



Title	リニアークレレーターによるエックス線像撮影に関する研究（Linac治療に関する研究 第2報）
Author(s)	辻, 吉彦
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1969, 29(8), p. 1001-1024
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17563
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

特別掲載

リニアークセラレーターによる

エックス線像撮影に関する研究

(Linac 治療に関する研究 第2報)

久留米大学医学部放射線医学教室 (主任: 尾関己一郎教授)

辻 吉 彦

(昭和44年10月1日)

On the Linear Accelerator Radiography

(The Studies of Linac Therapy Part II)

By

Yoshihiko Tsuji

Department of Radiology, Kurume University School of Medicine, Kurume, Japan

(Director: Prof. Dr. Miichiro Ozeki)

Since the linear accelerator (linac) and betatron have a smaller focus than ^{60}Co and linac is much higher in the x-ray dose rate than betatron, linac is considered to be fit for the supervoltage x-ray examination.

Besides being used for diagnosis, this linacgraphy also applies to collimation for the linac x-ray therapy.

In this case, a precise laying is essential first by reproducing the conditions aimed at with a simulator on a treatment table, and then by comparing the x-ray films taken by linac x-ray with those taken with a simulator.

The purpose of this paper was to describe to what degree every part of the body, such as the bone, lung, lumen, and others, contrast mediums, and lead marks attached as the target to the inside or outside of the body are visualized, and at the same time to make mention of the diagnostic value of the linac-graphy.

As our device is provided with a axial transverse tomography by linac, its clinical use was also examined.

The results obtained are as follows:

1. Among combination of the film and the intensifying screen employed for this experiment, a combination of the KODAK industrial x-ray film (TYPE M) and the fluorescent lead intensifying screen (KYOKKO GS) proved to be the best.

2. The Graedel's technique was most effective for eliminating the scattered x-rays and a film was placed at a distance of 20 cm from the center of the subject (with a distance of 90 cm from the focus to the linac rotation center). Only in the case of chest film, a distance between the focus and the subject (the skin surface facing to the film) was 180 cm and a film was taken 20 cm away from it. And the build-up

phenomenon might be dissolved by those Graedel's technique.

3. As to the roentgenograms taken by linac supervoltage x-rays, within the changeable scope of linac energy used for experiments of between 12 and 6 MV, 6MV prove to be the optimal figure available for diagnosis.

4. The time of photography can be obtained from density curves of the acrylite steps depending on the thickness of the subject. In the case of the standard adult Japanese, it amounted to 4.5 sec in the chest, 8.5 sec in the abdomen, 7 sec in the frontal view of the head, and 6.5 sec in its sagittal view, and the dose given at a distance of 180 cm was 3.7 R, 7.1 R, 5.8 R, and 5.4 R, respectively.

5. Since in the case of supervoltage x-ray examination, the atomic number has extremely little influence on the coefficient of absorption, contrast mediums, such as iodo-preparations, barium, and others were ineffective. On the contrary, low density substance, such as a gaseous body or air, possesses an effective visualizing potency for contrast medium.

6. As to the detail appearance of a shadow by means of Mix-DP phantom, a Mix-D ball can be distinctly when it is visualized 5 mm in diameter, though faintly when it is 3 mm. Columnar holes opened in a Mix-D brick, namely aerial layers is visible to the extent of that of 0.3 cm in diameter and 0.5 cm in height.

7. The mark of aim used for therapy at linacgraphy was the paranasal sinus, oral cavity, upper airway, intrapulmonary tumor, bronchia in atelectatic lung, a gaseous body in the gastrointestinal tract, vertebra, most part of the pelvis, femur, and lead marks attached to the body surface or inserted into the body lumen.

8. What was uncertain to recognize as the mark of aim was a high concentration barium contrast medium (for the esophagus), an intrapulmonary thin wall cavity, the clavicle and ilium.

9. What was unable to be visualized as the mark of aim was pictures of contrast medium for the bronchus, gall bladder, pelvis of the kidney or that of thin barium contrast medium and ribs.

10. Linacgraphy aiming at diagnosis was useful for recognizing the state of the paranasal sinus, oral cavity, upper airway, trachea and bronchia in mediastinum and that of the bronchia and cavity in the pulmonary pathological changes forming a dense shadow, such as atelectasis. In other words, linacgraphy was effective for diagnosis when a gaseous body was used as a contrast medium and the surrounding shadow was dense. In comparison with the conventional photography with lower voltage, it was sometimes found to be of more diagnostic value.

11. To employ the axial transverse tomography by linac as the laying of irradiation is not yet effective enough to obtain pictures available for routine use.

12. From those, it can be concluded that, though linacgraphy is much helpful to the collimation for radiation therapy, it is not so necessary for making a routine diagnosis. And the axial transverse tomography by linac presented here demands further investigation.

I 緒 言

1924年 Weber⁴²⁾, Gortan⁵⁾ 等が 100kVpの管電圧でエックス線撮影を行なったのが高圧撮影の始めて、その後 Trout³⁸⁾ (1949), Rövekamp²⁶⁾ (1931), Bücken⁴³⁾ (1952), Nemet¹⁷⁾ (1953), その

他数多くの報告があるが, Wachsmann⁴¹⁾ (1950) により実用化されたといえる。

我国では江藤⁴⁾ (1944), 尾関²¹⁾²³⁾ (1953), 神田⁸⁾ (1955), 入江⁷⁾ (1956) 等により, 100~150kVpの高圧撮影の研究が始められ, 教室でも久布白⁹⁾,

永田¹⁶⁾、森山¹⁵⁾等の発表があり、現在では一般に臨床に応用されるようになっていく。

これは高電圧を使用することによりエックス線発生効率がよくなり、小焦点、短時間撮影に有利であるのみならず、得られた像においても診断的应用に優れた点があるとの理由によるものである。

超高圧エックス線撮影に関しては、1945年 Mermagen¹³⁾ 等によって 100万ボルト工業用エックス線装置を用いて人体に試みられたのが最初である。その後 Tuddenham³⁹⁾ (1953), McDonnell¹¹⁾ (1958) 等によって臨床的应用がなされた。

その後 ⁶⁰Co, Betatron, Linear Accelerator (以下 Linac と略す) 等の超高圧放射線治療装置の出現と共に、そのガンマー線、超高圧エックス線を用いての撮影が試みられるようになった。

Cobaltgraphy を最初に行なつたのは、1960年 Perryman²⁵⁾であり、我国でも東¹⁾ (1961), 奥原²⁰⁾ (1964) 等の研究があるが、焦点となるべき線源が大きいので、現在では治療に於ける照準のための撮影が行なわれるにすぎず、診断的应用には不向きである。

Betatron による Betatronography の研究は Becker²⁾ (1955), 桜井²⁷⁾ (1965), 松田¹⁰⁾ (1967) 等によつて行なわれた。Betatronは焦点が小さいがエックス線々量が少ないため、Flattening filter を用いての均等な照射野の短時間撮影には不利な点がある。

Linac による Linacgraphy を最初に試みたのは McDonnell¹²⁾ (1963) であるが、Linac は焦点も小さく Betatron に比してエックス線々量が非常に多いので、広い均等な照射野の短時間撮影が可能である。

Linacgraphy は単なる診断的应用のみに止まらず、Linac 治療に際しては正確な照準を必要とするので、照射野の確認のための撮影 (照準撮影) に日常利用されるようになりつつある。しかし Linac による撮影は均等な広い範囲の短時間撮影が可能というものの、装置の複雑な調整を要し、撮影については技術的な種々の隘路も存在するので、未だ完成されたものであるとはいえない。

私はこの照準の Linacgraphy において骨、頭

頸部、胸部、腹部等の身体各部分、造影剤、体内外に付した目標となるべき鉛マーク等の現出の程度を諸種の条件のもとに検討し、撮影方法を改善し、技術的な隘路を解決しようと試み、併せて診断的应用も試みた。

又我々の Linac には線集横断撮影装置を装備しているので、この応用価値についても検討を行なつた。

II Linac 装置の概要

Linacgraphy に関する研究を述べるに先立ち我々が撮影に用いている Linac 装置 (東芝製 LMR-13) の概要を説明する。

本装置の全般的な概要及び医用データーは既に発表したもので²⁴⁾ここでは主としてエックス線撮影に関係あるものについて述べる。

本装置は最高エネルギー 13MeV の回転治療装置であつて、超高圧エックス線撮影を行なうことを考慮して、諸種の撮影のための機構が取り入れられている。

本装置の性能の内、撮影に関係あるものを表 1 に、又それに相当する操作盤面を図 1 に示す。

Tab. 1. Characteristics of Linac.

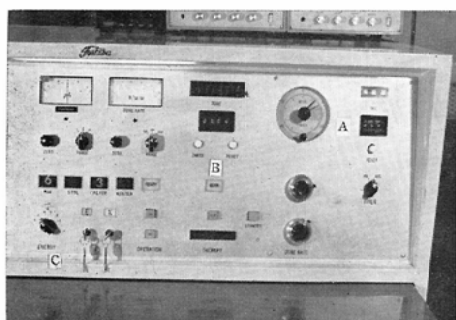
Radiation Energy	13 MeV— 6 MeV
X-Rays Output	500 R/min atm (Max)
Output Stability	± 3 (%) or less
Focal Spot Size	2— 3mm dia.
Flatness of Field	± 2.5 (%) or less
Field Size	(0—30×30) cm at 1m
Rotation Speed	0.1— 1 r.p.m.
Rotation Angle	± 195° to perpendicular
Leakage Dose Rate	1/1000 to main beam
F C D	90cm

エネルギーは、選択器により 6, 8, 10, 12MeV の 4 段階が切換えによつて得られ、さらに手動によつて微調整を行なうことができる。タイマーは 0.1秒単位で接断できる秒タイマーと、撮影には関係ないが最大 60分まで設定できるタイマーを併設している。

又 Linac ヘッドにモニターを備え、操作盤上で設定した線量が照射されると、自動的にビームが遮断される制御機構を有し、これによつて 1 R

Fig. 1. Control panel of Linac.

- A. Min. & sec. timer can be set from 0.1 sec. to 60 min.
 B. Dosimeter of monitor is able to preset from 1R to 9999R.
 C. Switch to transform the energy of x-rays or electron beams.



より 9,999Rまでプリセットできる。

照射野を規定する絞りは、X方向は1対のタンダステン製モノブロックコリメーター、Y方向では12対の分割多片絞りがあつて、遠隔操作制御盤により、照射野を自由に得ることができ、その最大照射野は焦点より1 mの距離において30×30cmである。

Flattening filter は、図2の如く鉛で各種の形状のものを試作し（別に発表予定）プロッターにより均等な照射野の得られることを確認した。

図3は撮影に用いた照射野内の平坦度を示すものである。この Filter は図4の如く Linac ヘッド内、焦点より 7.6cmの所に装置してある。

この装置の治療台には鉛直方向位置決め用として寝台面より下方20cmの位置にカセット保持装置が備えられているが、水平位以外には向けられず

Fig. 2. The flattening filters of various energies.

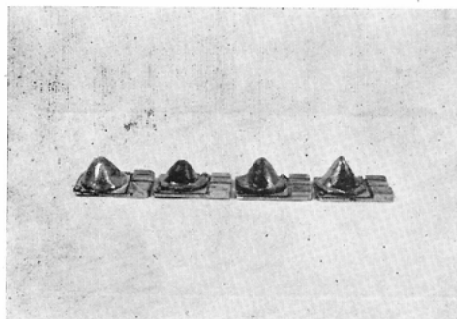


Fig. 3. Dose distribution curve of 6 MV x-rays in irradiation field.

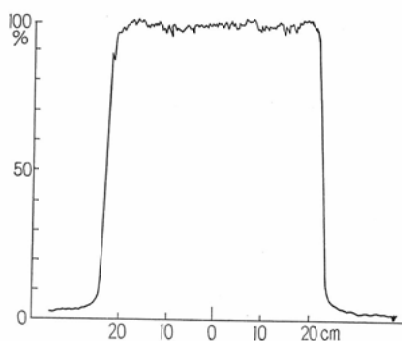


Fig. 4. Position of the flattening filter.

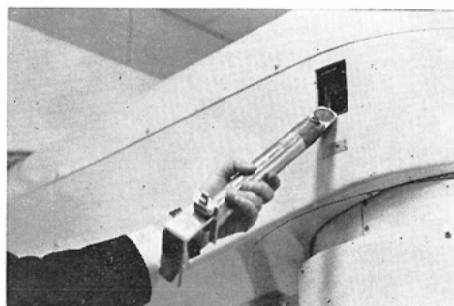
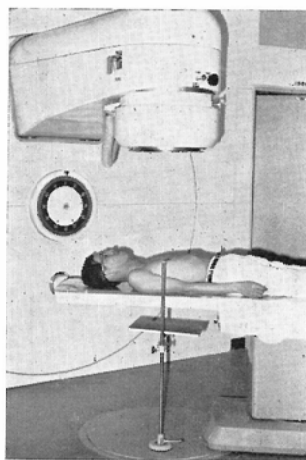


Fig. 5. Technique Lieder.



斜め方向の照準撮影が不可能であるので、図5のような万能カセット保持装置（テクニック・リーダー）を使用することにした。

後述するように、線巢横断撮影のためのカセット保持装置に簡単な改良を施すことによつて斜め

方向撮影が容易になるが、線巢横断撮影のために本実験中は、改造を行なわなかった。

胸部診断のための撮影には図6に示すようにリーダー撮影台を改造して用い、フィルム側被写体面よりカセットまで20cmの距離が保持できるようにした。

Fig. 6. Scene of Linacgraphy by transformed Lieder's cassette holder.

A. Head of Linac.

B. Cassette.

C. The distance of A to B is 200 cm.

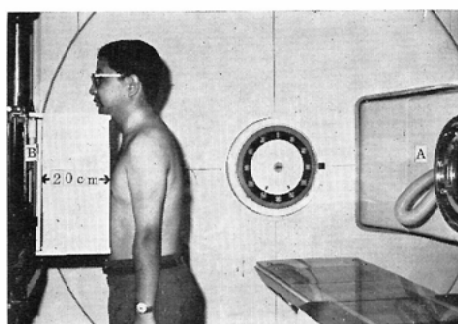
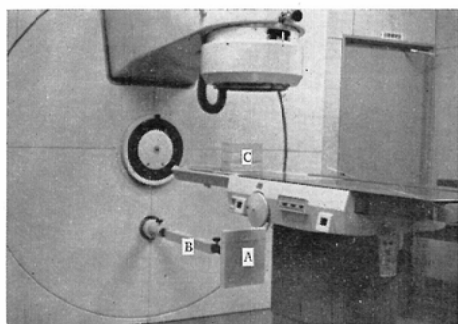


Fig. 7. Scene of axial transverse tomography by Linac.

A. Cassette.

B. Cassette holder axial transverse tomography by Linac.

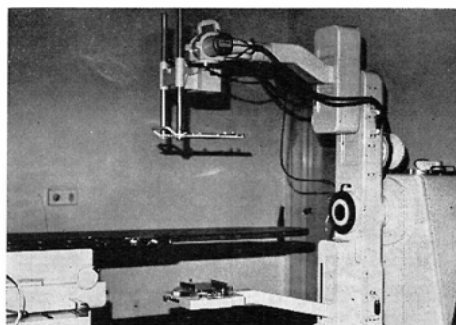
C. Hexahedral brick made of Mix-D.



線巢横断撮影は、図7に示すカセット保持装置を用いた。

又放射線治療を正確に行なうには、病巣の位置および広がり等に応じて照射野の広さ、線束の中心、照射角度あるいは回転中心等を決める必要があるが、これを各患者ごとに前もって簡便に行なうために、別室に焦点、回転中心、フィルム保持

Fig. 8. Simulator.



装置などの幾何学的関係が Linac と全く同じ構造の普通エックス線装置を設備している。この位置決め装置（シミュレーター）が図8である。

III 撮影条件に関する基礎的研究

1. 研究方法

a. 材料

イ. フィルム

エックス線フィルムには、医療用、工業用各種のフィルムがあるが、全てについて検討を行なうことはできないので、超高压エックス線撮影に適するものとして種々の文献に挙げられているもののうち、医療用フィルムとしてフジ Kx, 工業用フィルムとしてサクラ Type R, Type RR, フジ Type 80, 及びコダック Type M について検討しようとしたが、医療用フィルムは勿論のことサクラ RR も感度が早すぎて Linac のような超高压には不適当なことがわかつたので、本格的検討からは除外した。

ロ. 増感紙

増感紙も同様に、医療用極光(F S), 高压撮影用として用いられている蛍光鉛増感紙(極光G S)及び鉛のみの鉛増感紙を採用し検討の対象とした。

b. 機材

使用機材として Linac 装置及びその附属品を用いるのは勿論であるが、これらについては前に説明したので、ここではそれ以外の主なものについて述べる。

イ. アクリライト階段

Linacによつて撮影されたフィルムの黒化度を測定し、各種の基礎的検討を行なうための被写体

としてアクリライト階段を自作した。厚さ1 cmのアクリライト板(比重1.09)を大きさ30×30 cmの大きさに切り、これを20枚階段状に重ねたものを使用した。

ロ. 濃度計

フィルム黒化度の測定には高性能で正確な値の得られる富士写真濃度計 P 形を使用した。

c. 方法

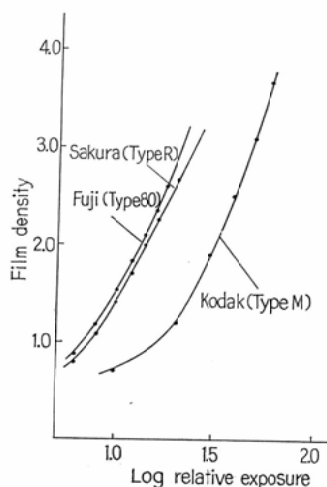
上記各種のフィルム、増感紙についていずれが最も Linacgraphy に適しているかを調べるために、アクリライト階段を被写体として Linacgraphy を行ない、各階段の黒化度を測定した。又アクリライト階段をカセットの上に直接置く密着撮影と、20 cm 離れたグレーデル法による撮影とを行ない、散乱線除去の効果を検討した。撮影エネルギーについては12, 10, 8, 6 MVの4種についていずれかが Linacgraphy に最も適しているかを比較検討した。各種の撮影時間にてアクリライト階段を撮影し、その黒化度から適正な撮影時間を求めた。なおフィルムの現像は特別の操作は行わず、恒温槽で同時現像を行なった。

2. 研究結果

a. フィルムの検討

前記の如くフィルムはサクラ Type R、フジ Type 80、コダック Type M の3種を用いカセッ

Fig. 9. Characteristic density curves of three films. (10 MV, KYOKKO-GS)



テの上にアクリライト板2枚(2 cm)を密着して撮影した。露出はレントゲン量によって正確に行ない、各種のフィルムについてそれぞれ5段階の露出を行なった。これらのフィルムの黒化度を測定し、特性曲線を作ったものが図9である。この場合の増感紙は蛍光鉛増感紙(極光GS)で、エネルギーは12, 10, 8, 6 MVについて行なったが、いずれも同じ傾向であつたので図9には10 MVのものを示す。

Fig. 10. The size frequency of three films. (200×)

a. Fuji (type 80)

b. Kodak (type M)

c. Sakura (type R)

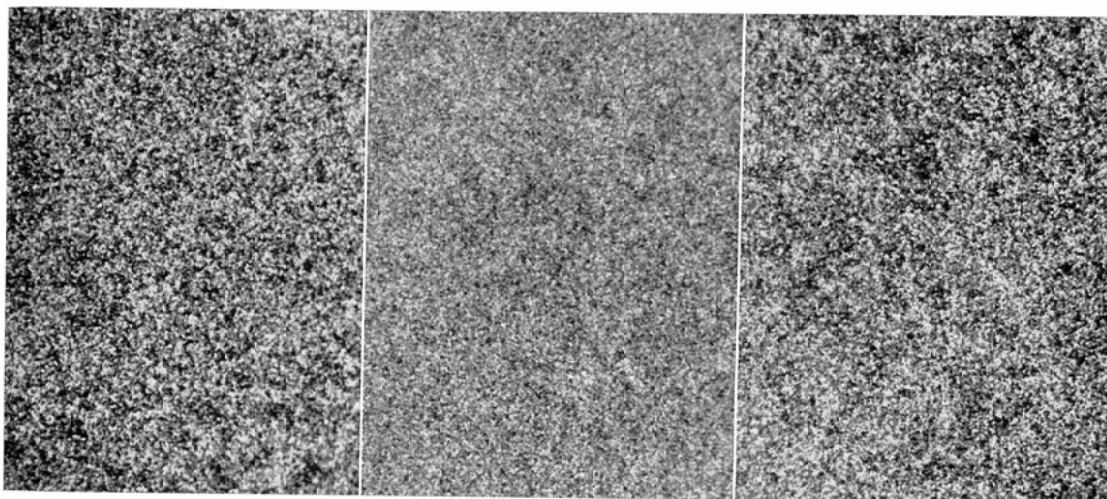
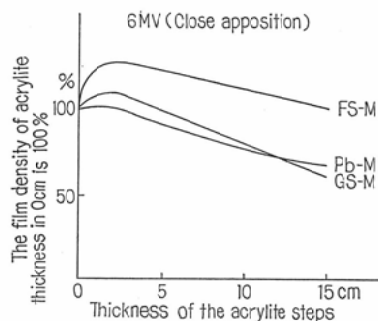


図9でコダック Type M が最も感度の低いことがわかるが、Linac のような線量の多い場合にはかえって露出の調節がむづかしいので、感度の低いコダック Type M が最も使用し易いことになる。又適当な基礎黒化度とされる 1.5 附近 (1.3~1.75) でコダック Type M が他よりもカーブが急でコントラストがよい。さらに 1.0 附近の曲線はゆるやかで、ラチチユードが広く、低濃度部のディテールを現出するのに都合がよい。又フィルムの粒状性についても図10の如くコダック Type M が最もよいので、今後はすべてコダック Type M を使用することにした。

b. 増感紙の検討

医療用極光 F S, 蛍光鉛増感紙 (極光 G S) 及び鉛増感紙の3種類とコダック Type M のフィルムとの組合せで、アクリライト階段を密着撮影した。この際アクリライトのない部分の黒化度、すなわち基礎黒化度が 1.5~1.6 になるようにし、それを 100% としてパーセントコントラストを示したのが図11である。撮影エネルギーは 12, 10, 8, 6 MV の4種を用いたが、結果は全く同じ傾向であつたのでここには 6 MV の結果のみを示した。

Fig. 11. Optical density curves of acrylite steps in Linac 6 MV x-rays with close apposition.



この図でアクリライト 2 cm の部ですべて黒化度が最高になつているが、これは Bild-up max. に相当する厚さのためであつて、密着撮影では避けられない現象である。しかしこの現象も Pb, G S で少なく、最も重要なコントラストも蛍光鉛増感紙 (極光 G S) が最も高いので、Linacgraphy

にはこの極光 G S とコダック Type M の組合せを採用することにした。

c. 散乱線除去法の検討

撮影に際して散乱線の除去がコントラストを向上させるために必要なことは勿論であつて、電圧が高くなれば散乱線が増加することは従来理論的にも実験的にも明らかにされていることであるので、Linac の如き超高圧撮影ではこれの除去は撮影上の重要課題の一つといえる。

併しこのような超高圧撮影ではこれに適したリスホルムブレンデを作ることとは不可能に近いので、グレーデル法を採用する以外に方法はないと考えられる。

殊に図11に示されているように超高圧で密着撮影を行なうときは、Bild-up max. に相当する層の部分でフィルム濃度が最高となり、一部が反転するという現象が起きるので、グレーデル法の採用は不可欠である。

普通高圧撮影で 200 cm 撮影の場合にフィルム被写体間距離は 20 cm とされているので、私の場合もこれを採用した。この距離は大きければ大きい程散乱線除去効果はよいはずであるが、拡大率、半影、運動ぼけなどが大きくなり過ぎるので、20 cm が適当とされているわけである。しかし Linacgraphy の場合には胸部以外は治療寝台上に患者を置いて撮影する方法が最も便利であるから、装置の回転中心を基準とするのが合理的であろう。この回転中心 (焦点より 90 cm) を被写体のフィルム側皮膚面に合わせフィルムをそれにより 20 cm はなせば、焦点フィルム間 110 cm に対して拡大率が大きすぎるので、被写体中心とすれば 200 cm 対 20 cm の拡大率にほぼ等しくなるから、焦点被写体中心 90 cm, それより 20 cm フィルムを離す方法を採用することにした。又治療の照準撮影の場合は深部病巣が対象となるので、この方が合理的である。胸部の場合には前述の如く特別のリーダー撮影台 (図6) を作り、普通高圧撮影と同様に焦点フィルム間距離 (F.F.D.) 200 cm, フィルム側被写体面とフィルム間距離 20 cm にて撮影する。

図12A Bはコダック Type M と極光 G S を用い、アクリライト階段をカセットに密着した場合

(A)と、20cm離れた場合(B)とのパーセントコントラストである。撮影エネルギーは12, 10, 8, 6 MVの4種とした。撮影距離(焦点被写体中心距離)は90cm 基礎黒化度は1.5~1.6である。

Fig. 12. Optical density curves of acrylite steps in different energy in Linac x-rays.

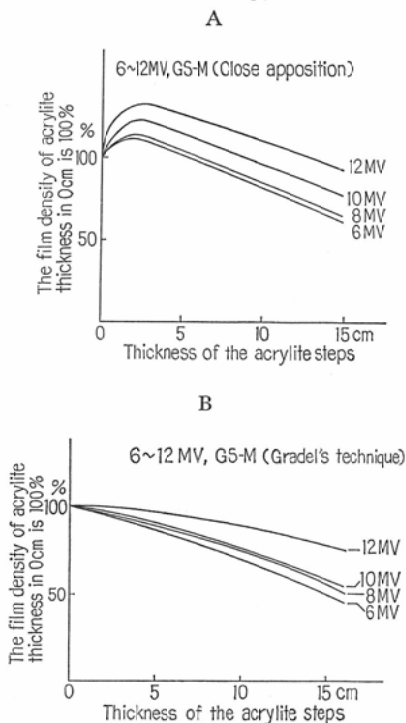


図12のAとBを比較すればグレーデル法ではBild-upの影響は全くなくなっていることがわかる。

d. 撮影エネルギーの検討

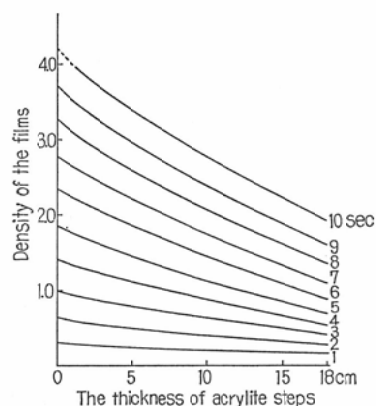
本装置のエネルギーの段階的切換えに応じて12, 10, 8, 6 MVでの撮影を検討した。コダック Type M と極光GSの組合せでアクリライト階段を撮影した結果は図12に示されている。

これによると撮影エネルギーは12乃至6 MVの間では高いものより低いものがよく、本装置の最低エネルギーである6 MVが最良であつた。従つて今後の臨床的研究にはすべて6 MVを使用し、フィルムはコダック Type M, 増感紙は極光GSの組合せを用いることにする。

e. 撮影時間の検討

身体各部の適正な露出時間を調べるためにアクリライト階段を被写体として1秒から10秒までの1秒間隔の露出で撮影した。電圧は6 MV, フィルムはコダック Type M, 増感紙は極光GSで、200cmのグレーデル法を用いた。これらのフィルムの各階段の黒化度を測定したものが図13である。

Fig. 13. The relationship between exposure time and film density of acrylite steps.



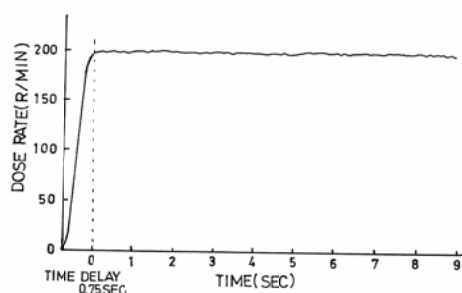
本邦成人標準の胸の吸収率は水に換算して5 cm, 腹部で20 cm, 頭部正面で15 cm, 側面で12 cmとされているので、これを比重1.1のアクリライトに換算すればそれぞれ4.5, 18.0, 13.5, 10.8 cmとなる。撮影されたフィルムの基礎黒化度は1.5前後が適正とされているので、アクリライト階段のそれぞれの厚さがこの適正な黒化度(1.5)になっている撮影時間を求めれば、胸部は4.5秒、腹部は8.5秒、頭部正面は7秒、側面は6.5秒となる。これは標準であつて、年齢、体格によつて補正を行なわねばならぬのは勿論である。

6 MVの場合の皮膚入射線量を振動容量型電位計とXYレコーダーによつて測定したものが図14である。この場合電位計及びXYレコーダーの立上がり要する時間は除去してある。測定距離は焦点より90 cmである。

これらタイムスイッチを入れると同時にX線の放射が行なわれ、かつコンスタントに出ているこ

Fig. 14. Stability of dose rate

6MV X-RAYS



とがわかる。

この測定距離は90cmであるが、上記のアクリライト階段撮影の距離は180cmであるから、入射線量は $\frac{1}{4}$ の50R/minとなる。従つて4.5秒の場合は3.7R、8.5秒では7.1R、7秒は5.8R、6.5秒は5.4Rとなる。

f. 造影撮影の検討

Linacgraphyのような超高圧では造影剤の出現程度が如何に変化するかを調べる。各種の大きさのビニール管にバリウム、空気、ウログラフィンを満たしたものを水深10cmの水槽(42×50×46cm³)の底に横に列べ上から6MVでF.F.D. 110cmのグレーデル法撮影を行なつた(水層中心フィルム間20cm)、これらのフィルムが図15 A.B.C.であるが参考のために普通X線撮影(62kVp)も示した。

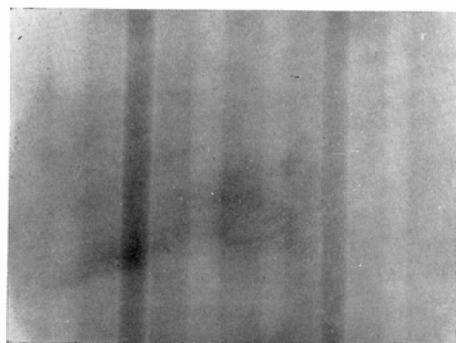
Fig. 15. Photographs of various diameter vinyltubes (filled up various contrast mediums)

a. Urografin. b. Air. C. Barium.

A. 20 and 15 mm diameter vinyltubes.

I. Taken by 6 MV x-rays.

a b c a b c

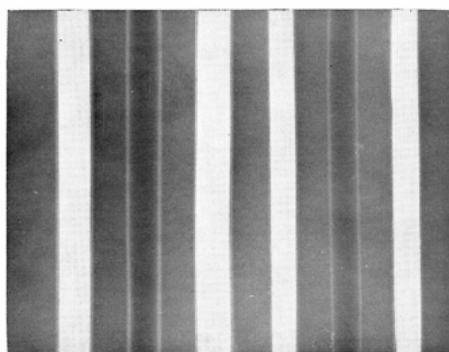


20mm

15mm

II. Taken by 62 kVp.

a b c a b c



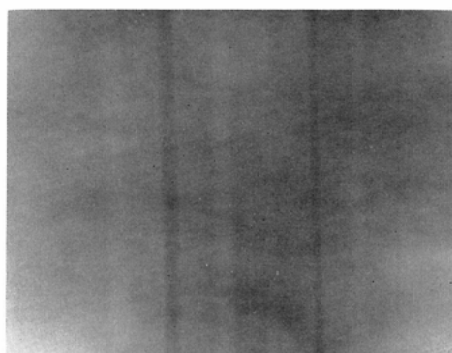
20mm

15mm

B. 10 and 7 mm diameter vinyltubes.

I. Taken by 6 MV x-rays.

a b c a b c

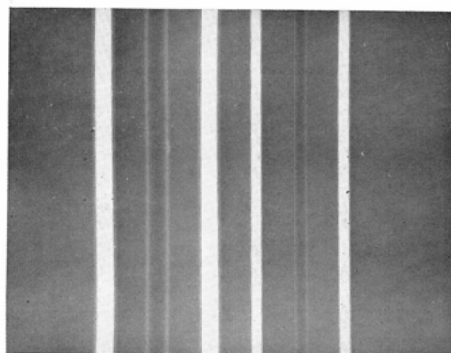


10mm

7mm

II. Taken by 62 kVp.

a b c a b c



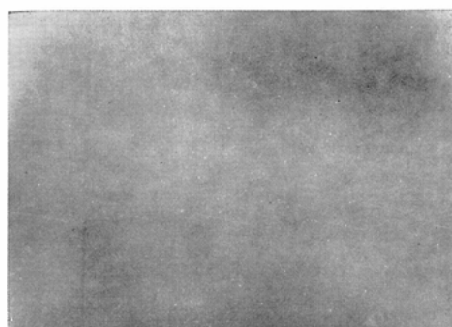
10mm

7mm

C. 5, 3 and 1 mm diameter vinyl tubes.

I. Taken by 6 MV x-rays.

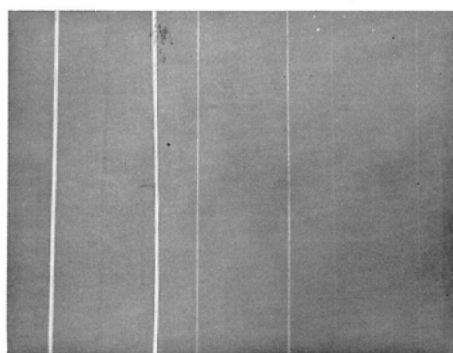
a b c a b c a b c



5 mm 3 mm 1 mm

II. Take by 62 kVp.

a b c a b c a b c

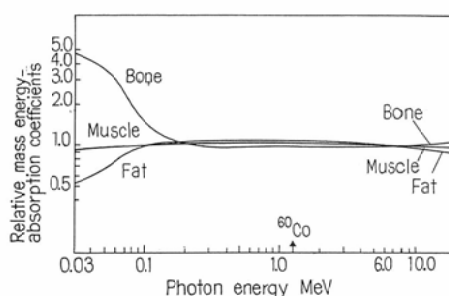


5 mm 3 mm 1 mm

普通撮影ではバリウム、ウログラフオンは1 mmまで認めることができるが、空気は5 mmまでである。かつ前2者は陰影が判然としている。Linac-graphyでは前2者は7 mmまでわずかに認め得るが、空気は普通撮影と同様に5 mmまで現われている。かつ全般的に空気像は判然としているが、バリウム、ウログラフオンの像はコントラストが悪く鮮明でない。このことはLinac-graphyに於ては空気その他の気体が最も良好な造影剤となることを示している。

この超高压と吸収の関係については Wachsmann⁴⁰⁾の研究があるが、これは4 MVまでであるので、20 MVまでは計算によって算出したものを図16に示す。

Fig. 16. Curves showing relative mass absorption coefficients of various types of tissue at various MeV.

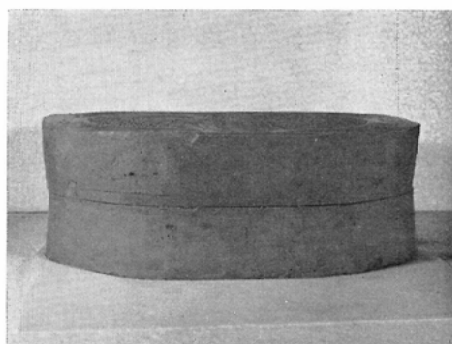


これによると骨、バリウム、などの原子番号の高い物質は高压になれば水に吸収率が近づいている。従つて超高压では原子番号は吸収率に対する影響が少なく、密度、厚さが主体を演じることを示すものである。密度の薄い気体がよき造影剤となるのはこのためである。

g. 陰影出現能の検討—Mix-D球

胸部病変の陰影出現程度を調べるために、図17のようなMix-Dpファントムを作り、肺の部分に鋸屑を入れ、その中に各種の大きさのMix-D球を入れて撮影した。胸部撮影と同様にF.F.D. 200 cmのグレーデル法を用いた。又空洞模形として2 cmφの中空のプラスチック球も入れた。

Fig. 17. A Mix-DP phantom of the lung.



被写体の大きさ及び配置は図18Aに示す如くである。図18BのLinac-graphyでは直径5 mmまでは明らかに認められるが、3 mmは注意しなければ見落す程度である。又右下の2 cmφの中空プラスチック球は輪郭は認めることが出来るが、内部の空

Fig. 18. A. Diagram of Mix-DP phantom with various diameter Mix-D balls and plastic bulb.

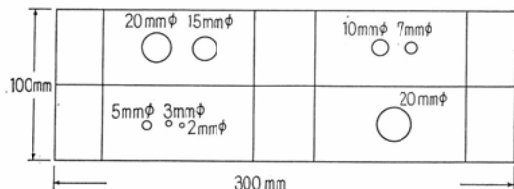


Fig. 18. B. Photogram of Mix-DP phantom with various diameter Mix-D balls and plastic bulb by 6 MV x-rays.

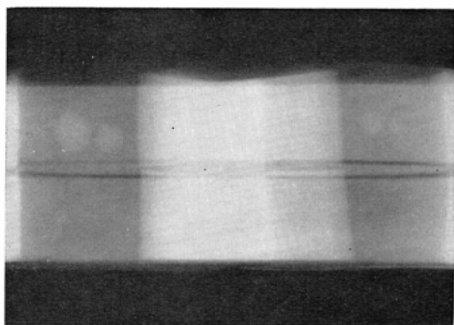
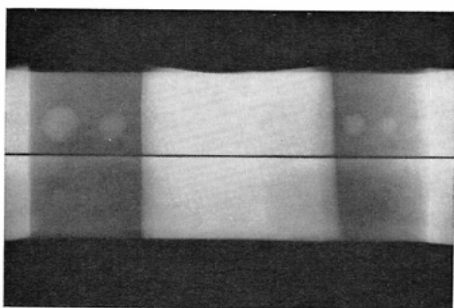


Fig. 18. C. Photogram of Mix-DP phantom with various diameter Mix-D balls and plastic bulb by 62 kVp.



気層は存在が判然としない。これは周囲肺部が含気量の多い鋸屑のために吸収の差が現われにくいためであつて、臨床的にも壁のうすい空洞は Linacgraphy で認め難いことを予想させるものである。

しかるに濃厚陰影中の空洞或いは気管支などの出現度はこれとは異なるだろうとの観点から、高さ10cmの Mix-Dレンガ (10×20cm²) に図19Aの

Fig. 19. A. Diagram of detail appearance of Mix-D brick in various depth and diameter of holes.

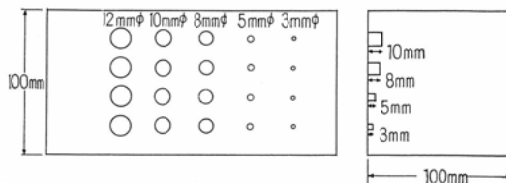
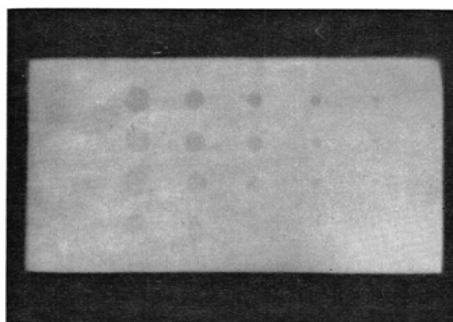


Fig. 19. B. Linacgram of Mix-D brick with depth and diameter of holes.



ような各種の円柱状の孔をあけたものを上記ファントムと同じ条件にて撮影した。(図19B)

Mix-D 孔の大きさ及び配置は図19Aの如くであるが、図19Bで径3mm 高さ8mmの空気層まで明瞭で、高さ5mmも僅かに認めることができる。

IV 治療位置決めのためのエックス線撮影

1. 研究方法

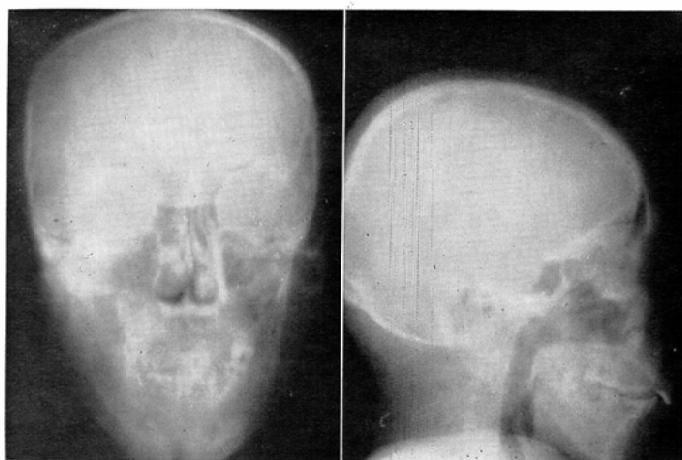
Linac エックス線照射に際しての照準には、別室の位置決め装置でエックス線撮影を行ない、治療寝台上で同一体位を再現し、照射位置で Linacgraphy を行ない、その両者の像を比較して照準を確認できれば理想的であるが、そのためには身体各部が像として現われなければならない。

私は、人体において、頭骨、脊柱、鎖骨、肋骨、骨盤、大腿骨等の各部の骨、副鼻腔、口腔、気管、気管支、消化管などの含気部分、肺内病巣、鉛マーク、体内に投与された造影剤を撮影し、その現出の程度を見て、照射に際して、照射範囲、位置方向の確認に用いられるかどうかを検討した。撮影距離は前に述べたように治療の照準のためであるから、焦点被写体中心間距離90cm、それよりさらに20cm遠く離してフィルムを置くグレー

Fig. 20. Linacgrams of a skull taken by 6 MV x-rays.

A. P-A view

B. Lateral view



デル法を用いた。従つて焦点フィルム間距離は110cmである。撮影エネルギーは6 MV, 増感紙及びフィルムは極光GS及びコダック Type Mである。

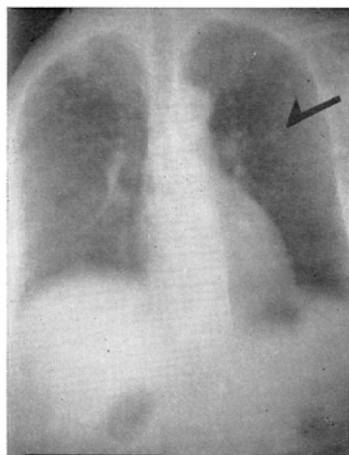
2. 研究結果

a. 頭頸部

頭部矢状方向像, 側面像を図20に示す。

これらの像を入念に観察すれば, トルコ鞍, 副鼻腔, 口腔及び上気道の状態を分析することができる。特に後3者の如く空気を含んでいるものは基礎実験で述べたように, 良好な造影効果を現わし観察しやすいことがわかる。

Fig. 21. Linacgram of a metastatic lung cancer.



b. 胸部

肺の照射に於いて, 鎖骨, 肋骨は陰影として認め難く照準の目標となり得ない。

肺内における腫瘍病変の現出については, 図21に示す如く転移性肺癌の像で, 径1 cm程度まで明瞭に認め, 位置決めの目標となり得る。

図22は肺門腫瘍型肺癌であつて, 普通エックス線像では肺門陰影と隔合しているが Linacgraphy ではこれを分離して観察することができて, 照準撮影には好都合である。

無気肺における気管支の状況は, 前述の如く空気が造影剤となり, 図23の如く閉塞の状態が明らかで, 肺癌の部位が推定され, 位置決めに利用され得る。

c. 食道

バリウムの造影能は基礎実験に於て不満足なことを示したが, ここでは濃度の関係を調べた。食道のバリウム造影剤による造影は, タイミングがむづかしいので, そのかわりに水中においた内径1.5cmのビニール管に75w/v%(食道用)と37.5w/v%のバリウム造影剤を充たして撮影した。その結果は図24に示す如く前者は辛じて認めることができる。37.5w/v%では殆んど認め得ない。

従つて人体への応用は, バリウム造影剤の濃度及び嚥下のタイミングもあつて, 必ずしも撮影されるとは限らず, 目標とするには不安定である。

Fig. 22. Photographs of hilar lesion (lung cancer).
A. Taken by 65 kVp x-rays. B. Taken by 6 MV x-rays.

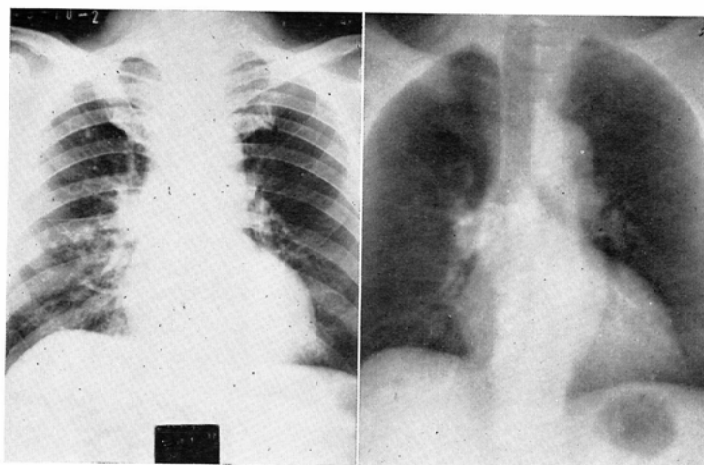
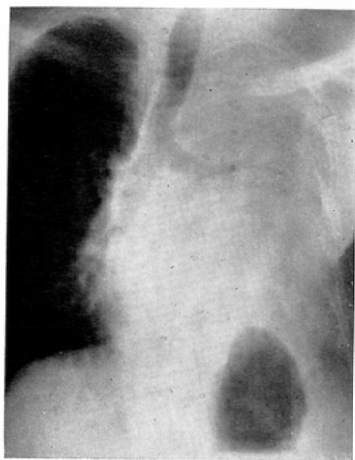


Fig. 23. Linacgram of bronchia in atelectatic lung (lung cancer)



従つて後に述べるように陰影を現わす脊柱、気管、気管支、心臓など周囲臓器との関係から照準を決める必要がある。この食道照射のための位置決めエックス線像の1例を図25に示す。

d. 胃

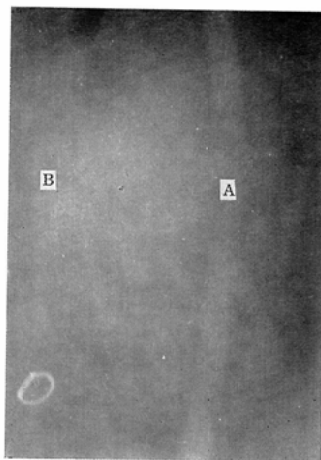
図26に示す如くバリウム造影剤の陰影(A)を認め、胃の輪廓を知ることができるが、それよりも体部より幽門へかけての気体(B)の方が明瞭であつて、これも陰性造影剤が位置決めの目標には有効であることを示している。

e. 脊柱、骨盤、大腿骨

脊柱の陰影は図27の如く認めることができる。

Fig. 24. Linacgrams of esophagus phantoms. There are vinyl tubes of 1.5 cm in diameter (filled up barium contrast medium) in the water.

- A. Filled up 75 w/v % barium contrast medium.
- B. Filled up 37.5 w/v % barium contrast medium.



骨盤も、腸骨の如く薄い部分は無理であるが、坐骨、恥骨等は認めることができ、大腿骨々頭も目標とすることができる(図28)。

f. 鉛マーク

体表若しくは、体内に於ける鉛又はヒューズのマークは径1 mm程度でも認めることができ、照射の目標として応用面が広い(図29)。

Fig. 25. Linacgram of esophagus cancer used conformation collimator of transformed field.

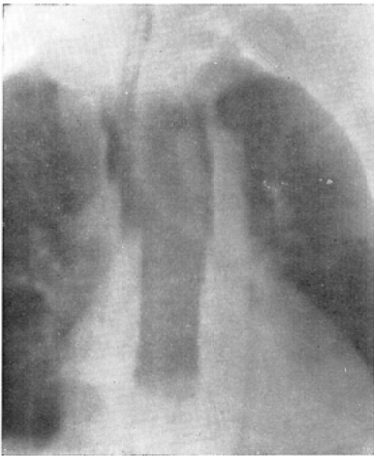
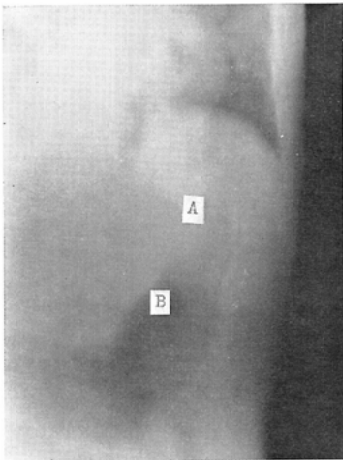


Fig. 26. Linacgram of stomach.
A. Barium contrast medium.
B. Air.



照射局所そのものをLinacgraphyで認め得ない場合でも、この鉛マークを介して照準を正確にすることができる。

g. その他

バリウム以外の造影撮影（陽性）すなわち、気管支、胆嚢、腎盂撮影などにも Linacgraphy を試みたが、利用に価する影像是得られなかつた。基礎実験にてウログラフィンの像はバリウムと同程度であつたが、体内に投与された場合には血液その他でうすめられるので、うすいバリウムと同様に照準の目標となり得なくなると考えられる。

Fig. 27. Linacgram of the vertebral column.

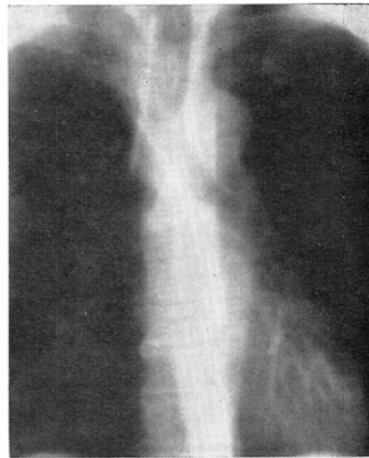
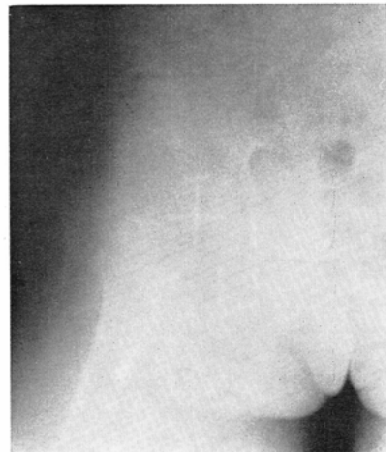


Fig. 28. Linacgram of the pelvis.



Fig. 29. Linacgram of a lead mark.



V 診断のためのエックス線撮影

1. 研究方法

診断のためのそれも、位置決めのための Linacgraphy と撮影条件は同一にしたが、唯胸部の場合は、歪みを少なくするために撮影距離すなわち焦点被写体(フィルム側皮膚面)間距離を 180cm とし、図6の如くリーダー撮影台を被写体皮膚面より20cmの距離にフィルム、カセットが置けるように改良して用いた。従つて焦点フィルム間距離は胸部では 200cm、他の部位は 110cmとなる。

基礎実験に於てもすでに予想されていたが、位置決め撮影によつて空気乃至気体が有効な造影剤として実際に応用できることが明らかになったので、副鼻腔、口腔、気道、肺、気体で充された消化管を撮影対象とした。

2. 研究結果

位置決めの Linacgraphy の項で述べた如く、各種のものを陰影として現出することが可能で、この陰影を照準に応用することができるが、診断的又は別の観点から検討すべきである。

併し照準のためのエックス線像でも診断的価値のあるものもある。例えば図20の頭部、図21の肺、図23の気管支等の像である。

従つて、ここでは位置決めのための像と重複す

るものが、いずれも空気乃至気体が有効な造影剤として利用されるものが診断的価値が高い。

b. 頭頸部

副鼻腔の状態は、明瞭に認めることができる。図30は上顎癌(術後)の Linacgraphy で、副鼻腔の状態は普通エックス線より遙かに明瞭である。

b. 上気道

気管、声門の状態は、明瞭に描出することができる。

図31は Wegener's granulom の気管の狭窄の状態を明瞭に示している。普通撮影より観察し易い。

c. 肺

肺内の病変については応用範囲が広く、各種大きさの腫瘍、無気肺及び索状陰影の症例を供覧する。

図32は軟骨肉腫の肺転移で、両肺野に大小不同の約 1 cm ϕ 位までの円形陰影を認め、普通エックス線で縦隔洞及び心臓に隠れるものも Linacgraphy で認めることができる。

しかし空洞については、大なるものでも、空洞壁が薄いとき現出が困難である(図33)。

図34も肺癌であつて、右肺門部の濃厚陰影中の

Fig. 30. Photograms of a maxillary cancer.
A. Taken by 75 kVp x-rays. B. Taken by 6 MV x-rays.
It is showed defect of maxillary bone.

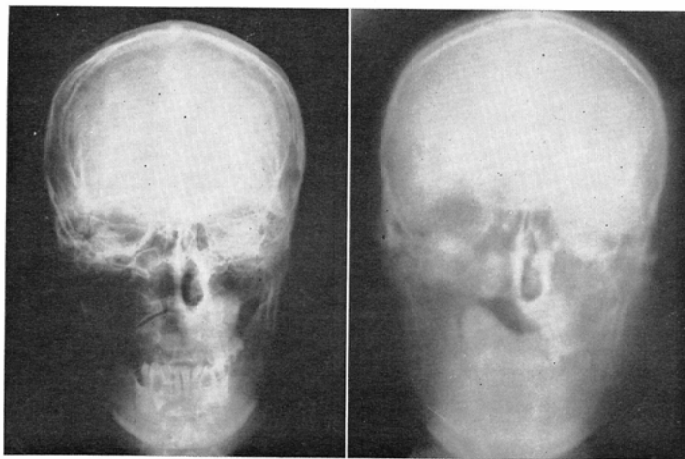


Fig. 31. Photographs of a Wegener's granulom.
 A. Taken by 65 kVp x-rays. B. Taken by 6 MV x-rays.
 A. Wegener's granulom
 B. Glottic
 C. The part of trachetomy

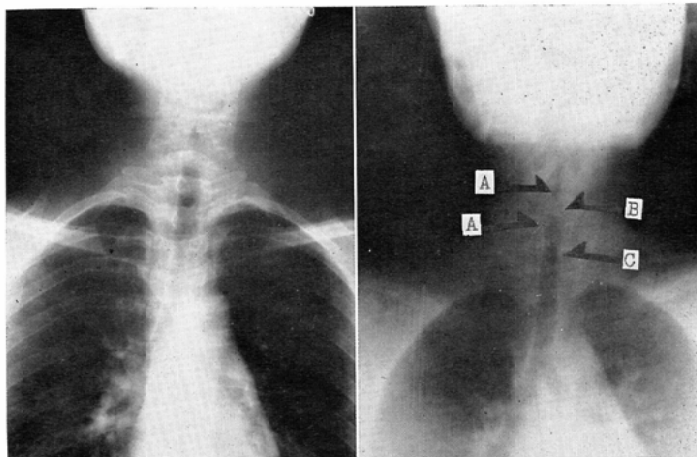
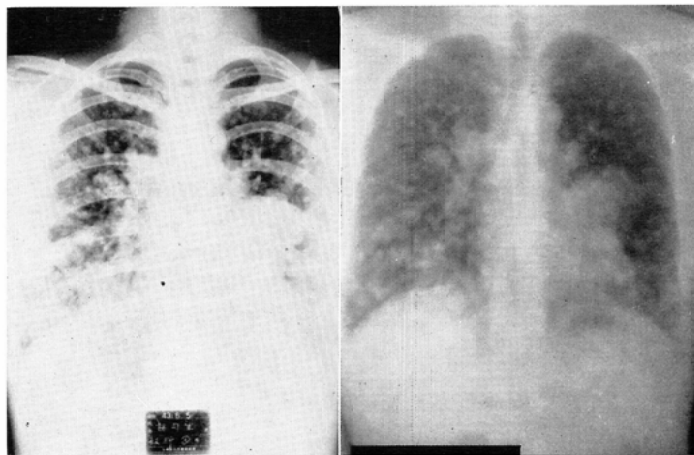


Fig. 32. Photographs of a metastastic lung sarcoma (chondrosarcoma).
 A. Taken by 65 kVp x-rays. B. Taken by 6 MV x-rays.
 There are various size tumors
 in entire lung field.



主腫瘍像が明らかに認められる。

VI 線巢横断撮影

1. 研究方法

我々の Linac 装置は前述の如く (図7) 線巢横断撮影も行なわれるようになっていたが、その幾何学的関係は図35に示す。

撮影条件は、6 MV エックス線、270° 振子、フィルムに対する入射角 81°、撮影距離は焦点回転中心間 90 cm、フィルムはそれより 55 cm 離れた位置にある。胸部を対象とした場合に曝射時間 40 秒、フィルムの位置における線量は 4 R である。フィルム及び増感紙は勿論 コダック Type M 及び極光

Fig. 33. Photographs of a lung cancer. (with cavity formation)

A. Taken by 65 kVp x-rays. B. Taken by 6 MV x-rays.

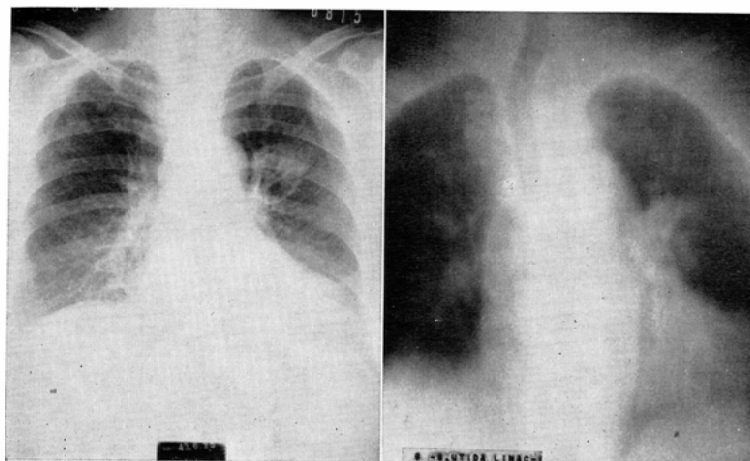


Fig. 34. Linacgrams of lung cancer.

A. Taken by 65 kVp x-rays. B. Taken by 6 MV x-rays.

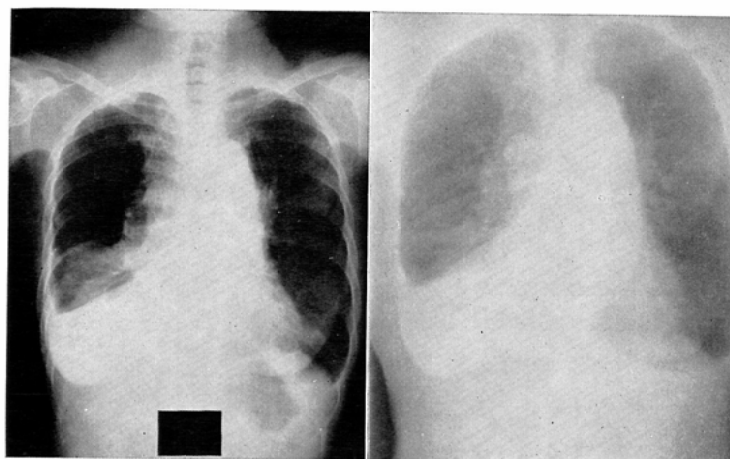
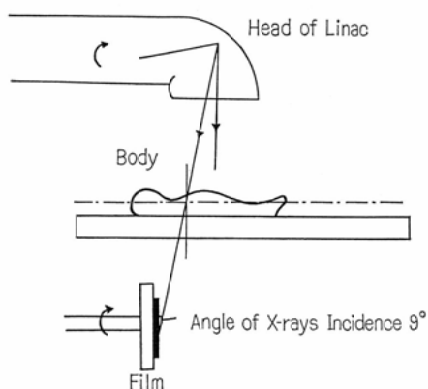


Fig. 35. Diagram of axial transverse tomography by Linac.



GSを用いた.

撮影条件の決定及び像の現出能をみるために、
 先ず図36A（及び図7）に示す如き Mix-D 製角
 柱（ $20 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$ ）を3枚重ねたもの及び図37A
 のような Mix-D 中空円筒（長さ12cm, 直径9cm,
 空洞8cm）を縦と横から撮影し、次いで Mix-Dp
 胸部ファントム（図17）の肺の部分に（鋸屑の中）
 $3.6 \text{ cm} \phi$ の Mix-D円柱を置いて撮影した。

肺病変が、ほぼ球形であるのに対して円柱を用
 いたのは、照準が容易であるためであつて、像の
 現出程度を見るにはこれで充分だからである。

Fig. 36. A. Hexahedral bricks of Mix-D.

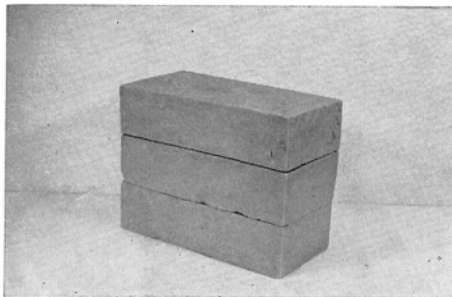
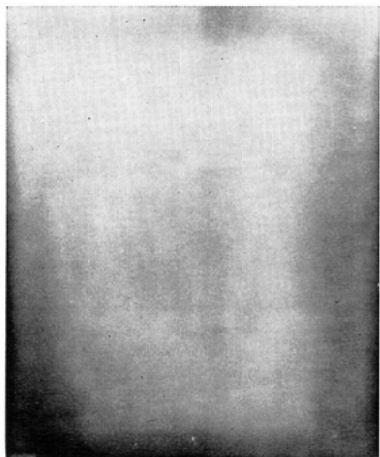


Fig. 36. B. Axial transverse tomogram of Mix-D bricks by linac.



2. 研究結果

線巢横断撮影によつて撮影した Mix-D レンガ
3枚重ねの像を図36 Bに示す。像がフィルム一枚

に広がり非常に不明瞭な写真であるが、各レンガ
間の間隙はわずかに認められる。

中空円筒の縦と横の線巢横断像は、図37 B、の
如く明瞭であるが、特に、横の輪切りが優れてい
るのは幾何学的関係から当然のことであろう。

次に胸部ファントーム内に置いた円柱の像を図
38 Aに示す。このように胸部及び肺を単純化した
ファントームでは、充分にその像を認めることが
できる。参考として、回転横断X線撮影装置で撮
影した同一のファントームの像を図38 Bに示す。
この撮影条件は、管電圧72kVp, 焦点回転中心距離
216cm, フィルムに対する入射角70°, 回転角270°
である。

図38 Aと図38 Bとを比較すれば後者すなわち回
転横断撮影の方がはるかに明瞭である。これは対
象がファントームであるためであつて、回転横断

Fig. 37 A. A column of Mix-D.

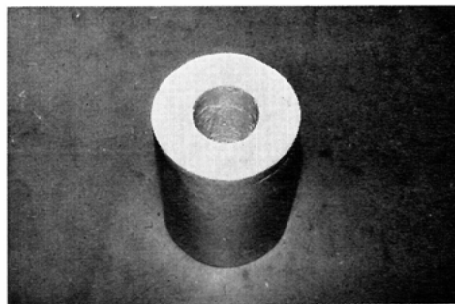


Fig. 37 B. Axial transverse tomogram of Mix-D column by linac.

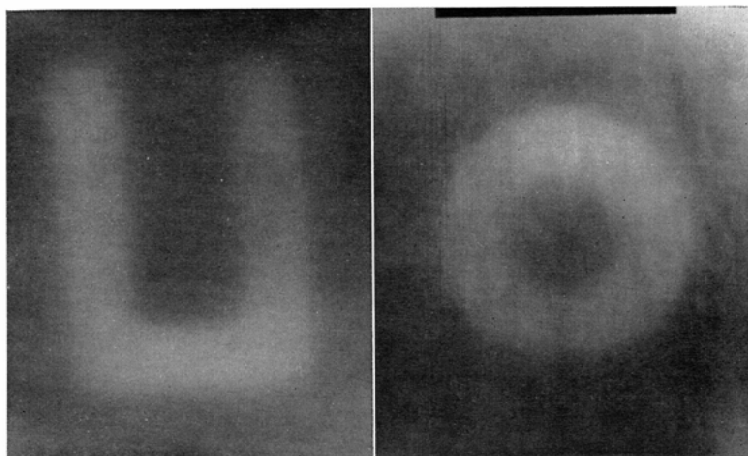
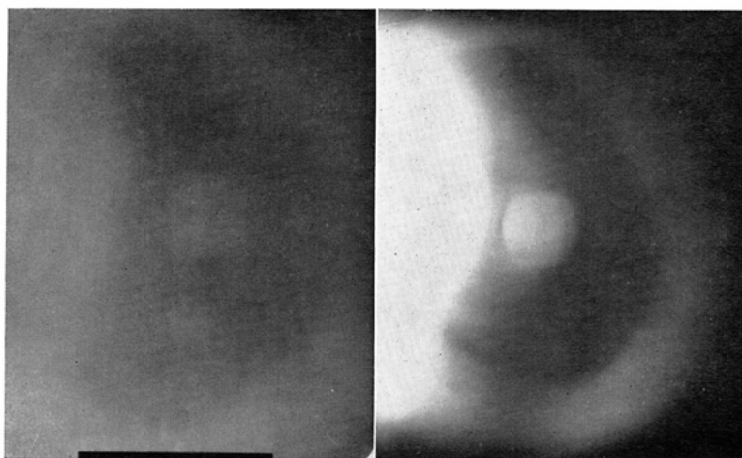
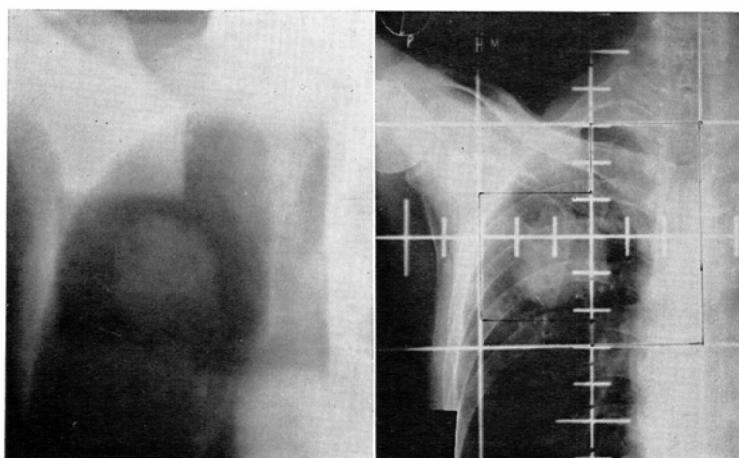


Fig 38. Photographs of a Mix-DP phantom.

A. Axial transverse tomogram
by linac.B. Axial transverse tomogram by
conventional x-rays.Fig. 39. Photographs of lung cancer used comformation collimator
of transformed field.

A. Taken by 6 MV x-rays.

B. Taken by 62 kVp.



撮影を臨床的に応用した場合はこれ程明瞭ではなく、むしろ図38Aの線巢横断撮影の程度であることは衆知の如くである。従つて線巢横断撮影の臨床例はさらに不明瞭となることが予想される。実際に胸部の線巢横断撮影を行なつたところ、その診断的価値は極めて低く、ここに図示しても複写、印刷の過程で像がなくなると思われるので割愛した。

VII 考 按

1. 超高圧エックス線撮影に於ける条件

照射照準のための超高圧エックス線撮影でも、又診断のためのエックス線撮影であつてもその利点を失なうことなく、適当なコントラストを得ることが良好な像を得るための基礎となる。

私は先ず、この一点に絞つて諸種の実験を試みたのである。

a. 撮影エネルギー

低い程良好なコントラストが得られ、像としても照準、診断共に低エネルギー（我々の装置では6 MV）の方が有利であると思われる（図12）。

極端にいえば、照準のためのエックス線像では、何等高圧は必要としないのであつて Linac 装置の焦点より普通エックス線が得られれば、普通のエックス線像が撮影でき、造影剤の使用が自由となり、位置決め装置のエックス線像と同一像を比較することができる。

しかしこのようなことは、理想的ではあるが現在では不可能である。従つて今日では、照射寝台上、照射位置での患者のエックス線像によつて照準するには Linac の超高圧エックス線を用いなければならないのである。従つて照準確認に際しては高いエネルギーにても撮影は不可能ではないが、照準を正確にするためには、如何なるエネルギーで照射する場合に於ても多少のわずらわしさはあつても、6 MV に下げて撮影することが望ましい。

診断のための超高圧撮影に於いては、これとやゝ事情を異にし、超高圧エックス線によつて得られる像の特長を利用するのである。診断のための超高圧エックス線撮影には、どれ位のエネルギーが最適であるかは軽々しく断ずることはできないが、しかし私が主観的に判断した像に於いても、12乃至6 MVの間では、矢張り6 MVの方が診断価値の高い像が得られた。

将来は、増感紙、フィルムの改善により、高低種々のエネルギーのエックス線像に於いて、それぞれの利点が生かされるようになるということも考えられる。

b. 散乱線除去法

超高圧エックス線撮影に於いて散乱線を除去する方法として考えられる唯一のものは、グレーデル法の採用であるといつても過言でない。

超高圧エックス線撮影に於いて、被写体にフィルムを密着させて撮影するときは散乱線の問題のみならず、エネルギーに応じ、又被写体の厚さによつて程度の異なる Build-up の現象が起り(図12)、画面にムラを生じる。この現象は被写体とフィルムを離すことによつて解消するので、グレーデル法は益々有利になる。被写体前面フィルム距離をどれだけにするかという問題はあるが、拡大を考慮すれば余り離すのは不利であり、普通高圧

撮影に用いられる20cm位が適当であると考えた。このことは陰影出現能の実験や、臨床例に於いて妥当なものであると証明することができた。

c. 使用フィルム、増感紙

私が使用した範囲では、フィルムはコダック(Type M)及び蛍光鉛増感紙(極光GS)の組合せが最良であつた。

しかし、いずれも診療に日常使用する材料以外のものであるのもので、その準備の煩雑さはやむを得ない。殊に特殊なフィルムは、医療用フィルムの如く、常に手許にあるというわけではなく、入手に時間を要することもあるし、フィルムサイズの選択も常に自由であるとは限らない。

我々が日常使用している医療用フィルム、蛍光増感紙にても一応はその目的を達することができるが、診断用としては努めて最適の材料を準備するように心掛けるべきである。

d. 撮影時間について

装置説明の項で述べたように本学の Linac には0.1秒単位で遮断できる撮影用秒タイマーが設けられている。又 Linac ヘッドのモニターにて1 Rより1 R刻みで9,999 Rまでプリセット出来る自動出力制御機構を有し、時間と線量の両面からコントロール出来るようになってゐる。

しかし出力は1 R以下は読みとれない不便もあるので、実際には時間でプリセットすることが多い。

アクリライト階段を被写体として適正な黒化度の得られる撮影時間を求めたところ、標準形本邦成人の胸部は5秒、腹部は8.5秒、頭部正面7秒、側面6.5秒という値が得られた。併しこれは標準形の成人の場合であるから、体格、年齢による補正を行なわねばならないが、電圧が高く(6 MV)、透過力が大きいので、低圧の場合の如く、こまかい調節は不必要なことが、臨床的にも実際の撮影を行なつて明らかとなつた。

又この場合の入射線量は焦点より180cmの距離で胸部3.7 R、腹部7.1 R、頭部正面5.8 R、側面5.4 Rとなる。Perryman²⁵⁾はCobaltgraphyにて胸部2.0 R(150cm)、胃部2.2 R(100cm)、頭部1.8 R(100cm)と発表しているが、これを180

cmに換算すればそれぞれ 2.9R, 7.1R, 5.8R となり、私の測定結果とほぼ一致している。

e. 造影剤について

エックス線の吸収は透過物質の原子番号、密度、厚さに比例し、特に低圧では原子番号の4乗に比例しこの影響が最も大きい。高圧になるにつれてこの効果は弱くなり、0.2MV以上では骨の吸収率も水と等しくなる(図16)。従つて低圧エックス線撮影で原子番号の大きいために陰影効果の大きい骨や陽性造影剤は Linac のような超高圧では効力を失い、生体構成物質に比し密度の甚だ小さい気体すなわち陰性造影剤が優れた効果を示すことが予想される。これらのことはビニール管にバリウム、ウログラフィン、空気を入れて行なつた実験で実証された(図15)。すなわち空気の像は鮮明で5mm直径まで認め得るが、バリウム、ウログラフィンの像は全般的に甚だ不鮮明で7mm直径までわずかに認め得るに過ぎなかつた。さらに Mix-Dブロックに円柱状の孔をあけ空気層の出現能を調べたところ、直径0.3cm高さ0.5cmの大きさまで現われることがわかつた。

f. 陰影出現能について

Linacgraphyを診断に用いる場合に最もよい対象となるのは胸部疾患であるので、胸部陰影の出現能をみるために Mix-Dp 胸部ファントムの肺野部鋸屑に種々の大きさの Mix-D 球を入れて撮影したところ、直径0.5cmの大きさまでは明確に、0.3cmまでは不明瞭ながら認めることができた。低圧X線撮影の場合でも尾関²³⁾によれば認め得るのは3mmまでであるので、陰影出現能はそれほど低下しないことがわかつた。

2. 治療照準確認のためのエックス線像

治療照準のための Linacgraphy を行なうに当つては、別室の位置決めエックス線装置による撮影と、治療寝台上に於ける照準撮影と、焦点被写体関係を一定にすることは勿論であるが、同一拡大率の像を得て、両者を比較するために、同一幾何学的関係をもつて撮影するように心掛ける必要がある。

a. 頭頸部

頭頸部殊に頭部、上顎の照射に於いては正確な

照準を必要とすることが多く、頭頸部では副鼻腔、口腔及び上気道等含気部分の像が得られるので、目標とすることができる。

脳腫瘍の際よく照射の目標となるトルコ鞍の像は微細な形状を観察することはできないが、位置は明瞭に認めるので、後述の鉛マークと併用すれば、照準の精度を上げることができる。

b. 肺

肺は気体によつて充たされた臓器であるので腫瘍陰影は径1cm程度までは充分認めることができ、無気肺内の気道の状況は明瞭に認めることが多い。これは照射の照準のみならず診断的意義も大きい。

空洞は、気体によつて充たされているとはいえ、肺自体が含気度が高いので、空洞壁の陰影が現出されなければ確認は困難である。このことは基礎実験(図18)にても、予想されたことである。

但し肺内病変の照射に際して、肋骨影は出現せず、鎖骨の陰影も認め得ないことが多く、目標とはなり難いので、必要があれば鉛マーク等の併用を行なう必要がある。

c. 消化管

食道癌については、我々は分割多片絞りを応用し、可及的に線束を病変部に絞つて照準し、副障害を小さくし、できるだけ充分の線量を照射することによつて成績を向上させている。このように分割多片絞りによる変形照射野を用いるときは、一段と照準の正確さを要求されるが、バリウム造影は像の不鮮明さとタイミングのむつかしさから利用し難いので、周囲臓器すなわち胸椎、気管、気管支、心臓、大血管などの陰影を目標として治療照準を行なっている。さらに体表に付した鉛マークを併用すれば一層確実となる。

バリウム造影剤の現出は不確実ではあるが、時として造影されることもあるので、精度を上げるためには照準に際して同時に試みる必要がある。

胃においては前述の如くバリウム造影剤よりも、むしろ気体を造影剤として用いるのが有利である。

これは他の消化管についていうこともできる

を不鮮明なものとしているので、現在では利用価値は殆んどないといつても過言ではない。

但し、線量分布の測定に応用することは、今後の研究にまたねばならない。

VIII 結 論

本学放射線治療センターに設置されているリニアアークセラレーター（東芝製 LMR-13）を用いた Linacgraphy に関する研究を目的として、先ず撮影条件についての基礎的実験を行ない、次にこれにもとづき、治療の位置決め及び診断のための X線撮影、並びに線巢横断撮影について臨床的に各方面から検討した結果、次の如き結論を得た。

1. フィルム及び増感紙は一般医療用は不適当で工業用を用いた方がよい。特にコダック (Type M) と蛍光鉛増感紙 (極光 GS) の組み合わせが最も良い。

2. 散乱線除去法としては、グレーデル法が適しており、撮影距離は焦点被写体中心 (Linac 回転中心) 間 90cm とし、その中心より 20cm 離してフィルムを置いた。ただ胸部診断のみは焦点被写体 (フィルム側皮膚面) 間 180cm とし、フィルムをそれより 20cm 離して撮影した。かつこれにて Bild-up の現象も解消される。

3. 撮影エネルギーは 12MV から 6MV まで自由に変えられるが、最低の 6MV が最も診断価値の大きい写真が得られる。

4. 撮影時間はアクリライト階段の黒化度曲線 (図 13) から被写体の厚さに応じて求めることが出来る。標準本邦成人にては胸部 4.5 秒腹部 8.5 秒、頭部正面 7 秒、側面 6.5 秒となり、180cm の距離に線量はそれぞれ 3.7R, 7.1R, 5.8R, 5.4R である。

5. 超高压では吸収率に対する原子番号の効果は極めて薄いので、ヨード製剤、バリウムなどの造影剤はその効力を発揮できず、密度の薄い空気などの気体は有効な造影能力を現わす。

6. Mix-Dp 胸部ファントムによる陰影出現能については、Mix-D 球は直径 5mm までは明瞭に、3mm は痕跡的に認め得る。Mix-D ブロックにあげられた円柱状の孔、すなわち空気層は直径

0.3cm 高さ 0.5cm まで認めることができる。

7. 治療照準のための Linacgraphy で照準の目標となるものは、副鼻腔、口腔、上気道、肺内腫瘍、無気肺内の気管支、消化管内気体、脊柱、骨盤の大部分、大腿骨、体表に貼布又は体腔内にそう入された鉛マークである。

8. 照準目標として不確実なものは、濃厚なバリウム造影剤 (食道用)、肺内の壁の薄い空洞、鎖骨、腸骨等である。

9. 照準目標となり得ないものは、うすいバリウムによる造影像、気管支、胆嚢、腎盂などの造影像及び肋骨等である。

10. 診断のための Linacgraphy では、副鼻腔、口腔、上気道、縦隔洞内の気管及び気管支、無気肺などの濃厚な陰影を形成する肺病変内の気管支或いは空洞の状況など、気体が造影剤として働き、その周囲の陰影の濃厚な場合に有効であつた。場合によれば、より低圧の撮影法と比較して診断的に価値のあることもあつた。

11. 線巢横断撮影を照射の照準に用いることについては、現段階では利用目的に耐える像は得られない。

12. 以上の如く、Linacgraphy は治療のための照準撮影には大いに役立ち得るが、通常の診断のためには必要度はそれ程高くない。線巢横断撮影は今後の研究を待つ現状である。

(尾関己一郎教授の御指導、御校閲を感謝し、御指導、御助言頂いた小野庸、野田博治両助教授及び実験の御助力を頂いた梅崎、行岡技師に感謝致します。)

文 献

- 1) 東他：⁶⁰Co ラジオグラフィー、臨放、6:103, (1961)。
- 2) Becker, et al.: Lokalisations-und Einstelltechnik bei dem 15 MeV-Siemens-Betatron, Strahlentherapie, 97:202, (1955)。
- 3) Bucker: Erfahrungen mit der Hartstrahlentechnik und der Feinfokusröhre. Fortschr. Röntgenstr. 77:153, (1952)。
- 4) 江藤他：間接撮影の実験的研究Ⅶ、胸部「エックス」線写真撮影用「アルミニウム」試験体について、日本医放会誌、5:266, (1944)。
- 5) Gortan: Zur Technik der Moment und Schnellaufnahmen. Verhandl. D. Deutsch. Röntgen Gesellsch. 15:13, (1924)。

- 6) Hare, et al.: Physical and clinical aspects of supervoltage votational therapy, *Radiology*, 57: 157, (1951).
- 7) 入江: 胸部高圧撮影の臨床. 矢状方向撮影像を中心とした診断能の検討. 日本医放会誌, 16: 3, 341, (1956).
- 8) 神田: 減弱率より見た高圧撮影の対照度, 日本医放会誌, 15: 3, 196, (1955).
- 9) 久布白¹: 消化管の高電圧および拡大撮影について, 日本医放会誌, 20: 75, (1960).
- 10) 松田他: Betatron X線撮影法, 日本医放会誌, 27: 600, (1967).
- 11) McDonnell, et al.: Supervoltage Roentgenography, *Am. J. Roentgenol. Rad. Therapy & Nuclear Med.*, 79: 306, 1958).
- 12) McDonnell: Megavoltage Diagnostic Radiography, *Radiology*, 80: 279, 1963.
- 13) Mermagen: Million-volt chest radiograph. *Radiog. Clin. Photog.*, 21: 68, (1945).
- 14) 御厨他: 喉頭及び下咽頭悪性腫瘍の治療に対する喉頭造影検査の応用, 臨放, 10: 259, (1965).
- 15) 森山: 胸部高電圧および拡大撮影についての臨床的研究. 久留米医会誌, 24: 317, (1961).
- 16) 永田: 高圧間接撮影に関する研究. 日本医放会誌, 20: 1345 (1960).
- 17) Nemet, et al.: The contrast problem in high kilovoltage medical radiography, *Brit. J. Radiol.*, 26: 185, (1953).
- 18) 小野他: 胸廓成形胸部の X線廻転横断像について, 日本医放会誌, 19: 655, (1959).
- 19) 小野: レントゲン線の入射角と像のボケに就て, 日本医放会誌, 16: 1049 (1957).
- 20) 奥原他: ⁶⁰Co-Radiography の診断的応用. 臨放, 9: 266, (1964).
- 21) 尾関: 普通撮影による肺結核のレ診断 (肺結核のレントゲン診断 シンポジウム). 日本医放会誌, 13: 429, 1953.
- 22) 尾関: 胸部レントゲン診断に関する基礎的研究, 特に対照度と黒化度との関係に就て, 医学研究, 23: 116, (1953).
- 23) 尾関他: 高圧間接撮影の臨床的研究, 日本医放会誌, 16: 335, (1956).
- 24) 尾関他: 13 MeV リニアークセレーター (東芝製) の医用データについて, 日本医放会誌, 28: 1465, (1969).
- 25) Perryman, et al.: Cobalt 60 Radiography, *Am. J. Roentgenol. Rad. Therapy & Nuclear Med.*, 83: 525, (1960).
- 26) Rövekamp: Wert der Hartstrahlentechnik in der Röntgendiagnostik und Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit. *Röntgenpraxis*. 3: 806, (1931).
- 27) 桜井他: ベータトロンによる超高圧放射線治療の経験, 日本医放会誌, 25: 469, (1965).
- 28) 曾谷: X線廻転横断像における干渉陰影について, 第1編胸部X線廻転横断像における干渉陰影について, 日本医放会誌, 19: 639, (1959).
- 29) 曾谷: X線廻転横断像における干渉陰影について, 第2編改良型SS式廻転横断撮影装置を使用した場合の干渉陰影について, 日本医放会誌, 19: 646, (1959).
- 30) 菅野他: 胸部疾患に対する ⁶⁰Co-Radiography の臨床的価値, 臨放, 11: 257, (1966).
- 31) 高橋他: 生体の横断面的研究 (第1報) 健康なる成人頭部の水平横断面. 日本医放会誌, 11: 8, 24, (1951).
- 32) 高橋他: 生体の横断面的研究 (第3報) 健康なる頸部水平横断面の X 線像, 日本医放会誌, 11: 10, 7, (1952).
- 33) 高橋: X線廻転撮影法の研究 (第18報) 廻転横断撮影法に於ける量及び線影の生成に就いての実験的研究, 日本医放会誌, 12: 2, 42, (1952).
- 34) 高橋他: X線廻転撮影法の研究 (第4報) 流動横断撮影法. 日本医放会誌, 12: 6, 42, (1952).
- 35) 高橋他: X線廻転撮影法の研究 (第19報) 胸部廻転横断撮影にあらわれる障害陰影に就いて, 日本医放会誌, 12: 7, 10, (1952).
- 36) 高橋他: 廻転横断撮影法の鮮鋭度に就いての実験的研究, (其の1) 増感紙に依る不鮮鋭度廻転撮影法の研究, 第20報. 日本医放会誌, 12: 10, 25, (1953).
- 37) 高橋他: 直接横断撮影法, X線廻転撮影法の研究 (第15報), 日本医放会誌, 12: 11, 8, (1953).
- 38) Trout, et al.: The experimental background and current uses of high Kilovoltage-radiography. *Acta Radiol. Suppl.* 116: 574, (1952).
- 39) Tuddenham, et al.: Supervoltage Diagnostic Roentgenography, *Am. J. Roentgenol. Rad. Therapy & Nuclear Med.*, 70: 759, (1953).
- 40) Wachsmann: Ausblick auf die Anwendungsmöglichkeiten der Electronenschleuder in Medizin und bisherige Versuchsergebnisse mit ultraharten Strahlungen. *Acta Radiol.*, 32: 145, (1949).
- 41) Wachsmann, et al.: Grundlagen und Ergebnisse der Hartstrahlentechnik. *Fortschr. Röntgenstr.*, 76: 147, (1952).
- 42) Weber: Über Aufnahmen mit harten Strahlen. *Fortschr. Röntgenstr.*, 32: 585, (1924).
- 43) 山本他: ⁶⁰Co 運動照射の線束横断写真による線量分布の吟味 (第1報). 日本医放会誌, 25: 52: 539, (1965).