

レントゲン撮影の陰影から被写体の真の大きさを知る方法(正写法)と それによる正確な心臓の大きさの決定

*Eine Methode, um beim Röntgenverfahren aus dem Schattenbilde
eines Gegenstandes dessen wahre Grösse zu ermittern (Orthodiagraphie)
und die exakte Bestimmung der Herzgrösse nach diesem Verfahren*

Moritz F. Münch Med Wochenschr 47:992-6,1900

X線撮影においては、有効なX線は主に対陰極の一点から放出され、ここから全方向に開散する。これは、点光源から出る通常光と良く似ている。

このような開散した光線によって得られる画像は、常に拡大しており、その拡大率は線源と被写体の距離 Eq と、被写体と受光面(蛍光板)の距離 Es に依存する。

簡単に考えればわかるように、拡大率は後者、すなわち蛍光板までの距離に比例し、前者に反比例する^{*}。例えば、指をロウソクに接近させると、壁全体に広がるような大きな影ができるが、指とロウソクの距離を一定に保って壁に近づくと影は次第に小さくなる。

この関係は次式で表わすことができる。 $V = Es/Eq$ 。この式から、 $V=0$ となって像が拡大しないのは、 $Es=0$ あるいは $Eq=\infty$ の場合だけである^{**}。しかし、被写体と投影面の距離を 0 にすることはできない。一方の面を他方に動かすことができるだけである。例えば心臓の場合、蛍光面に前胸壁を接触させても、身体が厚いほどその陰影は拡大する。

後者の例、すなわち光源と被写体の距離が ∞ となる例として、太陽光が挙げられる。太陽光で照らせば、投射面が光線に垂直であれば常にその正確な陰影が得られる。しかしX線の場合、距離を離すと光線が減弱して明瞭な像を結ばなくなるので、このような条件は実現できない。

これまで開散光線によって陰影が拡大される問題のみ考慮してきた。しかし、陰影の輪郭が被写体と異なる場合があるという問題も考慮する必要がある。被写体の形状を一方向からみると不整はなくとも、別方向からみると凹凸不整がある場合がある。光源が近い場合、このような特徴が強調され、これがさらに拡大される結果、本来とは異なる形状となって誤解を生むことになる。

例えば立方体の上に、立方体を完全に覆うような球を置くとする。球の側からみると円い輪郭が見える。しかし立方体の側から投影し、光源が球に近い場合、4つの角を残しながらも円い陰影となる。同様に、X線管球を背側において、前胸壁に密着させた蛍光板に心臓の陰影を投影すると、目的とする前面から見える

* 訳注：正確には $Eq+Es$ に比例し、 Eq に反比例する。

** 訳注：拡大率 = $(Eq+Es)/Eq = 1+Es/Eq = 1+V$

輪郭ではなく、心臓の後面の輪郭が得されることになる。

3つ目の問題として、人体を扱うX線の場合、線源に対する被写体の位置が正確にわからないため、陰影の輪郭が実際にどこに対応しているのか決定できないという点がある。不規則な形の人体では、線源が少し動いても陰影は大きく変化しうる。

このような考察から、X線によって得られた陰影から、十分な注意を払えば被写体の形状を知ることはできるものの、大きさに関してはまったく評価できないと言える。後者に関してはいかなる試みも、例えば心臓の場合、拡大率が最小限になるように蛍光板を胸壁に密接させて前胸壁からの平均距離を計算して近似値を得るような方法も疑問である。計測法というものは異論の余地がないものである必要があり、実際以上に精度があるように見せかける方法は無意味であるだけでなく、有害である。

しかし、このような困難をすべて一掃して、被写体の正確な形と大きさを得ることができる簡単な方法が存在するのである。

この方法では、対陰極から出るX線束のすべてが投影面に適切に垂直に入射する必要はなく、投影、描画すべき被写体の輪郭の個々の点にだけ 1 本の X 線が入射すれば良い。これは、被写体に対して X 線管球を動かして、これが常に輪郭上の記録すべき位置が X 線束に垂直になるようにすることで実現できる。このようにして次々と選択した部分を蛍光面に直交する X 線の位置に動かす。1 本の垂直な X 線を移動することによって、一連の平行な直交 X 線束を総合して、陰影全体の輪郭を鉛筆でマークして経路を描き、最後にこれをつなぎ合わせる。

この原理は非常に簡単なもので、この問題を多少なりとも検討したことがある者であれば思いつくものである。文献を涉猟すると、Rosenfeld[1]、Payne[2]、Donath[3]、Levy-Dornraga[4] らが被写体の輪郭の個々の点を平行光線によって同じ方向から撮影した画像上で決定する方法を提案している。しかしこれらの方法は不完全なもので、例えば心臓の輪郭を迅速、正確に描出することはできない。せいぜい心径の 2 点間距離を概ね正確に決定できる程度である。これに対して著者の装置は、この問題に完全な満足のゆく技術的解答

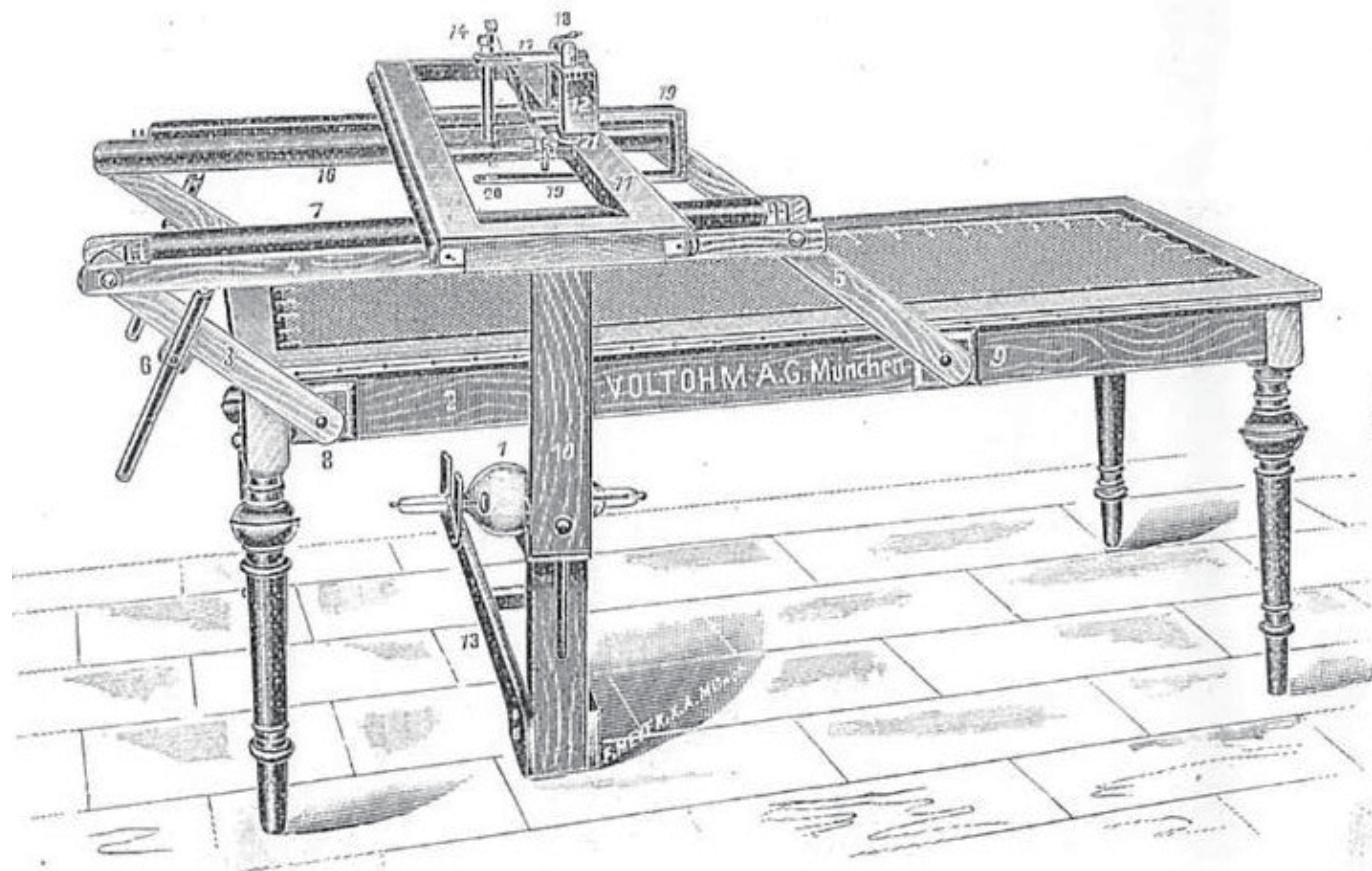


図 I

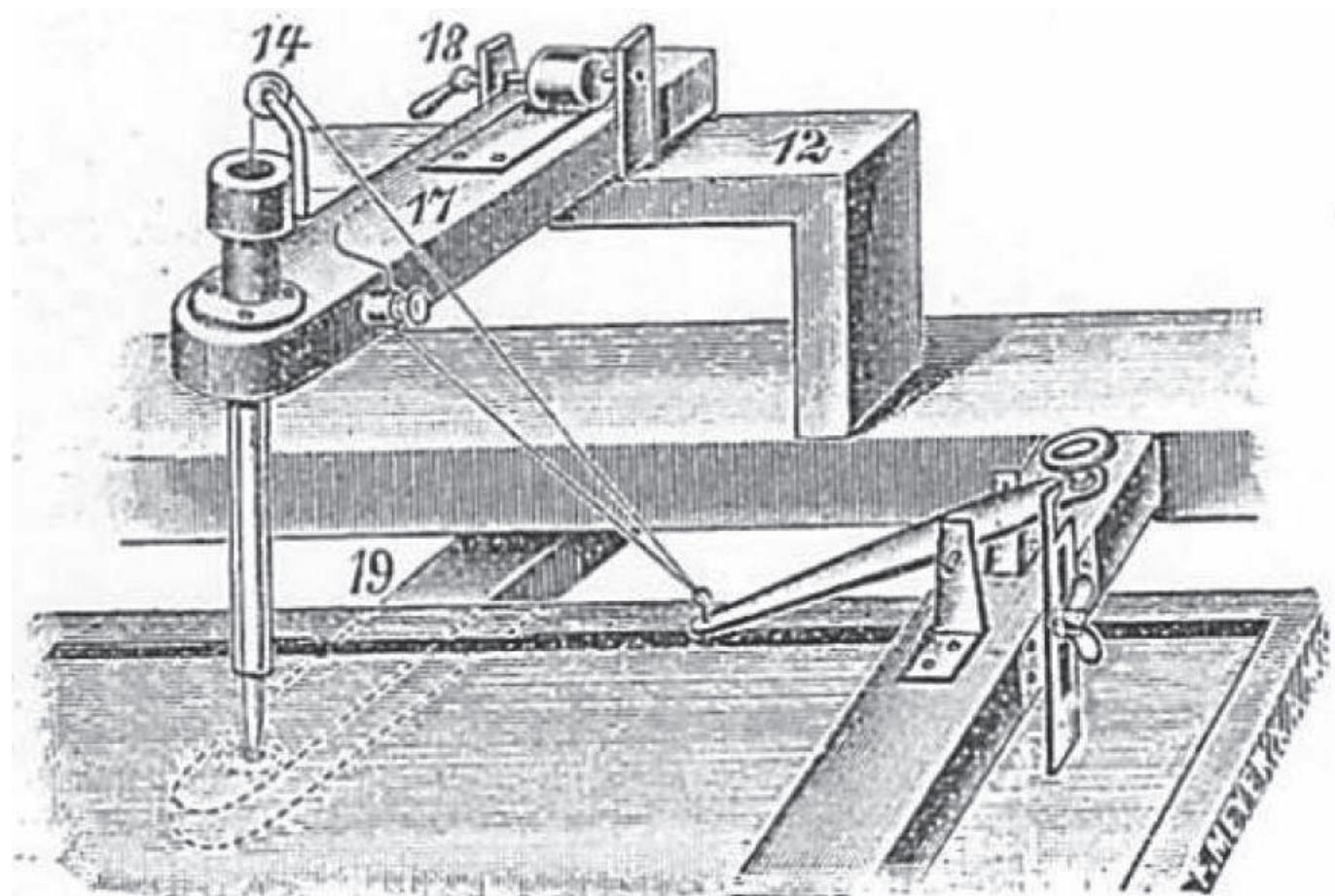


図 II

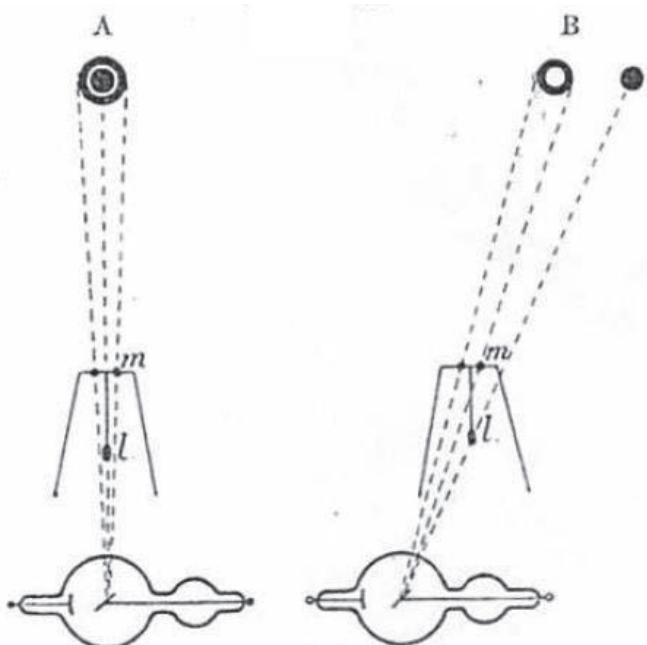
を提供するものである。

垂直X線が輪郭に沿って移動するようにX線管と被写体の相互位置の変化を保つためには、2つ方法がある。X線管球を固定して被写体を動かすか、あるいは逆に被写体を固定してX線管球を動かすである。人体のような大きな被写体の場合は、精度の面から被写体を動かすことは避けるべきであり、X線管球は容易にあらゆる方向に水平移動することができる。

この装置では、こちらの原理を採用している(図I, II)。

患者はX線検査に広く使われている透視台(2)[5]の上に寝かせる。この検査台には、両側の長手方向の2本の支持桿(3, 5)に固定された水平桿(4)がある。この高さは、両側の支持桿(8, 9)に連結したネジで調節できる。これはレール(6)上のネジで固定されている。水平桿(4)にの両側にそれぞれローラー(7)があり、このローラー上に細長い枠(11)が載っており、この枠にも前者と直交する方向にローラーがある。これによって水平面にあるフレームは任意の方向に容易に移動できる。このフレームはコの字の上部アームを作っており、コの字の下部アームは透視台の下にある。この下部アームにX線管球が載っており、管球は上部とともに任意の方向に移動する。

前述の2本の側面ローラーの間に検査台の幅にわたる蛍光板がある[6]。以上、あらためて確認すると、上から下に向けて、横方向ローラーを備えた上部フレーム(11)が2本の縦方向ローラー(7)の上を走り、蛍光板、被写体(この場合は人体)、検査台(2)、その下にX線管球(1)の順となる。



図III. A. X線管球が振り子の真下にある場合。振り子(l)とその金属吊り線が重なる。B. X線管球が振り子の真下にない場合。振り子と吊り線は重ならない。

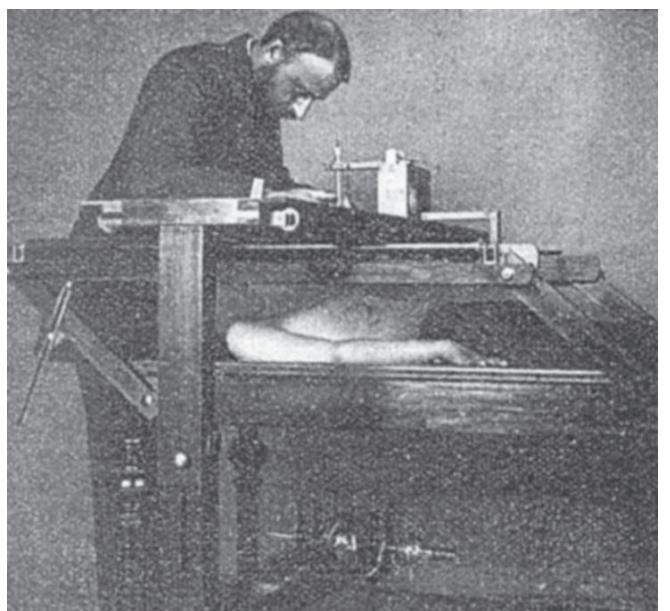
これにはまだ最も重要な部分が欠けている。すなわちX線束全体から蛍光板に垂直なX線を選択する装置である。これは小さな鉛のリング(20)で、上部のフレームに固定されているが位置は可変で、蛍光板の下、蛍光板と患者の体の間にある。X線管球はコの字型フレームの下部アームに、上部アームはこの上部フレームに固定されている。この鉛リングが正確に対陰極の垂線上にあれば、その陰影が蛍光板上に明瞭に投影され、垂直に入射するX線の位置を示す。従ってX線管球を移動したら、蛍光板上でも鉛の陰影が一致するようすれば、対応する垂直な位置を見つけることができる。

鉛のマーカーが正確に垂線上にあるように調節するために、金属の吊り線にぶら下げた金属製振り子(図III l)と鉛リング(図III m)を使用する。検査台にこの振り子を垂らし、2つの金属部品の陰影が蛍光板上で中心が一致するように管球を移動する。すると振り子は正確に、X線の放出点に立てた垂線上にある(図III a, b)。

前述の鉛マーカー(図I 20)とフレーム(11)の連結を緩め、その陰影が金属製振り子に一致するようにして固定する。そして対陰極の垂直線上に移動する。この設定は1回行なえば、適切に扱う限りそのまま保たれる。これには2分とかからず、振り子の助けを借りて迅速にコントロールできる。

もう一つ最後に重要なものは、記録装置である。これは鉛マーカーの方向を向いており、指で押すと蛍光板の上に置いたトレーシングペーパーにマーカーの位置、すなわち垂直X線の位置を記録する。小さなレバー(図I 20)を押すと、赤インクをいれたピペットが垂直なガラス管(14)内をスライドして圧力で蛍光板上に落下し、その場所に色点がつく。ピペットはその後自動的に挙上する。

この装置[7]の簡単な記述と図IVから、実際的な方法の理解は難しくないであろう。実際、非常に単純である。



図IV

フレームを適当に動かし、鉛マーカーの陰影を記録したい陰影の輪郭の任意の点に置いて、陰影の境界が鉛リングの直径内にある状態で、この点を記録する。次いで、鉛マーカーが陰影の輪郭上の次の点にくるように管球を移動し、これをまた記録する。そして十分輪郭の形が分かるようになるまでこれを繰り返す。各点をつなげば画像の輪郭を描くことができる。このようにして得られたシルエットが、いかに正確に被写体の輪郭に一致するかを図Vに示した。

この装置の医学における応用は多くの面におよびうる。例えば体内異物のように体内の特定の位置に何かある場合に最短距離を決定したり、体内の2点間の正確な距離を測定したり、あるいは体内の物体、例えば心臓、動脈瘤、腫瘍、骨などの輪郭を知ることができる。

内科学においては臨床面のみならず科学的にもX線の応用範囲を拡げることは疑いのないところであるが、外科学その他の分野の問題も解決しうるものである。

最も興味があるのは正確な心臓の大きさの決定で、これについて付言する。

心臓の良好な画像を得る前提として、もちろん良い胸部透視像の得られるX線装置が必須である。この目的には、スパークギャップ25~30cm、蓄電池、機械式断続器の装置で十分である。ごく最近、電灯線に直結した電解式断続器の装置を使用したが、少なからず明瞭な透視画像が得られた。コントラストが良好な画像を得るにはさらに、垂直X線の周囲の無用な散乱線の大部分を遮断できる鉛絞りの使用が重要である。

このような散乱線が、あらゆる場所に当たって有害作用を及ぼすこと、散乱線は患者の体内に無数の小さなX線ランプで火をつけるようなもので、陰影のコントラストを不明瞭にしたり完全に消してしまったりするということは、von Wlaterの論文("Physikalischtechnische Mittheilungen". Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. 第1巻 83頁)に述べられている。しかしながら、散乱線を除去するために鉛絞りをX線管の近くに設けるというアドバイスは、透視、撮影いずれにおいても一般的には行なわれていない。

しかし、特に大きな被写体にX線を透過させるための最適な条件下、すなわち特に(真空度が非常に低い)「高い」あるいは「硬い」管球、スパークギャップの大きい誘導コイルを使う場合には、このような絞りによる画質の改善にはめざましいものがあることから、著者は透視には必須と考えている。

これには、絞りを使用した胸部あるいは骨盤の透視像と、使用しないものを比較したことがある者であれば誰しも同意するであろう。

著者は、この装置に円形の絞りを使用して、管球の直

上に設置している[8]。そしてこれが横切るX線円錐が、蛍光板上の中心点に鉛マーカー(20)の陰影を作るようしている。

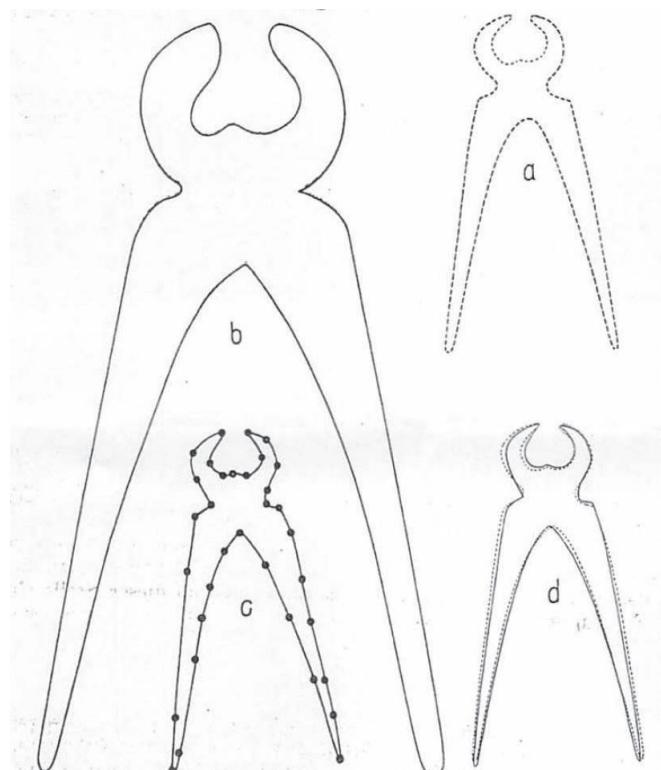
このような技術的条件の下で、肺野陰影、肺水腫、胸水、胸膜肥厚などによって心臓と肺の境界が不良でない限りにおいて、全例において信頼性の高い心臓の記録に成功している。

原則として、肺が十分に拡張して透過性が高くなる深吸気位のみならず、安静呼吸下の中間位でも成功している。非常に体格の良い患者においてのみ、深吸気位が必要となる。

この装置の、特に心臓の輪郭描画における有用性は、比類の無いその絶対的な精度を見れば疑う余地のないところである。著者は、水を充満した摘出心、および屍体の心臓による実験で、臓器の正確な輪郭が得られることを確認している。

この方法の実用性についてはさらに、生体の同じ心臓を異なる術者が描画しても、完全な一致がえられるこどからも示されている。

心臓の大きさ、形状、位置については、この方法によって攻略しうる一連の臨床的、生理学的に興味深い重要な問題が挙げられる。運動、アルコール過飲、貧血、弁膜症などによる心臓の大きさの変化から、治療、入浴、運動、ジギタリスなどの影響、動脈瘤の正確な位置と大きさの評価までいろいろな問題が考えられるが、本稿ではこれらの問題の詳細に立ち入ることは控える。



図V. a. ペンチの輪郭(鉛筆で直接描いたもの), b. 開散X線束で透視したペンチ, c. 本稿の装置で透視したペンチ(ペンチと管球、蛍光板の距離はbと同じ), d. 一致の程度を示すためaとbを重ねたもの

ここではひとつだけ、この装置の重要な応用について簡単に述べるにとどめる。これはこの装置を製作するきっかけともなったもので、心臓の打診との比較である。

正確な比較を行なうには、非常に慎重な方法が必要となる。ここでは打診による境界示す鉛ワイヤを皮膚に絆創膏で固定し、これを蛍光板の上に置いたトレーシングペーパーに書き込んだ。そして鉛ワイヤを取り除くと、トレーシングペーパーの上に安静呼吸時、深吸気時の輪郭が描かれた状態となる。前胸壁の骨陰影の輪郭を(直接トレースして)トレーシングペーパーに写せば、打診とX線所見を比較するすべてのポイント、心臓の胸骨、肋骨との関係を判断するデータを得る事ができる(図VI)。

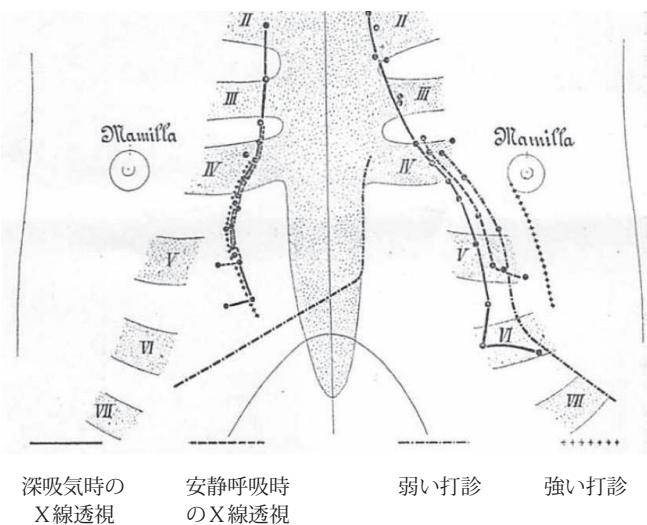
著者の経験では多くの場合、打診によって心臓の前面全体を胸壁に投影できる。右縁は強い打診が必要だが、左側はせいぜい中等度の打診で良い。左側を強く打診すると、真の心左縁を超えてやすくなる。この理由は明らかに、胸壁表面が外側で心左縁から後ろ向きに急速に傾いていることがある。この位置では心臓の側壁を打診しており、ここでの濁音は前壁とは無関係なためである。

打診との比較に利用できるのは、中間呼吸位から求めた心臓の輪郭だけである。X線画像が最も良く見える深吸気位での打診は、残念ながら横隔膜が下行して心臓の形状が大きく変化するため実際的ではない。これは常に観察されることで、心尖部が下行し心左縁は内側に移動する。心右縁は位置を維持するが、しばしば内側に、稀に外側に移動する(図VI)。

このように、著者はX線を用いることにより、自分の打診の不備を解消できるものと考える。新しい医学教育にも大いに役立つであろう。

【脚注】

1. Die Diagnostik innerer Krankeiten mittels Röntgenstrahlen. Wiesbaden, Bergmann, 1897
2. Arch Rönt Ray. 2(3,4):77, Fortsch Geb Röntgenstr, Vol. II, No.3 u. 4, S.77. Referat in Fortschritte auf d. Geb. D. Röntgenstrahlen, Bd. II, S.234
3. Die Einrichtungen zur Ersetzung der Röntgenstrahlen und ihr Gebrauch. Berlin, Reuther und Reinhart, 1899
4. Zur Untersuchung des Herzens mit Röntgenstrahlen. Verhandlungen des XVII. Congress für innere Medicin in Karlsbad: "Zur Untersuchung der Brust mittels Röntgenstrahlen. Berl medic Gesellschaft, 28. März 1900. Referat in Münch. med Wochenschr 1900, S. 481
5. 以下、括弧内の数字は図1、図2に示すものに対応する。
6. 図IIIでは、蛍光板は側板で隠れている。図Iでは、鉛マークが見えなくなるので省略している。
7. この装置は、Voltohm電気株式会社(München)が扱っている。
8. 図では、絞りは省いている。



図VI