OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	リニアーアクレ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）
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

リニアーア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 linacgraphy.

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 coefficiency 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 gastrointenstinal 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 Weber[42], Gortan[5] 等が 100kVpの管電圧でエックス線撮影を行なつたのが高圧撮影の始めで，その後 Trout[38] (1949), Rövekamp[26] (1931), Bücker[3] (1952), Nemet[17] (1953), その他数多くの報告があるが，Wachsmann[41] (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つている．

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応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 Mermagen[13] 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 Tuddenham[39] (1953)，McDonnel[11] (1958) 等によって臨床的応用がなされた．

その後 ^{60}Co, 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つた．

Cobaltgraphy を最初に行なつたのは，1960年 Perryman[25]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ため，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，診断的応用には不向きである．

Betatron による Betatrongraphy の研究は Becker[2] (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 McDonnel[12] (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 は単なる診断的応用のみに止まらず，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，併せて診断的応用も試みた．

又我々の Linac には線巣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．

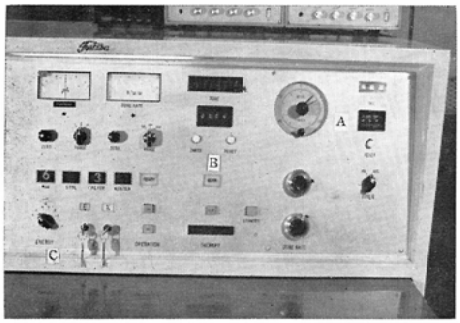
Tab. 1. Characteristics of Linac.

Radiation Energy	13 MeV— 6 MeV
X-Rays Output	500 R/min atm (Max)
Output Stability	± 3 (%) or less
Focal Spot Size	2— 3㎜ 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6，8，10，12MV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1R

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対のタングステン製モノブロックコリーメーター，Y方向では12対の分割多片絞りがあつて，遠隔操作用制御盤により，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1m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）ブ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担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の位置にカセッテ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 energys.

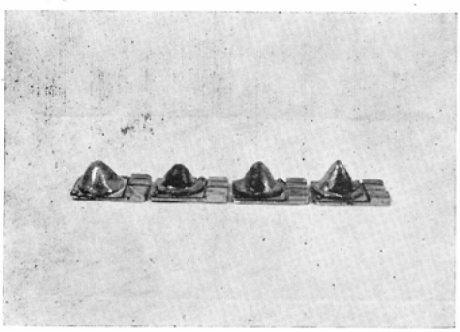


Fig. 3. Dose distribution curve of 6 MV x-rays in irradiation field.

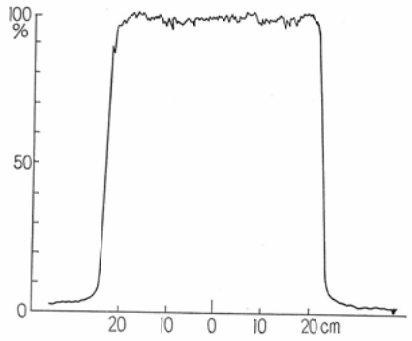


Fig. 4. Position of the flatening filter.

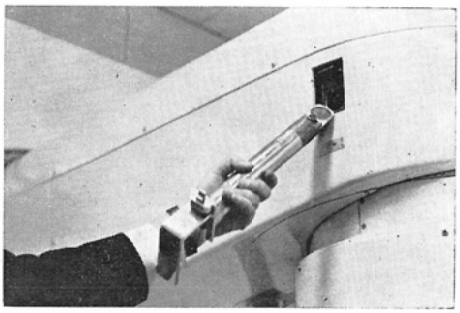
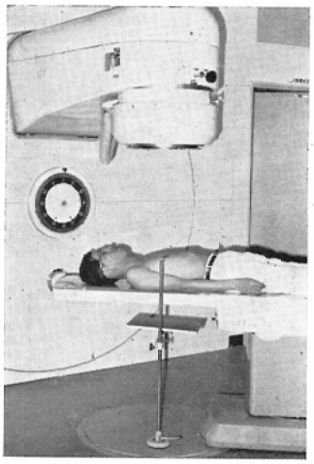


Fig. 5. Technique Lieder.



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テ保持装置（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，線巣横断撮影のためのカセッテ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，線巣横断撮影のために本実験中は，改造を行なわなかつた．

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，フイルム側被写体面よりカセッテまで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.

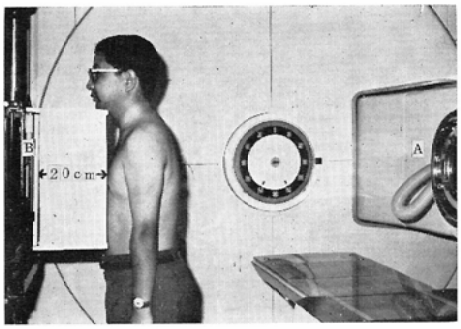
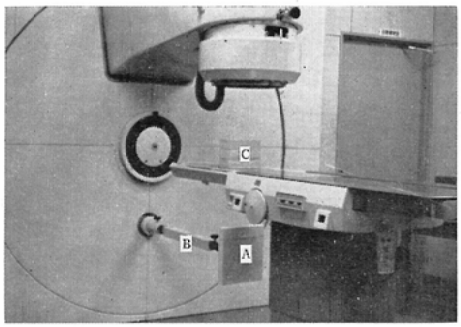


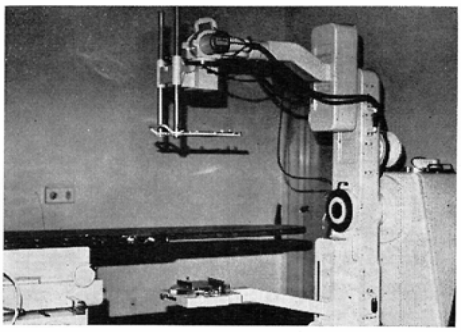
Fig. 7. Scene of axial transverse tomography byLinac.
A. Cassette.
B. Cassette holder axial transverse tomography byLinac.
C. Hexahedral brick made of Mix-D.



線巣横断撮影は，図7に示すカセッテ保持製置を用いた．

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つて簡便に行なうために，別室に焦点，回転中心，フイルム保持

Fig. 8. Simulator.



離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（シユミレーター）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．フイルム

エックス線フイルムには，医療用，工業用各種のフイルムがあるが，全てについて検討を行なうことはできないので，超高圧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，医療用フイルムとしてフジ Kx，工業用フイルムとしてサクラ 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，医療用フイルムは勿論のことサクラ RR も感度が早すぎて Linac のような超高圧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（ＦＳ），高圧撮影用として用いられている蛍光鉛増感紙（極光ＧＳ）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イ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㎝のアクリライト板（比重1.09）を大きさ30×30㎝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

フイ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

上記各種のフイルム，増感紙についていづれが最も 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テの上に直接置く密着撮影と，20㎝離し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12，10，8，6MV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．なおフイルムの現像は特別の操作は行なわず，恒温槽で同時現像を行なつた．

2．研究結果

a．フイルムの検討

前記の如くフイルムはサクラ Type R，フジ Type 80，コダツク Type M の3種を用いカセッテの上にアクリライト板2枚（2㎝）を密着して撮影した．露出はレントゲン量によつて正確に行ない，各種のフイルムについてそれぞれ5段階の露出を行なつた．これらのフイルムの黒化度を測定し，特性曲線を作つたものが図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12，10，8，6MVについて行なつたが，いづれも同じ傾向であつたので図9には10MVのものを示す．

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

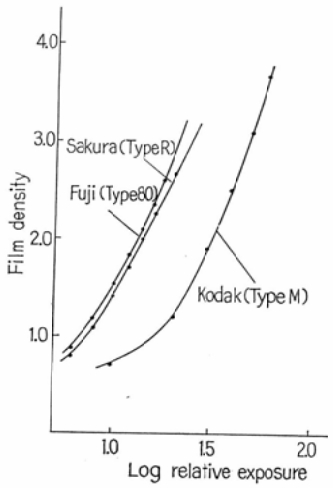


Fig. 10. The size frequency of three films.（200×）

a. Fuji (type 80)　b. Kodak (type M)　c. Sakura (type R)

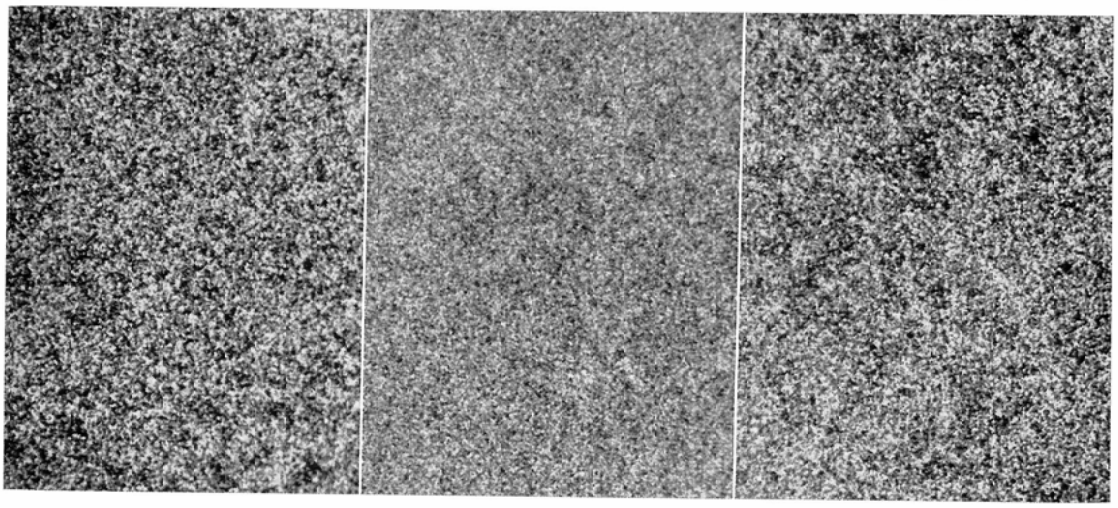
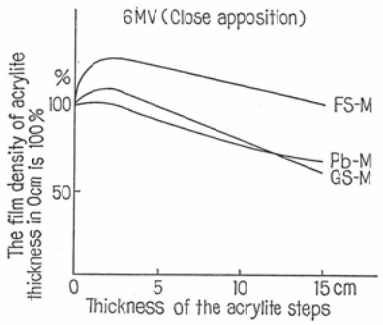


図9でコダツクType Mが最も感度の低いことがわかるが，Linac のような線量の多い場合にはかえつて露出の調節がむつかしいので，感度の低いコダツク Type M が最も使用し易いことになる．又適当な基礎黒化度とされる 1.5附近(1.3～1.75) でコダツク Type M が他よりもカーブが急でコントラストがよい．さらに 1.0附近の曲線はゆるやかで，ラチチユードが広く，低濃度部のディテールを現出するのに都合がよい．又フイルムの粒状性についても図10の如くコダツク Type M が最もよいので，今後はすべてコダツク Type M を使用することにした．

b．増感紙の検討

医療用極光ＦＳ，蛍光鉛増感紙（極光ＧＳ）及び鉛増感紙の3種類とコダツク Type M のフイルムとの組合わせで，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 12，10，8，6MV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6MV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2cm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，ＧＳで少なく，最も重要なコントラストも蛍光鉛増感紙（極光ＧＳ）が最も高いので，Linacgraphy にはこの極光ＧＳとコダツク 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イ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．

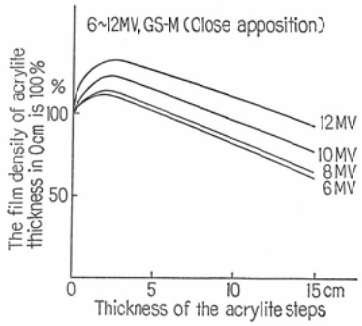
普通高圧撮影で 200cm撮影の場合にフイルム被写体間距離は20cmとされているので，私の場合もこれを採用した．この距離は大きければ大きい程散乱線除去効果はよいはずであるが，拡大率，半影，運動ぼけなどが大きくなり過ぎるので，20cm位が適当とされているわけである．しかし Linacgraphy の場合には胸部以外は治療寝台上に患者を置いて撮影する方法が最も便利であるから，装置の回転中心を基準とするのが合理的であろう．この回転中心（焦点より90cm）を被写体のフイルム側皮膚面に合わせフイルムをそれにより20cmはなせば，焦点フイルム間 110cmに対して拡大率が大きすぎるので，被写体中心とすれば 200cm対20cmの拡大率にほぼ等しくなるから，焦点被写体中心90cm，それより20cmフイ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イルム間距離（F·F.D.）200 cm，フイルム側被写体面とフイルム間距離20cmにて撮影する．

図12ＡＢはコダツク Type M と極光ＧＳを用い，アクリライト階段をカセッテに密着した場合

（A）と，20cm離した場合（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12，10，8，6MV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.

A



B

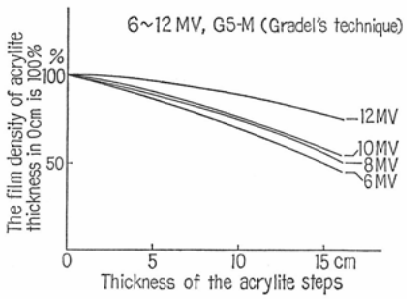


図12のAとBを比較すればグレーデル法ではBild-up の影響は全くなくなつていることがわかる．

d．撮影エネルギーの検討

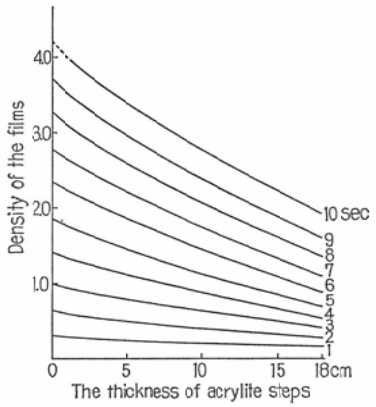
本装置のエネルギーの段階的切換えに応じて12，10，8，6MVでの撮影を検討した．コダック Type M と極光GSの組合せでアクリライト階段を撮影した結果は図12に示されている．

これによると撮影エネルギーは12乃至6MV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6MVが最良であつた．従つて今後の臨床的研究にはすべて6MVを使用し，フイルムはコダック 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6MV，フイルムはコダック Type M，増感紙は極光GSで，200cmのグレーデル法を用いた．これらのフイ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.

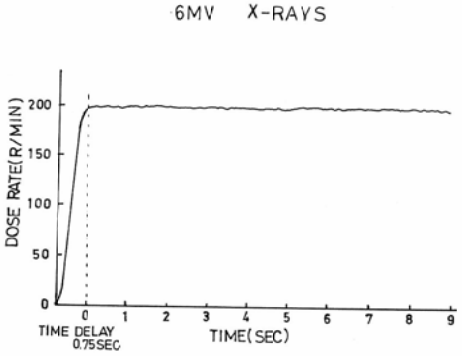


本邦成人標準の胸の吸収率は水に換算して5cm，腹部で20cm，頭部正面で15cm，側面で12cmとされているので，これを比重 1.1のアクリライトに換算すればそれぞれ 4.5，18.0，13.5，10.8cmとなる．撮影されたフイルムの基礎黒化度は 1.5前後が適正とされているので，アクリライト階段のそれぞれの厚さがこの適正な黒化度(1.5）になつている撮影時間を求めれば，胸部は 4.5秒，腹部は 8.5秒，頭部正面は7秒，側面は 6.5秒となる．これは標準であつて，年令，体格によつて補正を行なわねばならぬのは勿論である．

6MV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に要する時間は除去してある．測定距離は焦点より90cm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



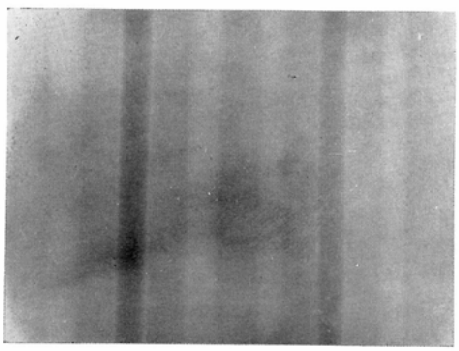
とがわかる.

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$^1/_4$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

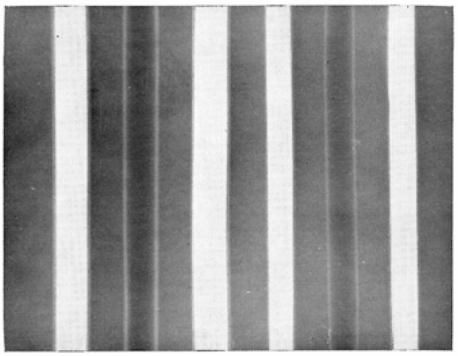
Linacgraphy のような超高圧では造影剤の出現程度が如何に変化するかを調べる. 各種の大きさのビニール管にバリウム, 空気, ウログラフィンを満たしたものを水深10cmの 水槽 ($42\times50\times46cm^3$) の底に横に列べ上から6 MVで F.F.D. 110cm のグレーデル法撮影を行なつた (水層中心フイルム間20cm), これらのフイルムが図15 A.B.C. であるが参考のために普通X線撮影 (62kVp) も示した.

Fig. 15. Photograms 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 MVx-rays.
a b c a b c



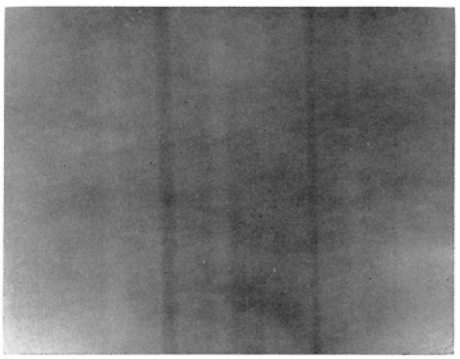
20mm 15mm

II. Taken by 62 kVp.
a b c a b c



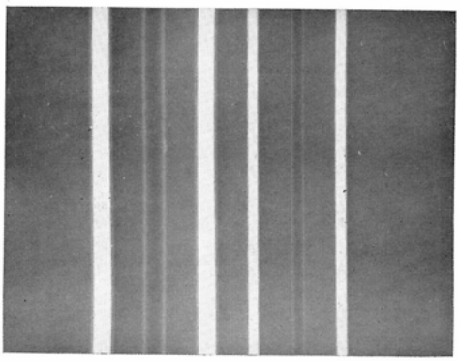
20mm 15mm

B. 10 and 7 mm diameter vinyltubes.
I. Taken by 6 MV x-rays.
a b c a b c



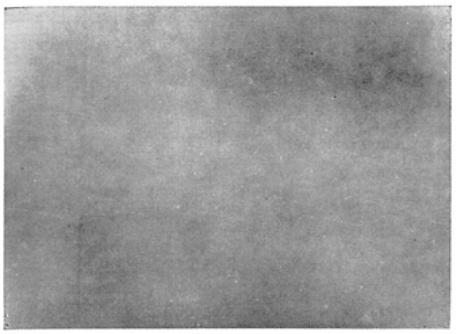
10mm 7 mm

II. Taken by 62 kVp.
a b c a b c



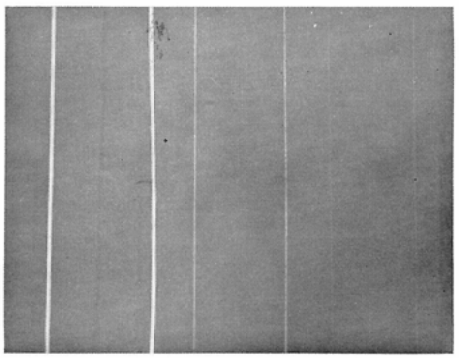
10mm 7 mm

C. 5,3 and 1 mm diameter vinyltubes.
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

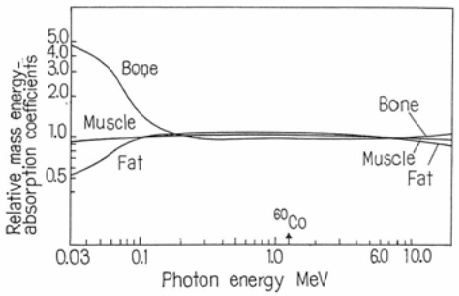


5 mm 3 mm 1 mm

普通撮影ではバリウム，ウログラフィンは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．Linacgraphy 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，ウログラフィンの像はコントラストが悪く鮮明でない．このことは Linacgraphy 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．

この超高圧と吸収の関係については Wachsmann[40] の研究があるが，これは4 MVまでであるので，20MVまでは計算によつて算出したものを図16に示す．

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

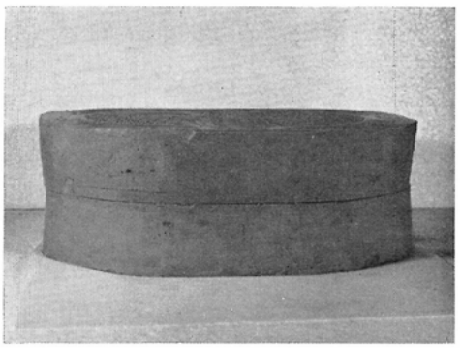


これによると骨，バリウム，などの原子番号の高い物質は高圧になれば水に吸収率が近づいている．従つて超高圧では原子番号は吸収率に対する影響が少なく，密度，厚さが主体を演じることを示すものである．密度の薄い気体がよき造影剤となるのはこのためである．

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 ファントームを作り，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·200cm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 Linacgraphy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.

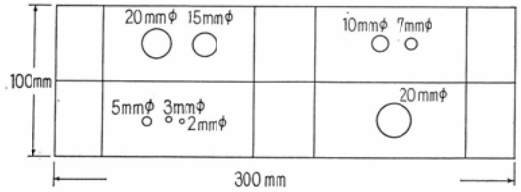


Fig. 18. B. Photogram of Mix-DP phantom with various diameter Mix-D balls and plastic bulb by 6 MV x-rays.

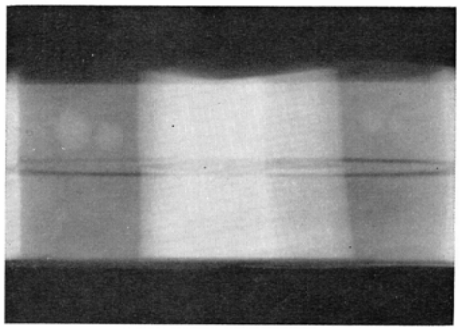
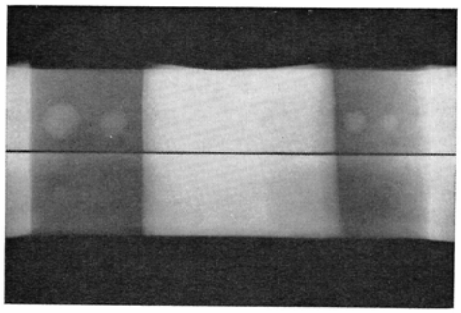


Fig. 18. C. Photogram of Mix-DP phantom with various diameter Mix-D balls and plastic bulb by 62 kVp.



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

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

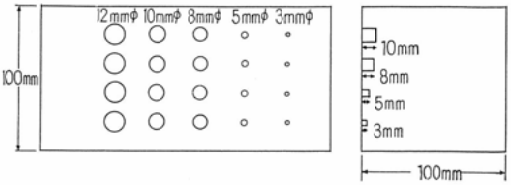
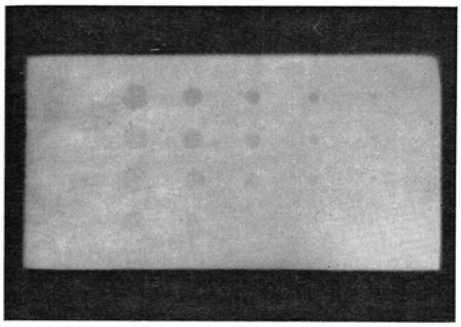


Fig. 19. B. Linacgram of Mix-D brick with depth and diamer of holes.



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．

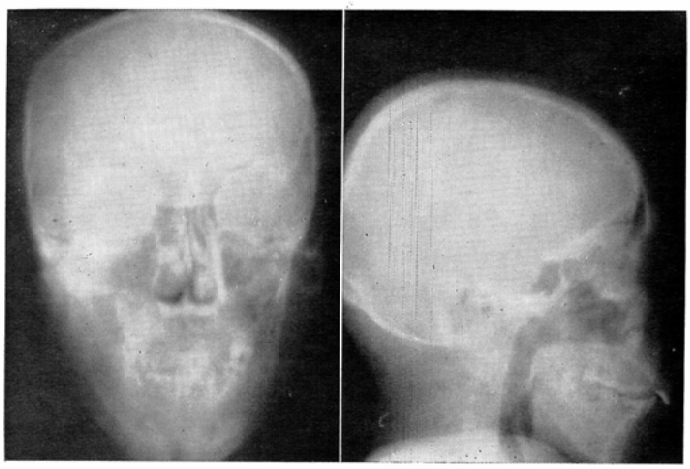
IV 治療位置決めのためのエックス線撮影

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遠く離してフイルムを置くグレー

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．従つて焦点フイルム間距離は110cmである．撮影エネルギーは6MV，増感紙及びフイルムは極光GS及びコダック Type Mである．

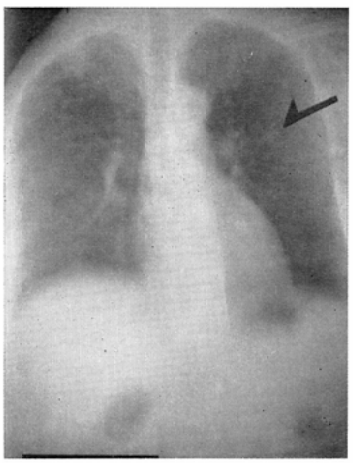
2．研究結果

a．頭頚部

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 metastastic 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．

肺内における腫瘤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1cm程度まで明瞭に認め，位置決めの目標となり得る．

図22は肺門腫瘤型肺癌であつて，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，タイミングがむつかしいので，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. Photograms of hilar lesion (lung cancer).
A. Taken by 65 kVp x-rays. B. Taken by 6 MV x-rays.

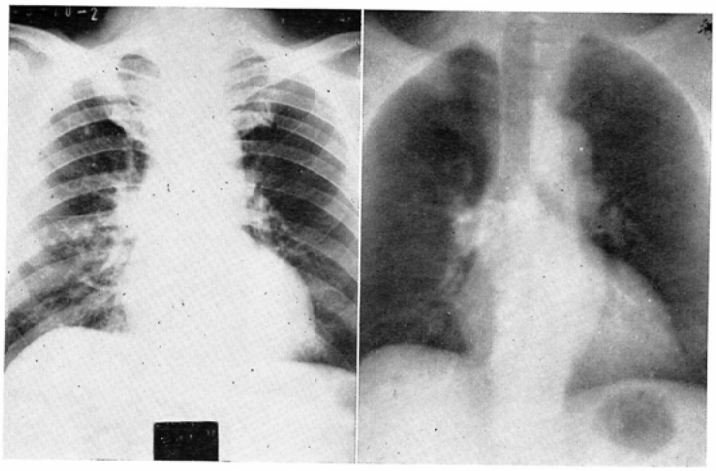


Fig. 23. Linacgram of bronchia in atelectatic lung (lung cancer)

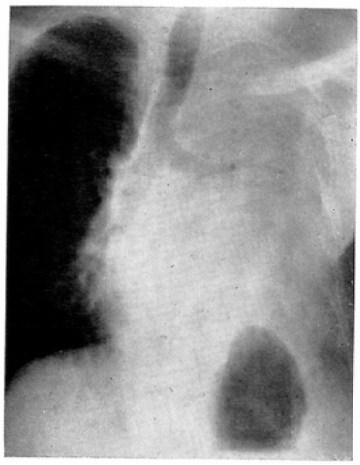
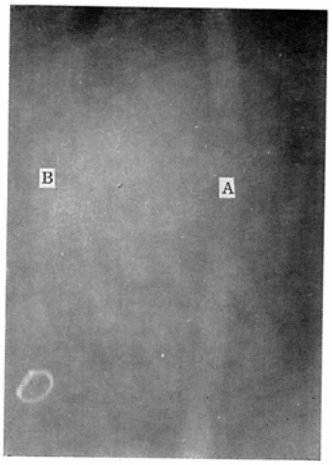


Fig. 24. Linacgrams of esophagus phantoms. There are vinyl tubes of 1.5 cm in diameter (filled up barium contrast medium) in the water.
A. Filled up 75 w/v % barium contrast medium.
B. Filled up 37.5 w/v % barium contrast medium.



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．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㎜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 comformation collimator of transformed field.

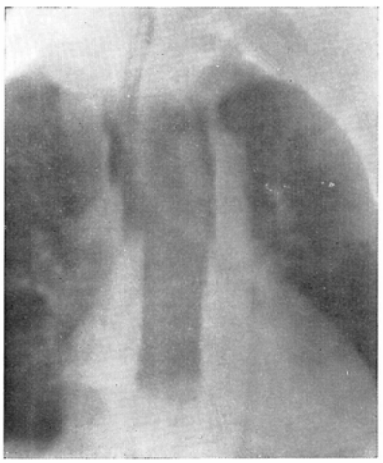
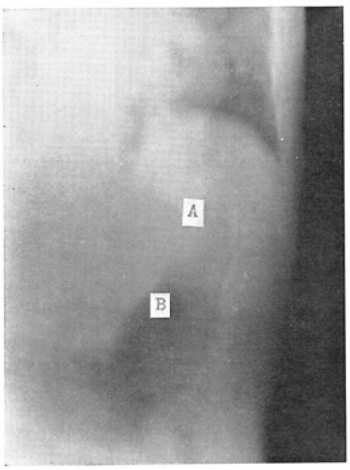


Fig. 26. Linacgram of stomach.
A. Barium contrast medium.
B. Air.



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，利用に価する影像は得られなかつた．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.

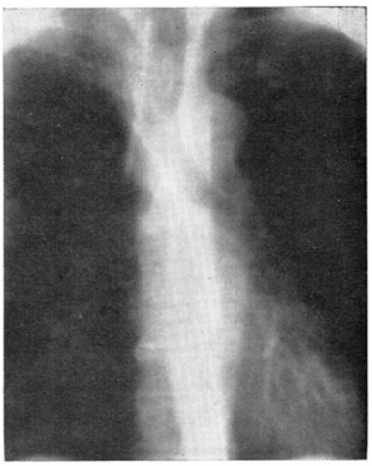
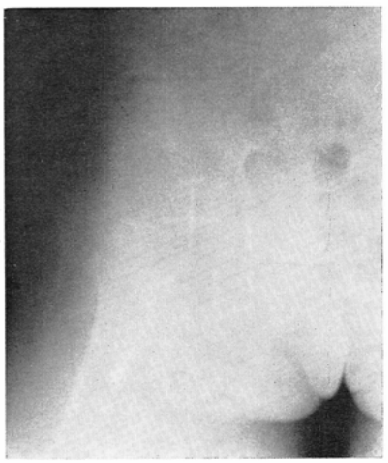


Fig. 28. Linacgram of the pelvis.

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(フイルム側皮膚面)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の距離にフイルム，カセッテが置けるように改良して用いた．従つて焦点フイ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つたので，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復するものが，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．頭頚部

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，各種大きさの腫瘤，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1cmφ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 defekt of maxillary bone.

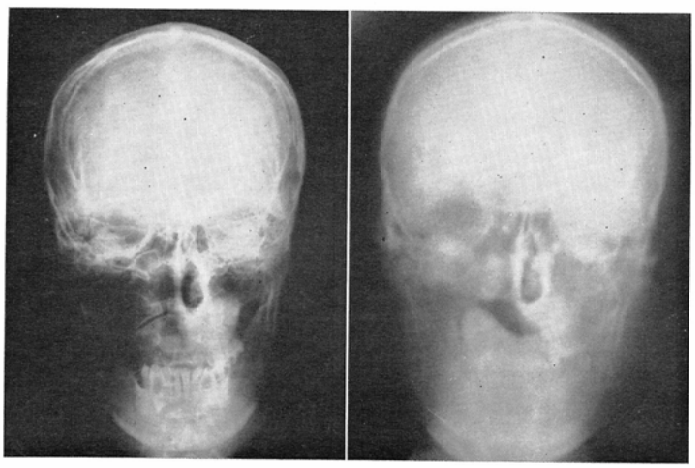


Fig. 31. Photograms of a Wegener's granulom.
A. Taken by 65 kVp x-rays. B. Taken by 6 MV x-rays.
A. Wegener's granulom
B. Glottic
C. The part of trachetomy

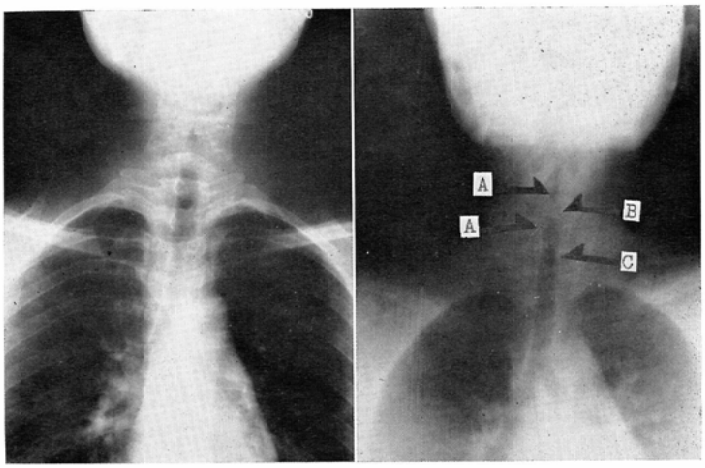
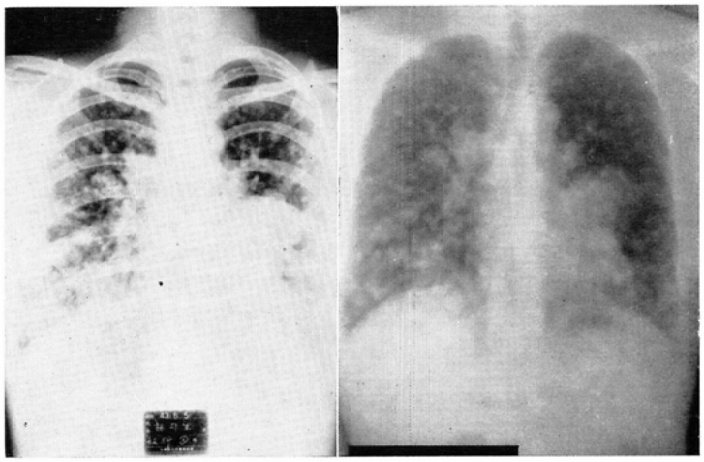


Fig. 32. Photograms of a metastastic lung sarcoma (chondrosarcoma).
A. Taken by 65 kVp x-rays. B. Taken by 6 MV x-rays.
There are various size tumors in entire lung field.



主腫瘤像が明らかに認められる.

VI 線巣横断撮影

1. 研究方法

我々のLinac装置は前述の如く（図7）線巣横断撮影も行なわれるようになつているが，その幾何学的関係は図35に示す.

撮影条件は，6MVエックス線，270°振子，フイルムに対する入射角81°，撮影距離は焦点回転中心間90cm，フイルムはそれより55cm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，フイルムの位置における線量は4Rである．フイルム及び増感紙は勿論コダック Type M 及び極光

Fig. 33. Photograms of a lung cancer. (with cavity formation)
A. Taken by 65 kVp x-rays.　　B. Taken by 6 MV x-rays.

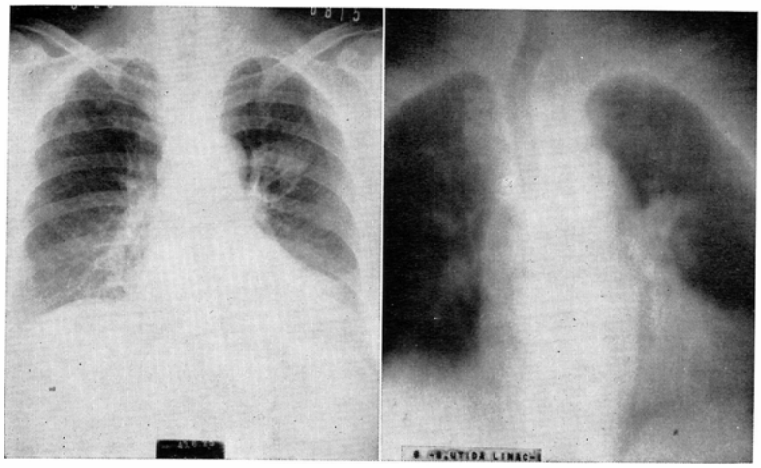


Fig. 34. Linacgrams of lng cancer.
A. Taken by 65 kVp x-rays.　　B. Taken by 6 MV x-rays.

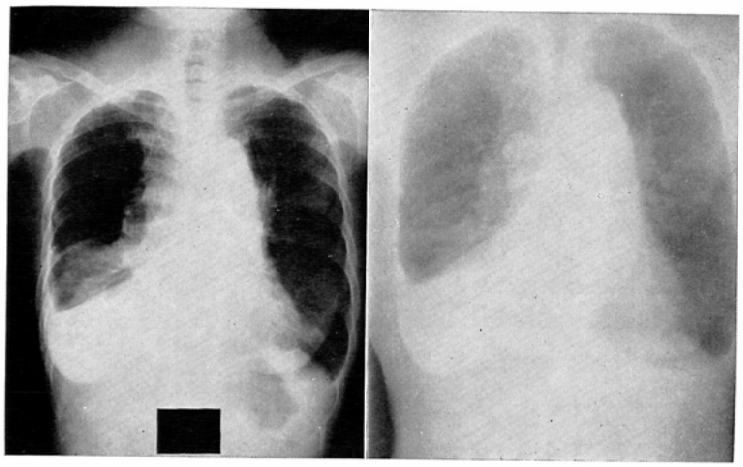
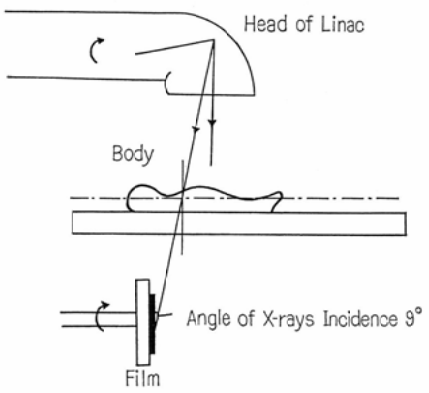


Fig. 35. Diagram of axial transverse tomographyby Linac.



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（20×10×5 cm³）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 胸部ファントーム(図17)の肺の部分に(鋸屑の中) 3.6cmφ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.

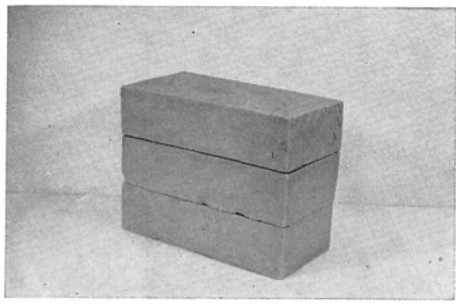
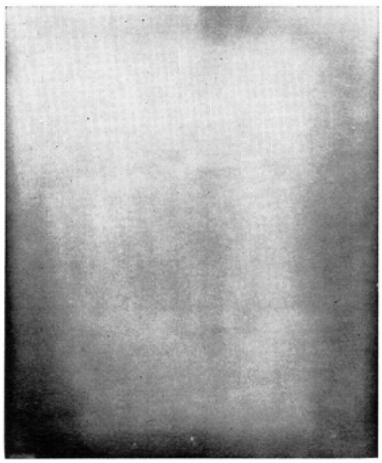


Fig. 36. B. Axial transverse tomogram of Mix-D bricks by linac.



2. 研究結果

線巣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36Bに示す．像がフイ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巣横断像は，図37B，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38A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38Bに示す．この撮影条件は，管電圧72kVp，焦点回転中心距離216cm，フイルムに対する入射角70°，回転角270°である．

図38Aと図38B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.

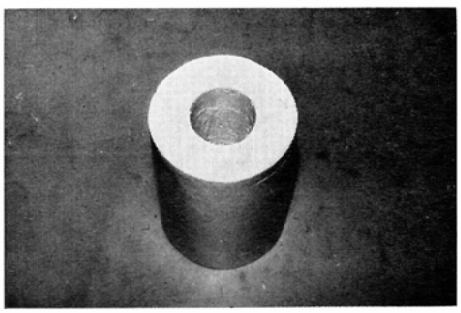


Fig. 37 B. Axial transverse tomogram of Mix-D column by linac.

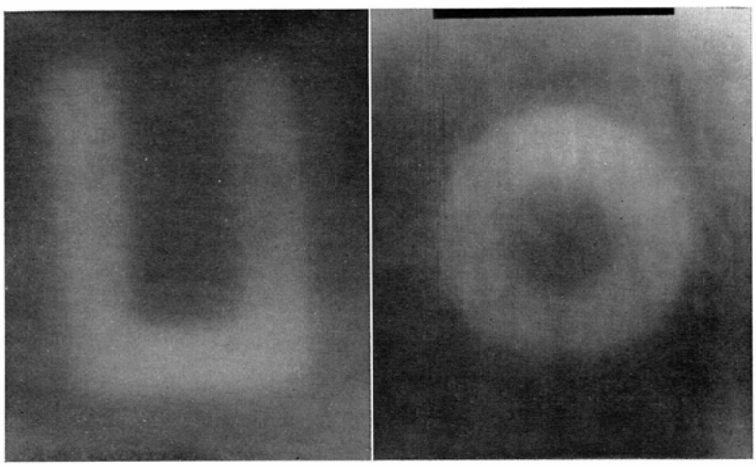


Fig 38. Photograms of a Mix-DP phantom.
A. Axial transverse tomogram by linac. B. Axial transverse tomogram by conventional x-rays.

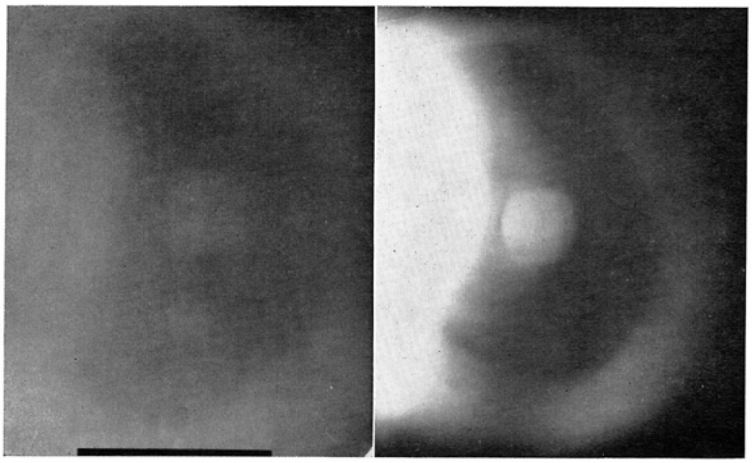
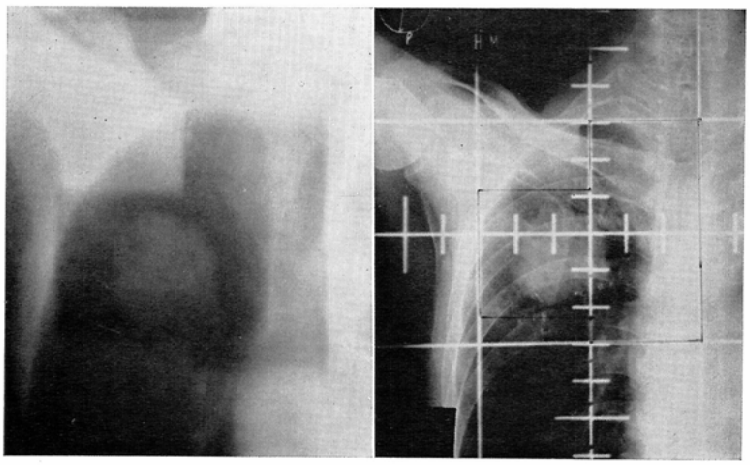


Fig. 39. Photograms of lung cancer used comformation collimator of transformed field.
A. Taken by 6 MV x-rays. B. Taken by 62 kVp.



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の線巣横断撮影の程度であることは衆知の如くである．従つて線巣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．実際に胸部の線巣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という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6MV）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，何等超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ゝば，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，6MV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6MVの間では，矢張り6MVの方が診断価値の高い像が得られた．

将来は，増感紙，フイルムの改善により，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，被写体にフイ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イ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．被写体前面フイ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．使用フイルム，増感紙

私が使用した範囲では，フイルムはコダック（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で，その準備の煩雑さはやむを得ない．殊に特殊なフイルムは，医療用フイルムの如く，常に手許にあるというわけでなく，入手に時間を要することもあるし，フイ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イルム，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秒単位で接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1Rより1R刻みで9,999R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つている．

しかし出力は1R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，年令による補正を行なわねばならないが，電圧が高く（6MV），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3.7R，腹部7.1R，頭部正面5.8R，側面5.4Rとなる．Perryman[25]はCobaltgraphyにて胸部2.0R（150cm），胃部2.2R（100cm），頭部1.8R（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が，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，ウログラフイン，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5㎜直径まで認め得るが，バリウム，ウログラフインの像は全般的に甚だ不鮮明で7㎜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 胸部ファントー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[22]によれば認め得るのは3㎜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瘤陰影は径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，副障害を小なくし，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つている．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

が，腸，腹腔諸臓器については，照射目的部位の直接の造影を試みるより，骨，鉛マーク等による間接的な照準の方が実際的である．

d．脊椎，骨盤，大腿骨

これらの陰影は骨自体への照射よりもむしろ他の部分への照射に際して，間接的な照準の基準となる．

例えばリンパ管造影によつて得られた像により，これらのリンパ節群に対して照射するとき，或いは腎盂造影の像によつて腎に照射する場合には，先ず位置決めエックス線装置で造影像による照準を行ない，Linacgraphy の照準撮影にてこれと同一拡大率の像を描出し，両者を比較し照射部位を確認することにしているが，このとき造影像は極めて不確実であるので，これらの骨部が間接的な目標となるのである．

これらの骨の陰影は，腸骨の薄い部分を除き陰影として認めることができる．

e．鉛マーク

体表又は体内，例えば腟円蓋部にそう入した鉛球は直径1㎜にても明瞭に認めることができるので，充分利用し得る．しかし，照射対象の輪郭ではないので間接的な照準基準である．

体表に鉛マークを付する際に注意しなければならないのは，皮膚の移動が大きい部分では体位，其他の状況で不安定となるので，移動性の少ない部位を撰ばねばならぬことである．

f．我々が行なつている照準確認の実際

患者の計測より照射までの全般については省略するが，照準のための Linacgraphy の応用方法の実際について要点を説明する．

治療寝台上に患者をおき，照射位置で絞り全開の状態で Linacgraphy を行ない，次いで照射する照射野の大きさ，型に絞りを動かし，フイルムの上に二重曝射する(図39A)．この像と，位置決め装置によつて撮影した像（図39B）と比較し，目的通りの照射が行なわれることを確める．この際，フイルム上に現われた前述の種々の像が目標となるのである．

3．診断のためのエックス線像

照準のための Linacgraphy は像が現出し得るか否かということが主眼であるのに対して，診断のための Linacgraphy は超高圧エックス線像によつて始めて認めるもの，或いは他の撮影法に比して明瞭な像が得られるものに限られるので，当然その応用範囲は狭ばめられてくる．

診断のためのLinacgraphy の価値が発揮されるのは，空気乃至気体が造影剤として利用される場合である．例えば副鼻腔，上気道の病変，肺内の病変，無気肺内の気道の状態，広い均等な陰影を形成する病変内に於ける空洞など自然に存在する気体を利用する場合，或いはPneumoencephalography，Pneumo-mediastinum，Pneumo-retroperitoneum 等気体を造影剤として注入した場合である．

4．線巣横断撮影

線巣横断撮影には二つの応用目的があるといえる．一つは体内に於ける或面の線量分布の推定であり，他の一つは治療台上に於いて回転横断撮影を行ない，照準を確認することである．両者とも運動照射を考慮したものであると解釈できる．

前者については，その応用価値を検討する予定であるが今回は省略する．

後者についても運動照射のためのみならず，多門照射に於いてもその照準を行なうには必要であると考えたのであるが，種々試みた結果，現在の段階ではこれを実地に応用することは困難であると考えるに至つた．

その理由として，先ず Linac の焦点はその構造上，回転軸を中心として円周上を動くのみで，球面上の運動は不可能である．それ故に，設置されたフイルムに斜入する角度が極めて大きく，像が不鮮明になる事である．例えば回転横断撮影では入射角が70°であるのに対して Linac では線錐の端を利用しても81°である(図35)．又焦点回転軸間距離は前者の 150㎝に対し後者は90㎝で甚だ小であるのに，回転軸からフイルムまでの距離は66㎝と55㎝であまり変らないので線巣横断は拡大率及びボケが大きい．さらに線錐の端を利用するので，撮影に必要な最小限の線束に絞ることができず照準が困難であり，散乱線量も高圧のため普通X線よりははるかに多い．

以上の諸種の原因が相伴つて，線巣横断撮影像

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ーアクセラレーター（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，並びに線巣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．フイ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90㎝とし，その中心より20㎝離してフイルムを置いた．ただ胸部診断のみは焦点被写体（フイルム側皮膚面）間 180㎝とし，フイルムをそれより 20㎝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，180㎝の距離に線量はそれぞれ 3.7R，7.1R，5.8R，5.4 Rである．

5．超高圧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５㎜までは明瞭に，３㎜は痕跡的に認め得る．Mix-Dブロックにあけられた円柱状の孔，すなわち空気層は直径 0.3㎝高さ 0.5㎝まで認めることができる．

7．治療照準ための Linacgraphy で照準の目標となるものは，副鼻腔，口腔，上気道，肺内腫瘤，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．線巣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．線巣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，行両技師に感謝致します．）

文　献

1）東他：^{60}Co 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）Bücker: Erfahrungen mit der Hartstrahlentechnik und der Feinfokusrohre. 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：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) McDonnel, et al.: Supervoltage Roentgenography, Am. J. Roentgenol. Rad. Therapy & Nuclear Med., 79 : 306, 1958).
12) McDonnel: 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：^{60}Co-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 リニアーアクセラレーター（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 ^{60}Co-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）健康なる頚部水平横断面の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像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碍陰影に就いて，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 und 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：^{60}Co 運動照射の線巣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).