

乳腺のゼログラフィー

Xerography of the breast

Wolfe JN*. Radiology 91:231-40, 1968

乳腺のゼログラフィーは、フィルム方式のマンモグラフィーにくらべて以下のような利点がある。 (a) 読影が容易である、(b) Eastman Kodak の M 型フィルムに比して低被曝である、(c) 解像度が高い、(d) おそらく正診率が高い、(e) 乾式である、(f) 最終結果がより迅速、容易に得られる。

中でも重要な特徴は、読影の容易さである。適切な条件でのスクリーニング検査であれば、1 分間に 4 ~ 5 例読影可能である。一方、フィルムマンモグラフィーでは、1 時間に 15 ~ 20 例程度である [16]。

ゼログラフィーの付加的利点として、乳腺のすべての部分が 1 枚の画像に収まることが挙げられる。通常のマンモグラフィーでは、すべての構造を表示するには、濃度が異なる 2 枚のフィルムが必要とする意見もある [17,18]。本格的な対照研究は行なっていないが、おそらくゼログラフィーの方が正診率が高いと思われる [10,13]。

ゼログラフィーの最も重要な部分は「プレート」である。これは 10×17 インチのアルミニウム板で、セレンの薄層がコーティングしてあり、木製のカセットに収められ、スライド蓋で完全に遮光されている。このプレートは、検査をする上では X 線フィルムと同じに扱える。

文献的考察

ニューヨーク市の St. Vincents Hospital の研究者は、乳腺のゼログラフィーについて 3 篇の論文を発表している [4,10,13]。初報は少数例における初期経験、第 2 報はより詳しく、ゼログラフィーの原理、装置について説明されており、撮影法、欠点についても論じられている。最後のものは、463 例の経験が要約されており、悪性疾患の診断におけるゼログラフィーと通常の X 線検査の正確度は同等とされている。

マンモグラフィー以外の領域におけるゼログラフィーの報告としては、Roach & Hilleboe による 2 篇がある。最初のものは導入的な内容で、原子爆弾が爆発した際の緊急時における応用について述べている。また物理学的な面、および初期の臨床成績を記載している [11]。2 番目の論文は、「高速」(=高感度) フィルムと増感紙を使用する通常の X 線検査にくらべて、

ゼログラフィーは「低速」であることを述べている [12]。

Hills らは [6]、ゼログラフィーの低速性、低コントラストを指摘すると同時に、さまざまな濃度のすべての微細構造が描出されると述べている。Oliphant は [9]、装置の紹介、使用法に統いて、高解像度が得られることを報告している。Farmer らは [3]、放射線治療計画に利用して、すべての組織濃度が描出されるとしている。

放射線医学以外の領域でも、ゼログラフィー、ゼログラフィーに関する多くの論文がある。McMaster は [7]、あらゆる技術的側面について非常に良い論文を著わしており、基本原理の歴史的考察、1937 年の Carles F. Carson による発明、特許、その後の Battelle 社による開発の経緯が書かれている。

技術的考察

放射線科医に関心の深い技術的事項としては、互いに関連する速度(感度)、コントラスト、アーチファクトの他、暗減衰(dark decay)がある。

プレートの速度は、X 線照射中にセレン内に発生するキャリア数によって決まる。これは、セレンが X 線と相互作用して生まれる原子の数に比例し、セレンの厚さ、および放射線エネルギーが、セレンの k 裂から電子を除去するためのエネルギーである 12 ~ 13kV にどの程度近いかによって決まる。12 ~ 13kV より大きなエネルギーの X 線は、プレートと相互作用することなく透過してしまう可能性が高い。非常に薄いセレン層では、厚いものにくらべて X 線が光電層と相互作用せずに通過する確率が高いので、有意に遅くなる。

以下の様な条件で、速度とコントラストが向上する。(a) セレン層を厚くする、(b) カセットのアルミニウム製スライド蓋(1/35 インチ)をプラスチック製(1/16 インチ)にかえる、(c) 撮影条件を 40 ~ 42kV, 150mA にかえて 30 ~ 32kV, 900mA とする。これらの変更によって、乳腺の存在しない部分の初期電荷が完全に消失することにより、背景色が減じてコントラストが改善する。

コントラストは、プレートの初期電圧、照射線量にも依存する。初期電圧は高いほどコントラストは増強する。プレート電圧が高すぎると、色素パウダーが沈着しない 0.1 ~ 0.5mm の領域を生じる (powder deficient spot)。これは撮影視野外では問題とならないが、撮影

* Hutzel 病院 放射線科 (Department of Radiology, Hutzel Hospital, Detroit, Mich.)。1967 年 11 月 26 日 ~ 12 月 1 日、北米放射線学会 (RSNA) にて発表。USPHS Cancer Control Foundation, Hutzel Hospital Research Fund の援助を受けた研究である。

視野内で高度の場合は画像の価値が損なわれる。

青色のプラスチックパウダーの現像過多は、コントラストを減少させる。最適な状態は、パウダーが背景には最小限で、関心領域全体に分布する状態である。乳腺組織と背景の間で現像パウダーをめぐって競合がおこり、高濃度の構造に対応する強い電場がまず現像される。長時間(50秒)かけて少量のパウダーが沈着する低速現像は、大量のパウダーが10~15秒で沈着する高速現像よりも良好である。

暗減衰

暗減衰(dark decay)は、プレート電荷の指数関数的減衰である。これは宇宙線、空気中の自由イオン、セレンの不完全な抵抗性などに起因する。減衰はわずかであるが、プレート充電直後に最も顕著である。従って、プレートの充電、撮影、現像の過程は、できるだけ短時間で行なう。最長でも3~4分で行なう必要がある。

装置

装置については、Ruzickaらが詳しい[13]。1955年に、実機が製作されたが、試験的なものであったため、大規模な利用にはより信頼性のある半自動装置の登場を待つ必要があった。2、3の手動操作を行なえば、1分程度で写真が得られるような設計が実際的である。

技術

前述の記載から、ゼログラフィーの至適条件は、低kV、大mAs、低速現像であることがわかる。被写体前後のX線フィルターは最小限とする。プラスチックに包埋した薄い乳腺組織に酸化アルミニウムの小片を入れたファントム(Dr. Robert Eganによる)を、さまざまな条件で試験したところ、900~300mAsの範囲で、解像度に有意の劣化はなかった(図3)。

20~30kV、600mAs、距離32インチで、良好な画像が得られた。これらの条件は、将来的にはセレンプレートの特性によって変化するであろう。

技術的困難

現状では、一連の過程でプレートを相当回数手で扱う必要があるため、プレートを損傷する可能性がある。セレンの表面には擦過傷がつきやすく、これは恒久的なアーチファクトの原因となる。プレート表面が露出されることのない半自動装置があれば、この問題は軽減するであろう。

初期には、湿気による現像パウダーの凝集が問題となつた。この問題は、パウダーを送るためのエアコンプレッサーを廃し、かわりに減圧バルブ付きの乾燥窒素ガスタンクを50psiで使用することが解決した。

ゼログラフィープレートを置く現像ユニットの入口部

周囲の漏洩が、プレート周辺部のパウダー凝集の原因となる。これは難しい問題であるが、その分布、および多数見られることから、石灰化と間違うことはない。

現像ユニットに使用済パウダーが蓄積すると、コント

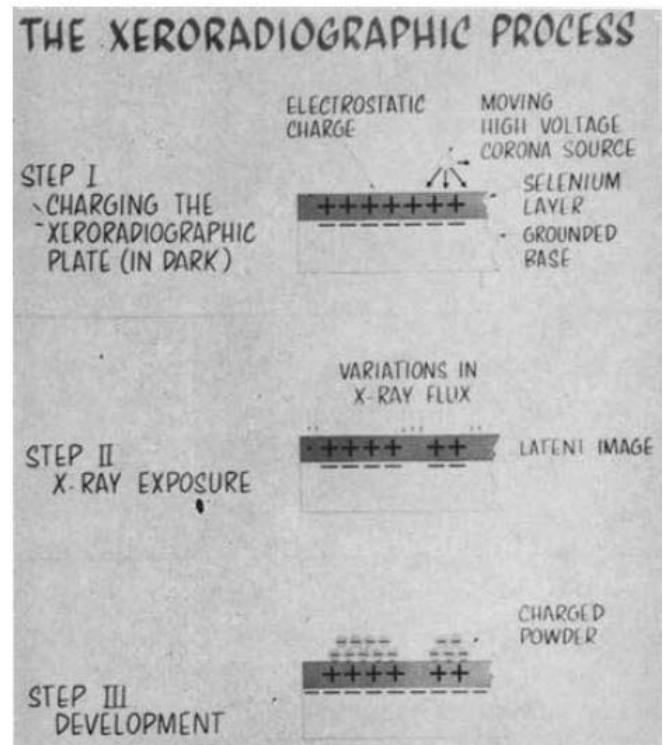


図1. ゼログラフィーは、セレンが光電体であることを利用している。その表面の静電荷は、放射線エネルギーが消失しても残存している。X線は、セレンを垂直方向に荷電する。照射後に残存する荷電パターンは、負に荷電した色素を含有するパウダーで「現像」することにより可視化される。

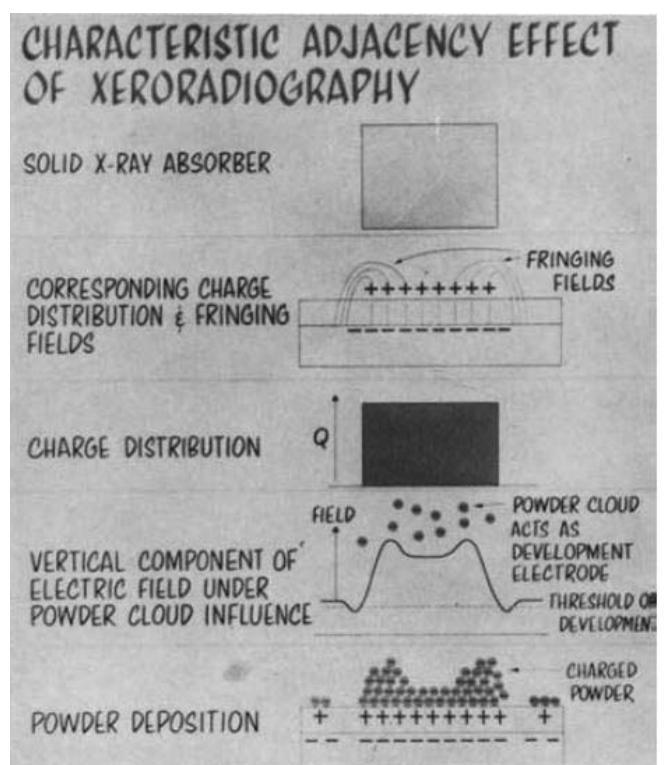


図2. 電位差の周囲に形成されるフリンジ電界は、電荷を増強する効果がある。物体の辺縁に多くのパウダーが沈着する。

ラストが低下する。このため、およそ10時間毎に清掃する必要がある。パウダーは再利用可能である。

プレート遮光カバーが、充電後のセレンに接触するほど陥凹すると、アーチファクトの原因となる。これにより、その部分がただちに放電し、ここにはパウダーが付着しなくなる。

回復ユニットでは、後続検査のプレートに「ゴースト」を生じる問題がある。プレートと印画紙が搬送ユニット通過中にわずかでも動くと、画像にボケを生じる。プレートを充電ユニットに挿入する際、角度を付けすぎるとワイヤの断線がおこる。パウダー像をプラスチックコート紙に定着させる定着ユニットの加熱が不均一な場合は、定着ムラがおこる。プラスチックコート紙を一度別のものに変えたところ、ベタついてうまく定着せず、画質が低下した。このように、装置のいずれのユニットにも、大きな技術的问题が発生しうる。その多くは経験によって解決された。主要な問題は、Xerox Corporation の協力によって、さまざまなユニットを整備して克服されている。

症例

ゼロラジオグラフィーの特徴を示す症例を供覧する。良性疾患、悪性疾患をふくめ、後者についてはコメド癌、硬性癌、限局性癌を挙げた。比較のため、Eastman Kodak 社の M 型フィルムをゼロラジオグラフィープレートの上に置いてフィルムマンモグラフィーを撮影した。撮影条件は、30~32kV、1200mAs、距離 32 インチである。いずれもアルミニウム製遮蔽スライドを使用し、多くは薄いセレン層を使用しているので、至適条件の画像ではない。

表 I . 2 施設のゼロラジオグラフィー撮影条件の比較

	St. Vincents Hospital	Hutzel Hospital (本稿)
kV	中	低
mAs	低	中
ラティチュード	広	狭
コントラスト	低	中~高
技術的困難	全面的に多い	全面的に多い

表 II . ゼログラフィーと Eastman Kodak M 型フィルム法の比較

速度	M 型より速い
必要な mAs	M 型より低い
ラティチュード	狭いが M 型より広い
コントラスト	高いが M 型より低い

考察

この結果と、St. Vincent Hospital の結果の比較は興味深い(表 I)。セレンの物理学的特性により、低 kV でも感度が高いことから、撮影条件を変更している。ゼログラフィーと Eastman Kodak 社の M 型フィルムの比較を表 II に示した。

結論

ゼログラフィーは、通常の X 線フィルム法に比べてより簡単な乳腺の検査法である。1 枚のゼログラフィー画像から、いかなるフィルムマンモグラフィー画像よりも多くの情報が得られると考える。十分な技術をもってすれば、さらに正確な検査となりうるが、最も重要なことはより簡単に診断できることである。更なる装置の発展が待たれる。

謝辞：マンモグラフィーに深く関わり、本研究を奨励、支持していただいた放射線科医に深謝する。テキサス州ヒューストンの Dr. John Martin は、ゼログラフィーを瞥見しただけで、その基本的優位性を筆者よりも以前に認識されていた。ゼログラフィー画像のカラー写真掲載料は、Xerox Corporation に負担していただいた。図 1、図 2 は、Xerox Corporation の提供による。

【参考文献】

1. CAMPBELL, ET AL.: Xeroradiography: Evaluation of its Uses in Diseases of the Bones and Joints of the Extremities. *J. Bone & Joint Surg.* **41A**: 271-277, March 1959.
2. EGAN, R. L.: Experience with Mammography in a Tumor Institution: Evaluation of 1,000 Studies. *Radiology* **75**: 894-900, December 1960.
3. FARMER, F. T., FOWLER, J. F., AND HAGGITH, J. W.: Megavoltage Treatment Planning and the Use of Xeroradiography. *Brit. J. Radiol.* **36**: 426-435, June 1963.
4. GOULD, H. R., Ruzicka, F. F., JR., SANCHEZ-UBEDA, R., AND PEREZ, J.: Xeroradiography of the Breast. *Am. J. Roentgenol.* **84**: 220-223, August 1960.
5. HENNY, G. C.: Effect of Roentgen-Ray Quality on Response in Xeroradiography. *Am. J. Roentgenol.* **79**: 158, January 1958.
6. HILLS, T. H., STANFORD, R. W., AND MOORE, R. D.: Xeroradiography: II. The Present Medical Applications. *Brit. J. Radiol.* **28**: 545-551, October 1955.
7. McMASTER, R. C.: New Developments in Xeroradiography. *Non-Destr. Testing* **10**: 8-25, Summer 1951.
8. NAGAMI, H.: Discussion of the X-Ray Characteristic of Xeroradiographic Plates. *Electrophotography* **4**: 3-6, 1962.
9. OLIPHANT, W. D.: Xeroradiography: I. Apparatus and Method of Use. *Brit. J. Radiol.* **28**: 543-544, October 1955.
10. O'MARA, R. E., Ruzicka, F. F., JR., OSBORNE, A., AND CONNELL, J., JR.: Xeromammography and Film Mammography: Completion of a Comparative Study. *Radiology* **88**: 1121-1126, June 1967.
11. ROACH, J. F., AND HILLEBOE, H. E.: Xeroradiography. *Am. J. Roentgenol.* **73**: 5-9, January 1955.
12. ROACH, J. F., AND HILLEBOE, H. E.: Xeroradiography. *J.A.M.A.* **157**: 899-901, March 12, 1955.
13. Ruzicka, F. F., JR., KAUFMAN, L., SHAPIRO, G., PEREZ, J. V., AND GROSSI, C. E.: Xeromammography and Film Mammography: A Comparative Study. *Radiology* **85**: 260-269, August 1965.
14. TAYLOR, G. M., AND TENNEY, G. H.: Field Evaluation of Industrial Xeroradiography. *Non-Destr. Testing* **13**: 12-17, November-December 1955.
15. VYVERBERG, R. G., CLARK, H. E., AND DESSAUER, J. H.: Industrial Xeroradiography in 1955. *Non-Destr. Testing* **13**: 35-40, May-June 1955.
16. WOLFE, J. N.: Mammography as a Screening Examination in Breast Cancer. *Radiology* **84**: 703-708, April 1965.
17. WOLFE, J. N.: Mammography. Springfield, Ill., Charles C Thomas, 1967.
18. WOLFE, J. N.: A Study of Breast Parenchyma by Mammography in the Normal Woman and Those with Benign and Malignant Disease. *Radiology* **89**: 201-205, August 1967.



図3. mAsのコントラストへの影響. A. 900mAs, B. 600mAs, C. 300mAs



図4. 25歳女性. 軽度の乳腺異形成.

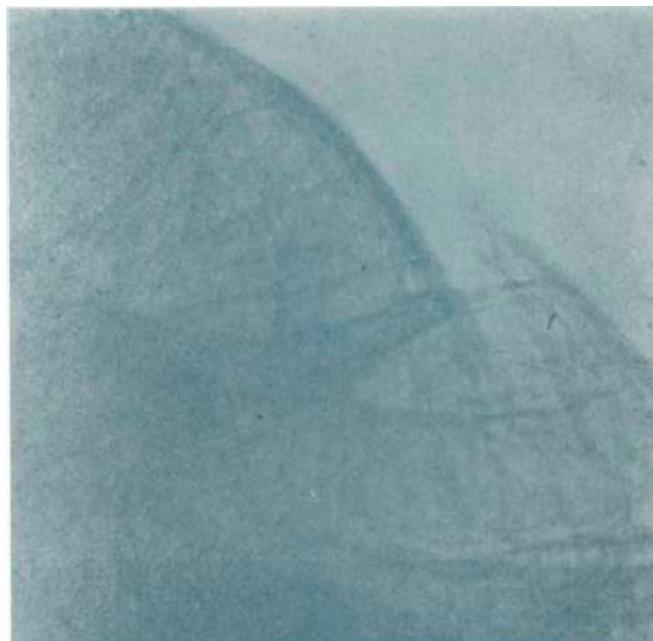


図5. 硬性癌. 通常のフィルムマンモグラフィーで認められた癌周囲の陥凹が、ゼログラフィーでも認められる

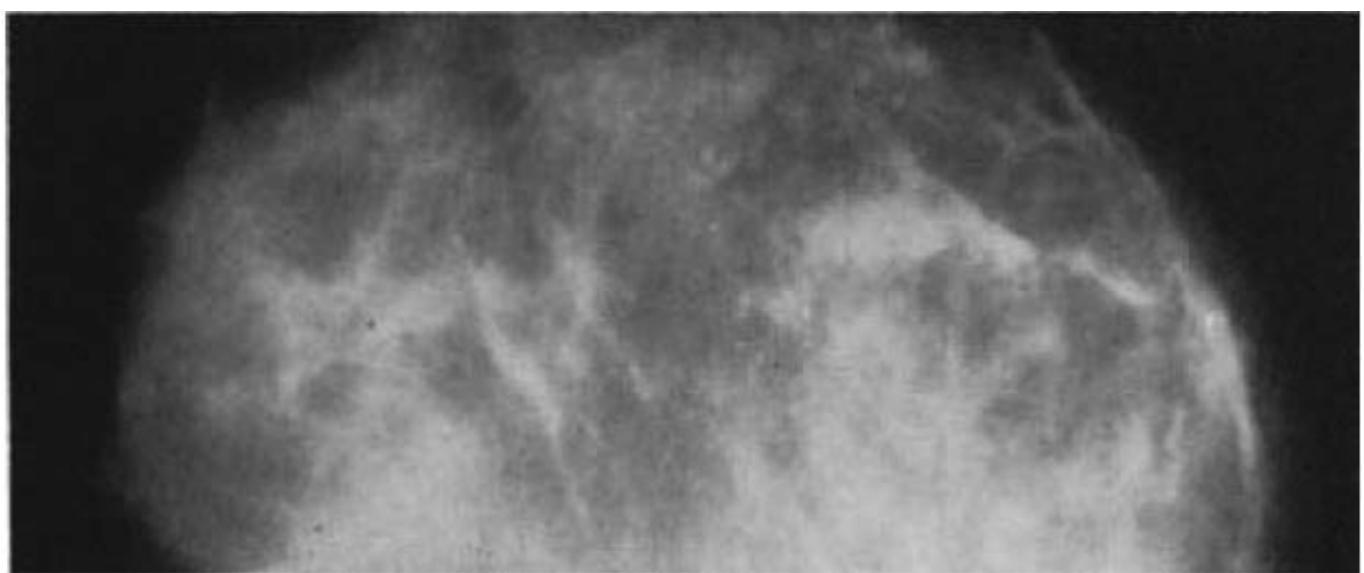


図6. コメド癌. 乳腺の上半分を占める癌. 全体の構築がゼログラフィーでよく描出されている. 左下: 肿瘍部分の拡大像 ($2\times$). 肿瘍内石灰化の描出は, ゼロラジオグラフィーの方が優れている.



図 7. 限局性癌. いずれの撮影でも非常に明瞭に認められる.



図 8. 硬性癌. いずれの撮影でも非常に明瞭に認められる.