

# 肺血管造影法

*Angiopneumographie*

Egas Moniz\*, Lopo de Carvalho\*, Almeida Lima\*. Presse Medicale 53:996-9, 1931

以前から、肺動脈、さらには肺内の多くの動静脈を可視化する研究を進めていた。本稿のタイトルはこれを意味するものである。動脈、静脈は、気管支に沿って一緒に走行しており、いずれも大部分で気管支の分岐に沿っている。我々は臨床的な観点から、特に肺腫瘍の質的診断の一助となることを目的に、肺血管造影を考案した。肺結核の診断精度をさらに向上させるという可能性も考えられるが、既存の臨床的診断法で充分であることから、この観点からはこの問題は重要とは思われない。

ある種の腫瘍、囊胞の鑑別診断においては、血管の可視化は新しい情報を提供できる。同様な方法は既に、脳における血管が豊富な腫瘍、血管がほとんどない腫瘍の鑑別診断で行なわれている。

しかし、肺血管の造影には大きな困難がある。X線に不透過性でかつ肺の通過時に無害である物質を使用しなければならない。さらに、右心系から肺を経て左心系に流れるように、これを静脈に注入しなければならない。しかし、特に成人では心室内の大量の血液により、X線で見えない程度にまで造影剤濃度が低下してしまう。これは非常に大きな障壁である。

もう1つ問題がある。肺には豊富な血管網があることから、何らかの造影剤溶液を投与しても、血管全体がみえるのではなく、既に末梢血管で知られているような小さな染まりを作るだけかもしれない。この場合、太い血管が描出されるだけで、我々の方法は役に立たないかも知れない。この点を知るために、まず動物実験を行なった。

造影剤としては、既に我々2人がその毒性、組織刺激性、X線不透過性の3つ面から研究していたヨウ化ナトリウムを選択した[1]。

実験用に選択した動物はウサギである。40%ヨウ化ナトリウムを、第4肋間レベルで直接右心室を介して頸静脈に注入した(図1)。肺血管は、気管支分枝のように造影された。

より良い画像を求めて、ヨウ化ナトリウムの濃度を80%まで増加させた。図1は頸静脈に40%溶液を注入後の画像である。投与量は5cc強であった。

イヌでも、100%ヨウ化ナトリウム溶液を頸静脈に大量に投与して、同様に肺血管網を造影できた。

サルでも、きれいな肺血管造影像が得られた(図2)[2]。



図1. ウサギの肺血管造影。内頸静脈を穿刺。40% ヨウ化ナトリウム。

\*リスボン

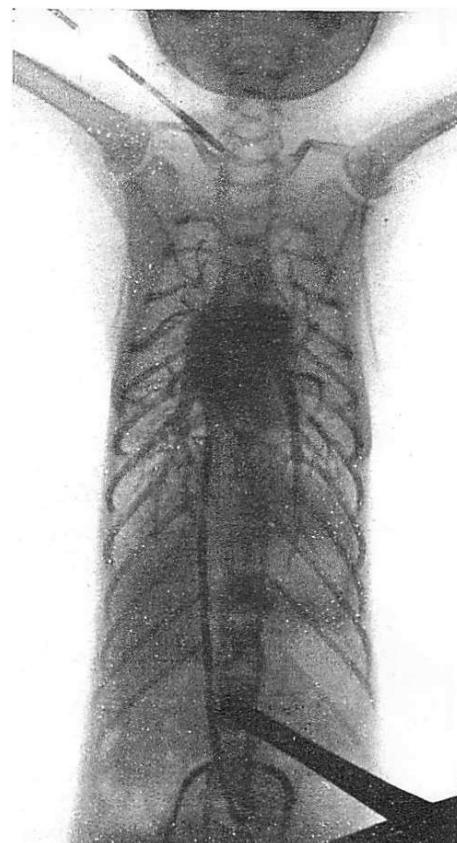


図2. サルの肺血管造影。下大静脈から右心房に挿入したカテーテルから造影。80% ヨウ化ナトリウム。

動物で繰り返し経験を積んだ後、ヒトでの実験開始を決断した。

25% ヨウ化ナトリウムができる限り急速に上肢の静脈に注入した。この時、血液の流入を軽減するために大腿と上肢に駆血帯を巻き、さらに撮影時に内頸静脈を圧迫した。X線像で造影剤を鎖骨下静脈まで追跡できたが、ここで完全に消滅してしまった。

次いで、両側上肢の静脈から同時に静注した。またヨウ化ナトリウムの濃度を、上肢静脈の無痛性の限界である30%まで増加した。しかし胸部X線には何も写らなかった。

造影剤濃度が大量の血液によって失われないようにするために、使用するヨウ素の濃度をさらに高くし、できるだけ右心室に近いところで注入する必要があった。

Henderson & Prince, Meakins & Davis, Dautrebandeらの研究によると、成人の右心室容積は170ccであるが収縮期には100ccにまでなる[3]。

1秒以下の心周期毎に、大量の血液内にあってなお濃度を保つだけのヨウ化ナトリウム量が右心室に送り届ける必要がある。

これを考慮すると、我々の目標を達成することは不可能のように思える。しかし、上大静脈内に急速に、十分高濃度のヨード製剤を注入すれば、まだ肺血管を造影できる可能性があると思われる。

この仮定を実験だけで確認できるであろうか？

我々は動物でヨウ化ナトリウムの肺への作用を実験し、肺は濃度50%でも十分耐えることを確認した。しかしこの高濃度をヒトの頸部、胸部の大血管に注入することはできない。そこで濃度を慎重に漸増させる方法をとった。しかし新たな困難に遭遇した。

### 頸静脈およびその太い分枝の不感性

頸部の太い静脈の穿刺を考慮した。屍体での経験から、腕頭静脈あるいは上大静脈に到達することは、非常に容易であることを確認していた。胸鎖乳突筋の胸骨部と鎖骨部の間、胸骨の背側で直角に穿刺すると、たちに腕頭静脈、上大静脈に到達する。このことから、これを生体でも試みることにした。

我々は、内頸静脈、鎖骨下静脈、腕頭静脈、上大静脈への穿刺を非常に多く経験した。針は確実に穿刺できるが、血液をシリンジに吸引できるのは非常に稀であり、注入前に針が太い血管内にあることを確認する必要があった。静脈外で注入すれば重大な問題が起りうる。針が良好な位置にあり、注入に際して血管外に離れていないことを知ることは必須である。

この頸部の太い静脈内に針があることを確実に知ること

ができるない困難は、静脈圧が低いことによる。

血液は吸引してもシリンジ内に逆流しない。上大静脈と腕頭静脈の内腔は陰圧である。

我々は、強力な電気式吸引器と1mm径の穿刺針を使用した。血液の吸引には、特に鎖骨下静脈の場合は稀にしか成功しなかった。今回の実験あるいは後述する他の実験において、我々は既に頸部の他の静脈よりも高濃度の、患者に危険や疼痛のないヨード造影剤を試している。濃度は50%, 60%である。鎖骨下静脈に後者を60cc注入したときのこと、患者の訴えで我々は注入を中止した。患者は頸部に非常に強い痛みを訴えたが一過性であった。2時間後、状態は良好であった。X線写真では、鎖骨の外1/3の高さに染まりが認められた。数分後の撮影したX線写真では、この陰影はより薄くなっていた。翌日の写真では全く消失していた。

X線写真を詳細に検討すると、造影剤は少なくとも完全には上大静脈への血流の方向に移動していなかった。注入した造影剤のかなりの部分が反対方向、鎖骨下の外側にむけて逆流していた。この静脈は拡張し、注入の最後の時点では血管外漏出が認められた。患者が痛みを訴えた時点で直ちに注入を中止したため、幸いに無害であった。

外頸静脈あるいは内頸静脈にも直接、35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%のヨウ化ナトリウム造影剤を注入した。疼痛はなかったが、造影剤は充分下行せず、一部は逆流した。

上肢静脈ではヨウ化ナトリウム注入時に相当な疼痛発生率があるのに対して、頸静脈が不感性であることは、この2つの静脈の感受性における大きな差異を示すものである。これは我々の実験を進めるにあたって好材料であった。

そこで、頸部静脈、特に閉塞しても問題が少ない外頸静脈、前頸静脈を利用してカテーテルを挿入することにした。通常の尿管カテーテルを使用した。手技はすべて患者の苦痛なく行なわれ、耐容性は非常に良好であった。しかし2例において鎖骨下静脈に到達できなかった。特に外頸静脈（特に右側）が外側に位置している場合、カテーテルが鎖骨下で外側に向いてしまう。X線フィルムで見ると、カテーテルの先端がこの位置に見えるが、注入された造影剤は必ずしもすべてが上大静脈方向への血流に乗っていない。いずれの場合も、造影剤の一部は所望の方向に向かうが、おそらくそれより多くの部分がその場に留まつたり逆流していた。

### 頸部静脈循環のメカニズム

このような観察結果から、我々は頸部循環のメカニズム、ならびに血液と異なる濃度の液体の流入による静

脈網の血行動態の変化を検討した。

頸部静脈循環の生理については、最も大きな流れは脳から内頸静脈に向かう血流であることを知っておく必要がある。脳からの還流が非常に大きいため、鎖骨下静脈の流れは常に緩徐である。

内頸静脈が解剖学的に中枢側にあって、血流が上大静脈に直接流入するような場合は特にこれが顕著である。しかし、頸部静脈の循環のメカニズムにおいて重要なのは解剖学的関係である。図3は、外頸静脈が内頸動脈の側方で鋭角を成して鎖骨下静脈に流入するところを示している。外頸静脈は内頸静脈、および一般的にはより弱小な前頸静脈と合流する[4]。この2本の表在頸静脈は、頭蓋およびその周辺組織の血液を還流する。

頸静脈からの頭部、脳への血液の流入が非常に大きい場合、頭部全体の血液の還流に与る深部頸静脈および表在頸静脈は血流で飽和する。すると拡張しやすい外頸静脈の血流は、心臓へ向かう鎖骨下静脈の血流方向を反転するようになる(図3-III)。我々の見解では、これは内頸静脈の血流を上大静脈に流すための解剖生理学的な防御機構である。

ヨード造影剤を鎖骨下静脈、あるいは外頸静脈、前頸静脈に流す場合、造影剤の相当量が常に血流と逆方向に流れる。これはこの領域の静脈循環の特別なメカニズムの結果である。

これは、血液より濃度の高い液体が、この静脈集合システムに流入することによる問題かもしれないが、その意義については正確なデータがないため評価が難しい。

留意すべきことは、鎖骨下経由の造影剤注入は、所望の速度では心臓に到達しないということである。

これは物理学的には興味を引くところであるが、我々の実験の遂行上、非常に大きな問題である。すなわち、

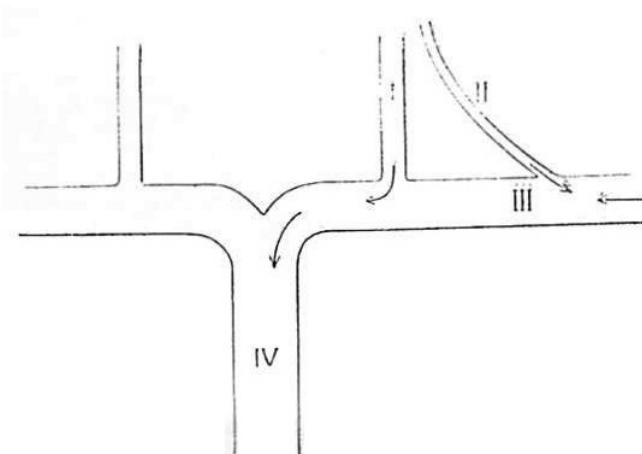


図3. 頸静脈の解剖。I. 内頸静脈, II. 外頸静脈, III. 鎮骨下静脈, IV. 上大静脈。複雑になることを避けるため前頸静脈は記載していない。

造影剤を上大静脈あるいは右心房内で行なう必要があるということになる。しかしこの領域には、頸部表在静脈からのカテーテル挿入では到達できない。これ以上の外科的侵襲は正当化されないであろうし、また侵襲が大きいと肺血管造影にたいする臨床的興味も失われるかも知れない。

このヒトにおける最初の実験で得られた全てのX線写真的うち、少なくとも2枚ないし3枚、ヨウ化ナトリウム注入後に肺血管が描出されているように思えるものがあった。

#### 右心房への直接注入

最近、Forssmannが肘窩の静脈から問題なくカテーテルを挿入して右心房に到達したことを知った。そこで我々もこの経路を採用し、良い結果を得た。我々の動物実験を提示する。すべての暫定結果を載せることは本稿の領域を超えることから、2枚のみ提示する。図4はウサギの右房のカテーテルから注入したものである。造影剤は力を加えて圧入した。肺血管像は充分にきれいなものである。余剰な造影剤が下大静脈から肝静脈にまで到達している。図5では、右心房に挿入したカテーテルが下大静脈を超えている。肺血管像は前例より不明瞭であるが、肝、脾の静脈がみえている。

この2つの実験は、Forssmann[5]がその研究で提示したことを実証している。患者の場合、なぜカテーテルが屍体のように右心室ではなく下大静脈に挿入されるかがここで問題となる。これは生体では房室弁がカテーテルの心室内への進入を妨害し、さらに押し込むと容易に下大静脈の入口部に達し、静脈弁の不備によってこれを超えるためである。このことは、カテーテルを右心房に挿入する際、無理に押し込まないよう注意する必要があることを示している。

この実験から、例えば下大静脈、肝静脈の静脈網を造影できることが考えられるが、危険を伴う可能性がある。

動物実験の後、これをヒトで再現し、以下の方法で初めて肺血管造影像を得ることに成功した。

カテーテルの静脈内への挿入法には2つあり、経皮法では小さなトロカールを使用し、そのカニューレからカテーテルを挿入する。もう1つの方法はより簡単に、特に静脈があまり太くない場合、小さな静脈切開を加えてカテーテルを挿入する方法である。

初期の実験では、70cmのX線不透過性尿管カテーテルにオリーブ油を塗布して使用したが、満足なものではなかった。その後は、X線不透過性心臓専用カテーテル[6]をつくり、より良い結果が得られた。右心房には、生理的食塩水2cc、化学的に純粋な80~100%ヨウ化ナトリウム溶液10ccをシリンジで注入した。

## 患者の準備

朝から絶食とし、座位で検査する。外頸静脈、前頸静脈の解剖学的位置関係から右側の方が容易であり、一般にこちら側からカテーテルを挿入する。滅菌ガーゼでくるんだ前腕から通常の静注のように施行する。静脈穿刺は、事前に10%クエン酸ナトリウム溶液を通しておいたX線不透過性尿管カテーテルを使用する。助手が生理的食塩水を詰めたシリンジを接続したカテーテルの一端をもち、カテーテル挿入中これをゆっくりと注入する。

この全ての操作は透視下に行なう。鎖骨下静脈外側部では、特にこれが直角な場合は、外頸静脈に進入しやすい。カテーテルが意図した方向に進まない場合は、患者の上肢を挙上し、鎖骨領域におそらくカテーテルを触診できるのでこれを指で補助すると、容易に右心房に到達できる。カテーテルをさらに奥まで押すと、前述のように下大静脈に進入する。

造影剤濃度が限界値以下に薄くならないように心腔中の血液量を最小限にするべく、注入時に両側大腿上部、上肢、頸部を緊縛することを考えた。助手の1人が手拳で下大静脈を圧迫し、もう1人が内頸静脈を圧迫したが、頸部の阻血は常に不十分だった。以上の所要時間は約10秒である。

しかしこのような処置を行なわずに撮影した別の肺血管の写真も良好であったため、この方法は放棄した。

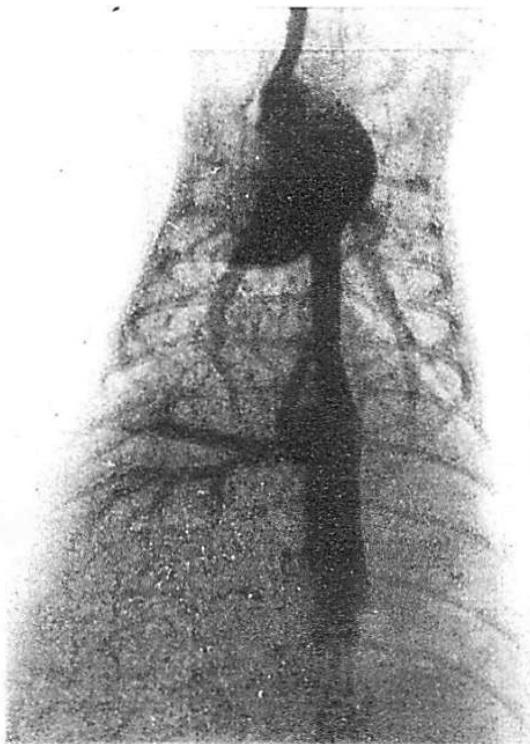


図4(左)。ウサギ。右心房内で造影剤を力を加えて圧入した。下大静脈、肝静脈に造影剤が達している。

X線装置を準備した状態で造影剤を注入する。120%ヨウ化ナトリウム溶液5~6ccをできる限り速く注入する。シリンジにまだ1~2cc残っている状態で、注入を続けながらX線を曝射する。患者には何も有害事象はないが、時に強い不定な味覚や、一過性の咳嗽を見る。

撮影後には、新たに生理的食塩水のシリンジをカテーテルにつなぎ、残りの造影剤をフラッシュしてから、カテーテルを抜去する。

## X線撮影

胸部X線写真は常に、気管支分枝に隣接する血管がいくつか写っている。気管支が見えているようにも考えられるが、一般に気管支はX線透過性である。血管内の血液だけでもある程度不透過であるが、動脈硬化があるとさらに濃く見えるようになる。右心房にヨウ化ナトリウム溶液を注入すると、X線写真における血管の輪郭は一般に多かれ少なかれ増強される。従ってその分枝を追跡することができ、その他の血管網もしばしば見える。伴走する動静脈も見えるが、今のところ、

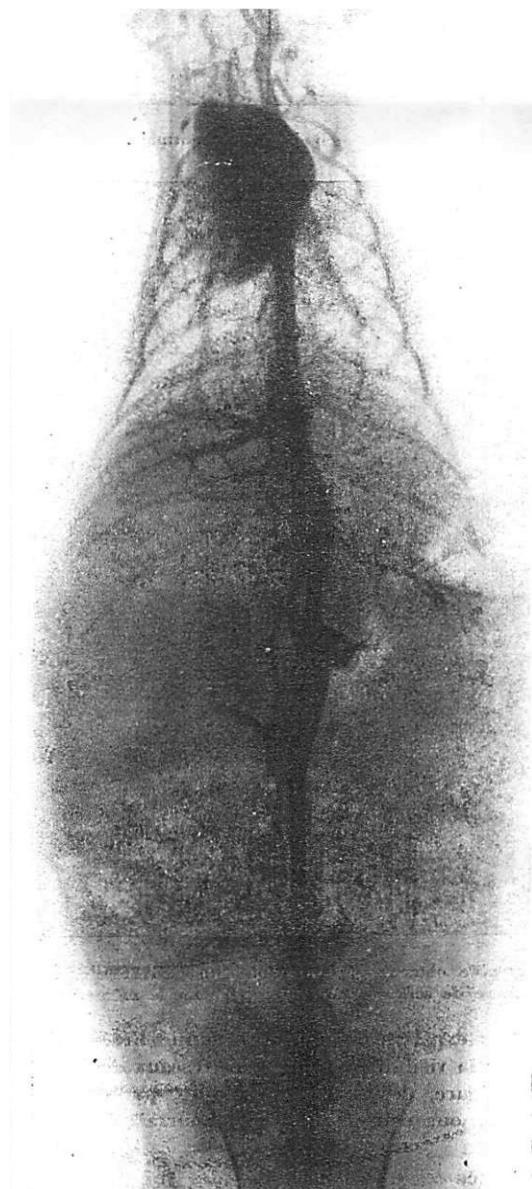


図5(右)。頸静脈から右心房内、下大静脈に挿入したカテーテルから造影。肝静脈、脾静脈が見える。

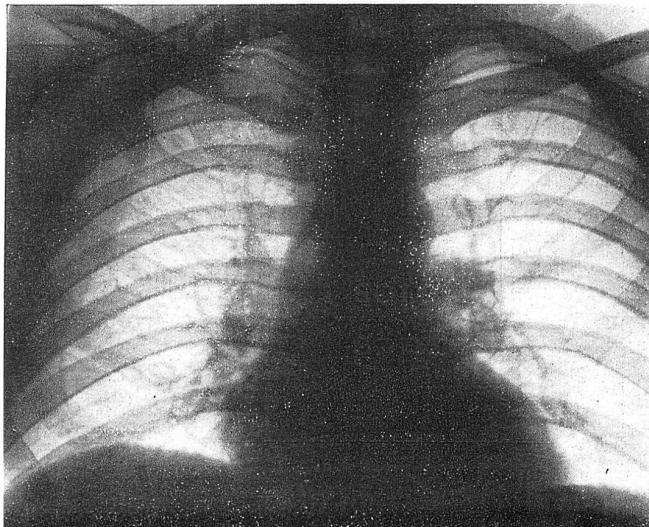


図 6. 胸部単純 X 線写真.

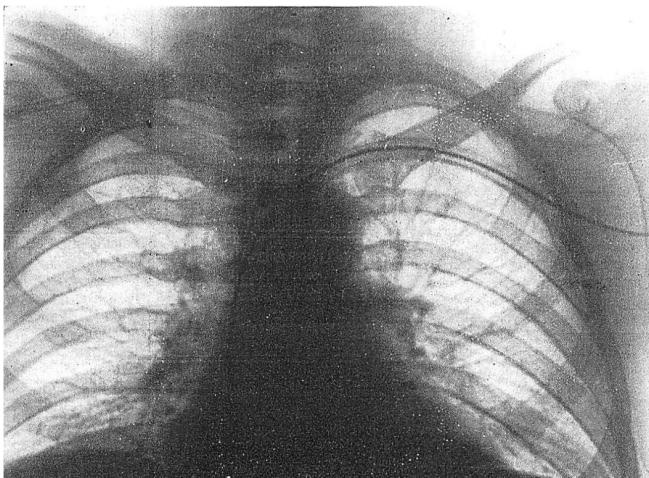


図 7. 肺血管造影. 右心房内で 80% ヨウ化ナトリウム造影剤 7cc を注入. 図 6 と同一症例.

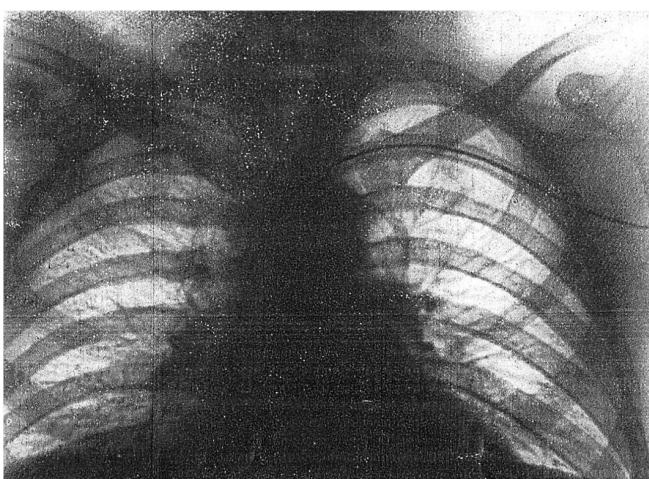


図 8. 肺血管造影. 右心房内で 120% ヨウ化ナトリウム造影剤 6cc を注入. 同一症例.

動脈と静脈を識別することは不可能なようである。

図 6, 7, 8 は同じ患者の肺の写真で、造影前、および右心房内に 80%, 120% ヨウ化ナトリウムを注入後の写真である。この写真は放射線科医の Aleu Saldanha 博士によるもので、これ以上は望めない良い写真を撮影してくれた。その重要な協力に謝意を表するものである。

ステレオ撮影の肺血管造影も撮影する予定である。

使用したヨウ化ナトリウムの濃度は十分と思われた。しかし、さらに高濃度のヨウ化ナトリウム、あるいは別の造影剤を試す余地があることも示唆された。

使用する造影剤濃度は患者の状態によって決めるべきと思われる。また結核の場合は、肺の状態によって濃度を調節するべきである。

この初の試みでは、この方法を疾患例に適用には至らなかった。これは研究の次の段階となろう。

今回の症例の中に、通常の X 線写真で石灰化結節とも血管陰影とも解釈できる小陰影がある 1 例があった。肺血管造影では、この陰影の濃度は増強されなかつた。従って確実に石灰化結節であると分かる。血管がフィルムに垂直に見えている場合が濃染される場合は、単純 X 線は同じでも石灰化ではないと診断できる。このような陰影は濃度が上昇する。

肺血管造影は、患者に害を与えることなく、非常に簡単な方法で撮影することができ、その臨床における利点を研究する前であっても非常に興味深いものである。

下大静脈まで挿入できるカテーテル法は、生理学の問題を解決するために役立つ。

患者に無害で、血中で急速に拡散する右心系への高濃度ヨウ化ナトリウム注入は、肺疾患の治療にも期待できる。つまりこの経路で局所的に高濃度の薬剤を投与すれば血中で速やかに溶解することができる。

ここでは提案するにとどめるが、我々の初期の観察結果は、その可能性を示唆するものである。

最後に、幸いに 1 人の患者も問題は起らなかつたことを繰返し述べておく。

リスボンのロカ・カブラール研究所、国家教育省の研究支援に謝意を表する。

#### 【脚注】

1. Egas Moniz. Diagnostic des tumeurs cérébrales et épreuve de l'encéphalographie artérielle. Paris, Masson et Cie, 1931, 239 ~

2. この肺血管造影は右心房内の注入で撮影した。カテーテルは下大静脈から挿入した。

3. 今回の実験後、我々は心拍出量は一般にもっと小さく、50 ~ 70cc と考えている。

4. 複雑になることを避けるために、図には記入していない。前頸静脈がある程度太い場合は、外頸静脈の太さとは逆相関の関係にある。前頸静脈はしばしば図中の外頸静脈のように斜めに位置することがある。

5. Werner Forssmann. Die Sondierung des rechten Herzens. Klinische Wochenschrift, 5, Novembre 1929

6. P. Gentile et Cie. 49, rue Saint-André-des-Arts, Paris.