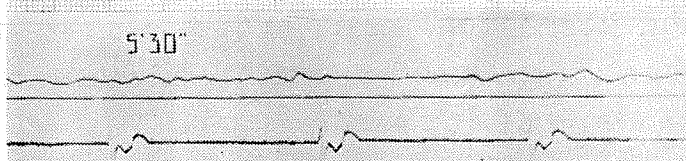
同上
4分45秒



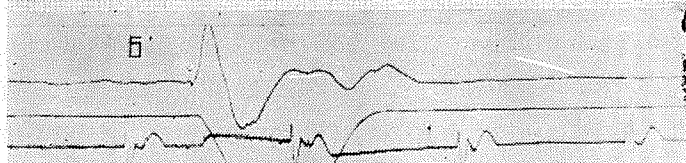
同上
5分10秒



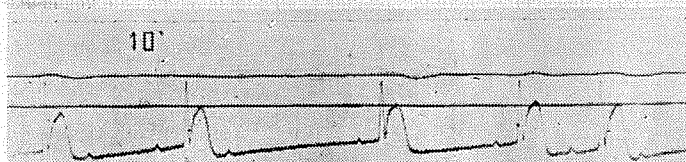
同上
5分30秒



同上
6分



同上
10分



ゆる正常復帰とみなされる。即ち、先の45秒前半のものは第1回目の著しい障碍と考えられる。1分15秒より心搏数は再び減じはじめ227となつたが、1分30秒では更に40餘り減じ同時に不整脈も加わり第2回目の障碍所見とみられる。1分45秒で不整脈は消失し心搏数は増加したが、この傾向は更に増強され2分では心搏数その他に於いて正常復帰がみられた。2分30秒もほぼ同様の所見である。3分になると心搏数は250となりSTは降下し二相性のT波もみられた。5分では更に調性の不整が加わつた。これが7分では著しい不整脈性の徐波となり心搏数平均116、加うるに房室不完全栓塞、ST、Tの變化などもみられた。8分心搏数259、10分261となり不完全栓塞は漸次恢復してきた。9分で呼吸は停止した。11分心搏数88、T波は著明な陰性である。11分30秒では更に増悪しST、Tの所見は増悪し、終に26分で即ち脳波消失に約15分おくれて心搏動は全く停止した。本例において他の例とことなる點は障碍の發現時期が比較のおそかつたことである。正常復帰とみなされる所見は1分及び2分~2分30秒にみられた。なお本例では呼吸停止後に於いて恢復の所見は認められなかつた。一過性の障碍所見は前後4回にわたつて出現した。

IV. 總括並びに考按

まず脳波に關する所見を總括してみると、脳波は注射中において既に振幅の減少が、量的の差は別として必ずみられたことは前述のとおりである。注射後における速波の出現は各例によつて差異はあるが脳波消失までの全経過中で比較的早期にだけみられた。徐波の周波数では一般に特異的規則性は認められなかつた。その振幅は例により多少異なるが、途中に於いて増大の傾向がみられた。即ちNo.26では2分30秒~3分及び4分前半に於いて、No.21では1分30秒及び2分30秒、No.24では30秒、No.23では1分、No.20では8分~10分にわたつてそれぞれ増大が認められた。特にNo.21の2分15秒に於いては振幅は極めて減少しているのに、同30秒では實驗前の34%を示して増大が明らかである。

次に全経過中脳波の所見として注目すべきは、實驗前の脳波の性格が途中のある時期に於いて必ず失われることである。即ち注射前の脳波の性格が最後までそのまま保たれて、漸次消失して行くというようなものではない。これを各例についてみると、No.26は1分、No.21は1分15秒、No.23は30秒、No.20は11分、No.24は注射中に、それぞれ實驗前に見られた特有の波形が失われ、その後は一般に6波様に移行している。最後に脳波消失時期は心搏動停止の時期に比べると極めて早期であり、呼吸停止時期とは殆ど同時か或は僅かにおくれている。即ちNo.24でもつともはやく1分45秒、No.20は最もおくれて11分30秒で脳波が消失している。以上述べたように脳波の所見は後述する心電圖に比べると比較的單調な経過様式であつた。

私の得た成績を先人のそれと比較検討するに、壺島、只植の木炭末を右頸動脈より注入した大脳血管栓塞時に於ける脳波は、實驗前17 Hz前後のものが栓塞液注入直後に23 Hz前後に

増加したと述べているが、それに類似する所見は本實驗ではみられなかつた。その他には栓塞時の腦波に關する報告はみられないようである。さて大腦皮質には運動、感覺、連合等の諸中樞があり、腦波はそれらの機能を總合した動作電流と考えられている。従つて栓塞時の腦機能に就いて從來みられなかつた新しい追求検討が行われてきたわけである。次に腦の酸素缺乏時に於ける腦波に關する先人の成績と比較してみる。Bartley と Bishop は腦の局所の血液供給を司つている動脈を結紮すると 20 秒後に該箇所を通過する腦波の消失をみ、血液循環を元にもどすと 30 秒後に腦波は恢復すると言う。Yeager と Walsh は人で一側の總頸動脈を結紮すると該側に徐波の出現するのをみた。これに反し Asenjo は家兎に於いては一側及乃至兩側の總頸動脈結紮では腦波にはみるべき變化はないが、これに更に兩側背椎動脈の結紮を加えると腦波の消失をみるに至るとのべている。黒澤は頸動脈結紮直後には殆ど變化はないが時間の経過とともに隨所に腦波の増大、速い鋭い波と殆ど振幅のない休止のような状態とが反復出現することを見た。萱島、只埜は同様結紮時に振幅、周波數の増大するのをみ、酸素缺乏により一過性に腦神經細胞の機能充進を來すものと解している。更に低壓時に於ける人體實驗では Kornmüller, Palme & Strughold は α 波の著明な出現、即ち α -Aktivierung を、次いで 6 Hz, 更に 3 Hz の徐波の出現をみている。萱島、只埜は低壓の度を加えるほど振幅、周波數ともに小となることを報告している。原は人で瀕死時と高度低酸素血状態とに於ける腦波の所見は一致するとのべている。

以上、先人の成績にかなりの差異は認められるが、要するに全身的血中酸素缺乏及び腦自身に對する循環障碍時の所見は神經細胞が一過性に刺戟され、振幅、周波數の増大をみるが、更に経過すれば漸次減少の傾向を辿り逆に消失するに至るものと解される。他方には腦神經細胞刺戟に基づく腦波の一過性の變化を認めていないものもある。本實驗では以上の報告と多少異なつた成績であつた。即ち No. 21, No. 23 の注射中または注射後に現われた速波では、實驗前と比較し不規則性が加わり不安定化の傾向が認められた。即ち α -Aktivierung に類似する所見とは言えない。その振幅、周波數に於いても増加する傾向はみられなかつた。No. 24, No. 26 に於いては實驗前には速波がみられたが注射後では認められない。即ち注射により一般に速波の出現は抑制されると解される。No. 20 に於いて 8 分より 10 分に至る間の 2 Hz 前後の振幅の大きな波の出現は、Fischer, Kornmüller, Berger 等が全身的血中酸素缺乏時に認めた腦波の振幅の増大、周波數の減少の所見に類似するものと解される。しかしながら空氣注射後、振幅の減少をみたこと、輕度ながら途中に於いて振幅の恢復がみられたこと（これは No. 21 の 2 分 15 秒より 2 分 30 秒の所見に著明である）、各例によつて時間的關係に於いては特異性は求められないが、何れも實驗前の腦波にみられた正常時の腦波の性格の消失乃至これに近い所見が必ずみられること、途中で θ 波の傾向がみられたことなどが新知見といえよう。何れにしても注射中より變化がみられ、かなり早期に腦波の正常時の性格の消失を來し、比較的早期に於いて腦波消失を來すまでその變化の進行過程は急激であるが、その経過は比較的單調な型式を

とつている。各例の實驗成績にかなりの變動があるのは一には空氣注射速度、空氣泡沫の大きさ、その他の條件に於いて可及的に同一條件の下に實驗が行われるようになったのであるが、なお多少の差異のあつたことによるものと考えられる。更に腦毛細血管の通過性の問題があげられると思う。

次に腦波と呼吸との停止時期を比較すると No. 24 では殆んど同時期であつたが其他の例に於いては呼吸が 12 秒 (No. 23)~2 分 30 秒 (No. 20) 早期に停止した。心搏動の停止時期よりは極めて早期であつた。本實驗では呼吸曲線描寫のため前記のような處置を加えてあるので、正常状態のまま空氣栓塞を起させた場合と同じとは云い難いが、山本竝に大島の所見と相對的經過に於いては略々同様である。

さて心電圖に就いては、各例により現われる變化の出現時期、種類などにかかなりの變動がみられた。即ち注射中より相當はげしい變化を示したものもあり、注射後かなり經過してはじめて障礙所見のあらわれたものもある。このことは注射中より必ず變化のみられた腦波の所見と比べて注目すべき點であらう。心電圖に現われた變化の種類は種々あるが、これらの變化が同一例に於いて一過性に現われるかと思えば消失或は減退即ち恢復の所見を呈し、また再び新たな變化が起り、しかもかかることを數度にわたり繰り返している。この途中の恢復は時によつては實驗前の所見まで戻るいわゆる正常復歸または殆どこれに近い程度のものもあつた。即ち No. 26 を除くすべての例に於いて、何れも 1~2 回にわたりみられた。なお一過性の障礙の所見は各例にみられ、No. 23 では 3 回、No. 26 では 5 回、その他の 3 例では何れも 4 回みられた。心臟機能の恢復所見は、No. 21, No. 23 及び No. 24 の 3 例に於いて呼吸停止後にもみとめられたことは、空氣栓塞に對して心臟自身はその機能を恢復しようとする傾向が強いことを示すものである。これは前述の腦波、呼吸曲線を主軸として示された腦機能の所見に對し、栓塞死に於ける心臟の意義を示す注目すべき所見であらう。しかし、この恢復の傾向も呼吸停止により全身的血中酸素缺乏が漸次増強されて栓塞自身の作用に加重されるために障礙をうけるものようである。以上の成績から考えても心臟機能が栓塞死の原因としての第一義的な役割をなしているとは考えられない。空氣栓塞の實驗に於ける心電圖に關する報告をしらべてみると、1928 年 Uhlenbruck & Strahtmann が P 波の變化、刺戟傳導の障礙、Herzblock, Q 波及び S 波が著明なることを認め、栓塞死因として肺循環障礙、Herzblock, 心室自働の障礙を發表して以來、幾多の検討が行われている。今その概要をみるに、Schönbrunner & Scherf, Sérif, McGinn. & White 等は第 I 誘導で ST 降下、第 III 誘導で硬塞様の所見を、Egedy, Dudits & Radnai は冠狀動脈閉塞時と同様所見を、また Langendorf & Pick は局在性の心筋の貧血並びに左心室後壁の硬塞様所見を、Kerber は調律の變化、ST・T の變化、刺戟生成並びに傳導の障礙等をもとめて、要するにいわゆる冠不全の所見なることを主張している。最近 Walder は第 I, 第 III 誘導に於いて ST 降下、脚柱塞、硬塞様所見を認めたと述べている。Stapp & Parade は左心室に直接空氣を注入して期外收縮、ST の變化をみ、更にすすんで心室顫動によ

り死亡することを認めている。

私の實驗成績から心電圖の變化の概要をみるに、不整脈、徐脈時に速脈等の調律異常及び房室間の不完全乃至完全栓塞等は何れの例に於いても常にみられたところである。かかる所見は Kerber 及び Egedy, Dudits & Radnai 等による所見と一致するところである。他方、低壓、貧血または出血等による血中酸素缺乏状態の場合の心電圖に於いてもみられたところである。即ち Green & Gilbert は刺戟生成部位の下方への移動を、Borgard & Koch は刺戟傳導の障礙を、更に Koch & Albers は調律異常、刺戟傳導異常を認めている。本實驗では栓塞に基づく局所的な酸素缺乏が基因をなし、呼吸停止後は更に全身的酸素缺乏が加わつて以上の變化が増強されたものであらうと考える。No. 20 を除くすべての例に於いてみられた期外收縮は、Kerber 及び Stepp & Parade が左心室に空気を注入した場合に於いても認めている。ST・T の變化即ち ST の降下または上昇、或は ST 時間の短縮乃至消失、T 波の變化としては陰性乃至二相性、増高、尖鋭化或は平低化等の所見は先人の成績にみられたとおりである。Hypoxaemic, Anaemic 時に於ける心電圖については最近 Phocas が ST 降下、陰性 T 波の出現をみている。Koch & Albers は全身的酸素缺乏時に於ける心電圖の所見中、特に ST 並びに T 波の態度を重視している。即ち ST の冠狀障礙時の所見、T 波の平低化乃至陰性化を強調している。勿論、栓塞の場合には酸素缺乏状態がくるとしても局部的なものである。従つてその病變に大小のあることは勿論で、全身的な場合とも差があるのは當然であらう。本實驗では ST の降下はかなりみられたが、T 波の態度は陽性のこともあり、二相性のこともあり、或は平低化のこともあり、時には増高を示した場合もあり一定していなかつた。しかしながら呼吸停止後には一般に T 波が著明に陰性を示している。これは栓塞自身による變化に更に呼吸停止に基づく全身的な強度の Hypoxaemic が加重された結果であらうと考える。Schütz は貧血を來した心臓の部分により ST の所見が異なることを認めた。即ち、心尖内部の貧血の場合には ST の降下のみられ、心室全壁の貧血の場合には ST の上昇がくるといふ。かかる所見よりすれば栓塞では多くの場合に ST の降下のみられるが、No. 21 の如く軽度の上昇のみられる場合もあるから、栓塞により一時心臓全體が貧血状態になることは少いものと考えられる。なお先人の成績では硬塞様變化を記載したものが多きようであるが、本實驗では明確でなかつた。ただ私の場合は比較的短時間の變化を究明したものであつて、その實驗方法が先人のそれと異なることを考慮しなければならない。心室性期外收縮の刺戟生成部位が心尖部に近いほど、心電圖の所見は正常の心室群と逆の形となるが、遠ざかるほど正常の心電圖の所見に相似たものとなる。本實驗で後者に相當する期外收縮の所見は No. 21 の 2 分 30 秒に於いて 5~6 コ規則的に反復出現しているのがみられたにすぎない。その他の場合に於いては何れも R 波の逆轉した形を示した。即ち、刺戟は心尖部またはこれに近い部分より生成されたと見做される所見である。

栓塞時の心電圖の所見に對して Uhlenbruck & Strahtmann, Egedy, Dudits & Radnai 及び Radnai & Mossonyi 等は肺毛細血管を通過した空気が冠狀動脈の栓塞を來し、そのために冠狀

動脈の循環障害を起して心電圖の變化を來すものと考えている。これに對し Kerber は心電圖及び X 線の検査によつて検討して冠狀靜脈の空氣栓塞による鬱血に基づく冠障害の所見とみている。Schönbrunner & Scherf によれば Pulmo-Coronar-reflex, 即ち Coronarspasmus により冠狀血管の循環障害を來し心電圖に變化をおこすものと主張している。以上の所見は何れも心電圖を主體として検討した所見であつて、本實驗のように腦波、呼吸曲線及び心電圖の 3 者を同時撮影し且つ連続的系統的な検討方法をとつたものではない。

従來栓塞死説には 3 説あり、現在のところ心臓説及び肺臓死説が重視されていることは緒言に於いても述べたところである。心臓死説の中にも種々な説が分れているが、何れによつても本實驗の成績を十分に説明し得ない。Uhlenbruck & Strahtmann, Egedy, Dudits & Radnai, Radnai 並びに Mossonyi 等は心電圖の變化は冠狀動脈の直接的栓塞により現われるもので、いわゆる冠不全をもつて栓塞死の原因となしている。しかし私の實驗に於いて腦波、呼吸曲線よりみたいわゆる腦機能の變化と心電圖の所見とを併せ考える時、冠不全が栓塞死の第一義的役割をなしているとは認めがたい。即ち、前述した心電圖の特異な變化様式、正常復歸、呼吸停止後にも心機能恢復の徴がみられること、または腦機能に著しい障害のみられた時期に殆ど一致するか、またはややおくれて心電圖にも障害甚しく、しかも心電圖に於いては再び恢復の傾向がみられていることもこの考えを裏付けするものと思う。

次に肺臓死説とは要するに循環障害、呼吸面積の減少、即ち窒息に基づく死因を主張するものである。肺動脈を含めた廣義の肺臓の空氣の通過性に對して、Passet, Wolf, Ilzin, Haselhorst, Bergstrand, Frey, 山本, 大島, Kerber, Walder 等はこれを否定し、Jürgensen 及び Radnai & Mossonyi 等は認めている。しかしながら前述したような心電圖の極めて特異性をもつた變化様式、また腦波に於いても軽度ながら途中で恢復の所見がみられたことなどは肺臓死説を首肯しがたい重要な所見であろうと考える。腦死説についてみると、Bichat は Gehirnrirritation (腦刺戟過敏症) に栓塞死死因を求めた。Uferhaut は輸血に關する研究に於いて、心臓に近い部分の靜脈への空氣注射の場合は少量でも腦貧血を惹起して死亡するという。Kreisinger は動物實驗より栓塞死は早晩來る循環障害のため血中酸素缺乏症を來たし、最も過敏な中樞神經の麻痺がくるためとなした。即ち 2 次的な意味に於ける腦死説を唱えた。しかし何れも具體的根據にもとづいては言いがたい。さて最後に靜脈から空氣を注入した栓塞に於いて、腦波、呼吸曲線、心電圖を主な目標として検討した私の實驗成績から考えて、栓塞死の原因として腦機能が第一義的な役割を演じ、これに更に心臓、肺臓にみられた障害が加重された結果、栓塞死が起るものと思う。

V. 結 言

1) 私は成熟家兎を用い、腦波、呼吸曲線及び心電圖の同時連続撮影により靜脈性空氣栓塞の病理を追究し、栓塞死の死因を明らかにしようとした。

- 2) 腦波, 呼吸曲線, 特に前者では注射中より必ず變化がみられかなり早期に消失する.
- 3) 心電圖では變化發現時期が一定でなく, 途中で度々恢復の傾向がみられ, この傾向は腦機能消失後でもみられた. また腦機能の障礙甚しい時期にほぼ一致するか, または少しおくれで心電圖にも著明な障礙がみられた. 心搏動の停止は腦機能消失にかなりおくれでみられた.
- 4) 以上の事實より栓塞死に於いては腦機能の障礙が死因の第一義的役割をなしていると考え.

文 獻

- (1) Asenjo A. 1938 Lokalisierte bioelektrischen Ableitungen von der Hirnrinde bei exp. Störungen des Blutkreislaufs des Gehirns. I. Abklemmung der Carotis communis. Zbl. Neurochir., 3, 198.
- (2) Asenjo A. 1939 Über die Wirkung des extrakraniellen Verschlusses der Hirngefäße auf die bioelektrische Tätigkeit der Hirnrinde II. Mitteilung. Zbl. Neurochir., 4, 41.
- (3) Bartley S. H. & Bishop G. H. 1933 The cortical response to stimulation of the optic nerve in the rabbit. Am. J. Physiol., 103, 159.
- (4) Bartley S. H. & Bishop G. H. 1933 Factors determining the form of the electrical response from the optic nerve of the rabbit. Am. J. Physiol., 103, 173.
- (5) Berger H. 1934 Über das EEG. des Menschen. Arch. Psychiatr. u. Nervenkr., 102, 538.
- (6) Bergstrand H. 1925 Om Luftemboli. Zbl. f. Chir., 52, 1843.
- (7) Bichat ; z. b. Wolf.
- (8) Borgard W. & Koch. A. 1934 EKG. im Unterdruck. Münch. Med. Wschr., 81, 556.
- (9) Egedy E., Dudits A. & Radnai P. 1933-34 Ekg-Nachweis durch Luftembolie verursachte Herzstörungen. Z. Exp. Med., 92, 324.
- (10) Fischer M. H. 1935 Elektrobiologische Auswirkungen von Krampfgiften an Z. N. S. Med. Klin., 29, 15.
- (11) Frey S. 1927 Exp. Beitrag zur venösen Luftembolie, Todes-Ursache und Behandlung. Arch. f. Klin. Chir., 148, 536.
- (12) 原 英道 1943 低酸素血状態に於ける大脳電流に関する研究. 海軍軍醫誌 32, 442.
- (13) Haselhorst G. 1924 Exp. Untersuchungen über d. venösen Luftembolie. Arch. f. Gynaekol., 122, 632.
- (14) Ilzin F. 1914 Die Luftembolie. Zbl. f. Chir., 41, 851.
- (15) Jurgensen Tb. 1882 Luft im Blute. Dtsch. Arch. Klin. Med., 31, 441.
- (16) 登嶋一男, 只埜 強 : 1942 大脳電流に関する研究 (其ノ一及び其ノ二) 海軍軍醫誌 31, 981. 及び 32, 529.
- (17) Kerber B. 1938 Exp. Studien über venöse Luftembolie. Fortschr. Röntgen., 57, 439.
- (18) Koch A. & Albers D. 1940 Über die Beurteilung d. ekg. Veränderungen unter Sauerstoffmangel bzw. im Unterdruck. Z. Kreislaufforschg., 32, 617.
- (19) Kornmüller A. E. 1935 Der Mechanismus des epileptischen Anfalls auf Grund bioelektrischer Untersuchungen am Z. N. S. Fortschr. Neurol., 7, 391. u. 414.
- (20) Kornmüller A. E. 1937 Die Bioelektrischen Erscheinungen d. Hirnrindfelder Leipzig.
- (21) Kornmüller A. E., Palme F. & Strughold H. 1942 Über Veränderungen der Gehirnströme im akuten Sauerstoffmangel. Luftfahrtmed., 5, II. 2.

- (22) Kreisinger 1926 Die Todesursache bei Luftembolie. *Zbl. f. Chir.*, **53**, 2096.
- (23) 黒澤良介 1944 家兎脳波に關する研究, 特に痙攣時の腦波, *精神神經誌* **48**, 231.
- (24) Langendorf R. & Pick A. 1937 EKG-Befunde bei Luftembolie. *Z. Kreislaufforschg.*, **29**, 573.
- (25) Mc Ginn & White P. D. 1935 Acute corpulmonale resulting from pulmonary embolism. *J. Am. Med. Assoc.*, **104**, 1473.
- (26) 森田貞美 1950 凍死に關する實驗的研究. *低温科學*, **3**, 287.
- (27) 大島宗二 1930 靜脈内空氣栓塞死に關する一考察, *東京醫事新誌* **54**, 1087.
- (28) Phocas G. 1940 Über die Erklärung der Ekg-Veränderungen bei Anoxämie des Herzens, hauptsächlich bei der Anämie. *Z. f. Kreislaufforschg.*, **32**, 333.
- (29) Radnai P. & Mossonyi L. 1936 Über den gefässverengerenden Pulmonar-reflex. *Z. Exp. Med.*, **98**, 651.
- (30) Radnai P. & Mossonyi L. 1936 Über die zirculations pathologischen Problem der venösen Luftembolie. *Z. Exp. Med.*, **98**, 755.
- (31) Stepp W. & Parade G. W. 1928 Untersuchungen u. Betrachtungen über den plötzlichen Herztod durch Kammer-flimmern. *Münch. Med. Wschr.*, **75**, 1868.
- (32) Schönbrunner E. & Schorf. D. 1935 Über Herzbeefunde bei Luftembolie. *Z. Klin. Med.*, **128**, 455.
- (33) 田中正之 1950 凍死に關する實驗的研究. *低温科學*, **3**, 261.
- (34) Uhlenbruck D. P. & Strahtmann G. 1928 Über das EKG nach Luftembolie. *Z. Kreislaufforschg.* **20**, 193.
- (35) Uterhaut C. 1870 Zur Lehre von der Transfusion. *Berl. Klin. Wschr.*, **7**, 43.
- (36) Walder R. 1934 Elektrokardiographische u. histologische Untersuchungen des Herzens bei exp. Luft u. Fettembolie sowie bei Embolie durch Stärkesuspension. *Beitr. Z. Path. Anat.*, **102**, 485.
- (37) 山本修吾 1930 靜脈性空氣栓塞死の實驗的研究, *大日本耳鼻咽喉科會々報* **36**, 693.
- (38) Yeager C. L. V. & Walsh. M. N. 1940 Changes in the EEG. from ligation of the carotid arteries. *J. Am. Med. Assoc.*, **114**, 625.

Résumé

On the pathology of the air embolism, there has, hitherto, been described three theories, namely brain-death, heart-death and lung-death. But it seems these theories are not enough to explain the essence of this pathology.

To make this problem clear the experiments were carried out as follows. Injecting 5 cc of air within 10 seconds in the ear-vein of rabbit, the brain waves, electrocardiogram and respiratory curves were traced, till the death due to air embolism occurred.

The brain waves and respiratory curves, especially the former, always show the characteristic changes in form, amplitude and frequency etc. and disappear in considerably earlier stage. In the electrocardiogram, the changes that are occasionally recognized in the process in all cases tend to revert to normal and this recovery appears even after the abolishment of the brain functions. However, the marked changes in ECG appear almost at the same time, or a little later, at which the pronounced electroencephatographical changes are observed.