コンデンサ式エックス線装置 (東芝KCD-A型) による 胸部直接拡大撮影について

(指導 北海道大学医学部放射線科教授 若林 勝博士)
国立北海道第二療養所長 近藤角五郎博士)

国立北海道第二療養所

中 間 光 雄

(論文受付 昭和31年5月1日)

ON THE ENLARGEMENT CHESTRADIOGRAPHY BY THE CONDENSER DISCHARGE X-RAY APPARATUS

By MITSUO NAKAMA

The 2nd Hokkaido National Sanatorium.

Summary

(Article recieved : May, 1, 1956)

By remodeling the anode-earth type condenser discharge X-ray apparatus into a cathode-earth one, the focus for a 10kW X-ray tube was reduced by the self bias system. As the focus was magnified by 5 times, changing state of redaction was made clear; microfocus obtained by this method was $0.2 \times 0.3 \text{ mm}^2$ in its size.

Exposed time in the radiography was 0.3~0.5sec. for total discharge was not carried out owing to obstruction of the electron beams due to the grid effect of the bias charge given.

〔I〕 結 言

近時自己バイアス方式によるX線拡大撮影が盛んに行われるようになったが、それに使用する装置は総て高圧変圧器方式を用いている。これは拡大撮影をするためにX線管焦点を微小にするには撮影管電圧とバイアス至適電圧との関係が定まっており、これを行うのに適している方法であるからであろう。私は昭和29年より蓄電放電式装置を用いて胸部拡大撮影を行っているが、かなりよい結果が得られるので茲にその方法を報告する次第である。

〔II〕 拡大撮影に必要な装置の改造

(1) 東芝 KCD-A 型装置

私の胸部拡大撮影に使用している東芝 KCD-A 型装置は附図第1に示した構造で、その高圧部分の結線図は附図第2のように陽極接地型であり最高出力電圧75kV、最大出力電流1,000mA 蓄電器容量1.0 μ F、X線管マツダ SDO-10kW である。

(2) 陰極接地型への改造

X線管にバイアス電圧を簡単に附加するためには、陰極側を接地した方式が容易であり且つ又電氣的的操作も

第 1 図

便利であることから附図第3のように結線を変更し陰極接地方式をとった。

X線管は陰極側ペースを静かに離脱し、これを逆に陽極側に取付けて管球容器内に差込み、陰極側は一線を管球容器に、接地すると共に他の一線と加熱変圧器二次側に接続した。又電子集束筒に結んであるバイアス電圧を附加するリード線を引出し十分に絶縁してバイアス電圧附加装置の陽極側に接続させた。

(3) 改造への考案

一般の変圧器中性点接地方式防電撃診断用装置に拡大撮影装置を取付ける為には先ずX線管を三極管とし高圧

ケーブルの陰極側は三蕊線にしなければならない。而して三蕊内側線の耐圧は10kWのX線管使用の場合、微小焦点にするにはバイアス電圧は少なくとも2,000乃至3,000Vを必要とするし又これに要する可変抵抗体、或いはバイアス電圧用変圧器は高圧回路に挿入しなければならないので、一次側との絶縁が十分でなければならない。このような電氣的に困難な問題があるが陰極接地型にすることにより二次側の耐圧は単に電子集束筒にかかるバイアス電圧2,000乃至3,000Vのみでよい。その他電氣的的操作も非常に簡単になる。

附図第2 蓄電放電式東芝KCD-A型装置結線図

1. X線管 2. 蓄電器 3. 放電抵抗 4. 充電抵抗
5. 蓄電器過大電圧放電装置 6. 残留電荷放電装置
7. 残留電荷放電用抵抗 8. 整流管

第 2 図

附図第3 KCD-A型X線拡大撮影装置結線図

1. 蓄電器 2. 逆に接線した整流管 3. 除去した残留放電装置
4. バイアス用整流管 5. バイアス用蓄電器
6. バイアス用変圧器 7. バイアス用スライダック 8. 限時装置

第 3 図

蓄電放電式装置に使用している蓄電器には両極に極性がなく、入力電荷の向きを変更しても別に変化はないので従来のままにしたが陰極を接地することによって蓄電器には陽の高電圧が充電されねばならない。そのために附図第3のように整流管の向きを反対にし、且つ電流計の回路も逆にしなければ指針は逆に振る結果になるので

電流計の極を逆に結線変えを行った。

バイアス電圧附加装置は変圧器方式を用い最高二次電圧5,000Vの変圧器と電圧調節器として500W型のスライダックを用いた。又蓄電放電式装置のためX線管には完全な直流高電圧が印加されるため、バイアス電圧も直流にした方が理想的になると考えられるので二次側に整流管1B3GTを挿入し脈動直流とし更に0.025μFの蓄電器でそれを直流にした。

一般の蓄電放電式装置では限時装置は不必要であるが拡大撮影装置とした場合は電子集束筒にバイアス電圧を附加すると陰極電子の走行は抑制され甚だしく管電流は減少する。このため大電流を通電することはフィラメントの熔断や微小焦点の熔解等を来すため不可能であり、撮影に当っては普通胸部撮影よりかなり高電圧とし一定時間で撮影して電荷の波尾截断を行うために加熱電流回路に限時装置を挿入した。又限時装置で電荷の波尾截断を行うことによって一回の撮影が終わるたびに残留電荷放電装置が動作することはわずらわしいので、放電装置を取除き撮影が終わって後バイアス電圧を零に戻し残留電荷の全放電を行うことにした。

なお使用したマツダ SDO-10W X線管は市販のものの中から使用前に電子集束筒より出ているリード線とフィラメント加熱リード線との間の耐圧試験を行い耐圧約3,000Vのものを用いたのである。

〔III〕 微小焦点の撮影及面積の測定

〔A〕 ピンホールカメラに依る方法

(1) ピンホールカメラの製作

ピンホールカメラの長さは30cmとして右図のような鉛角筒を作った。

ピンホールに用いる鉛板の厚さは描写される焦点の大きさに誤差を生ずる一つの原因

になるが、あまり厚くすると極く小さいピンホールを作ることが出来ず、又薄くすると鉛板をX線が透過してフィルム自体を感光させてしまう結果となる。そこで撮影電圧を60kVとして焦点撮影に可能な鉛板の厚さ約0.6mm程度のものを用いた。

ピンホールの大きさについては¹⁾一般病院では0.1mm以下の穴を開けることは困難とされているが、私は前述

の鉛板に極く細かい縫針で右図のような約0.05mmの大きさの

穴を開けることが出来た。

穴の大きさは顕微鏡で測定したのであるが針の先で開けたピンホールは円形ではあるが正確なものではなく又一寸した強い摩擦によっても誤差を生じてくる。

(2) 焦点の撮影法とその結果

焦点の実大撮影と拡大撮影を行った。実大撮影は昭和30年8月X線管の取付け時に行ったものであり、拡大撮影は取付け7ヵ月後に行ったもので対称比較することは出来ないが一応その方法を述べることにする。

イ) 微小焦点の実大撮影

撮影条件: 60kV, 2mA, 4min.

撮影距離: 30cm (焦点, ピンホール間) — 30cm (ピンホールフィルム間)

附加バイアス電圧: 0,500, 1,000, 1,250, 1,500, 1,750, 2,000, 2,250, 2,500V

次ぎに傾斜角度をつけて: 1,750V 約18度

撮影結果: 附図第4のようになった

ロ) 微小焦点の4倍拡大撮影

撮影条件: 60kV, 2mA, 4min.

撮影距離: 7.5cm (焦点, ピンホール間) — 30cm (ピンホールフィルム間)

附加バイアス電圧: 0,500, 1,000, 1,250, 1,500, 1,750, 2,000, 2,250, 2,500V

次に傾斜角度をつけて: 1,750V 約18度

撮影結果: 附加第5のようはなった。

焦点写真像の濃度は焦点の状態を観察するのに都合のよい²⁾ 最高黒化度を1.2~1.5に止めた。

附図第4 微小焦点の実大撮影写真 (60kV)

バイアス電圧 (V)

写真像は小さく正確に焦点の縮少されていく状態を知ることが出来ない。

附図第5 微小焦点の4倍拡大撮影写真 (60kV)

バイアス電圧 (V)

焦点の縮少されていく状態がよくわかる。焦点は平行に縮少されるのではなくある程度V状になつていく。極度に縮少されてからは急に拡散状態になる。1750V 附近が最も微小焦点でそれよりバイアス電圧を上昇すると縦の長さが短縮してくるが横巾は拡散のままである。

(3) 小括並びに考案

実験結果附図第4によるとバイアス電圧を上昇するにつれて (0~1,500V) 焦点の横巾は狭められるが縦の長さは殆んど変化なくバイアス電圧 2,000V 附近より縦の長さは縮まってくるが、逆に横巾は広がってくる状態が認められる。又 1,750V の約18度の傾斜により焦点は略々点と看做される程度に縮少されるが何分にも写真像は小さく正確に焦点の縮少されていく状態を知ることが出来ず概略の傾向を知るに過ぎない。

実験結果附図第5の微小焦点4倍拡大撮影写真像によって10kW 規格の焦点がバイアス電圧附加によって、微小焦点へ移行していく状態、大きさ等を容易に観察することが出来た。

この4倍拡大写真像から焦点の状態を考察すると、バイアス電圧0V の場合は10kW 5×5mm 焦点の約4倍になっている。即ち面積は約16倍に拡大されていることになる。この写真像によると焦点は平滑のようであるが、このX線管で既に3,500回以上の胸部撮影を行っているので実際に焦点を肉眼で見ると、中央附近に横に亀裂があり少し、凹凸になっているし焦点面もかなり粗雑になっているが拡大によって、かえってこれ等が目立って見えない。これにバイアス電圧を除々に加えていくに従って焦点の横巾は急激に狭まっていくが縦の長さはさ程変化しない。又横巾の狭まり方は焦点の電子密度の大きい両側から平行に狭まらず、ある程度V状になって狭まってくる。これはフィラメントに対して焦点は平行でなく約19度の傾斜があるために、焦点とフィラメント間の距離の違いが及ぼす影響であろうと考える。即ち距離の近い方が低いバイアス電子は集束され遠くなるにつれて高いバイアス電圧を要するものと思われる。又バイアス電圧0V の場合は焦点の亀裂や粗雑な状態が拡大によってかえって不明瞭であったが、バイアス電圧を上昇さすに従って亀裂の状態はハ

距離の違いが及ぼす影響であろうと考える。即ち距離の近い方が低いバイアス電子は集束され遠くなるにつれて高いバイアス電圧を要するものと思われる。又バイアス電圧0V の場合は焦点の亀裂や粗雑な状態が拡大によってかえって不明瞭であったが、バイアス電圧を上昇さすに従って亀裂の状態はハ

ツキリと溝が出来て遂には焦点を二分したようになるが、これは焦点の亀裂部分の面に電子が集束されていたからで焦点中央部の面が亀裂や粗雑になっていることは拡大撮影には特に支障がある。

バイアス電圧 1,500~1,750V 附近は大した変化はなく焦点の V 型の状態が増々その度を縮めて中央に線状の核のような電子の強く集束されたところを見受け、その周囲を稀薄な X 線像が包んでくる。この状態は V 状の電子集束が一点に結ばれたところに至って現れてくるのであるが、電子は平行状態の集束には遂にならず V 状集束が極度に狭った部分から急に電子は稀薄な拡散状態に移行していくが、これは微小焦点のバイアス至適電圧以上に加えられたら、電子は急に拡散の状態をとる現れであると考えられる。

バイアス電圧 1,750~2,000V になると電子は殆んど中央に狭められ V 状のわれ目はようやく識別される程度となる一方逆に拡散に入った部分が見受けられる。この附近が 60kV に於ける拡大撮影に用いるバイアス至適電圧であろう。

バイアス電圧 2,000V では電子は中央に集束されて細い線状となると共に拡散状態の現れである。周囲の稀薄像が目立ってくる。

バイアス電圧 2,250V ではこれまであまり変化のなかった焦点の縦の長さが急に縮小されて来た。

バイアス電圧 2,500V に至ればも早焦点の中央の電子密度の強い線による X 線状核は全く消失し縦の長さの短縮された様な拡散した焦点像になってしまう。斯くなると管電流は非常に流れ難くなり³⁾ 第 1 表のように加熱電流を遙かに上昇させねば所要の管電流を得ることが出来なくなる。

第 1 表 バイアス電圧と管電流の関係

管電流	バイアス電圧 (V)	0	500	1,000	1,250	1,500	1,750	2,000	2,250	2,500
2mA	加熱電流 (A)	3.1	3.15	3.20	3.30	3.40	3.58	3.80	4.05	4.10 (1mA)

以上の実験から SDO-10kW の管球を用いて胸部拡大撮影を行う場合の管電圧 60kV ではバイアス至適電圧は 1,750V と決めた。

焦点の縦の長さを縮小さすために一般に X 線管焦点を平行に傾斜させているが約 18 度傾斜した附図第 4 の場合は略々点と看做してよいが、附図第 5 の拡大写真像では焦点の亀裂のため傾斜させても 1 点には結ばなかった。これは亀裂によって焦点面は平滑を欠き亀裂面を境して凹凸となり如何に焦点面を平行においてみても焦点全面が水平面になるものではなく、これがため焦点は分

離した点となって現われ、実際の胸部拡大撮影にも焦点の新しい時よりもよい結果が得られなかったことから亀裂は拡大撮影にとっては直接撮影よりも大きく写真上に鮮鋭度を害する原因となるようである。

[B] 解像力による方法

(1) 撮影に用いた金網

解像力による微小焦点の大きさを測定する方法として²⁾ 一般に 0.05mm~0.1mm 程度の細い針金を針金の太さと同じ間隔に並べて拡大撮影を行い、その解像力の限界から焦点の大きさを測っているが、私は市販の細かい金網を被写体として撮影し、この解像力から焦点の大きさを推測してみた。

即ち市販の 200, 150, 100, 50 メッシュの 4 種類の金網を用いた。(註、メッシュとは 1 時の間にある目数をいう)

この金網をマイクロホトメーターで測定して見たら 200 メッシュは針金の太さが約 0.04mm で目の広さ(間隔)は約 0.081mm, 50 メッシュは針金の太さ約 0.06mm で目の広さは約 0.11mm, 100 メッシュは針金の太さは約 0.07mm で目の広さは約 0.18mm, 50 メッシュは針金の太さは約 0.1mm で目の広さは約 0.38mm の間隔であった。

(2) 撮影方法及び結果

4 種類の金網をそれぞれ約 0.5cm, 長さ約 35cm に切り厚紙に平行に貼付け大陸判フィルムに撮影して作用焦点の X 線強度分布からくるフィルムの黒化度の変化と解像力との関係を調べた。

イ) 撮影距離: 75cm (焦点金網間) — 75cm (金網, フィルム間)

ロ) 撮影条件: 60kV, 2mA.

ハ) 密着撮影をして次に 2 倍拡大撮影に距離をとり附加バイアス電圧を 0, 500, 1,000,

1,250, 1,500, 1,750, 2,000, 2,250, 2,500V として撮影。

ニ) 撮影結果は附図第 6 のようになった。

(3) 小括並びに考案

撮影に使用した X 線管は焦点に亀裂のあるものを用いたので新しい X 線管よりは解像力も劣っているに違いないが 2 倍拡大撮影によってどの程度まで細かい金網が解像されるかについて実験したのである。

撮影した金網のうち 200, 150 メッシュのものは金網の針金の太さと目の一辺の長さとの割合は約 1 : 2 で 100 メッシュのものは約 1 : 2.5, 50 メッシュは約 1 : 4 の割合である。撮影結果の附図第 6 は大陸フィルムに撮影さ

附図第6 極く細い金網の2倍拡大写真(60kV)

バイアス電圧
1750Vが一番よく鮮明で焦点が最もよく縮小されていることがわかる。横の針金が全体に鮮明に見えるのはX線管焦点の傾斜角度に平行におかれているからである。

れた金網像のうちX線強度分布が平均化し黒化度が一定して来た部分をカットしたものであるが附加バイアス電圧を0Vより上昇するにつれて、焦点の縮小と共に金網の目もハッキリして来た、1,500~2,000V附近がよく解像されているようである、特に1,750Vはハッキリして200メッシュの金網もようやく解像されている、2,000Vより上昇すると急に解像力は低下し2,500Vでは50メッシュの金網ですら朦朧として来た、

この解像力の観察とピンホールによる焦点の4倍拡大写真とを比較して見ると、大体バイアス電圧1,700V附近が使用したSDO-10kW X線管の微小焦点に必要なバイアス至適電圧であろうと思われた。

X線拡大撮影にバイアス電圧附加によって10kW X線管を用いることは焦点の横巾はバイアス電圧によつてある程度V状集束ではあるが、自由に狭く出来るが縦の長さはそれ程変化なく、X線管の傾斜によって無理に作用焦点を小さくするが10kW X線管は焦点の縦の長さは約10mmもあり、バイアス電圧によって少しは短くなるとしても小焦点X線管にバイアス電圧をかけ微小焦点

にしたよりもフィルムに鮮鋭な像を結ばせる範囲は狭められる。10kW X線管の場合2倍拡大撮影を焦点フィルム間距離を150cmで撮影した金網の縦の針金は一定の太さであるが、横の針金は角度がつくに従って太くボケてくるが肉眼的にフィルム上で鮮鋭に見られる長さは約15cmの範囲であり、この場合焦点平面よりなす角度は約5度程度までのところである、

【C】微小焦点の大きさ

微小焦点の大きさの測定を焦点の4倍拡大写真像より考察すると、微小焦点の横巾は平行に狭まるものでなく或る程度V状になって縮小され、然してこの電子集束のV状の頂点は交叉するのではなく直ちに拡散に移る。これでは正確にバイアス至適電圧を決定するには困難である。又焦点の縦の長さもX線管を傾斜させ無理に縮小投影さず関係でフィルムに対して或る一部分にはたしかに縦横の二次元共に線と看做されそれが投影されて点となるが全面的には点とならない。それで大凡の焦点の大きさをフィルムに投影された一部分の鮮鋭像のところから推測決定することになる。附図第5の管電圧60kV、バイアス電圧1,750V傾斜角度約18度の写真像では縦横共に狭まり、累積状の不整形ではあるが大体点と看做し、これから焦点の大きさを推測してみるとみると焦点周辺部の稀薄な濃度の部分は一般にX線写真像には影響されない部分であり、ボケの原因を無視してよいとされているので従って電子密度分布の強い高濃度部分の中心核両辺の最大値陰影を計測したら横約1.2mm、縦約1.3mmであった。これを四分の一にしてその数値を b 焦点測定公

$$b = \frac{c-2a}{4} \quad \left(\begin{array}{l} a: \text{カメラ穴の径} \\ c: \text{焦点像} \end{array} \right)$$

式に代入して計算したら約0.29mmの微小焦点となった。

又極く細かい金網を拡大撮影してその解像力より微小焦点の大きさを推測すると附図第6のバイアス電圧1,750Vの写真では200メッシュの金網も解像されている。そこで3倍拡大撮影ではどのようなかを管電圧60kVバイアス電圧1,750Vで撮影した結果は附図第7のようから、これがこの焦点で撮影する解像力の限界と考え⁴⁾これから微小焦点の大きさを求める公式

$$n_2 < m \cdot \frac{2b}{a-2b} \quad \left(\begin{array}{l} n_2: \text{被写体フィルム間距離} \\ a: \text{焦点の大きさ} \\ b: \text{針金の太さ} \\ m: \text{焦点被写体間距離} \end{array} \right)$$

に代入して計算した結果は

$$1000 < 500 \times \frac{2 \times 0.04}{x - 2 \times 0.04} \quad x < 0.12 \text{mm}$$

の数値が出た。これは針金の太さと等間隔に並べた被写体を撮影した場合であるから200メッシュの針金の太さ

は約0.04mm, 間隔は約0.08mmで約2倍の広さがあるので計算値 0.12 を2倍したら0.24mmの数値となった。

附図第7 金網の2倍拡大撮影写真 (60kV 1750V)

微小焦点の4倍拡大写真像の結果からは約0.29mm²の微小焦点となり, 200 メッシュの細い金網を撮影した場合は約0.24mm²の微小焦点となったが大体 0.2mm²~0.3mm²の範囲の微小焦点のように考へられる。しかしこれはフィルムに投撮された像の一部分のところを論したのであって直接撮影のように大陸判フィルムの全般的に及ぼす鮮鋭度を決定するものではない。その測定した部分より上方に向うにつれて鮮鋭度は悪くなり, 下方になるにつれ鮮鋭度はよくなってくる。

使用したX線管は10kW で然かも焦点面の亀裂が障りし極微小な焦点にはなし得なかったように思われるが, この程度に胸部の2部拡大撮影を部分的に行い診断可能なX線写真を撮っている。

〔IV〕 管電圧の変化とバイアス至適電圧との関係

撮影する管電圧とそれに附加するバイアス至適電圧との関係は定まっているので⁵⁾, 管電圧を変化させれば当然バイアス電圧もそれに伴って変化させねばならないが, 蓄電放電式装置では撮影中常に管電圧が変化してくるのでそれに対するバイアス至適電圧を調べてみた。

(1) 実験方法及びその結果

- イ) 50kV 2mA 4倍拡大 付加バイアス 1250 1500 1750V
ロ) 55kV 2mA 4倍拡大 付加バイアス 1250 1500 1750V

附図第8 管電圧の変化とバイアス至適電圧との関係

管電圧の上昇と共にバイアス至適電圧も上昇することがわかる 50kV では 1500V 65kV では 2000V 附近が至適電圧であらう。

附図第9 遮蔽グリット効果による蓄電器残留電荷の実験

1. 65kV, 2000Vで放電
2. 放電後直ちにバイアスを0Vにして残留電荷全放電
3. 45kV 充電で全放電

65kV, バイアス2000V, 25mA で放電した場合, 45kV 附近まで電圧が降下したらバイアス電圧の遮蔽グリット効果によつて電流は抑制阻止されることは, その残留電荷と 45kV 電荷の全放電とをベノア硬度計で比較したら濃度が大体一定していることわかる。

ハ) 60kV 2mA 4倍拡大 附加バイアス 1500 1750 2000V

ニ) 65kV 2mA 4倍拡大 付加バイアス 1250 1500 1750V

ホ) 撮影結果は付図第8のようになった。

(2) 管電圧の降下と遮蔽グリット効果

蓄電器容量 1.0μF で管電圧 65kV, バイアス電圧 0V として管電流 25mA を通電した場合は放電時間は長い全放電する。しかしバイアス電圧 2000V を付加したら或る一定の管電圧までは放電を行うがバイアス電圧による遮蔽グリット効果によって電子の走行は抑制され管電流は殆んど流れなくなり自然的に管電圧の波尾截断が行われることになる。

いま管電圧 65kV, バイアス電圧 2000V, 管電流 25mA の通電で管電圧がどれだけ降下したら遮蔽グリット効果によって電流が流れなくなるかをベノア硬度計で実験した。

実験(1) 管電圧65kV, バイアス電圧1750V, 管電流25mA で放電後直ちに残留電荷をバイアス電圧を0Vに戻して放電してベノア硬度計の濃度を調べたら付図第9—1.2のようになった。

実験(2) 管電圧4.5kV, バイアス電圧0V, 管電流25mAで全放電を行ったらその結果は付図第9-3のようになった。

この結果から管電圧65kVで管電流25mA, バイアス電圧2000Vを附加すればバイアス電圧の遮蔽グリット効果によって管電圧が45kVに降下すれば管電流は流れなくなることがわかった。

(3) 小括並びに考察

効電圧の相違によってバイアス至適電圧と又変ってくることはこれまでに¹⁾⁴⁾⁵⁾詳細に報告されているが, 私は自分の使用するX線管の概略の特性を知るために実験を行

表2 管電圧とバイアス至適電圧

ったが付図第8から各管電圧のバイアス至適電圧は第2表のような特性のあることを知った。即ち管電圧の上昇と共にバイアス至適電圧も上昇する。

蓄電放電式では撮影する管電圧は充電々圧(放電最高電圧)を頂点として降下するが, バイアス至適電圧は充電々圧に合せたまま依然として変化さずことは出来ない。しからばどの程度管電圧が降下したらバイアス電圧による遮蔽グリット効果で電流の抑制が行われるかを(2)の実験1.2によって調べたのであるが付図第9-1はベノア硬度8~9度であり2はベノア硬度4付近である。又実験2も大体同一の硬度であるところから管電圧45kV付近で管電流は抑制阻止されたものと考えられる。しかし私達は蓄電放電式装置で胸部撮影を行う場合成人胸厚18cmの被写体では管電圧45kV以下に降下した軟X線は胸部組織で殆んど吸収されフィルムに黒化を与えない。しかも放電々圧の最高部分の電荷で殆んど撮影は完了されているため, 撮影に当ってバイアス至適電圧は正確ではないが充電々圧に合せておいてよいことになる。バイアス至適電圧は撮影管電圧に対して絶対的のものではなく, ある程度の範囲のあることは微小焦点の撮影の項で

述べたが私は一般胸部拡大撮影の場合管電圧は60~70kVとしてこれに対してバイアス至適電圧は1750V~2000Vにして行っている。

⑨バイアス電圧を6000V以上高電圧とした場合は焦点は縦横共に完全に微小となりこれが拡大撮影に最も適したバイアス至適電圧と言われているが, このようなバイアス高電圧を付加すると管電流は非常に抑制されておびただしく加熱電流を上昇させねばならないのでX線管にはますます無理な使用法となり, 且つ又小電流のため管電圧を甚だしく高電圧にしなければならぬことから現在一般の診断用装置を使用した場合の拡大撮影は此の方法では不可能のように思われ, 私はバイアス至適電圧を低いところで求めて拡大撮影を容易に行っている。

〔V〕 拡大撮影時間

微小焦点にすればX線管の性質上どうしても大電流, 瞬間撮影は出来ない, 当然小電流, 時間撮影となる。蓄電放電式で管電圧65kV バイアス電圧2000Vを付加し管電流25mAの通電では放電にかなり時間を要するので限時装置による電荷の波尾截断を行った。

(1) 限時装置の取付

付図第10 X線管加熱回路に挿入した限時装置

限時装置の取付けは付図第3の加熱回 C_1 路に付図第10のように東芝型タイマーを挿入したが, 東芝KCD-A型装置はフィラメント点加方式であるため加熱スイッチを入れれば直ちに限時装置は動作するが管電流はフィラメントの予熱時間を経て始めて流れる。そのため限時装置にはこの予熱時間が含まれる。

(2) 撮影時間の測定

管電圧65kV, バイアス至適電圧2000Vに於いて限時装置が動作してフィラメント予熱時間を経て始めて所定の管電流25mAの電流が流れ放電が終了時間を限定した。

イ) ベノア硬度計による測定

先ず撮影スイッチを入れてフィラメントの予熱から撮影有効の加熱になるまでの時間を測定するために管電圧

65kV, バイアス電圧2000V, 管電流25mA, 距離150cm でベノア硬度計を用い 0.1 秒から 0.5 秒までの間を 0.1 秒間隔で撮影した結果は付図第11-1のようにに大体0.3 秒の遅れのあることを知った。

付図第11 撮影時間の測定 (A)

(1)

0.3秒 0.4 0.5
65kV, 2000V, 25mA で放電した場合, フィラメントの予熱の時間を測定したら大体 0.3 秒かかった。

(2)

0.9 1.1 1.3秒
放電後バイアス電圧はそのまま放電可能な残留電荷がどの程度あるかを調べたら 1.3 秒でベノア硬度計によりよく感光する程度になった。このことから大体 0.3 秒から 1.3 秒の約 1 秒間放電が行なわれていることがわかる。

又どれだけの放電持続時間があるかを知るため 0.5 秒より 1.3 秒までの間を 0.2 秒間隔で放電後バイアス電圧を付加したままの残留電荷を放電させベノア硬度計を撮影してみたら残留電荷は 1.3 秒のところで付図第11-2のようにベノア硬度計がかすかに撮影されている。この結果からバイアス電圧を付加したままで放電した場合限時装置の目盛の上では 0.3 秒のところから 1.3 秒までの約 1 秒間のうちに放電されている。

ロ) 胸部拡大撮影による測定

次に成人胸厚約18cmの胸部拡大撮影を管電圧65kV バイアス電圧2000V, 管電流 25mA, 距離150cmにして 0.2秒より 1.2 秒まで 0.2 秒間隔で撮影を行い黒化度の変化から有効撮影時間を求めた結果は付図第12のように 0.4 秒付近より撮影が開始され 1.0 秒付近よりは大きく黒化度は増していない。

(3) 小括並びに考案

この実験から蓄電放電式装置による拡大撮影には限時装置は必要であることがわかる。即ちベノア硬度計による測定では 0.3 秒から 1.3 秒の間に於てフィルムに感光

付図第12 撮影時間の測定 (B)

1.2 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2秒
胸厚 18cm の成人を撮影したら 0.4 秒から 1.0 秒付近までは写真濃度を増すが、それ以上は大した増加が見られないことから実際には 0.5~0.6 秒で撮影が終了することになる。

しているが、これは吸収体の薄いアルミニウムに透過する軟X線をも含んでいるものであり、実際に成人の胸部撮影ではフィラメントの予熱時間を除き 0.5 秒以上はフィルム上に大して黒化度を増していないことは鎖骨下のフィルム濃度を測定してみると大体 1.2 の付近で止まっている。

以上のことから蓄電放電式装置で拡大撮影を行うことは撮影電圧が変化し、これに伴うバイアス電圧が変化しないので撮影不可能であるとは言えない。2 倍拡大撮影程度の拡大率であれば蓄電放電式でも甚だしく解鋭度を害した写真にはならない。限時装置を取付けることによって任意に撮影電圧を上昇し適当な時間内で撮影を終るようにして電荷の波尾截断を行えば、ますます撮影電圧とバイアス至適電圧との関係は正確になってくる。

〔VI〕 撮 影 法

以上の実験を基礎として私の日常行っている胸部拡大撮影を述べる。

- (1) 増感紙：一般に M.S の増感紙が使用されているが私は H.S を使用している。このことに就いては実験の結果からではなく出来るだけ管電圧を下げ総ての電氣的条件を容易に且つ X 線管焦点の破壊防止を考えてのことからであるが、フィルムの感度の上昇と共に解鋭度のよい増感紙にかえる予定である。
- (2) 管電圧：60~70kV 電圧調節はあまり小さきみにはしていない、バイアス至適電圧との関係もあり約3000V の変化を段階的に行っている。
- (3) 管電流：25mA 一定 一般の胸部拡大撮影を行う場合バイアス至適電圧は 1750~2000V 付近であり、管電流 25mA を通電するための加熱電流は約 5 アンペアであ

って、この加熱電流であると若しバイアス回路に絶縁破壊があった場合バイアス電圧は零となる。撮影する瞬間にこの事故が起ったとしても5アンペアの加熱電流であれば管電流は450~500mAしか流れないためX線管焦点を破壊することはない。この安全限界内で撮影するために25mAに定めた。

(4) 撮影時間：0.3~0.5秒 0.5秒以上時間を長くしても大した写真効果は望めない。それ以上にはしていない。出来るだけ短時間としてボケを少なく止めることにしている。

(5) 撮影距離：焦点，フィルム間距離を150cmとしてその中で任意の距離に被写体をおき撮影をしているが大体75cmの2倍拡大としている。⁸⁾ それ以上の拡大は胸部の場合あまり意味がないと言われているし、又実際的にみても拡大と共にボケも増大し診断に支障が出てくるので行っていない。

(6) 撮影要領：拡大撮影を行う場合、常に注意していることは如何に鮮鋭度のよい写真を得るかである。X線写真のボケは誤診をまねく慮れがある。即ち輪郭のハッキリしない朦朧とした陰影ははたして病巣そのものの性質か、或いは拡大による幾何学的のボケなのか判定に苦しむようになる。直接撮影フィルムや拡大写真の肋骨前後の骨梁の鮮鋭度を参考にしているが、より鮮鋭な写真を撮ることに努めている。

その方法として最も大切なことはX線管を傾斜させ焦点の縦の長さを縮小させる場合の利用線錐を焦点面に対して鋭角のところを使用するためにあるが、あまり焦点平面に近い鋭角のところを用うと黒化度は甚だしく減ずる。そこで適当なところを求めるために先ずX線管を傾斜させ150cmの距離にリーダー撮影台をおきフィルム取枠の固定部に増感紙の古い廃品を立てかけ75cm距離にもう一つの撮影台を置き撮影する目的の大きさを示す針金棒を付図第13-1のように取付け、X線室を暗くしX線管放射口濾過板を除きフィラメントを点火すると針金棒は増感紙上に2倍に拡大投影されるのでそれに増感紙(取枠)の位置を正確に合せ、次ぎにX線管放射口に濾過板を覆い撮影電圧で充電を行うと焦点よりのX線強度分布が増感紙上に映ずるので焦点の利用角度を知ることが出来る。

この実験の後に患者の撮影目的部位を針金棒に合せ付図第13-2のようにして撮影を行うと殆んど失敗のない拡大撮影が出来る。

この撮影準備があるために当療養所では拡大撮影は週一度日を定めて行っている。

附図第13-1 撮影方法(1)

予め針金で撮影部位の大きさを示す棒を作り、之れを増感紙上に投影して正確に位置をX線管傾斜角度を測つておく。

附図第13-2 撮影方法(2)

又肺結核の病巣は殆んどが肺上中野にあるため心臓搏動によるボケはあまり目立たないし、撮影の場合は患者に呼吸停止要領を練習させ動揺、呼吸によるボケに注意している。

フィルムは6ッ切又は8ッ切を使用し肺の部分撮影を行っているが、その拡大写真は付図第14-1.2に示した。

〔VII〕 結 び

X線拡大撮影は一般に変圧器方式の装置を用いて行われているが私は蓄電放電式装置(KCD-A型)を改造してX線拡大撮影を可能にしたのでここに報告した。即ち(1) 陽極接地方式を陰極接地方式に改造し陽電荷をX線管に印加した。

(2) 陰極接地方式のため微小焦点に電子を集束するのに総ての耐圧は単にバイアス電圧のみですみ電氣的操作が簡単になった。

(3) 微小焦点の4倍拡大写真像によって焦点の変化や大きさを容易に知ることが出来た。

(4) 微小焦点の解像力により測定法には200メッシュの金網を用い、これが3倍拡大までに解像された。

(5) 管電圧60kVの場合バイアス至適電圧は1750V付近にあり、その微小焦点の大きさは $0.2\text{mm}^2 \sim 0.3\text{mm}^2$

附図第14-1 拡大撮影写真
密 着

2 倍 拡 大

2 倍 拡 大

附図第14-2 拡大撮影写真
密 着

の範囲である。

(6) 管電圧 60kV, バイアス至適電圧 1750V で放電を行った場合, 管電圧が 45kV 付近まで降下すればバイアス電圧の遮蔽グリット効果によって管電流は流れなくなる。

(7) 蓄電放電式の場合バイアス至適電圧は充電電圧に合わせておけばよい。

(8) 管電圧 60kV, 蓄電器容量 1.0 μ F バイアス至適電圧 1750V, 管電流 25mA で放電を行うとその放電時間は約 1.0 秒であり, 胸部撮影を行い有効撮影時間を測定したら約 0.5 秒であった。

(9) 限時装置を付属させ任意の時間で放電し残留電荷の波尾遮断を行なうことが出来るので蓄電放電式装置の拡大撮影には限時装置は必要である。

(10) 胸部 2 倍拡大撮影の条件は管電圧 60~70kV, 管電流 25mA, 撮影時間 0.3~0.5 秒, 撮影距離 150cm である。

又近く東芝より SDO-10kW と 4kW の二重焦点拡大撮影用の X 線管が到着するので, これを用いて詳細に実験並に拡大撮影を行いあらためて報告する予定であるが一応現在までの実験及び胸部拡大撮影結果を報告し諸賢の御批判を仰ぐ次第である。

終りに臨み御指導御校閲を賜りました恩師北大山田教授, 若林教授, 河村助教授並びに当療養所長近藤博士, 医務課長岩田博士の諸先生に深謝します。又終始御助言

御指導下さいました石村器械製作所石村富明氏, 渡辺範夫氏, 研究用フィルムの提供をいただきました富士フィルム札幌出張所長牛田昇氏に敬意を表します。

文 献

- 1) 高橋信次, 小見山喜八郎: 日放 14, No. 医誌 Vol. 3. 1954.
- 2) 田部貞夫: X 線管研究 No. 3, 43, 1954.
- 3) 高橋信次, 小見山喜八郎: さくら X レイ写真研究 No. 12, 1, 1955.
- 4) 小見山喜八郎: 日放医誌 Vol. 14, No. 1954.
- 5) 深津久治, 三島初太郎: 東芝 X 線資料 No. 11, 9, 1955.
- 6) 高橋信次: 日本医事新報 No. 1590, 1954.
- 7) 足立 忠: 日本医事新報 No. 1656, 1956.
- 8) 小見山喜八郎, 藤巻正裕: 日放医誌 Vol. 15, 1028, 1956.
- 9) 古谷鉄夫, 三谷幸夫: 日放技誌 Vol. 11, 88, 1956.
- 10) 西堀清美: 東芝 X 線資料 No. 1, 5, 1951.
- 11) 中堀孝志外二名: 島津評論 Vol. 7. 65, 1959.
- 12) 江藤秀雄: 日本臨床 Vol. 13, 147. 1955.
- 13) 高橋信次, 田中正道: 日放医誌 Vol. 15. 838, 1955.
- 14) 小見山喜八郎: 日放医誌 Vol. 15, 81, 1955.
- 15) 田中正道: X 線管の研究 No. 1, 43. 1951.
- 16) 吉田三毅夫: 日放医誌 Vol. 15, 91, 1955.