断層撮影法における二、三の問題

茅室町立病院放射線科

富 樫 健

(論文受付 5月26日)

A FEW PROBLEMS ON LAMINOGRAPHY

By TAKESHI TOGASHI

Department of Radiology

Kayamuro Municipal Hospital

(Article received : May 26, 1958)

Summary

With a certain kind of planagraph apparatus there is an inevitable prolongation of the time of projection with changes in the transversal angle.

The calculation has been difficult and has been apt to depend on experience and intuition. Therefore, the author with a stroboscope measured the time of projection and the exact incidence angle of each transversal angle and calculated energy of X-ray putting all the results together to make a simple and practical exposure chart for planagraphy.

1. ま え が き

X線を人体に照射するに際し、当初に考えられることに、電圧～電流～曝射時間の三要素に有ると思う。

現今における撮影術式に綱川氏・内田氏等に依る指数函数的撮影法・電子的撮影法の所謂係数撮影法により、科学的な解決、処理でき得ることは既に衆知の通りである。

しかしながら、この基礎は電圧～電流～曝射時間の三要素並びに諸の条件を適当な配分によって決定付けられるものであって、その内の何れかが不明であっては、この方程式の成立は困難をきたすことは敢て贅言を必要としない。

断層撮影装置における撮影にあたっての問題点に先ず曝射時間の不明がある。

このことはあるいは一片の疑義をはさむ余地があるかも知れぬが、と謂うことは、装置製造メーカーによって製作方法の差違があり。

a 断層角度の変化に関係なく曝射時間を任意に選定でき得る。

ものと

b 断層角度の変化に関係なく管球移動速度を一定に調節でき得る。

c 断層角度の変化に従ひ曝射時間も変更され得るも

の。

とに区分されるものと思うが、b～cの場合の曝射時間は不明である。

即ち、b～cの場合の曝射時間は Photo. 1 及び Fig. 1 の如く、痛渠の如何によって変化する断層角度によって決定されるものであり、各断層角度によってX線曝射時間も異なることは図によっても明白である。

当科装置はcに当嵌り、従って管球移動速度は断層角度の変化に非干渉であり一定であるならば、X線曝射時間は断層角度決定摺動接点の軌道の長さ(角度板)に比

Photo. 1

例するものであり、角度の大きいなるに従ってX線曝射時間も長くなる。

故に制御器の限時装置は公く関係なく、曝射線量は飽

Fig. 1 断面角度決定 (放射時間) 用摺動接点模型図

Table. 1

θ 角度指示目盛	slit 綫目数	A mm	t sec	θ °	α °	a mm	C mm	μ %	D	E energy	tube voltage kvp
0	—	—	—	0.0	0.0	—	1010.0	1	1010.0	—	—
20	27	31	0.27	17.36	8.48	156.3	1022.1	0.9882	3054.2	0.380	72
25	37	42	0.37	23.42	11.51	211.8	1032.0	0.9785			
30	42	47.5	0.42	26.10	13.05	234.7	1036.9	0.9741	5128.0	0.333	68
35	50	56.5	0.50	31.32	15.46	285.1	1049.5	0.9624			
40	61	67.5	0.61	37.16	18.38	340.4	1065.9	0.9476	7259.8	0.322	64
45	75	82	0.75	44.34	22.17	413.7	1091.5	0.9253			
50	87	93.5	0.87	50.06	25.03	471.9	1114.9	0.9059	9489.6	0.330	60
55	102	107.5	1.02	56.30	28.15	542.6	1146.6	0.8810			
60	124	126	1.24	64.24	32.12	635.9	1193.6	0.8462	11876.8	0.350	56

迄推量に過ぎない。

卓近な例として筆者自身、経験と感に頼って操作してよることは事実である。

ここで網川氏による簡易な stroboscopy によって実験、測定を試み断層撮影に関する二、三の問題を解決せ

Fig. 2

んとした。

2. 使用せる装置

島津製 300mA 型単相全波整流装置切替併用方式

〃 横型断面撮影装置 (planigraph 式)

廻転角度調節範囲 20°~60° 5° 間隔

管球 SDR-10S 実効焦点 3.5×3.5mm

自製 stroboscope slit~1mm

3. 実験方法及び実験結果

stroboscope は Fig. 2 の如く至極簡単なものである。元来この応用の診断用装置における限時装置の精密度試験に用いられておるものであり、電磁 oscillograph 及び cycle counter の測定器具等よりなお一層の簡潔さが賞用されており、我々技術者であるなら一度は経験した筈

のものであって格別珍しいものでないが、本来ならば stroboscope 自体を廻転あるいは移動させて X 線を放射させるのであるが、断層の場合には管球が移動するので、stroboscope は固定できうる便がある。従ってこの方法を用いて各断層角度別—20°~60°・5° 間隔—に管球を振らせて X 線曝射を試みるならば Photo. 2 の如く白い (film には黒く) 縞目となって表われる。

この縞目は X 線管の陽極に正電荷がかかった時に X 線が放射されるから film 上には周波数に応じた縞目があることになる。

大体、静岡県富士川以東では 50 cycle (〜) である。全波整流装置では

0.1 sec~10

1.0 sec~100

の X 線が陽極より放出されておる訳である。

この現出された縞目より

a 各断層角度における X 線曝射時間

e 実際の断層角度

c 整流管機能の良否³⁾

などが判然とする。

以下若干の詳述を加える。

A 各断層角度における X 線曝射時間

strobogram に表われた縞目の数 N (放射回数) によって

$$\frac{N}{2f} = t \quad \dots\dots\dots(1)$$

f = frequency

t = exposure time (sec)

で曝射時間が解る。各角度における曝射時間は Table. 1 の如くである。

B 実際の断層角度

現出された縞目の幅 A —即ち Fig. 2 の如き A なる幅計測し (計測結果 Tobe. 1)

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{\frac{A}{2}}{10} = \frac{A}{20}$$

$$\frac{\theta}{2} = \tan^{-1} \frac{A}{20}$$

$$\theta = 2 \left(\tan^{-1} \frac{A}{20} \right) \quad \dots\dots\dots(2)$$

なる計算から、断層装置の角度指示目盛に明示されておるものより、なお精確な角度 (実放射角度) が算出され得るものである。Table. 1

この縞目数及び A 幅は各角度とも 3 回宛撮影及び計測を行い、それを平均したものの数値で

Photo 2

ある。

結果として余り大きな誤差はなかった, 0.01~0.05 程度の違いの中にはあったが略一致した値が得られた。

この差違の原因は, Photo. 1 のような角度指示目盛に指針を合致するに際しての目測の狂い, あるいはX線電磁開閉器の開閉動作の早遅及び cycle 数変化等の自然的な問題も誤差の原因に含まれても差支えないものと考えられるが, 何れにしろこの程度の差は何等影響はないと思う。またこれによって管球移動速度の安定性がみられたことは有力な副産物であったといえよう。

C 整流管機能の良否

正常の連続したもの, 縞目の中で整流管機能の不良のものがあれば一定の黒化した縞目の中から直に識別し得る。

即ち, 整流管に電流が通じてX線管を通りX線を放出するべきところを電流が流れないから(織条断線)ある一定の縞目だけが現出されない。また織条電流不足等の場合にはその個処の黒化不足となっている。この場合整流管を1本ずつ引抜いて検討する必要がある。

これらの問題は屢々遭遇しておることなので殊更の実験は省略する。

D 撮影条件の検討

以上の測定結果より曝射時間が判明せられたので撮影条件を検討してみた。

元来, X線撮影条件の基礎として film に一定の濃度を生ずるに要するX線エネルギー(E)は

$$E = K \cdot \frac{T \cdot mA \cdot kVp^n}{d^2} \quad \dots\dots(3)$$

T =exposure time (sec)

mA =plate current~mean value

kVp =plate voltage ($n=3\sim5$)~peak value

d^2 =focus~film distance (mm)

K =const

なる基本式がある。

ここで仮に $K=n=\text{const}$ とするなら式を簡略にして

$$E = \frac{(T \cdot mA) \cdot kVp}{d^2}$$

$$E = \frac{mAs \cdot kVp}{d^2} \quad \dots\dots(4)$$

で概略算出し得るものである。がここで問題となるのは d (focus~film distance) の値であって, 断層撮影に際しては管球の移動に伴って d の距離も逐一変動と一定でなく, またこのためにX線入射角の変化に追従する被写物体の厚みが吸収に依る減弱係数も異なり, inten-

Fig. 3

sifying screen~film などそれぞれの係数の変化などによって各角度の tomo における E を一定にすることは実に複雑多岐であって, その困難なことは謂う迄もない。

本論では複雑なことは省略して結果的な見地から極簡単な計算から進めた。

以下 E 量決定迄の経過を記す。

即ち, (1)式より得られた $\sec$ と(2)式により得られた実角度 θ によって Fig. 3 の如き, $\triangle ABC \sim \triangle AB'C'$ の相似三角形を利用して, 各角度における fokus~film 間の長さ c ($A \sim B'$) と, a ($A \sim C'$) を求めると

$$b \text{ (} C' \sim B' \text{)} = 1010\text{mm} \cdots \cos \theta$$

とすると

$$\alpha = \gamma - \beta = \theta \cdot \frac{1}{2} \quad \dots\dots(5)$$

であるから

$$a = \tan \alpha \cdot b \quad \dots\dots(6)$$

であり

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \dots\dots(7)$$

となる。Table. 1

次に各 θ における実効X線量減弱率 μ は C が垂直のとき, 即ち $\theta = 0^\circ$ ときに b となるから b の長さは $1010\text{mm} \sim \text{const}$ であるのでこの場合の μ を

$$\mu = \frac{b}{b} = \frac{1010}{1010} = 1$$

とするなら

他の $\theta(\alpha)$ の時の $A-B'$ の長さ、即ち C の長さは

$$\mu = \frac{c}{b} = \frac{c}{1010} \quad \dots\dots(8)$$

となるので α 間の C のみを算出するとよい。

以上の各計算値より略(4)式の E 量は決定できうるものであるが、これは管球固定式の略式であって飽遠管球移動方式の tomo の場合に当嵌るものでないことは明らかである。

先ず、数式の計算に先立って考えられることは、数の根源であろう。即ち吾人が被写物体を目前にして switch を閉じる前に $\text{mA} \sim \text{kVp} \sim \text{sec} \sim \text{FPD}$ などの適正条件なる数字が直感的に頭に浮かぶことは全て根拠のないものではなく、理論的な問題と経験的な要素が渾然一体となって割出されてくるものであって経験が理論の裏書となることもうなずける。いささか自己弁護のようになってしまったが。

故に次に述べんとする数値の現在経験的に最良の条件で結果が得られたもの、X線写真の基礎として他の角度の最適条件を算出してみた。

現在行なっておる標準成人男子(胸厚18cm)の 60° における最適条件は、管電圧 56kVp $\sim$ 管電流 60mA である。

曝射時間は(1)式によって 1.24sec であると分った。普通、露出表の作製には簡略を根本として、管電圧、管電流あるいは曝射時間または距離などのうち 1 $\sim$ 2 を除いて後の一定とする表が多い、これらの数字は全て変化のできるものを一定としたものであって実際的には余裕があって容易であるが、tomo のような、特に曝射時間も角度によって支配される如き装置では、限られたもの一即ち、管電圧または管電流以外に調節範囲はなく非常に制約させたものになっている。

従って露出表の作製には管電圧 $\sim$ 管電流の二者によって決定させなければならない。また更に簡潔な露出表を得るには両者何れかを一定とするならば筆者の撮影法として管電流を 60mA 一定とし管電圧のみの調整とした。

即ち、56kVp $\sim$ 60mA $\sim$ 60 $^\circ$ で胸厚 18cm の成人男子の film を最適条件とするならば、略同一なる黒化度を得るためには、 $\tan \theta$ 5 $^\circ$ 差毎に概略 2kV ずつ昇圧させて 20 $^\circ$ では 72kVp となるようにして計算を進めてみた。

(4)式の

$$E = \frac{\text{mAs} \cdot \text{kVp}}{d^2}$$

を基礎とした。

但し、 d^2 は tomo の場合には当嵌めないで、各 α における $C(A-B')$ を加法して得た積の数値を D として

例……60 $^\circ$ の場合

$$\left. \begin{aligned} (32^\circ 12' \alpha) \dots 2C = \\ (25^\circ 3' \alpha) \dots 2C = \\ (18^\circ 38' \alpha) \dots 2C = \\ (13^\circ 5' \alpha) \dots 2C = \\ (8^\circ 48' \alpha) \dots 2C = \\ (0^\circ) \dots 1C = \end{aligned} \right\} D$$

20 $^\circ$ の場合

$$\left. \begin{aligned} (8^\circ 48' \alpha) \dots 2C = \\ (0^\circ) \dots 1C = \end{aligned} \right\} D$$

とすると、

(4)式の d^2 に D を代入して、

$$E = \frac{\text{mAs} \cdot \text{kVp}}{D}$$

とするなら、

E の値は略、各角度とも近似して値が得られる訳である、(Table. 1)

本来ならば、微積分法を以てするならば最も精確に

Fig. 4

でき得るのであるが、実際的には以上の計算で何等差支えないとみてよからう。

以上の結果を証明するために、先ず Fig. 4 の如き graph を作り、これに $\theta = 60^\circ$ のとき 56kVp $\theta = 20^\circ$ の時 72kVp となし、この間に 2kV の等間隔をもって電圧を上昇させて書入れる。

实际的に Fig. 4 の如く縦軸に exposure time を横軸に angles of tomo を等間隔に目盛って、これに判明した sec を書き込み、これによって得られた線は直線ではなく曲線となった。

この graph に管電圧を書込むのであるが曲線に管電圧を等間隔に目盛ることは当を得たことではないが、簡潔を主とした点に御留意願いたい。

また、管電流は 60mA 一定とするから、管電圧を 2kV の等間隔をもってすると、一次電圧計では 3~4V 程度の差であるから実用上には微細電圧調整器がないと（当科装置では 1 tap 5 V）精密な調整はできない。しかし撮影に際して同一フィルムに例えば 60 度で撮って 55 度で撮るようなことは殆どないとみてもよく、普通の 60 度と 20~35 度、あるいは 50 度と 20~35 度と謂う如く角度に差のあるものであって、そう神経質な問題ではない。即ち 2~3V の差は余り影響はないとみてしかるべきである。

また、本来ならばこの detail を更に基礎として Benoit 硬度計をもって硬度の検討をする必要があるが、tomogram の場合には得られた像（銀盤~アルミ階段）にズレが生じて精確な測定は困難である。

従って直接人体を対照として行なったものが Photo. 3 である。

元来、tonography の場合の所謂断面幅によって異なり、狭角度になる程その幅は厚くなる。従って、このズレの層の変化の黒化度にも影響することは必然的なものであるし、この判定は困難であるが、何れにしろ目測による判断しか得られないので結果も既念的なものである。但し、この Photo. 3 の場合は同一人体及び部使、フィルムも同一乳剤であり、同時現象である故、現像による濃度の影響は無視できる。

4. 結 語

以上、吾人が断層撮影に際して基本的に不明な点を極めて簡単に基礎的な追究を行なったに過ぎなく、これで

Photo. 3

満足したわけでもない。更に深く考察、検討を加えたいと思う。

本質的に謂って斯様な実験や測定は装置据付時に行うのが技術者としての常識であり今更殊新たまって発表すること自体が何か間の抜けた気がしないでもない。

内容を一貫して雑なものも気が引けるが、strobo 法検査にも若干の疑義がないでもない。また材料及び資料などの点について充分でなく精密な detail を出すことは現在の処困難であるが、一般診断上にはさして影響はないものとする。

機会があるなら濃度なども density meter で測定しなお一層の精密さを加えたい考えている。

以上、諸兄の御批判、御叱責的となるものならば小論の榮これ以上のものはないと信ずる。

参 考 資 料

- 1) 網川高美、断層像改善の一考察。日放技誌、11・3 14~16 P. 1955
- 2) 富堅健、土耳其鞍の断層撮影に関する実験報告。日放技誌、11・4. 20~21 P. 1956
- 3) 中泉正徳、臨牀放射線学。79~88 P. 1949
- 4) 江藤秀雄、放射線医学（基礎篇）46~47 P. 1951

× × ×