〔第37回総会宿題報告Ⅰ〕

多軌道断層装置と撮影技術について

福島県立医科大学放射線医学教室

上 田 稔

A SYNOPSIS OF MULTI-ORBITAL TOMOGRAPHIC EQUIPMENT
AND THE RADIOGRAPHIC TECHNIQUE.

By MINORU UEDA

Department of Radiology, Fukushima Medical
College

Summary

The latest diagnostic method in cross sectional radiography is making for an enormous increase of image information for highly effective and precise diagnostic analysis.

In up-to-date computed tomography utilizing x-ray and radioisotopes, electronic signals caught by the detector are fed into the computer system to do image formation and analysis immediately while in conventional tomography the objective-plane with a blurring of disturbing-shadows forms a photographic image on the film.

In 1950, Polytome by Massiot appeared. This had much clinical applications especially for tomography of the head and bones, producing more definable image than tomography by Grossmann.

Since around 1970, a pluridirectional tomographic device had been under construction in our country.

This unit is quite effective in removing redundant shadows by means of diverse blurring movements such as circular, elliptical, spiral, hypocycloidal on top of linear and sinusoidal.

Here is a description about the process of development, present situation outlook, comparison with computed tomography and number of problems involved in relation to the tomography we developed.

目 次

1. 緒言
2. 断層撮影の歴史
3. 円軌道移動方式断層撮影装置の開発（含む、渦巻）
4. 転跡線移動方式断層撮影装置の開発
 - 4.1 転跡線の解析
 - 4.2 装置の開発
5. 多彩運動方式断層撮影装置の開発
6. 多軌道断層撮影装置の現況
7. 多軌道断層撮影装置のレスポンスと断面厚
8. 障害陰影の形成と、除去方法
9. 多軌道断層撮影時における種々な問題

10. 軌道の選択と撮影条件

11. 多軌道断層撮影装置の今後の問題点と、X-CT との比較

1. 緒 言

現在の放射線診断，特に断層診断の領域では従来の一般断層，廻転横断撮影のように，いわゆる被写体情報を film に受取らせる方法から，X-CT，RI-CT，のように被写体情報を detector に受け取らせ，更に computer により画像を解析させる方法を並列に用いて，より多くの情報，より高度な診断を可能ならしめる方向に向っている。前述した一般断層の領域では1970年の前半までは，如何

〔第37回総会宿題報告〕 多軌道断層装置と撮影技術について (上田)

にすれば断面外の暈像が消去出来るか、そして如何に解剖学的断面に類似した断面が得られるか、断層と取り組む人々の中心の theme であった、然し乍ら放射線診断の基本はあくまでも単純X線写真であり、種々開発された装置も 100% 被写体情報を表現するものではなく多くの問題点を持っている、このような現況の中で、新旧多くの手法によって多角的な被写体情報の長所、短所を、お互いに補い合う形の総合診断が盛んになって来ている。

1950年, Massiot の Polytome の出現によって、二次元的暈像の作成に移行し、複雑で長い管球軌道によって、従来の Grossmann 方式の Tomography, に比較して臨床的に応用範囲の広い、特に耳鼻科領域の頭部、骨部、関節等の診断に極めて良い効果が得られるようになり、我が国でも、直線、円弧軌道以外の円軌道、楕円、渦巻、Hypocycloid 軌道等の障害陰影の除去効果が優れている、いわゆる多軌道断層撮影装置の研究と開発が進められて来た。多軌道装置を最大限に利用し情報量の多い film を Doctor side に提供するためにはどうすれば良いか、幸

い私は福島県立医科大学の松川放射線科学教室において Circus Tomography, Roulettes Tomography, 多彩運動方式断層撮影装置、等の一連の多軌道装置開発の member として参加させていただいたのでその経験をもとに断層撮影の歴史、私共で試作した装置の開発過程、多軌道装置の現況、種々な問題点、多軌道装置の今後の方向、X-CT との比較等について述べてみたいと思う。

2. 断層撮影の歴史

1921年, Bocage が管球と film の相対運動による、円状、渦巻、S 字状、その他色々な運動の可能性を考え、1922年 5 月に French で特許が公表されている (Fig. 1)。その後 (Table 1) にあるように多くの研究者が夫々の原理、装置を開発し又発表しているが、一説によると、1917年、第一次世界大戦の終了した年、Bocage がすでにその原理を発表していたと言われている、ではその背景にはどんなことがあったのだろうか、2つの大きな要因が考えられる、1つは、これまでの gas 管球は移動させながら電圧を印加することは当時不可能に近かったのではないと思われるが、1913年, Coolidge が灼熱型陰極管 (coolidge tube) を開発し、管球の移動が容易になったこと、次に同じ1913年, Bucky, Waben, Potter, 等によって散乱線除去用 grid が開発され、又1916年には、Patterson によって両面乳剤 film が完成し 1922年には、Edisson により 2 極整流管 (kenotron) が開発され、こ

Table 1 断層の歴史

1921	Bocage: Biotome
1930	Vallebona: Stratigraphia
1931	Ziedes des plantes: Planigraphie
1935	古賀, 宮地, 清野: 深部線写真撮影法
*1935	Grossmann: Tomographie (1962, I.C.R.U.)
1935	Bartelink: Planigraphie
1935	Robeat Andrews: Laminagraphy
1940	Poshi M., H. Vieten: 断層の基礎理論
1947	Watson: 横断, 斜面及び曲面断層の理論
1947	Vallebona: Transversale Stratigraphia
1948	Abreu: Simultaneous Tomography
1948	高橋: Cross Section Radiography
1948	Gebauer: Transversale Tomographie
*1950	Tobb:, Massiot.: Polytope
1954	松川: Circus Tomography (Spiral)
1955	Lindlom: Rotation Tomography
*1959	松川: Rouletts Tomography
*1969	松川: 多彩運動方式断層撮影装置
1972	Hounsfield: Computed Tomography

Fig. 1

れ等が装置の出力、画質の向上、管球移動、等の断層撮影に不可欠の条件を満たしている。第2の要因として、1914年に始まった第一次世界大戦で始めて Europe 戦線に飛行機が投入され、レンガや5寸釘等が爆弾の代りに投下された。その結果 French の将兵の間に背椎損傷で四肢の下自由な傷兵が多く、当時野戦では Rontgen 自動車が活躍し、その車中とか野戦病院においてX線写真は撮影されていたが、胸椎、腰椎等の撮影はかなり困難であったようで特に棘突起の破片が背椎神経にふれている様子を写真に描出するため film を動かしたり、管球を移動させたりするうちに断層の原理を考案したと言われている、又一説に1917年第一次世界大戦終了後に French の廃兵院に多くの背椎損傷の患者が収容され、mechanical engineer、であった Bocage が Docter に依頼されて、断層装置を開発したとも言われている、これ等が主な要因と思われる。Bocage が断層の理論を発表した数ヵ月後に、F. Rorte, M. Chausse, 等がその原理の中で管球が移動する際にX線中心が常に一点を通過する事に着目し、治療する部位にこの点を一致せしめて深部線量の増大と皮膚線量の軽減を計る、いわゆる集中照射法を治療に応用したと言われている、我が国でも1935年に東大の中泉先生による集光照射法の論文が見られる。

1927年 E. Pohl, (Fig. 2) が、1929年 J. Kieffer, (Fig. 3) が管球を円状に動かして目的面の前後にある点の像を暈かして断層撮影を行った、1930年 Vallebona は管球と film を固定し被写体のみを目的とする点を通す一直線を軸として廻転せしめ断層撮影の目的に添う如き

Fig. 2

装置を製作している (Fig. 4). 図に示すように軸上の点 A の像のみは常に film の定点 F に結像するが、それよれ離れた点 B₁ は廻転によって B₂ の位置になり夫々 H₁, H₂, に結像する事になるので B 点の像は H₁, H₂, の長さに暈かされる事になる、更に film と被写体とを同一廻転すれば右図のように面全体の撮影も行い得る、即ち被写体が角 α だけ廻転する時に film も角 α だけ廻転させれば B₂ の結像点が H₂ となる、その時、AB₂, と FH₂, は平行であるため、

$$RA: RF = AB_1: FH_1$$

$$RA: RF = AB_2: FH_2$$

然るに、 $AB_1 = AB_2$, $\therefore FH_1 = FH_2$ になる即ち B の像が常に film 上の定点に結像される事になる、Vallebona はこの角を 10° 内外にしている。次に 1913年, Zieds des plantes が円運動を行う非常に精巧な装置を製作し、盛ん

Fig. 3

Fig. 4

〔第37回総会宿題報告〕 多軌道断層装置と撮影技術について (上田)

に頭部の断層撮影を行った、彼は被写体の断面を決定するために木製円柱の中に金属の目標を配列し、その最も鮮明に撮影された高さを求めて断面の高さを決定し被写体を撮影台に乗せて断層撮影を行ったと文献に書かれている。次に1933年に Bartelink は、管球を直線に移動する装置を製作している。1935年我が国でも東北大の宮地先生が管球を円弧運動させ film を直線運動させる装置を製作している (Fig. 4)。同年 Berlin の Sanitas 医療会社から Grossmann が Tomographie と命名した断層装置を売り出している (Fig. 5)。円弧運動方式の断層装置で非常に simple な装置で彼は Ziedes des plantes の円運動の装置は機械的な精度の確保が難かしい、又 grid を用いると管球曝射角が充分にとれない等の理由で自分

Fig. 5

Fig. 6

の製作した円弧運動方式の断層装置が優れている事を強調した。50年後の現在でも Grossmann 方式の装置が多く使用されている。今まで書いた中で装置を開発した人が夫々自分の装置に勝手に命名した、例えば Vallebona の stratigraphie, Zedes des plantes の planigraphie, 宮地先生の深部線写真撮影法, Rogart Andreus の laminagraphy, 等であるが1962年 I.C.R.U., でこれ等を統一して Tomography と命名すべく勧告し、1968年に断層撮影法を Tomography と呼ぶようになった。1948年高橋先生によって廻転横断撮影法が完成された。1950年, Philips 社から Polytome と命名された断層装置が Massiot の手で発売された、これらが多軌道装置の最初で、円弧, 円軌道, 橢円, Trefoil, Hypocycloid 軌道等の数種類の管球軌道を一つの装置に内蔵されたものである (Fig. 6), これは Massiot が rotari engine の研究に従事している際に内転する gear の軌跡から種々の軌道が出来る事に着目して polytome を開発したと言われている。1954年私共の松川教授により Circus Tomography が完成され、1955年 Lindblom により高速円運動拡大断層装置が完成された、1959年松川教授の Roulett Tomography, 1969年同じく多彩運動方式断層撮影装置が完成された。

Polytome, と Roulettes Tomography は共に軌跡線を管球の軌道に利用したものであるが、Polytome は内転する gear, Roulettes Tomography は外転する gear の軌跡を利用したものである。1972年 Hounsfield, によって X-CT が完成され、彼は EMI 社の audio の engineer で EMI 社に所属する Beetles, の演奏と群衆の騒音の分離をする研究中に X-CT を考案したと言われている。

3. 円軌道移動方式断層撮影装置の開発

緒言で述べたように暈像を二次元的に作らせる断層撮影装置に1950年に開発された Massiot の Polytome があるが、文献によると、この装置は実に多彩な管球運動を行い得る、しかし骨部、特に頭部断層には極めて良い像が得られるが胸部の断層では肋骨の線影像が障害陰影として表現され、円軌道での胸部断層には使用されていない、そこで私共は円錐頂角の大きい円軌道、渦巻状運動 (spiral) の可能なしかも胸部撮影も出来得る装置を試作した (Fig. 7, 8, 9)。一般に断層撮影において、その管球運動軌跡の長さが長い程、暈効率は大きくなり、断面のみ描出する力が大きいと言われている、従って円軌道より渦巻状運動の方が優れていると思われるが、管球移動中で曝射角が 0° 附近の X 綫曝射は夫れ自体、断面

Fig. 7

Fig. 8

を正しく薄く描出するには役立っていない、又断面と平行して拡がる物体の陰影では線影像が出現し読影上の障害ともなり得るので、その点を考慮し装置を試作した。

装置は Jairo に移動する管球、cassette の支持体である平行四辺形の特長な pipe の枠、及び円軌道を規正する動力源より成り立っている Fig. 8 に於て A, B, C, G, E, F, G, H, I, J, K, L は平行四辺形の pipe の枠である、上面 A, B, C, D の中央には管球、下面 E, F, G, H は cassette が取付けられる、今上部の motor が廻転すると arm の M は O を中心として円運動を行い、それに伴って A, B, C, D 及び E, F, G, H も夫々相対的に反対方向に円運動を行うが、I, J, K, L 面だけは固定されているために被写体は I, J, K, L の面で撮影される、この

Fig. 9

面を断面矩形と言う、上方の矩形枠 A, B, C, D の中心は X 線管の焦点を不動点と、管球容器の放射口は、あらゆる方向に自由に向くことが出来る Jairo 式枠に取付けられている。一方管球容器には放射筒が取付けられて、その円形の放射口を断面矩形と相似に分割して夫々 4 点を固定用 pipe の両端と夫々対応して 4 本の spring を以て連結してあるので X 線管球が円軌道を描いて移動する時は、その放射口は常に断面矩形の中心を向いて X 線中心は断面矩形の中心を通過して film 面の中心に投影される。今何故断面矩形の面のみ像が得られるかに就いて考えて見ると (Fig. 10) 管球焦点 R が立面図に於いて A から C → B に、即ちその平面図に於いて R_0 を中心に $r_1 \sin \theta$ の半径の円軌道を A → C → B に移動する場合、断面矩形の中心 O の film を含む平面上への投影は立面図に於いて $O_1 \rightarrow P_3 \rightarrow O_3$ と移動し、その平面図では F_0 を中心に半径 $r_2 \sin \theta$ の円軌道上を $O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow O_3$ へと移動する。而もこの場合、X 線管焦点及び film の円軌道移動の角速度は常に等しく而も方向が反対であるので管球 R が A より任意の角 ϕ だけ廻転して C' に移動した場合、断面矩形の中心 O の film を含む水平面への投影は O_1 から ϕ だけ廻転して O_2 になったとすると両者の移動距離の比は、

$$\frac{A'C'}{O_1O_2} = \frac{r_1 \sin \theta \cdot \phi}{r_2 \sin \theta \cdot \phi} = \frac{r_1}{r_2} \quad \text{となり且つ}$$

Fig. 10

$\frac{\widehat{A'B'}}{\widehat{O_1O_3}} = \frac{r_1 \sin \theta \cdot \pi}{r_2 \sin \theta \cdot \pi} = \frac{r_1}{r_2}$ であるから、O点は film 面上に常に同一点として結像する、次にO点を含む断面矩形上の任意の点Pの film を含む水平面上への投影を見ると、管球が平面図でA'より前記の ϕ だけ廻転してC'にきた時、Pの投影がP₁よりP₂に移動したとすれば管球及び film の移動は断面矩形面と常に平行であるので、

$$\overline{O_1P_1} = \overline{O_2P_2} = \overline{OP} \frac{r_2 + r_1}{r_1}$$

となり、しかもOの投影は常に点となって結像するのでPの投影も又Oの投影より $\overline{OP} \frac{r_2 + r_1}{r_1}$ 離れた点に常に点として結像する、しかも断面矩形の中心Oの投影はF_cを中心として、 $r_2 \sin \theta$ の半径で円軌道を移動しながら film 上には常に点となって結像するのでOを含む断面上の任意の点Pの投影も又F_cよりF_cP₁の方向に $\overline{OP} \frac{r_1 + r_2}{r_1}$ だけ離れた点P_cを中心として $r_2 \sin \theta$ の

半径の円軌道を描きながら film 上には常に点として結像する、なおP_cは管球の運動中心F_cより断面上の任意の点Pの film を含む水平面上への投影点である、次にOを含む水平面より $|e|$ だけ(管球に近い方を+eとする)離れた点Qの film を含む水平面上の投影は管球がA'の時にはQ₂に投影され、管球がA'の点より180°廻転してB'にきた時にはQ₃に投影される、即ちQの film を含む水平面上の投影軌道は管球軌道の中心R_cよりQ投影点、Q_cを中心と $\overline{Q_1Q_c} = \overline{Q_2Q_c} = \overline{Q_3Q_c}$ なる半径の円軌道で半円を描く、しかるに film はF_cを中心として $r_2 \sin \theta$ の円軌道を描いて水平移動するので点Qは film 面上では $\overline{Q_1Q_3}$ を直径とする半円になる(Q₁は管球がAにあった時のQ点の film の投影点である)、それ故に管球が引続き移動して360°廻転すると点Qは $\overline{Q_1Q_3}$ を直径とする円の量となって現われる。その直径は、

$$2r = \frac{1|e|(r_1 + r_2) \sin \theta}{r_1 \cos \theta - e}$$

で現わされる。

管球が360°廻転すると引伸される量の長さは、

$$l = \frac{2\pi|e|(r_1 + r_2) \sin \theta}{r_1 \cos \theta - e}$$

となる。

4. 転跡線移動方式断層撮影装置の開発

4.1 転跡線の解析

転跡線とは、一般に定直線又は定曲線S上を一つの曲線Cが接しながら滑ることなく転がる時、転がる曲線C上の定点P₀の軌跡の総称である、Roulettes Tomographyはこの軌跡を管球の軌道に利用した(Fig. 11)。動円Cが定円Sに外接しながら滑ることなく転がる時C円上の一定点P₀は外擺線(Epicycloid)を描き、又C円外

Fig. 11

の一定点Pは甲外余擺線 (Superior Epitrochoid) を描く。今定円Sの中心を通る直角座標軸を x, y と定め、 P_0, P の始めの位置を夫々 A_0, A とし

$$\overline{SA_0}=a, \overline{CP_0}=b, \overline{P_0P}=b', \frac{a}{b}=n$$

$(a/b)=n, \angle A_0SC=\psi, \angle P_0CQ=\Psi$ とすると、

$$\phi = \frac{a}{b}\psi = n\psi \quad \dots\dots\dots(1)$$

動円Cが定円Sの廻りを一周 ($\Psi=2\pi$) する間、動円Cはその中心の廻りに n 回転し、 n が整数であれば P_0, P は再び始めの位置に戻る、Pの座標を x, y とすると、

$$\left. \begin{aligned} x &= (a+b)\cos\psi - (b-b')\cos\frac{a+b}{b}\psi \\ y &= (a+b)\sin\psi - (b-b')\sin\frac{a+b}{b}\psi \end{aligned} \right\}$$

ここに、

$$\frac{a+b}{b}=n+1=m, \quad \frac{b-b'}{b}=k$$

とおくと、

$$\left. \begin{aligned} x &= b(m\cos\psi - k\cos m\psi) \\ y &= b(m\sin\psi - k\sin m\psi) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

また $\overline{PS}=\rho$ (動径), $\angle PSA_0=E$ (動径角) とすると、

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \sqrt{x^2+y^2} = b\sqrt{(m-k)^2 + 4mk\sin^2\frac{n\psi}{2}} \\ \tan\epsilon &= \frac{y}{x} = \frac{m\sin\psi - k\sin m\psi}{m\cos\psi - k\cos m\psi} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ρ の描く軌跡の長さを L とすれば、

$$\left. \begin{aligned} L &= \int_0^{2\pi} dl = \int_0^{2\pi} \sqrt{dx^2+dy^2} \\ &= mb \int_0^{2\pi} \sqrt{(k-1)^2 + 4k\sin^2\frac{n\psi}{2}} d\psi \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Fig. 12

次に Fig. 12 に於て動円Cが定円Sに内接しながら滑る事なく転がる時、C円上の一定点、 P_0 は、内擺線 (Hypocycloid) を描き、又C円外の一定点Pは甲内余擺線 (Superior-Hypotrochoid) を描く、前と同様にしてPの座標を、 x', y' とすれば、

$$\left. \begin{aligned} x' &= (a-b)\cos\psi + (b+b')\cos\frac{a-b}{b}\psi \\ y' &= (a-b)\sin\psi + (b+b')\sin\frac{a-b}{b}\psi \end{aligned} \right\}$$

ここに、

$$\frac{a-b}{b}m'=m', \quad \frac{b+b'}{b}=k$$

とおくと、

$$\left. \begin{aligned} x' &= b(m'\cos\psi + k\cos m'\psi) \\ y' &= b(m'\sin\psi + k\sin m'\psi) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2')$$

また $\overline{PS}=\rho'$ (動径), $\angle PSA_0=E'$ (動径角) とすると、

$$\left. \begin{aligned} \rho' &= \sqrt{x'^2+y'^2} = b\sqrt{(m'+k)^2 - 4m'\sin^2\frac{n\psi}{2}} \\ \tan\epsilon' &= \frac{y'}{x'} = \frac{m'\sin\psi + k\sin m'\psi}{m'\cos\psi + k\cos m'\psi} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(3')$$

Pの描く軌跡の長さを L' とすれば、

$$\left. \begin{aligned} L' &= \int_0^{2\pi} dl' = \int_0^{2\pi} \sqrt{dx'^2+dy'^2} \\ &= m'b \int_0^{2\pi} \sqrt{(k-1)^2 + 4k\sin^2\frac{n\psi}{2}} d\psi \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(4')$$

以上により n , 及び k , の値を適当に定めることによって種々な転跡線を軌跡として描くことが出来る、又、 $n=2$, で内接している時は、

$$x = b[\cos\psi + k\cos\psi] = b(1+k)\cos\psi$$

$$y = b[\sin\psi - k\sin\psi] = b(1-k)\sin\psi$$

$$\therefore \frac{x^2}{b^2(1+k)^2} + \frac{y^2}{b^2(1-k)^2} = 1$$

即ち、 x 軸 (長径) $2b(1+k) = 2(b+b')$

$$y \text{ 軸 (短径) } 2b(1-k) = 2b'$$

とする Ellips となる。

Fig. 13 は gear ratio と外接、内接により管球軌道が、直線、楕円、三捲、Hypo., 等が可能である。Fig. 14, 15, 16は三捲、Hypo., 直線、楕円、等各軌道を製図したものである、Fig. 17 は装置に取付けられた、transmission mechanism, である。Fig. 18 は実際に使用された管球軌道で、全曝射、内側曝射、外側曝射を表わす。Fig. 19 は、各種管球軌道の理論的な速度分布を表わす。鉛直線と x 線中心線のなす角 (θ) は管球移動中刻々と変化する。ただし円運動方式に於いては、採択された $\theta_{\max}$, 及びそれ

〔第37回総会宿題報告〕 多軌道断層装置と撮影技術について (上田)

Trajectory of Tube

- 2:1 gear ratio 内接 Ellipse
Linear
- 3:1 gear ratio 内接 Hypocycloid
- 3:1 gear ratio 外接 3-Looped
- 4:1 gear ratio 外接 4-Looped

Fig. 13

3-Looped Epicycloid
3-Looped Superior Epitrochoid

Fig. 14

Hypocycloid
Superior Hypotrochoid

Fig. 15

Hypocycloid (Linear)
Superior Hypotrochoid (Elliptic)

Fig. 16

Transmission Mechanism.

- ① Sun Gear (A)
- ② Idle Gears
- ③ Planetary Gear (B)
- ④ " (C)
- ⑤ " (D)
- ⑥ Fixed Shaft
- ⑦ Eccentric Disc
- ⑧ Drive Shaft
- ⑨ Connecting Arm
- ⑩ Slider for Selection of θ_{max}

Fig. 17 Transmission mechanism

- ① Sun Gear (A)
- ② Idle Gears
- ③ Planetary Gear (B)
- ④ Planetary Gear (C)
- ⑤ Planetary Gear (D)
- ⑥ Fixed Shaft
- ⑦ Eccentric Disk
- ⑧ Drive Shaft
- ⑨ Connefing Arm
- ⑩ Slider for Seletion of O_{max}

に対応する管球移動速度は一定である。横軸に駆動軸の廻転角 ϕ をとれば、駆動軸は motor からの減速装置を経て廻転されているので、廻転数は一定とみなされるから、全ての移動方式において ϕ は一定であり、 ϕ が 0° から 360° に達して始めて一つの軌道が完結する事になる。図に見る如く各移動方式毎に選定された、 $\theta_{\max}$ に対して管球移動中の θ 及び管球移動速度 v は円運動方式では常に一定であり、楕円、三捲、及び四捲方式では夫

夫 2, 3 及び 4 つの最大値を有する周期的変動の波形を描く。注意すべきは図の左右を対照とした場合、楕円方式においては、 θ が最大値を示す ϕ の値と v が最大値を示す ϕ の値が半波長ずれている事である。他の三捲、四捲方式では、いずれもこれが一定している、即ち楕円方式では、内余擺線の特徴であり θ が最大値に近づく程、管球の移動速度が減少し、 $\theta_{\max}$ において最低速度となる、これに反して後者は、外余擺線の特徴であって、 $\theta_{\max}$ に近づく程、管球の移動速度は増大し、 $\theta_{\max}$ において最高速度を有する事がわかる。この点が Polytome, の Hypocycloid 軌道と違った Roulettes Tomo. の特徴である。

5. 多彩運動方式断層撮影装置の開発

従来の廻転式X線断層撮影法において、管球と film の移動方式として多くの軌道が考えられて来た。現在実用されている軌道の主なものは直線、楕円、円及び、ある種の転跡線である。転跡線については軌道の長さが、かなり長く、かつ被写体をそのぞむ管球角度(θ)が移動中に変化する等の長所がある、運動方式としては若干の難点があるが、即ち Roulettes Tomo. の三捲軌道、Polytome の Hypo. 軌道ではいずれも管球運動に加速度の変換点、即ち加速から減速へ、あるいは減速から加速へと変化する点が軌道の外側と内側とに一つづつ 3 カ所に表

われる。このことは構造的に管球速度の制約はさけ難いのである。私共は運動的に無理のない軌道でしかも転跡線軌道の持つ特性を備えた軌道と、そして spiral 軌道を採用し更に従来の各種軌道を備え、それらの相互の比較検討が可能でしかも各種軌道の切替時に平行 link を駆動する管球固定軸をその都度、手動によるという繁雑な着脱作業を必要とせず各種軌道を押釦によって one tach 操作で選択出来て曝射角が 30° 以内であれば、あらゆる方向から grid を使用して単純撮影も可能な装置を開発した。Fig. 20 は試作した装置の全景、Fig. 21 はその mechanism である。

Tube-Shift Type	Method or X-ray exposure			
	Full Range System	Right and Left side System	Inside System	Outside System
Circular
Elliptic
3-looped Superior Epitrochoidal
4-looped Superior Epitrochoidal

Fig. 18 Control of Exposed Range during the Tube-Shifting in Roulettes Tomograph (in the case of $\theta_{\max} 30^\circ$)

Fig. 19

〔第37回総会宿題報告〕 多軌道断層装置と撮影技術について（上田）

Fig. 20

Fig. 21

即ちBは軸Oを中心として廻転する beam でありAはBの溝の中を滑りながら動く slider である。極座標図で見ると beam がOの廻りを ϕ だけ廻転し、slider の位置がAからA'に移動して $OA=r$ が $OA'=r'$ に変わったとする。ここで $x=r-r'$ の廻転角 ϕ に対する半径方向の比をSとすると、

$$S = \frac{x}{\phi} = \frac{r-r'}{\phi}$$

で表わされ、Sの値を適当に選ぶことによって、A点に多彩な各種軌道を描かせることが出来る。この様子を、Fig. 22で説明すると beam は主軸 motor MB_1 によってO軸の廻りを廻転し slider は servo motor MS_6 によって適当な伝達機構を介して beam の長軸方向に直線運動を行う。beam の廻転角 ϕ と slider の送り x の制御は motor MB_1 と連動する potentiometer P_B , P_S 及び手動

Fig. 22

Fig. 23 Block diagram of Servomechanism

TUBE-SHIFT TYPE $2\theta_{\max}$ SHIFTING TIME

LINEAR	* *	10°, 50°	0.6, 1.5 sec.
CIRCULAR	◎	0°—50°	3 sec.
ELLIPTICAL	⊖	40°	3 sec.
HYPOCYCLOID	⊗	40°	6 sec.
SPIRAL	⊙	50°	6 sec.

Fig. 24

の potentiometer P_H によって行われる。

Fig. 23 も参照、potentiometer P_B 又は P_H にかかる電圧は potentiometer P_S によって feed back された電圧と合成されて増幅器により増幅される。この増幅信号によって servo motor MS は正又は逆廻転を行う。potentiometer P_B を必要な数だけ設けて適宜選択する事

Table 2 各社装置の性能

装置名	ポリトーム	オプチプラ ニマート	東芝多軌道 断層装置	日立多軌道 断層装置	島津多軌道 断層装置	エクザトーム
形式名	U3	〃	LGM-1	LT-UG	HL-31	〃
焦点・ フィルム間距離	147.3 cm 176.5 cm	115.0 cm	158.0 cm	161.0 cm	100.0 cm	120.0 cm
截面・ フィルム間距離	38.3 cm	0~8.5 cm	33.0 cm	36.0 cm	0~7.4 cm	70. cm
拡大率	1.35 1.62	可変 0—1.08 10—1.19	1.26	1.28	可変 0—1.08 10—1.21	1.06
最大撮影深さ	25.0 cm	25.0 cm	24.0 cm	23.0 cm	25.0 cm	25.0 cm
最小間隔	1.0 mm	1.0 mm	1.0 mm	1.0 mm	2.0 mm	1.0 mm
使用管球 (mm)	0.6/1.0	0.6/1.0 0.3/1.0	0.6/1.2 1.0/2.0	0.6/1.2 0.3/1.5	0.5/1.5 0.3/1.5	0.6/1.2
多重絞り	電動	電動	電動	電動	電動	手動
グリッド 密度 格子比	44/cm 10:1	40/cm 8:1	22/cm 8:1	22/cm 8:1	28/cm 8:1	34/cm 12:1
撮影サイズ 一枚撮り 多層	半切 4ツ切	半切 4ツ切	半切 半切	半切 大角	半切 大陸	半切 半切
軌道の形 曝射角 曝射時間 (秒)	直線全方向 10°~30° 0.9/3.0 円 7°/3.0 10°~30°/2.0 楕円全方向 16°・30°/3.0 ハイボ 34°・48°/6.0	直線全方向 8°40° 0.6/2.5 円 5°~40° 0.6/2.5 スパイラル 16°・30°・45°/ 5.0	直線全方向 10°~40° 0.3/1.0 円 2°~50°/3.0 選択曝射可 楕円オプション ハイボ 20°~40°/6.0 スパイラル 5°~50°/9.0	直線2方向 5°~40° 0.32~0.8 円 7°~48°/1.0 楕円1方向 20°~40°/2.4 ハイボ 20°~40°/6.0 スパイラル 15°~50°/6.9	直線1方向 15°・30°・45° 0.26/0.5/0.9 円 0°~18°/2.7 選択曝射可 楕円1方向 18°~36°/2.7 選択楕射可	直線全方向 8°0.5/1.5 30°1.5/4.5 円 8°・20° 1.5/4.5 スパイラル 14°~40°/4.5
撮影台起倒	-15°~+90°	-90°~+110°	不可	-15°~+90°	-30°~+90°	不可
固定具	頭部固定具 補助テーブル ハンドグリップ 椅子 圧迫帯 肩支え	頭部固定具 足 台 肩支え 圧迫帯 ハンドグリップ 手・足・肩支え	頭部固定具 肩支え 圧迫帯 ハンドグリップ	頭部固定具 肩支え	頭部固定具 肩支え	頭部固定具 下肢固定具 ハンドクリップ 圧迫帯
I. I. 接続	6 inch	6 inch	6 inch	6 inch	9 inch	6 inch

〔第37回総会宿題報告〕 多軌道断層装置と撮影技術について (上田)

によって容易に各種軌道が得られる。Fig. 24 は管球軌道と曝射角, 曝射時間を表す。

6. 多軌道断層撮影装置の現況

(Table 2)

表に示す様に1975年以降国内で使用されている多軌道断層装置は, 頭部専用断層装置を除いて約7種類で夫々数台から数10台稼働している, 性能については各社共に余り差は見られないが, 夫々の機種の特徴を生かしている。管球軌道も3~6方式で起倒可能な装置もある, 軌道作成は gear の組合せ, cam, 油圧 servo motor 等が用いられているが軌道の精度は gear 方式が最も良いが, 軌道の複雑さに伴って撮影時間が長くなるのが欠点である。又起倒が可能な装置は患者の立位又は座位断層を可能にし臨床的には脳室撮影, 胸水貯留の状態, 副鼻腔, 等の撮影で良い結果が得られる。

Fig. 25

Fig. 26

7. 多軌道断層撮影装置のレスポンスと断面厚について

私共で現在使用している 東芝製多軌道断層撮影装置 LGM-1 について測定した。

購入後約9年経過している, 焦点の大きさは 0.6 mm

Fig. 25 は各種軌道で焦点の x 軸の断面における レスポ

Fig. 27

Fig. 28

Table 3 断層撮影時の障害陰影の除去法

1) 線 影 像
曝射角の電氣的制御 (円軌道)
曝射角のグリッド制御 (円軌道)
高電圧に依る暈像の対比度の低下 (円・円弧)
2) 核陰影・暈残像
円すい頂角 (2θ) を大にする (円・円弧)
分割片側曝射 (円軌道)
被写体の位置の変化 (円弧)
高電圧に依る暈像の対比度の低下 (円・円弧)

Table 4

部 位	軌 道	電 圧	電 流	時 間	間 隔	基 準 面	枚 数
頭 部	副 鼻 腔 a-p	72	30	6	10	外 眼 角	基準面より前方 1 枚, 後方 4 枚計 6 枚
	lat	66	25	6	10	正 中 面	左右側 4 cm 位まで
	axial	84	30	6	10	O-M 線	基準面より頭方 1 枚, 足方 3 枚
	聴 器 a-p	76	40	6	3	外 耳 口	基準面中心に前後に 2 枚ずつ
	lat	72	35	6	3	乳様突起面	基準面の内側 2.5cm より 4.0cm 位まで
	axial	88	40	6	3	O-M 線	基準面の上下に 2 枚ずつ
	トルコ鞍 a-p	76	35	6	5or 3	O-M 線上	1/3 の点を基準に 3 ~ 5 枚
	lat	72	30 40	6 3	5or 3	正 中 面	基準面を中心に 3 ~ 5 枚
	顎 関 節 lat	72	30	6	3	外 耳 口	基準面より 2.5cm より 3 枚位
頸 部	上 咽 頭 lat	72	30	6	5	正 中 面	基準面中心に左右に 5 ~ 7 枚位
	喉 頭 a-p	70	40	3	3	甲 状 軟 骨	基準面の後方 1.5cm より 6 枚
	lat	62	40	3	3	正 中 面	基準面中心に左右 3 ~ 5 枚ずつ
胸 部	肺 野 a-t ()	82	15	15	10	背 面	所見により決する 5 ~ 7 枚
	lat ()	92	40	15	10or 20	正 中 面	同 上
	(同高圧) a-p	130	4	3	10	背 面	同 上
	lat	130	7	3	10or 20	正 中 面	同 上
	縦隔肺門 a-p ()	88	20	15	10	胸 厚 $\times \frac{1}{2}$	基準面中心前後 5 枚位
	lat ()	92	40	15	10or 20	正 中 面	左右に 3 ~ 5 枚位
	胸 骨 a-p	82	40	3	5	胸骨皮フ面	後方 0.5cm より 4 枚位
	lat	92	40	3	5	正 中 面	左右に 3 ~ 5 枚
腹 部	胆 の う a-p	76	40	3	10	胆のう部前	皮フ面より 4 cm 後方より 4 ~ 5 枚
	obliqu	84	40	3	10	第 4 斜位で後皮フ面	天板面より 9 cm より 4 枚位
	腎 部 a-p	74 72	40 30	3 6	10	背 面	5 cm より 8 枚位気腹術併用が多い
	lat	90	30	3	10or 20	正 中 面	所見により決する
脊 柱	歯 突 起 a-p	76	35	6	3or 5	外 耳 口	基準面の後方 0.3cm より 後方 3 枚位
	lat	66	40 25	3 6	3or 5	正 中 面	中心に左右 2 ~ 3 枚ずつ
	頸 椎 a-p	70	40 25	3 6	5or 10	背 面	同 上
	lat	66		3 6	5or 10	正 中 面	歯突起に同じ 脊髓腔観察は 5 mm 間隔
	頸 ₅ ~ 胸 ₁ lat	106	35	6	5or 10	正 中 面	同 上
	胸 椎 a-p	74	30	6	5or 10	背 面	基準面より 4 ~ 5 cm より 5 枚位
	lat	76	30	6	5or 10	正 中 面	歯突起, 胸椎側面に同じ。左右 2 ~ 3 cm まで
	腰 椎 a-p	76	30	6	5or 10	背 面	基準面より 4 ~ 5 cm より 5 枚位
	lat	100	30	6	5or 10	正 中 面	脊髓腔観察には 5 mm 間隔, 一般には 1 cm で 5 枚
	腰 ₅ ~ 仙椎 lat	106	40	6	5or 10	正 中 面	同 上
下 肢	股 関 節 a-p	72	30	6	10	大 転 子	基準面中心に前方 3 枚, 後方 2 枚
	lat	82	40	6	10	大 転 子	基準面の内方 3 cm から 5 枚
	膝 関 節 a-p	54	40	3	5or 10	膝 蓋 前 面	所見により決する
	lat	54	40	3	5or 10	外 側 面	同 上
	足 関 節 a-p	50	40	3	5or 10	脛 骨 前 面	同 上
	lat	50	40	3	5or 10	腓 骨 外 果	同 上

〔第37回総会宿題報告〕 多軌道断層装置と撮影技術について (上田)

ンスである。断面においては軌道の差による大きな変化は見られない。

しかし Fig. 26, 27 の様に断面外のレスポンスは軌道により異っており更に写真上では、この断面外のものも積分された形で表現される。

この事が各種軌道による断面厚の差となっている事と思われる。又写真を観察する人間の眼の量の認知は像 contrast によって断面厚の異なる relief 状の断面を読影していると考えられる。又レスポンスの低下の要因としては管球焦点の大きさ、管球の斜入角度、増感紙、grid ratio 等が上げられる。

8. 障害陰影の形成と除去方法

障害陰影 (redundant shadow) とは暈残像 (remainig blur shadow), 核陰影 (nucleus-shadow), 線陰影 (line shadow), の3種類で構成される。一部は重複しているが、断面のX線像を形成する過程で実際にその断面に存在しない陰影があたかもその断面にあるかの如く重複し、診断上の障害になる様な陰影を言う。Fig. 28 は円軌道における障害陰影の形成過程である。Table 3 は障害陰影の除去方法を示す。

9. 多軌道断層撮影時における種々な問題

先づ一番の問題は障害陰影の除去であると言う事は前にも述べたが、その他にも多くの問題がある、その一つは画質の問題であり又被曝線量軽減と言う大きな問題もある。平行絞りと限定照射野法、多層断層撮影法等がこれ等の改善に役立っている、又寝台の起倒や、複雑な軌道等の効果を上げるためには被写体固定具を使用した規格撮影 (術前、術後撮影)、被写体整位等にも充分な考慮が必要である。

10. 軌道の選択と撮影条件

どの部位に、どんな軌道を使用すれば良い断層像が得られるか、私共の教室で多くの症例、遺体の頭部、胸部、その他から条件表を作製した (Table 4)。

11. 多軌道断層撮影装置の今後の問題点と X-CT との比較

X線断層撮影の目的は三次元構造を持つ被写体の任意の二次元面、即ち層の情報の描出である。そしてその情報とはX線診断に共通な被写体におけるX線吸収値差である事は言うまでもない。従ってX線断層の開発、改良

の歴史は、より clear な二次元面の描出及び高度なX線吸収値差分解能を求める事が主であった、然しながら、1972年 Hounsfield によって X-CT が開発されて、被写体の持つ吸収値差分解能が桁違いに上昇し又断面も clear になった、このため一時は X-CT が万能の如く思われた。しかし症例の増加と共にその限界が認識されつつある Fig. 29 はX線断層と X-CT の像の構成の過程を描いたもので長い点線で囲われた部分、つまり被写体を中心として対向し移動する film と detector が得て欲しい情報は全く同一のものである、にもかかわらずX線断層と X-CT が異質に感じられるのは単に X線断層で見えないものが X-CT で見えたと言う視覚的な問題だけと考える、この様な考え方を基にX線断層と X-CT の夫々の長所及び短所を比べて見ると Table 5 の様に同

Fig. 29

Table 5

X. CT の短所	X. CT の長所
1) 空間分解能が悪い	1) X線吸収値差分解能が良い
2) Artifact が生じる	2) 暈像がない
3) 撮影時間が長い	
X線断層の短所	X線断層の長所
1) X線吸収値差分解能が悪い	1) 空間分解能が良い
2) 暈像が生じる	2) Artifact がない
3) 撮影時間が長い	

じ情報源であるのに全く異った事項が上げられている事が解る。従って当面の課題としてお互いの長所を残して短所を抹消する事によってX線断層とX-CTの融合を計る事ではないかと思われる。表で見られる様に断層の欠点が反面X-CTの長所である。現在X-CTにおいて非常に薄い断面を用いた正面、側面像の合成で、GE社、その他で行っている画像の再構成、X-CT装置を用いた円弧方式断層（帝京大学、放医研）が夫々行われているがX線断層に比較して充分ではない。

この原因としては detector と film の感度の問題と前図の鎖線の部分の像構成、及び観察の差によるものが考えられる。中でも最も問題なのはX-CTでは detector で受けた data を digital 化して computer で種々の画像処理を加えて window mechanism を備えた観察装置で

Fig. 30

Fig. 31

観察するのに対して、X線断層では film で受けた data をその同一 film 上で analog 加算を行い、シャーカステンで観察する点である。同一 film 上での analog 加算は暈けの原因であり、シャーカステンによる観察は film の感度、及び dynamic range を人間の肉眼のそれまで縮小してしまうためである。私共の試みでは通常の断層写真でも肉眼による制約を取り除いたため window mechanism を持った観察装置で観察するだけで、シャーカステンでの film 観察よりもかなり多くの情報を確認出来た。Fig. 30 は卵の断層写真で Fig. 31 はその画像処理、Fig. 32 は CRT film である。

暈け像についても画像処理及び断層の軌道の改良等によって改善されると思われる。X線断層の撮影時間の解決には多くのX線管を用いる方法、又は電子 beam 走査による焦点移動型のX線管を用いる、又従来の bar の両端にX線管と film を設置する装置の機械的な動きを全く無くしてしまうのが理想的であると思われる。又広い意味での detector は二次元配列の非常に小さな素子を用い極く短時間で data の蓄積が可能なものが条件であるが当面の問題としてはX線 film の感度、linearity、粒状性を改良する事が近道であると考えられる。

以上が私の現在考えているX線断層の課題であるが10年前に今日のこの状況が想像出来なかった様に技術の進歩する速度は増々加速度を加えている。間断なき研究の姿勢こそが最大の課題であると言う事が私共の結論である。

最後に私に宿題の機会を与えて下さいました森山会長、遠藤前会長、学会理事の方々、本稿に多大なる御教授を戴きました松川学長、宮城教育大学岩井教授、三品元助

Fig. 32

〔第37回総会宿題報告〕 多軌道断層装置と撮影技術について (上田)

教授, 木村教授, 技師室諸兄に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Bocage, A. E. M.: Franzpatentschrift Nr., 536-464, (1922).
- 2) Bocage, A. E. M.: Soc. Franz. Electret Radiol., **26**, 201-206, (1938).
- 3) A. Vallebona: Fortschr. Röntgenstr., **48**, 599-605, (1933).
- 4) Ziedes des Plantes: Nederlandschr. Tijdschrift Voor Geneekunde, **42**, 5218-5223, (1931).
- 5) W. Watson: The J. Society Radiograpers, **54**(5), 81-88, (1939).
- 6) Pöskl, M. and M. Vieten: Fortschr. Röntgenstr., **62**(1), 33-57, (1940).
- 7) M. Abreu: A. J. Roentegenol. **60**, 668-674, (1948)
- 8) S. Takahashi, Tohoku: J. of Exp. Med., **51**, 70, (1949).
- 9) Gebaver, A.: Fortschr. Röntgenstr., **71**(5), 669-696, (1949).
- 10) Grossmann, G.: Tomographie I. Fortschr. Röntgenstr., **51**, 6-80, (1935).
- 11) Tobb: J. Radiol., **300**-302, (1950).
- 12) K. Lindblom: Act. Radiolog., **42**, 465-468, (1954).
- 13) 宮地韶太郎: 深部レ線写真撮影法. 日本医放会誌, **4**(3), 347-361, (1936).
- 14) 宮地韶太郎: 深部レ線写真撮影法(第3報)暈像に関する研究, 日本医放会誌, **1**(1), 37-101, (1940).
- 15) J. Robert Andrews: Amr. Jour. Roentgenology, **36**, 575-587, (1936).
- 16) Kiefer, J.: The Laminagraph and its Variations. Applications and Implication of the planigraphic Principles. Amr. J. Roetngen, **39**, 497-513, (1939).
- 17) 高橋信次: 断層撮影と廻転横断撮影, (1954).
- 18) 田坂 皓: 断層撮影の読み方, (1954).
- 19) 佐久間貞行, 宮田伸樹: 新しい断層撮影とよみ方, (1976).
- 20) 松川 明: 断層撮影法. 放射線診断学, **6**, (1967).
- 21) 松川 明: 断層撮影法の改良. 日本医放会誌, **20**(10), 2167-2190, (1960).
- 22) 松川 明, 三品 均, 木村和衛, 上田 稔: 円軌道移動方式断層撮影の研究(第1報)撮影装置に就いて. 日本医放会誌, **15**(7), 549-557, (1955).
- 23) 松川 明, 他: 円軌研究(第2報)基礎的研究(第1報)解像力及び現出能に就いて. 日本医放会誌, **15**(8), 684-689, (1955).
- 24) 松川 明他: 円軌研究(第2報)胸部断面像に於ける肋骨暈像除去の一新法. 日本医放会誌, **15**(11), 997-1003, (1955).
- 25) 松川 明, 他: 円軌研究(第3報)Grid 使用時に於ける解像力及び空洞の現出能に就いて. 日本医放会誌, **15**(12), 1089-1093, (1955).
- 26) 松川 明, 他: 円軌研究(第6報)板状体の断層撮影. 日本医放会誌, **16**(2), 181-184, (1956).
- 27) 三品 均, 木村和衛, 上田 稔: 高圧断層撮影法の研究, 基礎的研究, (その2)管電圧と暈像の対比度及び現出能との関係に就いて. 日本医放会誌, **17**(12), 1391-1396, (1957).
- 28) 松川 明, 岩井 昂, 深津久治: 転跡線移動方式断層撮影法の研究(第1報). 日本医放会誌, **21**(10), 947-953, (1962).
- 29) 高久田金助: 渦状運動方式断層撮影法の研究(第1報)福島医誌, **13**(1, 2), 31-50, (1963).
- 30) 上田 稔, 伊藤陸郎, 片倉俊彦: 断層撮影に於ける撮影基準. 映像情報, **11**, 18-216 (1975).
- 32) 松川 明, 木村和衛, 佐藤善二, 上田 稔: 高圧断層撮影法の研究, 障害陰影除去に関する研究. 断層研究会誌, **1**, 53-55, (1973).
- 32) 松川 明, 上田 稔: 多層増感紙の工夫. 断層研究会誌, **1**, 32-35, (1973).
- 33) 松川 明, 上田 稔, 木村和衛, 伊藤陸郎, 奥秋興寿: 胸部断層像と暈け像. 断層研究会誌, **2**, 15-19 (1974).
- 34) 木村和衛, 上田 稔, 伊藤陸郎, 松川 明, 岩井 昂, 永井勝美, 田中正己, 五十嵐寛光: 多軌道断層撮影装置による断層撮影法の研究(第1報)各種管球運動方式に於ける頭部断層像の比較. 日本医放会誌 **34**(3), 127-134, (1973).