

心臓の遠隔撮影法

Teleröntgenographie des Herzens

Köhler A. Dtsch Med Wochenschr 34:186-90, 1908

X線発見後まもなく、X線によって心臓の真の大きさを知ろうとする努力が開始された。

Rosenfeldはその著書「Diagnostik innerer Krankheiten mittels Röntgenstrahlen (レントゲン線による内科疾患の診断)」(1897)において、後前方向透視でX線管球を十分離せば心陰影は「それほど拡大しない」として、焦点—被写体距離を約40cmとした。

Gochtは、著書「Handbuch der Röntgenlehre(レントゲン学ハンドブック)」(1898)で距離1mを推奨し、「これによって心臓を直接、ほとんど誤差無く計測できる……肺過膨張にあってもこの距離では心臓はほとんど拡大されず、誤差は無視しうる」としている。

Cowlは、その古典的な、しかし残念ながらあまり知られていない著書「Diagnostik und Untersuchungsmethoden mittels Röntgenstrahlen (レントゲン線による診断と検査法)」(1903)で、やはりこれと同じ距離を実用上十分正確であるとしている。

結局のところ歪みは、X線が一点から放出され、心臓の前額面の最大径が胸壁、蛍光面から数cm離れていることによるものである。1mの距離でも左心縁には数mmもの歪みがあり、不確実であることから内科医はこの方法を使おうとしない。この問題を念頭において、より正確なX線計測法を求める努力が行なわれ、1899年にLevy-Dornが唱えた正写法(Orthoradiographie, Orthodiagraphie)は、垂直に入射する平行X線を使うことで、位置的問題、歪みの問題を容易に解決することができた。その後間もなくMoritzは正写撮影装置(Orthoradiographieは彼の命名による)を発明した。その原理については全ての医師の知るところであり、その大きな有用性については疑問のないところである。

すでに見たように、放射線科医が心臓を計測する場合、管球距離50~100cmとするがこれは内科医から見ると不十分であり、専門の放射線科医も正写法には満足していない。そこで垂直に入射する平行X線の方法を一層客観的なものとする努力が行なわれ、中でも独創的、実用的なアイデアでX線にも応用できるのが、Lepper-Immelmannの手になる垂直光線を利用する写真術、正射写真術(Orthophotographie)である。

このX線撮影も正写法であるが、紙の代わりに写真乾板を利用する。息止め下に、心臓と横隔膜を透視下に垂直入射交線を使って移動し、乾板に撮影する。絞りは非常に小さくする必要がある(1cm)。こうして得られた画像は、著者によると完全な正写撮影となり、

特に客観性に富んだ画像となる利点がある。

X線による心臓の検査は大きく進歩していることは確かであるが、この方法は非常に小さな絞りが必要であるという大きな技術的困難がある(大きな絞りはうまく行かないことはGuttmannが証明済である)。これを克服すべくRiederは、写真乾板を装着する前に正写図を描き、その後その下に乾板を置いて、(明室で)垂直X線による正写撮影を行なうことを提案している。

著者の提案する方法が研究的価値を損なうものではないことは、そのAlbers-Schönberg氏が温かく擁護し、また翌年刊行されたその教科書の第2版に以下の様に記していることからも示される。「正写法は、一定の条件下で1.5~2mの遠距離撮影法に替えることができる……この距離でX線学的に得られた心臓の大きさは正写法の精度に匹敵し、臨床上十分である。」また同年のレントゲン学会でAlbers-Schönberg氏は、長さ2mの煙突管を絞りとして使用して心臓を撮影し、レントゲン学会で装置のスケッチを供覧し、患者を仰臥位としても、長さ2mの管を下階の部屋から検査室の床を通してキャンバスをひろげた検査台まで通すことにより撮影可能であることを示した。

Glittmannは遠隔撮影について「このようにして得られた結果は、正写法の結果と非常に良く対比できる」と述べている(Zeitschr Klin Med 58巻)。Gasheyはまた最近のレントゲン学会で「遠距離からの将来有望な撮影法で、遠隔X線撮影法(Teleröntgenoramme)とも呼べる」としている。Hänischは、自らの経験も踏まえて遠隔撮影法の利点を強調している。Groedelは最近、「数年前にKöhlerが推奨した遠隔撮影法は、遅かれ早かれ正写法の強力なライバルとなるであろう」と述べている(Arch Röntgen Ray)。

遠隔撮影に正写法と同程度に時間をかける場合、あるいは放射線科医が乾板での撮影を好む場合は、遠隔撮影法は正写法と少なくとも同等の価値がある。正写法は多く点の集合で、各点は拡張末期、安静呼吸下(中間呼吸位相)で記録する方法である。これらの点を正しいかどうかはともかく連結する。もちろん、多くの点を記録するほど完璧になるが、時間もかかる。

この方法に習熟すると、心臓の大きさを非常に正確に(誤差約5mm)で計測できるようになるが、どんな熟練者でも複雑な臓器の表面が投影した曲線や複雑な角度を正確にトレースすることはできないので、実際の形状はもとより近似的なものであっても心臓の輪郭を描くことはできない。巧みな画師であれば蛍光板上の

心臓の輪郭をかなり正確にトレースすることができるかもしれない。しかしこれは正写法では、これは許されず、個々の点をうまいへたにかかわらず少しづつ曲がった線で連ねてゆく必要がある。この結果得られるのは歪んだ曲線で、正写図は全体がこの歪んだ曲線から成るが、これに対して写真は心臓の輪郭の曲線や角を正確に再現することができる。

このような客観的陰影は、手書きの輪郭線よりも良い判断材料となる。心臓の輪郭の正確な再現は写真によってのみ可能であり、用手による記録に比して瞬間的な形状や機能を良く反映するものである。

心臓は創造主の気まぐれな作品ではなく、合目的的な機械的産物である。我々は、臓器の形態（構造）は、まず機能によって決まる事を知っている。たとえば Julius Wolff の研究では、形態と機能の関係は骨のみならず、他の構造にも適用できることがわかっている。Wilhelm Roux は、イルカの尾びれ、鼓膜の線維、筋膜、血管、内分泌腺などについてこれを証明している。軟部組織の病的状態における変形についてはあまり研究されておらずほとんど筋と腱に限られているが、その結果もこのような法則に適合している。

Roux は、前腕の回外が制限されると、方形回内筋の幅が減少することを示した。また高度後彎症では、背筋において短かい筋を犠牲にして腱が延長することを示した。さらに Marey & Joachimsthal は、実験動物における「筋の自己制御」を確認した。すなわちサギやネコでは、長い踵骨突起を有しているが、これが短縮して腓腹筋のモーメントアームが短くなると、腓腹筋腱は長くなり、筋自体は短くなることを示した。

要するに、臓器の形態と生理には因果関係がある。筋肉、特に心筋はその最たるものであり、病的状態においてもこの関係が保たれる。

心臓の正常形態、異常形態は、その機能の物理的表現である。多くの医師に良く知られるこのような状態について、まずここで簡単に述べる。

正写法では、心臓の大きさの評価が前面に押し出され、形態については継子扱いの感がある。しかし心臓は病的状態ではほぼ必ず拡大し、拡大した心臓が形態的に健常時の状態をとどめることは稀である。つまり、拡大した心臓はそれぞれに変形しているといえる。Kraus もこの点を指摘している。従って心臓の形態は、その大きさと同じ位重要である。左心室が拡張しているか肥大しているかあるいはその両方か、また他の部位にこの 3 つのいずれかがあるか、あるいは複数箇所にあるかによって、陰影の形は全く異なる。

これも内科医にとっては日常的な知識であるが、心臓の大きさをミリメートル単位で正確に知るのではなく、正確な形状を分析しようとする努力は最近まで見

られなかった。これを始めたのは Santiard, Grunmach, Moritz, Kraus、そして最近は Groedel らである。

一般には心底部の幅、心陰影の面積、右縁 / 左縁の幅、最大径、横径などを計測し、あるいは心臓を直線で 4 分割して計測することもあるが、個々の心臓の投影像には対応するものではない。このような軸計測は、心臓が固液状物体ではなく結晶のような個体であればより有用であろう。

正写法による大きさの計測に加えて、心臓の形態の評価を主眼にすることに利点はないであろうか。すでに詳述した通り、心臓の各部分は、機能に変化があれば形態が変化し、多くの場合位置も変化する。このいずれも（いずれかの方向の）投影に忠実に反映される。X 線では心陰影の拡大が肥大によるか拡張によるかは判断できないとされているが、必ずしも正しいとは思えない。

まず透視で心臓を観察する。これは全例に可能であり、さらに有用な情報が得られる。肥大した部分の心筋壁は、拡張壁とは動きが異なり、緊張も異なる。これは論理的に証明できることである。これらがここに純粋に独立して存在するかは議論があるが、それでもそのいずれが支配的かによっていずれかの形が優位となり、当然のことながらそれに応じて心陰影の形態も変化する。さらに各部分の拡大が変化すれば、心臓の位置が少し変化する。このようなことが起こると、前額面あるいは矢状面で心臓表面の別の場所が最大周径となる。この比の変化は、X 線写真でわずかな輪郭の変化として反映される。胸壁に直接描きこまれた正写図についてはここでは触れない。正写図は数学的に完全な曲線ではありえず、従って自然なものではなく、明解とはいえず、具体的なものでもない。

正写法の数学的精度の利点は、このように描画する人の手の主觀性に依存しており、少なくともその悪影響を受けるものである。もし信じられない場合は、（ここにも提示した）心臓のきれいな写真を、内科や X 線の教科書に載っている正写図を比べられたい。

ただしひとつ考慮すべきことは、（正写法の）線画の印刷は常に理想的な質であるが、量販誌の写真の印刷は粗い網目印刷で、原版の拡大率にも不足していることである。

心臓の写真撮影にはもうひとつ、まだ触れていない大きな利点がある。線画では不可能な濃度差が分かることである。透視画面ではこのような微妙な差が見えないからである。この点は、心臓の場合は全体に同一の濃度であることからあまり問題にならない。しかし大動脈では、とくに拡張している場合は問題となる。大動脈弓は心臓の X 線写真には必ず含まれる。また右房の上、脊柱の右側、大動脈弓の上行部が上大静脈に密

接してこれを右に押している部分は難しい部位で、透視ではみえず、もちろんスケッチすることもできないが、平均的なX線写真では非常に良く見える。

次に、矛盾するようだが写真は心臓の個々の部分の動きを写し出すことができる。息止め下に撮影された多くの写真で、心臓の場所によって鮮鋭度の異なる輪郭が認められる。例えば、房室境界の背後にある左心室の輪郭は、通常非常に鮮明であるが、心尖部はその大きな移動距離に応じてボケて不鮮明に写る。異常な大動脈弓についても同様である。さらに放射線科医であれば、X線画像から肺血管の充盈状態を知りうる可能性を心得ている。

まだ多くの研究が必要であるが、これが行なわれることは確実である。透視では見えず、そもそもスケッチすることもできないが、鮮明なX線写真であれば表示しうる。肺血管の充盈状態は心機能と相關するものであり、心臓のX線写真でこのような状態を知ることができれば望ましいことである。

本稿の付図は、遠隔撮影法がいかに有力かを示している。また同時に、心陰影の輪郭の個人差がいかに大きいか、また同一個体でも異なる体位でいかに異なるかが明らかである。図1～12は、管球距離1.5～2mで撮影した眞の遠隔撮影、図13～16は初期のもので遠隔撮影とはいえないが、75cmで歪みのおこらない距離である。これらは特徴的な心臓の形状を示すために加えたものであるが、図13,14についてはその後剖検の機会を得た。

このような写真を目にするれば、心臓のX線検査は（もちろん臨床所見とともに）幾何学的な計測よりも陰影の形状を分析する方がより良く評価できることは明らかではないだろうか。もちろん計測は、正写法と同じように遠隔撮影法でも可能である。

次なる問題は、心臓や大動脈の輪郭の個々の曲線、凹凸が何を意味するかという点である。大小の彎曲、鮮鋭度、隣接部との関係から個々の輪郭の心弓をいかに解釈するかは、なお10年間の研究を要するものである。1年では無理だが、100年かかるものでもない。

典型的な曲線は、心軸周りのほとんどすべての体位、回転について放射線科学的に決定することができる。これは瘦身者、肥満者をさまざま体位、回転で撮影するだけでなく、側臥位、腹臥位、さまざまな斜位にして任意の体位、回転を加えることにより可能である。

以上、遠隔撮影法によってのみ理論的に可能なX線撮影の心陰影に基づく心臓検査の導入、正当性評価、その輪郭の詳細な描出法について述べた。

遠隔撮影法の技術的な点について、さらに2,3述べる。撮影体位と呼吸については、これまで意図的に触れなかった。Moritzはその正写法では仰臥位、息止めしな

い浅い呼吸の中間呼吸位を選択している。通常の撮影では、当然心臓の明瞭な輪郭は得られないが、遠隔撮影法ではより鮮明になる。図1は、安静呼吸下、距離2mの撮影である。体位については、心臓が人間にとて自然な体位、仰臥位あるいは立位（X線乾板は胸壁に前面で密接させる）で撮る必要があると著者は考えている。しかし腹臥位も、以前は遠隔撮影に限って使用していたが、特に痩せていない患者については選択肢に残しておきたい（図1,2を図3,4と比較されたい）。

立位において、心膜の緊張による収縮、下大静脈の緊張、狭窄、下大静脈の心房流入部における静水圧の減少などによって心臓が縮小するという、Moritzが四足獣で見いだした知見は、立位を原則とするヒトの場合は非常に考えにくく、Moritz自身も認めていたように機能的適応の原則に矛盾するものである。遠隔撮影を仰臥位で行なう場合、高さ2mの検査台が必要となり、あるいはX線管球を階下の部屋に設置して天井に筒を通す必要がある。

しかし問題は、遠隔撮影の場合、立位の方が仰臥位より良いのではないかという点である。立位で心臓は、主に心尖部が下垂し、多くの場合同時に左縁が正中に移動する。この結果、遠隔撮影法の誤差範囲はさらに小さくなる。また仰臥位は、多くの心疾患、呼吸器疾患の患者には負担が大きくX線検査に不適である。しかしMoritzはこの点を否定している。この立位の利点は、他の問題を甘受しうるものである。心臓は横隔膜から挙上し、右室下部の輪郭がより広い範囲にわたって見えるようになる。

乳頭、胸骨正中線、剣状突起に鉛マーカーを付けることは、遠隔撮影法でも正写法と同様である。また正確な管球の位置決めも同様である。高位については、第6胸椎棘突起がベストである。矢状面については当然のことながら正中矢状面に焦点をあわせる。遠隔撮影法で、焦点を正中より3cm左側とする方が良いか否かという問題については、当面保留したい。正中に焦点を置く場合、（正中より8cm左側にある）心尖部の歪みが半減して2.1mmとなり、（正中に焦点を置く場合に）歪みが0である心右縁については、最大0.5mmの誤差を生じる。このような誤差について考えるべきは、正写法の誤差は最良の条件下で最低5mmであることである。

Moritzは息止め下での記録を推奨しているが、少なくともMoritzの方法に従う限りこれは不可能である。遠隔撮影法では、息止め下に撮影してできるだけ鮮鋭な輪郭が得られるようにすることが推奨される。前述のように個々の部分の輪郭を正確に評価するには鮮鋭度が必要である。同じ中間位の呼吸位置を再現することは困難でほとんど不可能であり、中間位での撮影派

推奨できない。従って深呼気あるいは真吸気を考慮する。深呼気では、まず第1にX線撮影で常に念頭におかなくてはならない良好なコントラストが得られない。第2に心臓が水平方向になり、心尖部で大きな歪みを生じる。そして最後に、深呼気で呼吸を止めることは深吸気よりも難しい。心臓の検査により重要なことは、前額面にX線が入射することであるが、あいにくこの方向で心臓の全体がみえるのは深吸気の場合のみである。

このような点をすべて考慮すると、開口状態で深吸気における撮影がベストと思われる。心膜の緊張が心臓の形状に影響するか否かはなお検討の余地がある。

この条件では、肺についても同時にベストな画像が得られ、これは決して歓迎すべき付加価値である。Von Warrior, Krausらにより、気道圧が心臓の大きさに一定の影響を与えることが分かっており、特にValsalva試験(深吸気後に喉頭を閉じ呼気筋を緊張させて胸腔を狭くする)では顕著で、軽度ではあるがJohannes Müller試験(強制呼気にて喉頭を閉鎖してから努力吸気する)でも同様である。

しかし単純な深吸気でもバルサルバ試験類似の条件となり、深吸気での撮影は有意義である。同じ条件下であれば同じ結果が得られるからである。開口状態での深吸気が心臓に影響を及ぼさないことは、まず蛍光板で観察することができ、ついで20~30秒の露光によるX線曝射による非常に鮮明な輪郭が得られること、さらに医師であれば誰でもわかるように、30秒の深吸気息止め下では橈骨動脈の拍動にバルサルバ試験の場合のように脈が消失あるいは減弱するような変化が見られないことから知ることができる。

この遠隔撮影法の改良法については、著者はここでは深く立ち入らない。いずれ優秀な臨床家が行なうことであろう。

中程度のX線装置、35~40cmの誘導コイルがあれば、1.5mまでの距離、20~30秒の露光時間で息止め下に遠隔撮影が可能である。より高性能な装置があれば、さらに短時間で可能である。最近Rosenthalは、距離2m、露光時間4秒の撮影を発表した。体格が特に大きい患者の場合は、二重乾板(感光面同志を密接させる)あるいは増強蛍光板(著者はPolyphos蛍光板を好んで使用している)を使用し、さらにコントラストの低い乾板は増強する。体格の大きい患者で画質が不良な場合は、1.2mで撮影する。1mでも左心尖部の歪みは、正写法による通常の歪みよりも大きいことはない。息止めの前に、2~3回大きな呼吸をさせると、長時間息止めできることが知られている。乾板は決して過露光していないものを使い、冷えた現像液で現像してはならず、20度程度の温度は必要である。X線乾板を現像したことがある者であれば誰しも、コントラ

スト不良なネガは空にかざして見るよりも、白紙の上に置いて観察する方がよいことは承知している。X線管球の硬度については、平行スパークギャップ13~14cm相当(針状電極一軽度に彎曲した18cm円板電極)とし、連続的に放電し、外部によく火花放電して、内部に青色光を発生しないものを使用する。

撮影の前に、1.5~3mの距離で任意の呼吸位相にて蛍光板上の心臓を記録することももちろん可能である。特に網膜の安静が保たれている夜間は、この遠距離でも心臓の蛍光像が良く見える。これは正写法が使えず、撮影技術にも長けていなくとも、自分のレントゲン装置で心臓の検査を行ないたい同僚諸氏へのアドバイスである。

これらのことから、決して正写法を否定するものではない。著者は他の場所でも述べたように、この発明を高く評価している。しかし著者のように数年にわたってこの両者を併用してきた者から見ると、遠隔撮影法が正写法に劣ったり、科学的精度に欠けるとは決して思えない。

それぞれの方法の価値の比較については、以下の様に簡述できよう。「正写法による絶対的な科学的精度は、用手法による記録が不可避であることによって減じられている」。少なくとも1mの距離で撮影した心臓の遠隔撮影法では、投影法に起因する誤差が正写法における主觀性に起因する誤差より大きいことはない。これに加えて、遠隔撮影法は完全な客觀性を持つ利点がある。従って、遠隔撮影法は正写法と同等と考えられる。そのいざれがより実際的かは、その将来に学ぶしかない。当面は、心臓のX線検査において、同じ能力をもつ2つの全く異なる方法をわれわれは享受しているといえる。

要約

心臓のX線検査において、著者がかつて提案して以来、自ら複数の施設で利用してきた遠隔撮影法(Teleröntgenographie)を推奨する。この方法は、高性能なX線装置を使用し、距離150~200cmの瞬間撮影が最適である。このように大きな管球距離では、X線は心臓にほぼ平行に入射する。誤差は事実上ゼロで、いざれにせよ客觀的な方法である正写法(Orthodiagraphie)のそれを上回ることはない。遠隔撮影法は正写法に比較して客觀性に富むと同時に、心臓の形態をより良く評価できる利点がある。X線装置の改良とともに、さらに大きな距離での撮影、記録が可能となり、誤差も減少するであろう。

図 1～4. 痩せた 24 歳女性. 身長 174cm. 心疾患なし

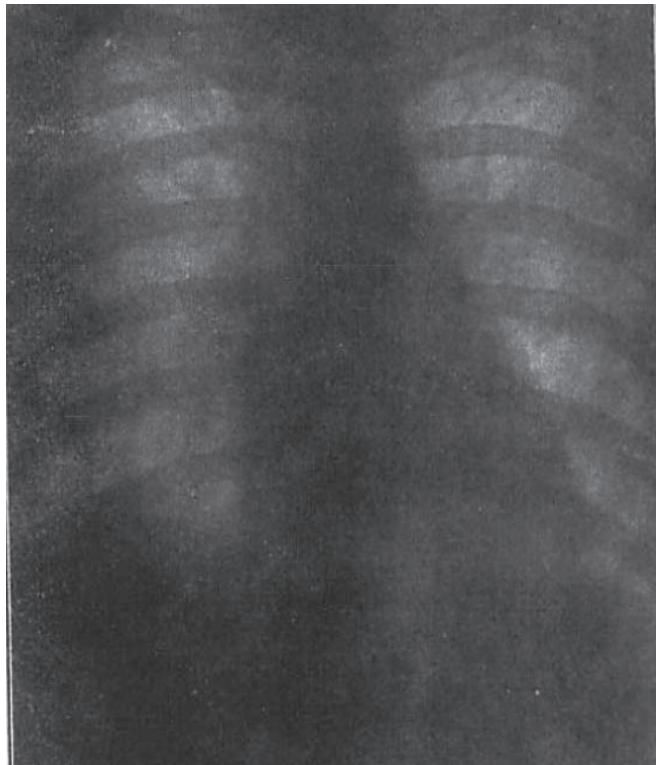


図 1. 腹臥位. 安静呼吸. 焦点距離 2m

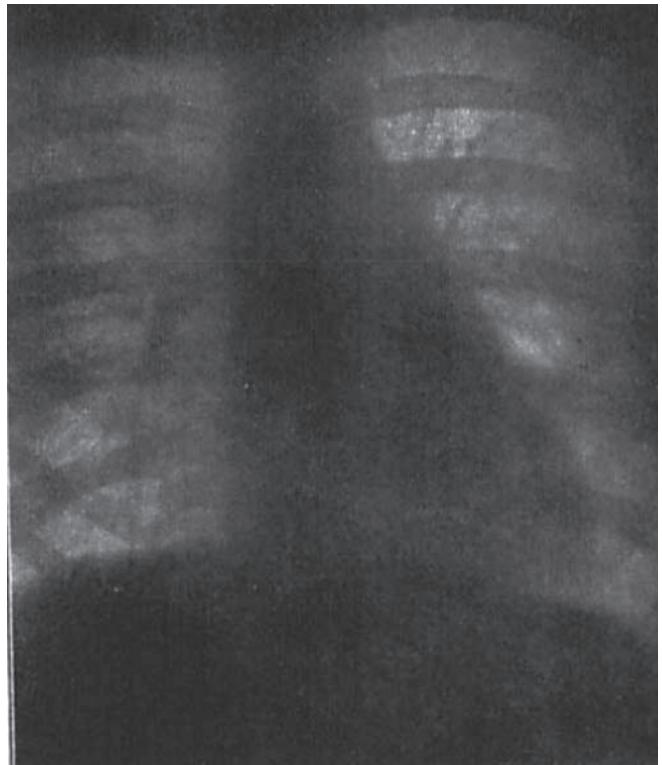


図 2. 腹臥位. 深吸氣. 焦点距離 2m

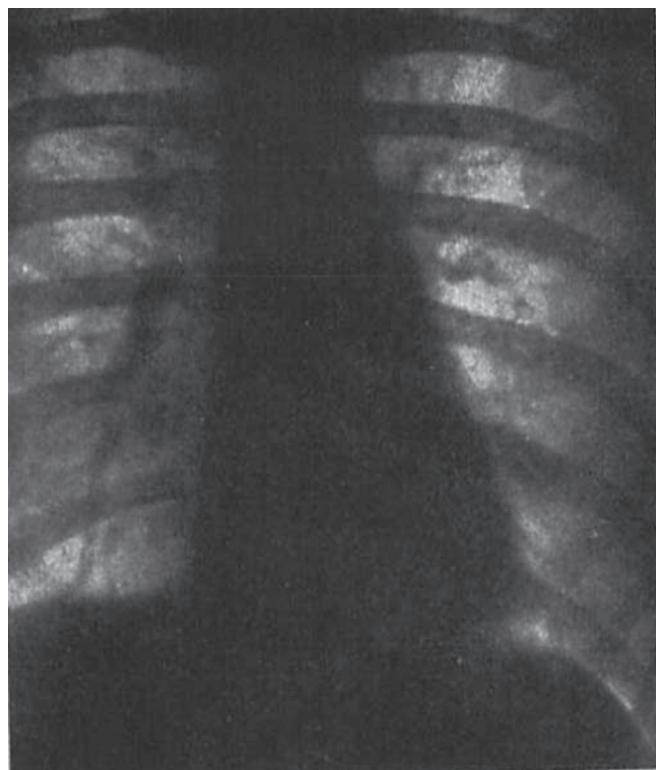


図 3. 立位. 深吸氣. 焦点距離 1.5m

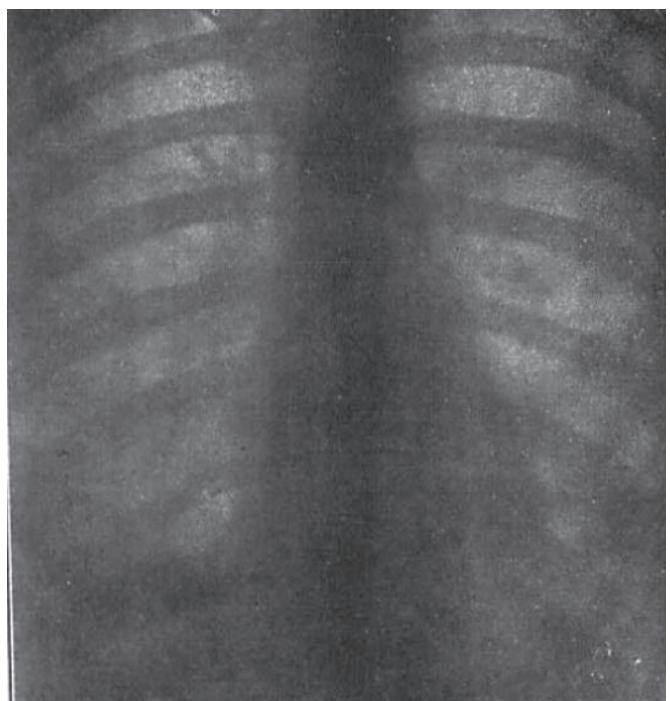


図 4. 立位. 安静呼吸. 焦点距離 1.5m

図 5～6. 痩せた 35 歳男性. 身長 179cm. 心疾患なし

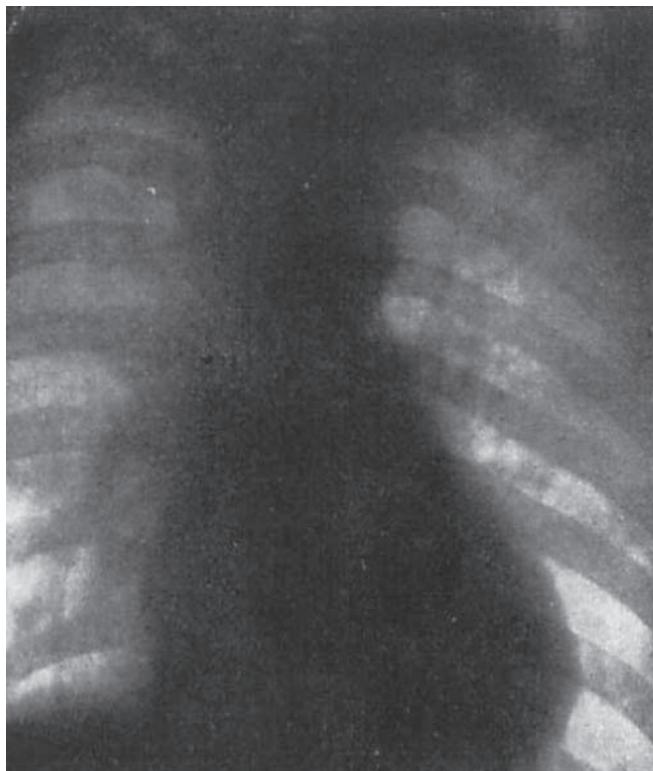


図 5. 腹臥位. 深吸気. 焦点距離 1.5m

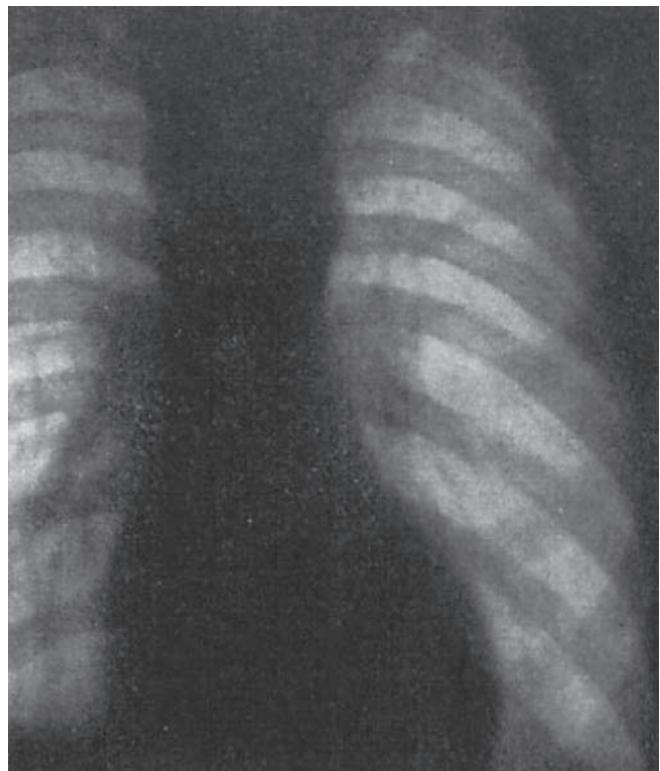


図 6. 立位. 深吸気. 焦点距離 1.5m

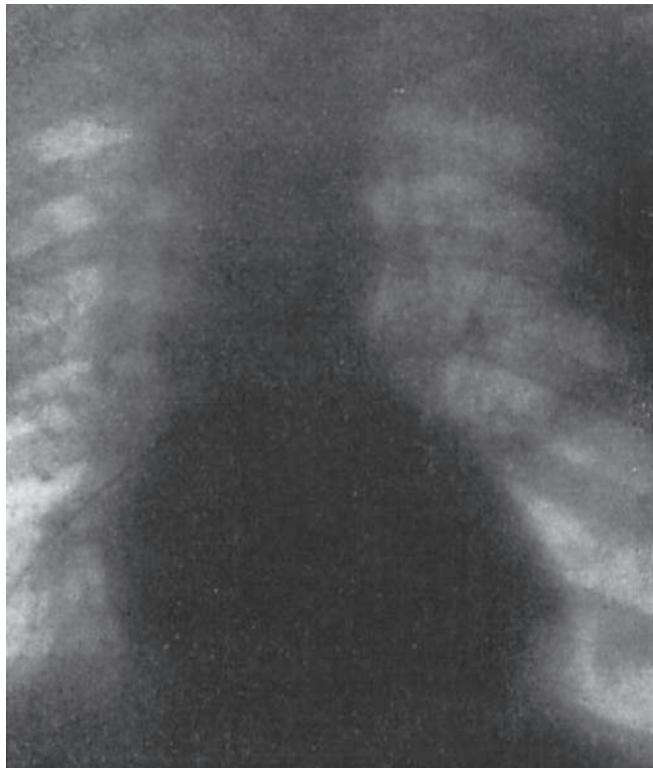


図 7. 38 歳男性. 身長 172cm. 心疾患なし. 立位. 深吸気. 焦点距離 1.2m

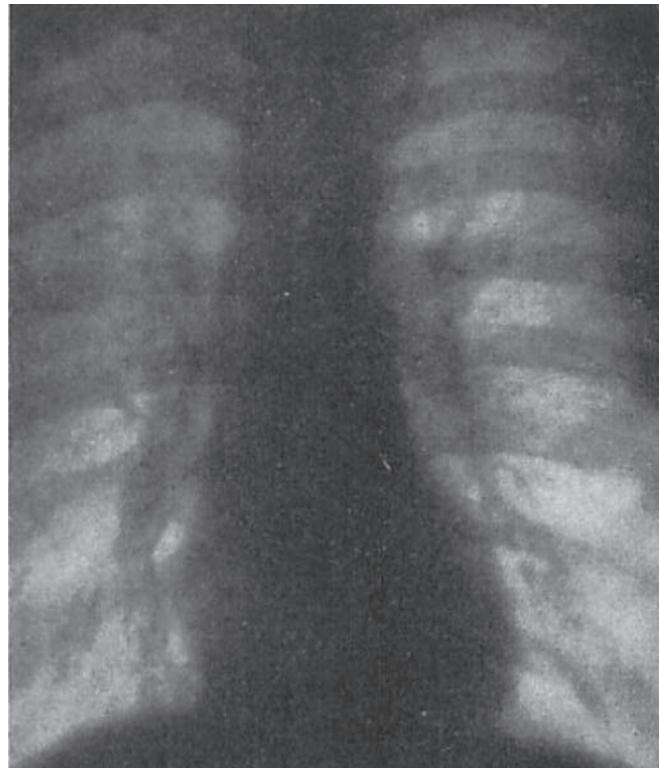


図 8. 23 歳男性. 肺結核疑い. 身長 169cm. 心疾患なし. 立位. 深吸気. 焦点距離 1.5m

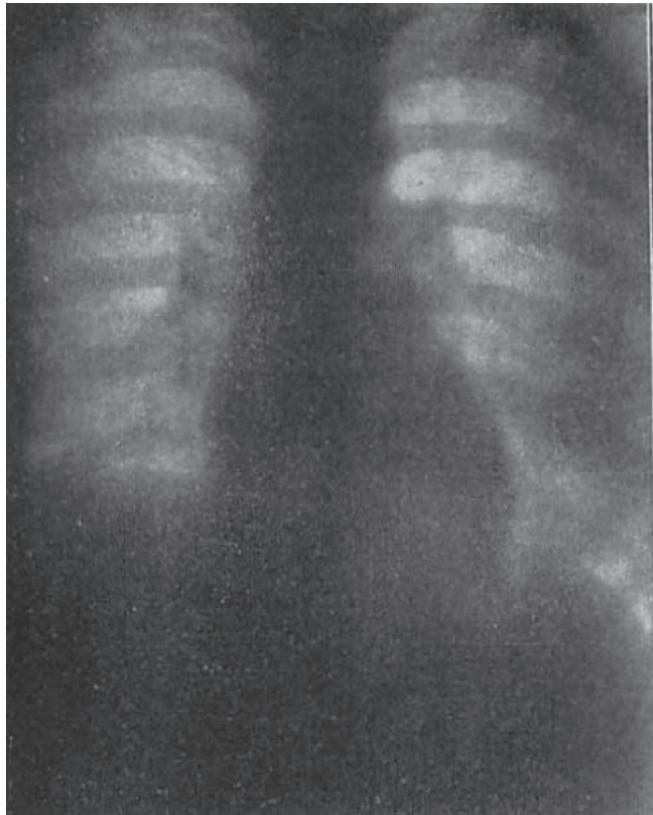


図9. 15歳女性. 身長160cm. 立位. 深吸氣. 11カ月前に関節リウマチ. 僧帽弁閉鎖不全初期. 焦点距離1.5m

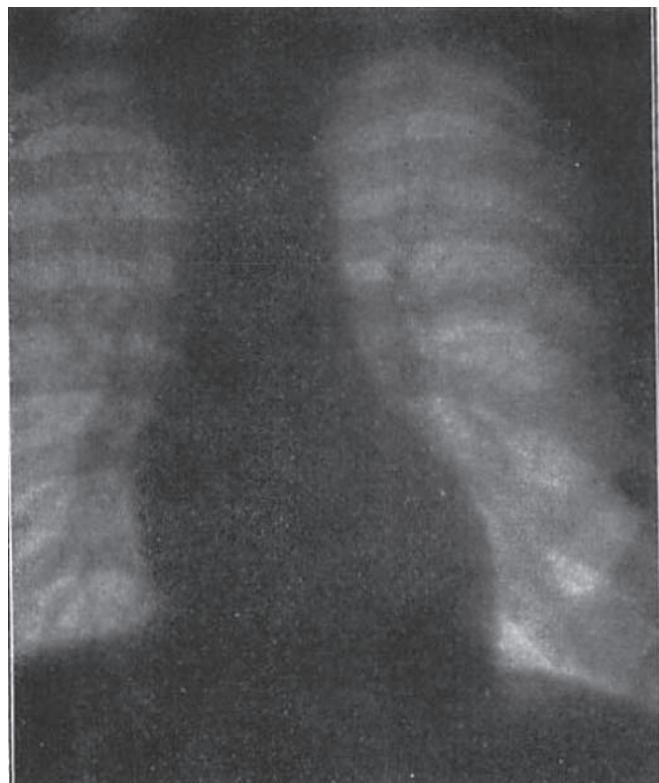


図10. 20歳男性. 身長167cm. 立位. 深吸氣. 3年前に関節リウマチ. 僧帽弁閉鎖不全. 焦点距離1.5m

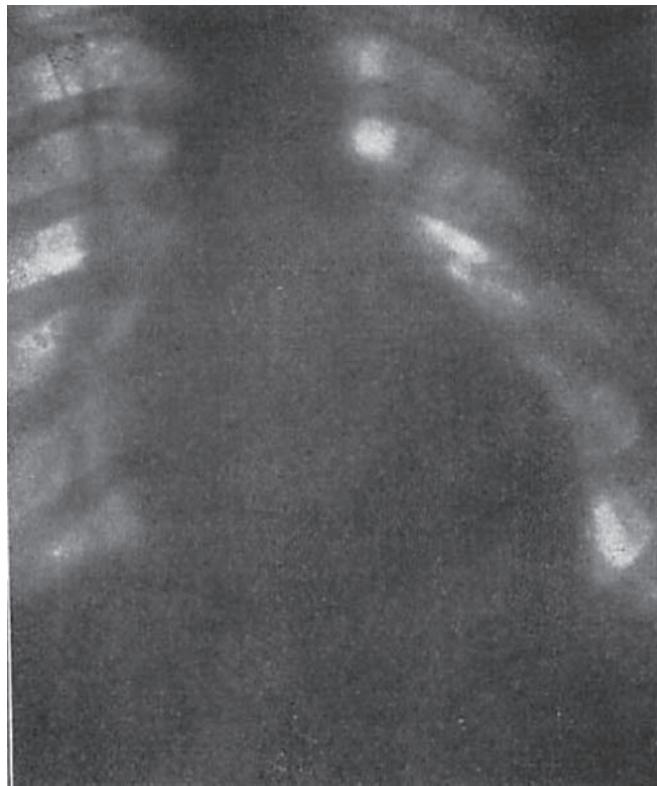


図11. 18歳男性. 身長164cm. 立位. 深吸氣. 3年前に関節リウマチ. 僧帽弁閉鎖不全. 焦点距離1.5m

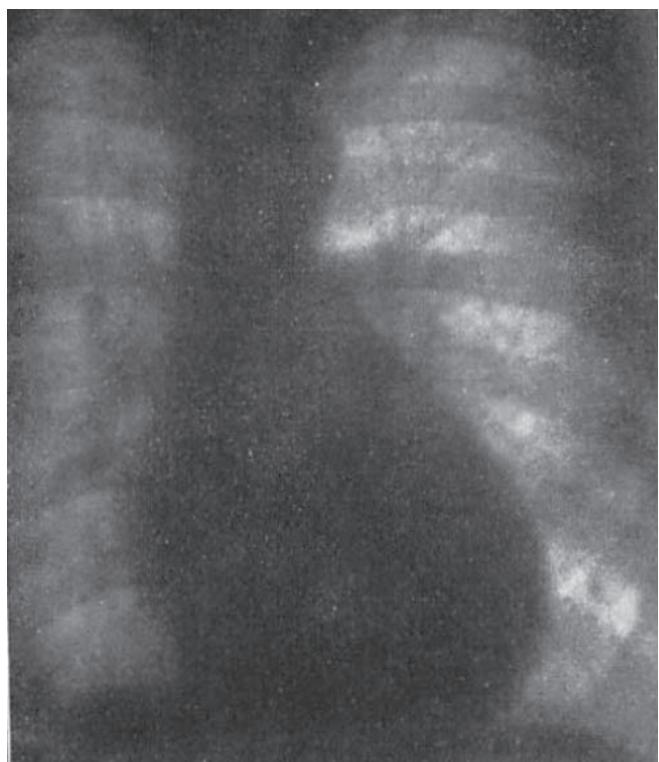


図12. 29歳男性. 身長179cm. 立位. 深吸氣. 3カ月前から心臓領域に自覚症状. 焦点距離1.5m

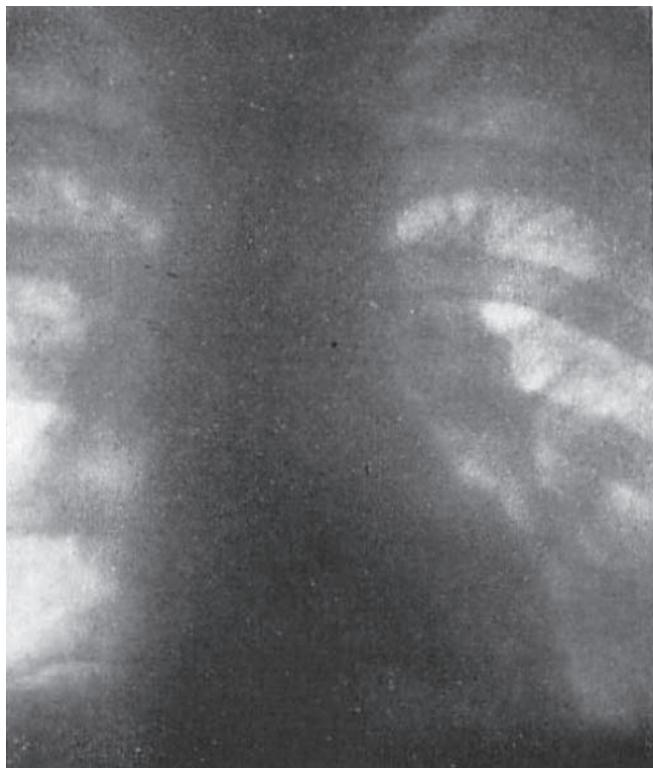


図 13. 32歳男性。身長 165cm。腹臥位。深吸気。気管支拡張症にて臥床。剖検：心臓の大きさ、形状は正常。焦点距離 75cm



図 14. 小さな 50歳女性。腹臥位。深吸気。多発リンパ腫で臥床。剖検：頸部、縦隔のリンパ肉腫。左心室の拡張および肥大、右心室にも軽度の変化。焦点距離 75cm



図 15. 42歳男性。腹臥位。深吸気。大動脈弓下行部の動脈瘤。焦点距離 75cm



図 16. 17歳男性。腹臥位。深吸気。僧帽弁閉鎖不全。焦点距離 75cm