

生きた人間の右心腔および肺動脈の造影について

Über Kontrastdarstellung der Höhlen des lebenden rechten Herzens und der Lungenschlagader

Forssmann W. Klin Wochenschr 45:2085-7,1929*

背景**

心臓の運動に関する知見は、X線写真の観察に多少なりとも基いている。心陰影全体から、その機能、状態を知ることができる。しかし、心臓全体の形態は一目でわかるものの、その内部についてはもちろん不明のままである。心陰影全体の中に占める心腔を評価するために、造影剤によって屍体の心臓の様々な部分を充盈する研究が行われてきた。しかしこの方法ではすべての部分が弛緩し、充盈により無理に伸展された心臓の画像しか得られない。実際の心臓では、時相毎に場所によって収縮、拡張するのに対して、屍体ではすべての心腔が同時に強制的に拡張されて描出されてしまう。生体における個々の心腔の全体に対する形、大きさは、屍体の画像から推測されるのみである。そこで生体の心臓で、まずは解剖学的に容易にアクセスできる右心系の造影を試みる必要がある。生体における心内腔の解剖と生理を研究する可能性を追求し、ゆくゆくは消化管の診断と同じように種々の心疾患の様態、タイプを研究することが本稿の意図するところである。

心臓の運動は速いことから、短時間しか内腔にとどまらない造影剤による陰影は必ずしも良好ではないことをまず勘案する必要がある。従って、高濃度の陰影を作る、耐容性に優れた造影剤が必要である。さらに造影剤の投与部位も慎重に選ぶ必要がある。例えば肘静脈のような末梢で投与すると、この部位の血流は遅いので造影剤の注入も緩徐になる。これに伴い大量の血液により稀釈され、濃い心陰影の重なりもあって描出不良の原因となる。これは、造影剤の静注に際してよく認められることである。

例えば Teschendorff は次のように述べている。「従って上肢静脈以外に、鎖骨窩静脈、ときには無名静脈も描出できる。上大静脈については、造影剤が全身の血流によって減弱されてしまい、未だに描出に成功していない」。

造影剤を中枢側で循環系に投与すれば、このような障害は回避できると推測される。

この目標は、前年に私が報告した、生理学な状態で生体の右心系にカテーテルを挿入することを目的とする実験に連なるものである。この方法をさらに拡張する

ことについては、いろいろ異論はあるものの、数々の追試験において特に事故もないことから、有望な方法であると思われる。O. Klein は、18 症例に対して 11 回のカテーテル挿入に成功し、Diaz-Cuenea も成功例を報告している。O. Klein は 7 例で心臓にカテーテルを挿入できなかったが、我々も前年に報告した症例とその後の追加 1 例を合わせ、22 症例にカテーテル挿入を試みて 15 例で成功している。この他に一連の実験の中で 4 例の自己実験を行ない、このうち 2 例は下記に記載するもので、2 例は不成功であった。不成功例の 1 例は、右上肢から挿入したカテーテルが頸静脈弓に迷入し、もう 1 例は左上肢から挿入して、内側二頭筋溝の深枝の露出後、腋窩静脈の起始部を超えることができなかった。この理由はおそらく、著者が何回も行った血管結紮によって上肢の静脈流出路が移動したためと思われる。障害は認められなかった。

心臓の急速な運動に加えて、造影剤の物理学的な特性からも、できる限り急速な造影剤注入が要求される。ここで必要とされる高濃度の水溶性造影剤では、血液と造影剤の混合物の比重が高くなるために抵抗が増大する。従って 2 つの液体が良好に混合するよう、均一な注入を維持する必要がある。これは、造影剤をカテーテルの細い開口部から急速に注入して混合することにより可能となる。これはカテーテルを洗浄するときに見られる現象である。

心腔内造影による心機能の障害は知られていないが、異物やここで必要とされるような高浸透圧の溶液は、心臓に重大な刺激を与える可能性がある。神経網は心筋の最表層に位置しており、従って造影剤が動静脈の血管刺激を惹起するとともに心筋壁に作用して強いショックの形で機能障害を来たしうることを考慮しなくてはならない。心筋内部が機械的刺激や異物に対して抵抗性があることは証明されているが、浸透圧刺激の作用についてはもとより否定できない。後述する動物ならびに人体での試験では、この点についてなんら障害は認めなかった。おそらく造影剤が血中で分散して高度に稀釈され、このような刺激は減弱されるのであろう。

もう 1 つのリスクの可能性として、血液が高濃度の不適合な造影剤と混合することによる血液のコロイド平衡異常、これによる血栓形成が挙げられる。10% 銀コロイドを使用した初期の動物実験では、これを投与されたイヌが注射直後に急性肺水腫によって毎回死亡した。剖検では、肺動脈の細枝が全て血栓により閉塞

* Auguste Viktoria-Heim 病院 (Eberswald) 外科 (指導医: San.-Rat. R. Schneider 博士) [訳注: San.-Rat. = Sanitätsrat. 一定の功績のある医師に公的に付与される名誉称号。功労医.]

** 原文に小見出しはないが、訳者が追加した

していた。このため、この物質による実験は展望なしとして中止された。

従って右心腔の造影については、次の2つの疑問点にこたえる必要がある

1. 拍動している心臓において有意のコントラストが得られるか
2. 造影に際してヒトあるいは動物に対して無害で耐容性があるか

動物実験

このいずれの問題についても、まず動物実験が有用であり、以下にのべる方法で実験した。

麻酔をした家兎あるいはイヌの頸静脈を露出し、X線透視下に右心房にカテーテルを挿入した。次いで、造影剤をレコード注射器でできるだけ速く圧入した。目的とする量の約3/4が注入できたところでX線を曝射した。麻酔は、Brugsch-Schittenhelmが動物実験用に記載した方法によった。家兎のエーテル麻酔では20%ウレタン溶液を体重の5%量を皮下注射し、イヌでは体重に関わらず4%モルヒネ溶液10ccとした。カテーテルを上大静脈を少し超えて右心房の中ほどまで挿入したのは、血流を考慮してのことである。上大静脈、下大静脈の相反する方向の血流が合流することで渦流が生じ、完全な混和が起こる。流出口が1個のカテーテルの場合はそれをこの位置に置くが、多くの開口部があるカテーテルの場合は開口部のおよその中心部を右心房の中央に置く。

動物実験ではまず家兎を使用し、ヨウ化ナトリウムで造影したが、家兎は非常に虚弱なため、すぐにイヌに換えることになった。イヌは脈拍数が少ないので、より良好な画像が得られた。酒石酸エルゴタミンによって脈拍数を落とす方法は一定の利点があると考えられたが、まずできる限り自然な状態で実験するために採用しなかった。造影剤は初期にはヨウ化ナトリウム水溶液を用い、濃度を15%から次第に20%まで増加させた。動物には1回量20ccを3回まで投与し、耐容性は良好であった。軟X線を硬X線に変更した後、この造影剤で十分な画像が得られた。Schmidtの研究および後述する我々の実験の結果から、我々はウロセレクタンを使うようになった。腎盂造影の場合のように40%溶液を使用した。造影は得られなかった。濃度を50%にして初めて所望の結果が得られた。最終的に動物には、1回量20ccを3回まで投与した。非常に小さなイヌ1頭が死亡したが、このイヌは1時間に20ccを4回投与した例で、造影剤注入中に突然心停止を来した。短時間の心臓マッサージによって蘇生後、さらに2時間拍動を続けた。剖検では、血液のうっ滞1カ所以外には実質臓器に異常を認めなかった。右心だけが強く拡張していた。ウロセレクタンあるいは

ヨウ化ナトリウムによる右心系の造影では、リスクは造影剤の毒性や塞栓症に求めるべきではないことがわかったことは注目すべきである。原因はおそらく、突然の注射による右心系の拡張である。

以上の予備実験の後、ヒトでの実験に歩を進めた。Schmidt, Schüllerらが血管造影における有痛性温感を報告していることから、まず自己実験を行なうことにした。

第1回自己実験

まずヨウ化ナトリウムを調べる必要があった。助手に局麻下に左肘静脈を露出させ、8Fの心臓カテーテルを挿入。当初、先端が多少曲がっていたために挿入に失敗し、左頸静脈に迷入した。X線で確認したカテーテルの先端が頸部のおよそ中ほどにある状態で、耳に鈍痛を生じた。ここで、Kleinの研究に関して次のような記載がある。「多くの実験によれば、カテーテルの逸脱は上肢を強く挙上することで発生する」。鎖骨下静脈は、比較的短い上方凹のカーブを描いて頸静脈と合流するが、ここでカテーテルの逸脱がおこる。上肢を降ろすと鎖骨下静脈は下に凹のカーブとなり、頸静脈とかなり鋭角を成して合流するようになる。この2本の血管の相互位置の変化については、屍体では上肢を内転した位置で行なうため、従来は十分に観察されていなかったと思われる。従ってカテーテル挿入に際しては、腋窩のカーブを避けるために上肢を水平まで挙上させるよう留意する。そしてカテーテルの進行とともに上肢を徐々に降ろしてゆく。先端が真っ直ぐな新しいカテーテルでは、この障害を克服しやすい(透視、写真撮影を使用して行なう)。

造影剤を5cc注入した時点では、なんら障害や違和感はなかった。25%ヨウ化ナトリウム20ccを急速に注入して、1/20秒露光で近接撮影を行なった。注入後まもなく、軽度のめまい感をおぼえが、すぐに消失した。ただ約1日半にわたって、ヨウ素の排泄に起因する鼻閉感と味覚障害が続いた。

フィルムには肺動脈の陰影が良好に写っただけで、それ以外は不満足な結果であった。しかしそれでも、この実験により無害な診断法であることが示された。

第2回自己実験

ウロセレクタンが動物に無害であることがわかっていたので、自己実験にもこれを使用した。

右大伏在静脈を局麻下に露出。8F尿管カテーテルを挿入し、容易に心臓に到達。卵円窩へのカテーテル挿入については、ここで筋膜縁に乗る血管が大きな急カーブを描くため、かなりの困難があった。これについては既に何度も述べたように、内転と屈曲を組み合わせながらカテーテルを鼠径管内に進めることにより容易

に克服できる。カテーテルの位置を確認した後、試験的に造影剤（ウロセレクトアン 40:80）5cc を注入した。特に問題なかったのも、自分で 20cc を圧力をかけて注入した（撮影）。最初の自己実験と同じように、一過性、軽度のめまい感があった。しばらくして口腔内に短時間で消失する一過性の温感も感じた。

ウロセレクトアンの排泄に伴う副作用は認められなかった。

既に Schmidt も強調していることであるが、この実験は血管描出におけるウロセレクトアンのヨウ化ナトリウムに対する大きな利点を示すものである。また、これもしばしば取上げられ、最近では Benassi も述べているように、毒性がきわめて少ないことも証明された。残念ながら X 線写真は 1 回目と同じく役に立つものではなかった。良く見るとカテーテルの輪郭が淡い陰影として認められる程度であった。これらの実験における明らかな結果は、より多くの症例で、高濃度の造影剤、高性能な X 線装置を使っておそらく証明されるであろう。

画像の解釈

動物、ヒトにおける X 線写真の評価、解釈は、背景にある胸郭の形状によって異なる。ヒトとサルは横長の楕円形の胸郭を有し、前壁、後壁を区別でき、肺は心臓の側方にひろがっている。これに対して四足動物の胸郭は、左右の壁があって明らかに尖っている。この形状は胸部内臓の位置にも影響する。肺は心臓の両側ではなく、大部分がその背側に位置する。このため、どのような方向から撮影してもその血管の広がりや十分に追うことができない。矢状方向撮影では心臓は最も重要な部分が隠れてしまい、前額方向撮影では両側が重なってしまって観察が難しくなる。動物の心臓は、平らな横隔膜の上ではなく、胸骨と肋骨弓が作る陥凹内に位置し、従ってその長軸は正中線、動物の体軸に近いが、ヒトでは横方向にある。

初めに述べた通り、屍体でこれまでに知られている造影写真は人工的なものであった。このため、生体の心臓で得られた画像の解釈も困難である。写真が示すように、生体と屍体動物の比較は何の役にも立たない。さらに画像の解釈は、これまでに得られたものが偶然の産物であることからさらに困難となっている。これまで特定の機能的時相（例えば収縮期末期）での撮影には成功しておらず、偶然撮影されたもので満足しなければならない状況だからである。従って、生きた動物での写真の解釈は、最大限の注意を払い、生理学的な前提に立ってのみ可能である。さらに、既に記した方法で得られた画像においては、造影剤 20cc の中枢での注入は、もともと心拍出量が小さい動物の場合は中心循環系に相当量の負荷となることから、拡張して

いる可能性も考える必要がある。ここでは屍体の場合と異なり、正常緊張下の管腔臓器の充盈が問題となる。従ってこのような研究から造影剤に要求されることは、ウロセレクトアンと同程度に濃い陰影をつくり、無害であること、少量で右心系の内腔を描出しうること、自然に近い状態の心機能を反映すること、危険を低減することである。

写真の解説

付図について言うと、図 1 は瀕死の動物で撮影したものであるが（前述）、死亡した動物の状態が反映されている。すなわち心房と心室が高度に充盈して同時に造影されている。心耳は腫大し、下大静脈でのうっ滞が認められ、肺動脈も良く充盈されている。これに対して生きている動物で撮影された写真では、全く異なる様相を呈する。

写真はすべて同じ動物の一連の撮影によるものである。この撮影のためには、真空管装置を使用した。左側臥位、管球距離 80cm、管電圧 38kV、曝射時間 1/20 秒で、側孔がいくつかある 8F カテーテルを使用し、流出造影剤を十分に利用できるように下大静脈起始部まで挿入した（上記参照）。

生体と屍体の心臓の違いを示す目的で供覧した付図を説明するにあたって、まず心拍現象の基本的特性をあらためて略述する。ここでは 3 つの時相を考慮する必要がある。

1. 心房収縮期
2. 心室収縮期
3. 静止期

心房の充盈は心室の収縮期から静止期に起こり、心室の充盈は静止期から心房収縮終期に起こる。その後肺動脈が充盈される。従って、3 種類の心陰影を見ることができる。まず第 1 に心房収縮像、すなわち心房が小さくなり、心室はまるく大きくなる。肺動脈の描出はまだ見られない。これが見られるのは 2 番目の心室収縮の段階で、その徴候が現われる。この段階では心室が小さくなり、細長い形となり、心房は再び軽度に充盈される。第 3 段階は心静止期で、心房がほとんど充盈し、まるくなり、心室は大きくはないが、非常に細長い前段階と異なりまるくなることからわかる。私が考えたこの 3 つの基本型には、多くのオーバーラップがある。図 2 の画像は、心室が収縮終期にあると考えられる。すなわち、心室の陰影は細長く尖った形で肺動脈内に連続しており、心房はまるく小さく、縛ったように見える。カテーテルから造影剤が噴出し、逆流して下大静脈の血流がみえている。次の図 3 は心静止期に近い段階で、心室は小さく、肺動脈に連続し、前の写真と異なりもっとまるい形をしている。次いで図 4 では心房が収縮しているように見える。心房は強

く挙上し、心臓の他の部分に重なってまろく見え、心室は大きくまろく、肺動脈との連続性を欠いている。最後の図5は矢状方向撮影であるが、四足動物ではこの方向では心臓の各部位が他の方向よりも強く重なるため、その解釈はさらに難しい。肺動脈起始部の充盈状態は、当該写真の時相解釈の重要な基準となるが、ここでは特にその状態を観察できない。

暫定的であれ画像を説明する試みは、透視の観察にかかっている。心臓は平均的に流入する造影剤をその拍動によって経時的に分画する。この造影剤は心基部から心尖部に向けて高速に移動してここで折り返し、弁輪付近で消滅する。心房収縮期には、一塊の陰影が心臓内を移動して速やかに心室内に停止するのが観察できる。ついで心房内に新たな陰影を生じ、増大して同じ大きさになり、心室の陰影は縮小する。心室の陰影が消失すると、もとの大きさに成長している心房の陰影が再び移動して、この過程が繰り返される。

要約

1. 屍体の心臓を造影剤で充盈すると良好な画像が得られるが、自然な状態に対応する像は得られない。
2. 心臓カテーテルを使用すると、生体の右心系に造影剤を注入できる。
3. 25% ヨウ化ナトリウム、50% ウロセレクトタン溶液は、実験動物において急速に注入しても耐容性が高く、良好な画像が得られる。
4. 同一人における2回の実験では、ヨウ化ナトリウム、ウロセレクトタンをカテーテルで右心房に注入し、不快感や障害は認めなかった。技術的な不備によりX線撮影はできなかった。
5. 生体、屍体実験動物におけるX線写真を比較し、説明を試みた。

【参考文献】

Literatur.

Benassi: L'Ateneo Parmense Vol. II, fasc. 5^a. — Bernard: Physiologie opérative. — Bleichroeder, Unger und Loeb: Berl. klin. Wschr. 1912, 32. — Braus: Anatomie des Menschen II. — Christeller und Eisner: Ziegler's Beiträge 81 (1929). — Corning: Lehrbuch der topographischen Anatomie 1922. — Diaz-Cuenca: Archivos Cardiol. XI, 1930, 3. — Ellenberger-Baum: Anatomie des Hundes, Berlin 1891. — Esch: Münch. med. Wschr. 1916, 786. — Forßmann: Klin. Wschr. 1929, 45 u. 49. — Henschen: Schweiz. med. Wschr. I, 261—270 (1920). — Krehl: Pathologische Physiologie, 1921. — Klein: Med. Klin. 1929, 49; Klin. Wschr. 1930, 12; Münch. med. Wschr. 1930, 31. — Külbs: In Bergmann-Staehelins Handb. d. inn. Med. 1928. — Landois-Rosemann: Lehrbuch der Physiologie, 1923. — Montanari: Klin. Wschr. 1930, 11; Sperimentale 1928, I/II. — Matthes: Differentialdiagnose innerer Krankheiten, 1928. — Rösler: Klin. Wschr. 1930, 13. — Rauber-Kopsch: Lehrbuch der Anatomie III, 1911. — Schüller: Münch. med. Wschr. 1930, 7 u. 27. — Schmidt: Chirurg 1930, 14. — Stadler: Neue Deutsche Klinik, IV, 1930. — Teschendorf: Röntgenpraxis 1930, 20. — Vaquez-Bordet: Herz und Aorta (übers. Zeller), Leipzig, 1916. — E. Vogt: Verh. dtsh. Ges. Chir. 45, 26. — Volkmann: Med. Klin. 1917, Nr. 52, 1357.



図 1



図 2

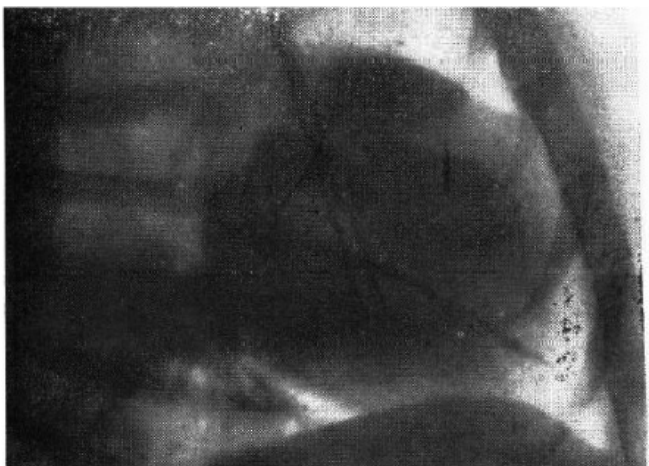


図 3

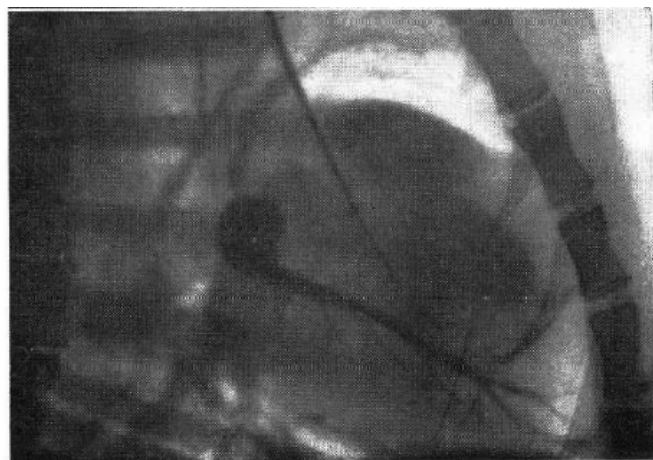


图 4

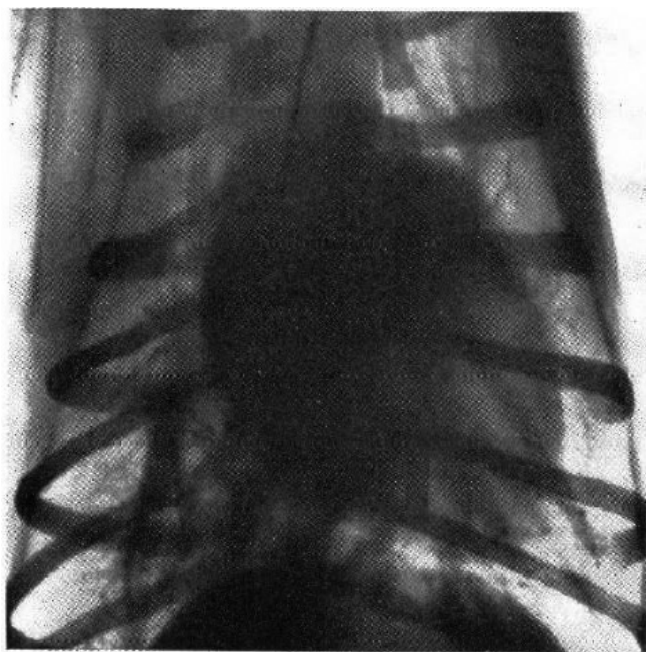


图 5