

肺結核症の診断における電圧別撮影の比較研究

(第1報) 基礎研究

古 屋 清 三

静岡県立富士見病院 (院長 吉田 実)

受付 昭和 40 年 3 月 23 日

STUDIES ON THE DIAGNOSTIC VALUE OF RADIOGRAPHY
USING DIFFERENT TUBE VOLTAGE IN THE CASE
OF PULMONARY TUBERCULOSIS*

Report I. Basic Experiments

Report II. Clinical Investigations

Seizo FURUYA

(Received for publication March 23, 1965)

High voltage radiography is superior to low voltage radiography in the diagnosis of pulmonary tuberculosis with the broad latitude of lung field and the homogeneity of pulmonary markings, but at the same time, some lesions including calcium deposit are difficult to recognize on high voltage radiography because of its low contrast. In the present studies, the author intended to raise the diagnostic value of routine posterioranterior radiography by using the intermediate voltage.

In the basic experiments, base density corresponding to the lung field was obtained by using acryl rosin, aluminium steps and bones. Indian beans, caseous lesions and calcified lesions were set on these materials, and radiography was made by using tube voltage 50 kV, 80 kV, 90 kV, 100 kV and 130 kV. The results were as follows :

1) Contrast of pulmonary lesions was most marked when the base density was between 1.0 and 1.4, next between 0.7 and 1.0, and between 1.4 and 1.8, and when the base density was over 1.8 or less than 0.7, contrast of pulmonary lesions was least.

2) Acryl rosin steps and aluminium steps were radiographed by using different tube voltage under the physical conditions applied for human chest radiography. As shown in Fig. 1, when acryl rosin steps was used, the difference of density with the increase of thickness between 5 to 9 cm was most marked in low voltage radiography, and was least in high voltage radiography. When aluminium steps was radiographed, as shown in Fig. 2, the difference of density with the increase of thickness between 2 to 6 mm was most marked in low voltage radiography and least in high voltage radiography, but when the thickness was 7 mm or over, the difference of density reduced markedly in the case of low voltage radiography. When the thickness was 13mm, density on low voltage radiogram was 0, and that on high voltage radiogram was 0.6. Radiography using 90 to 100 kV showed the property intermediate between low and high voltage radiography.

3) Thus, high voltage radiography is superior to intermediate or low voltage radiography in obtaining the optimum base density for different thickness of phantoms, but at the same time, the density of pulmonary lesions is more homogenous on high voltage radiography, and

* From the Prefectural Fujimi Hospital, Shimizu-shi, Shizuoka-ken, Japan.

the contrast of pulmonary lesions is less on high voltage radiography under the same base density.

In the clinical investigations, 90 cases of pulmonary tuberculosis were radiographed. Radiography was made on the same subject by 3 different tube voltage, i. e. high (130 to 140 kV), intermediate (90 to 100 kV) and low (50 to 60 kV). Detectability of pulmonary lesions on radiogram taken by 3 different tube voltage and that on tomogram was compared with the findings on resected specimens. Nature of pulmonary lesions on resected specimen was the following: cavity 85, small caseous lesion 67. The results were as follows:

1) Detectability of pulmonary cavity as well as caseous lesions was best on high voltage radiography, next on intermediate voltage radiography, and worst on low voltage radiography.

2) Detectability of pulmonary lesions on high voltage radiogram was superior to that on intermediate voltage radiogram, when the lesions existing under clavicle and 2 lateral ribs, and in the other cases, detectability on both radiogram was equal. Area occupied by clavicle and 2 lateral ribs was 14% of total lung field.

3) No significant difference in the detectability of pulmonary lesions was observed by different tube voltage, when lesions were not covered by bone shadow or they were existing under anterior rib. In such cases, lesions were more easily detected on intermediate or low voltage radiography.

4) Contrast of pulmonary lesions to the lung field was measured by densitometer, and it was highest in intermediate voltage radiogram, next on high, and lowest on low voltage radiogram.

5) Calcified lesions less than 2 mm in their size and disseminated calcium deposit in caseous lesions were difficult to recognize on high voltage radiogram, but they were easily detected on intermediate radiogram.

From the above mentioned results, it is concluded that intermediate voltage radiography is the excellent method of routine radiography for the diagnosis of pulmonary tuberculosis, as its diagnostic value is not at all inferior to high voltage radiography.

I) 緒 言

現在胸部X線撮影の趨勢は、低圧から高圧(13万)に移行しつつあるが、なお批判的な見方もあり全面的な普及にはたちいたっていない。

高圧の長所は、周知のごとく肋骨や鎖骨をかなり透過し、かつ肺野の濃度が低圧に比べて均等化し読影により適し量の診断域を広くしている点にある。しかしながら欠点として、陰影自体の濃度も均等化をきたしたり、結核のごとく石灰沈着を生ずる病巣の読影では質的診断域が低下することは否定できない。

結核を専門とする当院では約5年前に石津¹⁾が低圧と高圧の比較読影を断層写真を中心として検討し、高圧のほうが陰影の発見率がより高くかつ空洞においても量的診断は同様に高いという成績を得た。その結果当院の日常撮影は子供の場合を除きすべて高圧に切り替えた。ところがその後、化療効果の検討のため、切除肺病巣とX線写真との比較研究を行なっているうちに、高圧に対

する上述の欠点が往々に認められた。すなわち、たとえば軟硬の病巣に対しても同一の病巣に見えやすい性格をもつため、質的診断には低圧に近いほうがよいように思われた。高圧と低圧の両長所を活かすには、両者の写真を併用すればそれに越したことはないができれば一步進んで1枚の写真でそのようないわゆる概観撮影が得られないものかと痛感した。それには低圧と高圧との中間電圧を再検討してみる必要があると思われ、今回の研究を行なった次第である。

この点に関して、大出²⁾や、志村³⁾らの研究があるが、さらに系統的に検討してみようとした。

そこで、はじめに求むる中間電圧に対する基礎実験を種々施行してみた後、結核切除肺病巣とX線写真とさらに断層写真も参考にしつつ肉眼的識別のほかに濃度計も使用して検討した。

その結果、いささかの知見を得たので、ここに報告し、とくに結核専門医諸兄の強いご批判とご追試を切に仰ぐ次第である。

II) 研究方法と対象

1) 撮影。X線装置は島津製山城B型、管球は回転陽極、実効焦点 2×2mm、濾過板 1.5mmAl、多重シャッターを使用した。

低圧、準高圧、および高圧は同日撮影し、各撮影条件は表1のごとくである。各組とも増感紙 Fs、富士 PX フィルムを使用しできるだけ 20°C 5分として同時現象した。フィルムの濃度は東京光電の光電式透過濃度測定計を用いて測定した。その精度は ±0.01 であるが実際には ±0.02 くらいに認められている。

Table 1. Physical Condition of Radiography

	Voltage	mAs	Time	Distance
Low voltage	50~60kV	30mAs	0.1"	200cm
Medium voltage	90~100	10	0.12	200
High voltage	130~140	5	0.1	200

また肺野の面積比はプラニオメーターを使用した。

2) 対象。モデル実験をつくつて切除肺症例に先立ち検討した。切除肺症例は 37年6月から38年12月までのなかの全摘5例、葉切46例および区切39例を使用し、年齢は13才から62才にわたり、男子65名、女子25名で男子は女子の約2.5倍で、計90名である。胸厚は16~23cm (平均18.5cm) である。

3) 研究方法における読影や判定についてはその項において述べる。

III) モデル実験

高圧(約13万)に比べてさほど診断可視域が低下せず、しかも低圧に比べてカルシウムが辛うじて認識しうるような中間電圧を、症例検討に先立ち予備的に検討した。

使用した被写体は、アクリル樹脂階段、アルミニウム階段、小豆、乾酪菓、石灰化菓、および骨(前肋骨、後肋骨、鎖骨)などで濃度計による濃度差と、肉眼的認識度を併用して検討した。ところで小被写体のみえうる限界の背景となる最低基礎濃度は大体0.4までである。また濃度計で被写体のコントラストが大体0.03あれば辛うじて肉眼的に認識される。これらの点については、さらに後述する。撮影条件は人体の場合とほとんど変わらぬように努めた。

1) アクリル樹脂階段の実験

厚さ1cmから14cmまでの高さで、1cm間隔からなるアクリル樹脂階段の被写体を5万、8万、9万、10万、および13万の各電圧別に、各電圧とも濃度が1.10前後に揃うように撮影した(実際には1.06前後となつた)。各電圧別における厚さとその濃度を比較すると表2のごとくでもつとも厚い14cmの濃度は各電圧ともほ

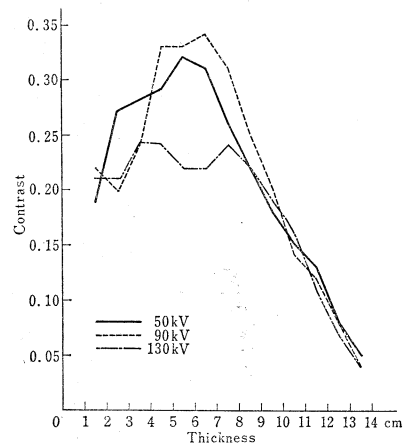
Table 2. Density of Acrylic Rosins Steps on Different Tube Voltage

Th. \ V.	50 kV	80 kV	90 kV	100 kV	130 kV
1 cm	3.01	3.05	3.05	2.85	2.66
4	2.25	2.40	2.38	2.16	2.00
5	1.96	2.10	2.05	1.95	1.76
8	1.07	1.09	1.07	1.08	1.08
9	0.85	0.83	0.82	0.84	0.86
12	0.39	0.37	0.38	0.40	0.41
14	0.26	0.25	0.26	0.27	0.26

Th.: Thickness of stage V.: Voltage

ぼ同一の濃度(0.26~0.27)を示し、一方もつとも薄い1cmの厚さの濃度は13万と10万がそれ以下の電圧(9万~5万)に比べて0.40から0.20ほど低く、かなりの差を生じている。しかし実際の胸部撮影には最高濃度は大体2.1以下であることが肉眼的には必要であるので、その近くの濃度を示す5cmの厚さの所をみると高圧13万では1.76、9万では2.05、8万では2.10、および低圧5万では1.96であり、高圧が9万以下の圧の濃度に比べて0.2~0.3ほど低くなっている。各電圧別にこれらの濃度間の濃度差(コントラスト)をみると、図1の線グラフのごとく、5cmの厚さ(濃度2.1)から

Fig. 1. Contrast of Acryl Rosin Steps on Different Tube Voltage



9cmの厚さ(濃度0.8)までの間では高圧のコントラストが低圧や8~9万のそれに比べて0.12前後ほど低くなっている。準高圧の10万も、高圧に比し、ごくわずかに低下している。アクリル樹脂の比重は1.09といわれているので人体の軟部組織、非白亜化乾酪菓および空洞壁などに相当したものと考えてよい。この各階段に小豆(厚さ0.3cm)をのせてあわせ検討したが同様の傾向が認められている。

2) アルミニウム階段の実験

1mmから20mmの厚さでその間1mm間隔のアル

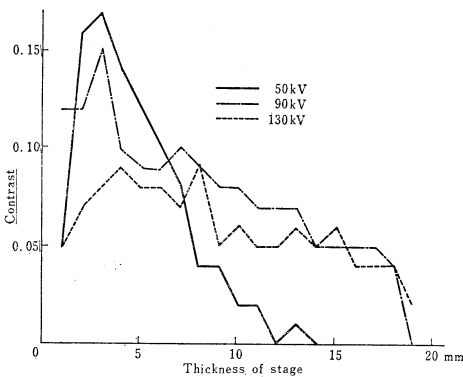
Table 3. Density of Aluminium Steps

Th. \ V.	50 kV	80 kV	90 kV	100 kV	130 kV
1 mm	2.18	2.20	2.20	2.13	2.00
3	2.00	2.09	1.96	1.98	1.85
8	0.80	1.40	1.45	1.44	1.44
11	0.45	1.00	1.05	1.08	1.14
12	0.38	0.88	0.97	1.00	1.05
15	0.24	0.59	0.72	0.73	0.80
19	0.19	0.39	0.48	0.52	0.62
20	0.00	0.34	0.48	0.51	0.60

Th.: Thickness of Stage V.: Voltage

ミニウム階段を前述と同一条件で各電圧別に撮影した。その成績は 8 mm の厚さの所で表 3 に示すごとく、13 万では濃度が 1.44 であり、9 万では 1.45、8 万では 1.40 でほとんど差がないが、低圧の 5 万だけが 0.80 で著しく低く大差を生じている。この現象は階段が高くなるに従い準高圧にまで及んでいる。すなわち最高の 20 mm の厚さでは、13 万ではなお 0.6 の濃度を有しているのに、10 万と 9 万では 0.51 と 0.48 に低下している。しかしこれらはなお最低の可検域である 0.4 の濃度を上まわっているのに対して、8 万では 0.34 で 0.4 以下となり低圧では 0 となっている。このように高圧と低圧では著しく濃度の幅が異なり 8 万に比べて 9 万~10 万ではなお高圧に近い性状を示している。次にこれらの濃度をコントラストから検討してみると図 2 のごとくで、2mm から 6mm までのアルミニウムの薄い場合（濃度

Fig. 2. Contrast of Aluminium Steps on Different Tube Voltage



2.0~1.2) では、低圧のコントラストがもつとも高くなっているが、7 mm 以上に厚くなると高圧、準高圧に比べて急激に低下している。15 mm の厚さの各電圧別の濃度は、13 万では 0.8、10 万では 0.73、9 万では 0.72 および 8 万では 0.59 であり、低圧に次いで 8 万がやや低下してきている。それ以上の厚さの場所では高圧は 9

万と 10 万に比べてわずかながら勝っているが、そのコントラストはすべて 0.04 以下であり実際にはともに識別しにくくなっている。アルミニウムは骨に近いものとして使用した。

以上の 2 つのモデル実験によるコントラストと可検域の両成績からみると 9 万 (10 万) が高圧と低圧の中間の性状をもっともよく備えている成績を示している。

3) 肋骨や鎖骨上の小豆のコントラスト

Fig. 3. Position on Which Red Bean was Set (Ref. to Table 4)

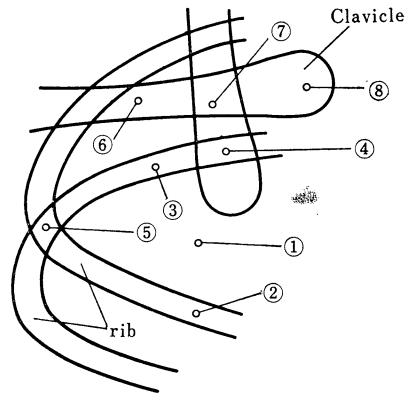


図 3 に示すように、前肋骨 (厚さ 2 mm~5 mm)、後肋骨 (5~10 mm) と鎖骨 (12 mm~20 mm) の上に小豆 (大きさ 0.3×0.5×0.3 cm) をとところどころにのせ各圧別に撮影して、いろいろの場所の小豆のコントラストを測定すると表 4 のごとくになっている。

Table 4. Contrast of Red Bean Set on Human Bone (Refer to Fig. 3)

Back \ V.	50 kV	80 kV	90 kV	100 kV	130 kV
1)	0.13	0.13	0.12	0.10	0.09
2)	0.10	0.12	0.13	0.10	0.09
3)	0.09	0.11	0.12	0.10	0.09
4)	0.02	0.08	0.09	0.10	0.09
5)	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07
6)	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07
7)	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05
8)	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05

The density of lung field not covered by bone is 1.05. Back: 1) bone (-). 2) Anterior rib. (3mm). 3) Posterior rib. (6mm). 4) Anterior and posterior ribs. (10mm). 5) Two posterior ribs. (15mm). 6) Clavicle (15mm). 7) Clavicle+ribs. 8) Head of clavicle.

この場合、基礎濃度 (骨のない場所) を 1.05 前後に近いように各電圧とも撮影した。骨に重なっていない場所での小豆の形は、高圧による像が低圧、準高圧に比べてわずかぼけ、コントラストも低圧、準高圧の場合の 0.13~0.12 に比べて高圧だけが 0.09 でわずか低下して

いる。これは厚さの薄い前肋骨(3mm)の場合や後肋骨(6mm)の厚さの場合もほぼ同様である。後肋骨と前肋骨が重なった場所(10mm)では低圧は0.06でコントラストはかなり低下しているが、8万~10万では0.09前後で高圧と同じである。厚い後肋骨2本(厚さ15mmとなり胸壁外縁の位置に相当)と、鎖骨の薄い場所(15mm)では高圧のみが0.07であり、9万~10万では0.05~0.06で、5万~8万では0.02~0.03でほとんど識別されなくなっている。鎖骨と肋骨が重なった場所や、鎖骨の厚い場所では高圧のみが0.05を保持して、9万~10万では0.03でほとんど識別できなくなっている。この実験では小豆(小乾酪巣とみなされる)が骨に重なっている場合と、そうでない場合のモデル実験に相当している。そして2本の厚い肋骨や鎖骨に重なっている場合のみ高圧が優れているが、そうでない場合には平均して準高圧(9万~10万)が高圧よりみやすかった。

4) アクリル樹脂板上の乾酪巣と石灰化巣のコントラスト

厚さ4~6mmで、部分的に白亜化している大きさ25×25mmの乾酪巣と、厚さがかなり不規則で、厚い所で2mm, 3mm, 4mm, および5.5mm(大きさは2mm~8mm)の4コの石灰化巣を、さきに述べたアクリル階段の厚さ9cmの位置におき、その濃度が1.0になるように各電圧別に撮影した。その成績は表5に示すように乾酪巣のコントラストは低圧では0.17~0.12, 準高

Table 5. Contrast of the Resected Lesion placed on 9 cm Acryl Rosins Steps

V	50kV	80kV	90kV	100kV	130kV
C. Th. 4mm	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
C. Th. 6	0.17	0.18	0.17	0.16	0.14
K. Th. 2	0.27	0.21	0.20	0.17	0.14
K. Th. 3	0.38	0.30	0.28	0.25	0.19
K. Th. 4	0.44	0.36	0.33	0.28	0.25
K. Th. 5	0.58	0.48	0.40	0.39	0.33

C.: Caseous lesions K.: Calcified lesions
Th.: Thickness

圧(8万~9万)では0.18~0.12の幅をもっているのに、高圧では0.14~0.12でその幅は小さく高圧だけが均等化をしている。

一方石灰化巣のもっとも薄い2mmの厚さのものは5万では0.27であるのに12万では0.14で著しく差があり、高圧ではすでに石灰化巣として認識されていない。準高圧の8万では0.21, 9万では0.20であって低圧より0.07前後低下はしているが、高圧よりはかなり高く、カルシウムとして辛うじて認識しうる。3mmと4mmの厚さの石灰化巣では、高圧でも0.19と0.25で、4mmの厚さからはカルシウムとして辛うじて認め

られている。もつとも厚い5.5mmの石灰化巣ではコントラスト0.33で、低圧で2~3mmの厚さのものを撮影した場合のコントラストにやつと一致して高くなり、カルシウムとしては十分に認識されている。

5) 人体に付着させた小豆のコントラスト

人体の胸部に小豆を多数はりつけて各電圧別に撮影してそのコントラストをみると表6のごとくである(この場合には小肺紋理があるので各組に一致した場所の正確

Table 6. Contrast of Red Bean Set on Human Chest Wall (Refer to Fig. 3)

V.	50kV	80kV	90kV	100kV	130kV
P. 1)	0.12	0.13	0.12	0.11	0.09
2)	0.10	0.12	0.10	0.10	0.09
3)	0.06	0.08	0.10	0.10	0.09
4)	0.06	0.08	0.09	0.09	0.09
5)	0.01	0.02	0.05	0.05	0.08
6)	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07
7)	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05

P.: Position V.: Voltage

なコントラストは計りにくい)。骨に重ならない1.0以上の肺野では平均して低圧, 準高圧ともに0.12であり、高圧では0.09で肉眼的にもややコントラストは低下している。前肋骨にのみ重なった場所もさほど変化はなく前と同様である。後肋骨のみと重なった場所では、準高圧, 高圧ともに0.08~0.1のコントラストを認めたが、低圧では0.06となりやや肉眼的にも低下している。2本の肋骨が重なった場所で胸壁外側でない場所では、上述とほぼ似た成績である。胸壁外側の骨や鎖骨に重なった場所では、高圧がもっとも優れて0.08であるのに、準高圧(9万~10万)では0.05でやや低いコントラストになっており、8万や5万では、すでに0.02~0.01で認識されない濃度となっている。鎖骨と肋骨が重なった所や鎖骨の頭では、高圧でも0.05のコントラストしかなく、10万以下では認められにくいのである。

この実験では、鎖骨や2本の後肋骨に重なっている場所では、確かに高圧がもつとも優れているが、そのほかの場所では骨に重なついても準高圧(9万~10万)は高圧に比べてさほど遜色がないという成績を示している。

IV) 適正最高濃度ならびに小括

以上の実験成績をまとめてみると、被写体のコントラストを決める場合には、まず背景陰影の基礎濃度が大切であることが分かる。

そこで非カルシウム性の小被写体をみやすくする基礎濃度についてまとめてみることにする。

その成績は表7に示すごとくで、基礎濃度が1.0~1.4

Table 7. Relationship between Base Density and Detectability of Small Object

Base density	0.4	0.7	1.0	1.4	1.8	2.1
Detectability	— ±	+	≡	≡	≡	± —

の間がもつともみやすく、コントラストも実際に高いのである。次が 0.7~1.0 の間と 1.4~1.8 の間でこれらもかなりみやすい。しかし 0.4~0.7 と 1.8~2.1 の両濃度間ものは急激に低下して、どうにか識別できる程度となり、室内の明るさに著しく左右されやすくなる。最後の 0.4 以下と、2.1 以上ではもはや肉眼的には識別しえない状態になる。

このような基礎濃度の関係は各電圧ともあてはまる基準であるが、各電圧別におけるコントラストを比較した場合には同一ではないのである。すなわち電圧が高くなるほど、わずかにコントラストは低下する傾向を示すが、準高圧の 9 万からはかなり低圧 5 万に近い成績を示している。

一方小被写体がカルシウムを含有すれば、このコント

ラストの関係は低圧のみが著しく良く、9 万までは辛うじてカルシウムとして認識しうる成績を得ている。

また一方高圧は低圧に比べてある程度アクリル樹脂板（軟部組織に相当）の濃度の均等化をもたらすため、基礎濃度がより見えやすい濃度へ集中する傾向を示すことになる。とくに骨などを基礎濃度とする場合にはその傾向が著しいことはすでに述べたとおりである。

ところで準高圧による成績からみると、低圧と高圧の中間の性状を示すというものの 9 万~10 万ではかなり高圧よりの性状を有し、ただ後肋骨 2 本や鎖骨上の小被写体だけがその見え方が高圧に比べてかなり低下している。また肺野でもつとも幅広く適正な基礎濃度を得るための最高濃度を検討してみると、石津¹⁾がいつているように低圧では平均して 1.8 くらい、高圧ではそれより 0.2 くらい低い 1.6、準高圧では両者の中間の 1.7 くらいがよいことが分かった。もちろん病巣により最高濃度は異なってくるので一概にはいえないが少なくとも、低圧に比べて準高圧、高圧では肺野の最高濃度をわずかに下げることが必要である。