立体X線写真の解析

福島県立医科大学 放射線科

山田 久夫・佐々木 幹人*

(論文受理 昭和56年3月29日)

(Code No. 21460)

ANALYSIS OF 3 DIMENSION IMAGE

By HISAO YAMADA and

MIKINDO SASAKI

Department of Radiology Fukushima
Medical College Hospital

(Article received: Mar. 29, 1981)

Summary

An analysis was made of the geometric relation between stereo-radiographing system and its observation one which has an effect on the imaging in the diagnostic stereography.

(1) In stereography with magnified X-rays in which the magnification ratio of images on X and Y axis is different from the one on Z axis a kind of image distortion is inevitable.

(2) Stereographing system under a certain appropriate condition can produce an image with equal magnification ratio of one on X, Y and also Z giving life-size without distortion.

(3) As described above, a magnified stereographic image accompanies a distortion.

However, a magnified stereographic image will be perceived if the image on the retina is enlarged, which can be obtained by shortening the visual distance thus widening the visual angle.

1. はじめに

最近ステレオ用X線管が数社から発売されるようになった。

ステレオX線写真への関心の現れではないかと思われる。

立体X線撮影法において、撮影系、観察系の幾何学的条件によって、立体模像(再生像)がどのように変化する。

*) 現在 太田綜合病院附属太田西ノ内病院

るかを解析的に調べた。

また歪の小さな立体模像(再生像)を得るためには、どのような焦点間距離のステレオ管球が望ましいかも明らかにした。

2. 方法及び理論

立体X線写真における撮影系と観察系の幾何学的関係に代数式をあてはめ、いくつかのパラメータに数値を代入し、コンピュータで計算し、得られた値をプロットで

グラフ化しグラフの曲線から、被写体と立体模像の関係を把握する。

3. Z 軸の解析

立体X線撮影系と観察系を作図すると、Z軸は Fig. 1 のようになる。

Fig. 1.1, Fig. 1.2 Geometries for Z axis of stereoscopic exposing and viewing system.

撮影系において

焦点—フィルム間の任意の点を g

焦点間距離を P

焦点—フィルム間距離を H

焦点—g 間距離を R

2つの焦点による点 g のフィルム面への投影差を D とすると、次の式が成り立つ。

$$D = P \cdot \left(\frac{H}{R} - 1 \right) \quad \text{.....(1)}$$

次に観察系 (Fig. 1.2) において

点 g の逆投影による交点を g #

観察者の瞳孔間距離を Q

観察者の瞳孔—フィルム間距離を V

観察者の瞳孔—g # 間距離を S

立体撮影によって得られる投影差は D であるから

$$S = \frac{V}{\left(\frac{D}{Q} + 1 \right)} \quad \text{.....(2)}$$

が得られ、式 2 に式 1 を代入すると

$$S = \frac{VQ}{\frac{PH}{R} - P + Q} \quad \text{.....(3)}$$

が得られる。

式 3 において特記すべきことは

P = Q, H = V という条件のもとでは、3 式は、

S = R という特異的な式になる。

つまり瞳孔間距離が焦点間距離に等しく、焦点—フィルム間距離が瞳孔—フィルム間距離に等しいならば、被写体の Z 軸と立体模像の Z 軸は 1 対 1 の対応をしていることになる。

また P = Q, H ≠ V という条件でも

$$S = \frac{V}{H} R \quad \text{.....(4)}$$

になり、H と V が定数であれば、S と R は直線関係となる。

一般的に行なわれている立体X線写真における H, V, P, Q の値についての R と S の関係は次の項で図表化して示す。

4. X 軸成分と Y 軸成分の解析

撮影系において、焦点から任意の距離 R における平面 G の X 軸成分 (あるいは Y 軸成分) B と、その投影像 K の関係は Fig. 2.1 のようになる。

Fig. 2.1, Fig. 2.2. Geometries for X or Y axis of stereoscopic exposing and viewing system.

焦点—フィルム間距離を H

焦点—G 間距離を R

単位長 B のフィルムへの投影像を K とすると

$$K = \frac{H}{R} B \quad \text{.....(5)}$$

式 5 を得る。

観察系について作図をすると Fig. 2.2 のようになる。

K の逆投影によって得られる、X 軸成分 (あるいは Y 軸成分) B の再生像を B # とし

瞳孔—フィルム間距離を V

瞳孔—G # 間距離を S

とすると

$$B \# = \frac{S}{V} K \quad \text{.....(6)}$$

立体X線写真の解析 (山田・佐々木)

式6が成り立つ。

式6に式5を代入すると

$$B\# = \frac{H \cdot S}{V \cdot R} B \quad \dots\dots\dots(7)$$

式7が成り立つ。

式7に式3を代入すると

$$B\# = \frac{H \cdot B}{V \cdot R} \left(\frac{V \cdot Q}{\frac{PH}{R} - P + Q} \right) \quad \dots\dots\dots(8)$$

式8を得る。

BとB#の比をとれば被写体と立体模像のX軸成分(あるいはY軸成分)の拡大率を知ることができる。

式8においても、 $H=V$ 、 $P=Q$ という特異的な条件のもとでは、 $B\#=B$ となり被写体中のX軸成分(あるいはY軸成分)と立体模像中のX軸成分(あるいはY軸成分)が1対1の対応をしていることになる。

以上の結果、被写体と等大の立体模像を観察するためには、観察者の瞳孔間距離に等しい焦点間距離で、観察距離に等しい撮影距離がよいということになる。

一般的に行なわれている立体X線写真法では、撮影距離、観察距離、焦点間距離、瞳孔間距離がまちまちであり、立体模像は、それらの条件の不整合より歪が生じている。

立体模像に歪を生じさせる因子として、もう一つ重要なものに、フィルム配置誤差によるものがある。

Fig. 3. Effect on the Z axis by arrangement error in the direction of discrepancy in the image.

フィルム配置誤差というのは、観察系にフィルムをセットする際に生じるもので、Fig. 3に示すように投影差方向に生じるずれ成分Aをいう。

投影差Dにフィルム配置誤差が加わると、式2は次のように変化する。

$$S = \frac{V}{\left(\frac{D+A}{Q} + 1 \right)} = \frac{VQ}{\frac{PH}{R} - P + Q + A} \quad \dots\dots\dots(9)$$

(式2のDにAを加え式1を代入)

式9の様になりRとSの関係はさらに複雑になる。

これはX、Y、Zの各軸に影響を与える。

5. 計算結果

日本人の瞳孔間距離の平均は約6.3 cmといわれているのでとくに断わらない限りこの値を用いた。

焦点一点g間距離Rの変域は、X線管の構造、被曝線量等を考慮して焦点から20 cmよりフィルム面までの距離とした。

Fig. 4は、焦点間距離2.5 cm、撮影距離100 cm、観察距離を50 cm から 10 cm おきに、120 cm まで変化した場合のRとSに関するグラフである。例えば、観察距離70 cmの場合は70と書かれた曲線を見る。

この曲線の場合、焦点から30 cm離れた点は瞳孔から36.4 cm離れた点として観察される。

同様に50 cmの点は50.1 cm、即ち、この2点間距離20 cmが、13.7 cmに短縮されていることがわかる。

Fig. 4. The relation between real Z axis and visual Z axis.

V=50 cm. to 120 cm, step 10cm
P=4 cm

Fig. 5. Magnification ratio of X or Y axis.
A=0 cm

Fig. 5 は X, Y 軸成分の再生比を表わしている。

例えば、焦点から 30 cm 離れた面 G は、目から 36.4 cm 離れた場所に面 G# として観察され X, Y 軸の拡大率は 1.73 倍となっていることがわかる。同様にして 50 cm の場合 50.1 cm, 1.43 倍となっている。

Fig. 6 は撮影距離 100 cm 観察距離 70 cm, 焦点間距離 2.5 cm で、フィルム配置誤差を -2.5 cm から 0.5 cm ごとに 2.5 cm まで変えた場合のグラフを表わす。

フィルム配置誤差 A = -2.5 cm のグラフが、直線に近い曲線になっていることがわかる。

R = 30 cm のとき S = 45.8 cm

R = 50 cm のとき S = 70 cm

Fig. 6. The relation between real Z axis and visual Z axis.
A = -2.5 cm to 2.5, step 0.5 cm

即ち、この 2 点間の R の差が 20 cm のとき、S の差は 24.2 cm となっている。

この 2 点間を直線とみなし勾配を計算すると約 1.21 となる。

つまりこの区間における Z 軸の拡大率は 1.21 倍といえる。

この条件における X, Y 軸の拡大率のグラフを Fig. 7 に示す。

R = 30 cm のとき S = 45.8 cm, X, Y 軸拡大率 2.2

R = 50 cm のとき S = 70.0 cm, X, Y 軸拡大率 2.0

X, Y 軸の拡大率は 2 倍位であるが、Z 軸とともに変化することがわかる。

Z 軸の拡大率と X, Y 軸の拡大率も一致していないことがわかる。

同様に焦点間距離 4 cm 管球で、パラメータを変えたグラフを Fig. 8, 9, 10, 11 に示す。

Fig. 10 は、撮影距離 102 cm, 観察距離 70 cm フィルム配置誤差を -2.5 cm から 0.5 cm ごとに 2.5 cm まで変えた場合のグラフである。

フィルム配置誤差 -2 cm の曲線はほぼ直線に近く勾配も約 1 になっている。

然し、この条件における X, Y 軸の拡大率のグラフは Fig. 11 に示す様に、つまりこの場合にも Z 軸拡大率と、X, Y 軸拡大率の値は異なってくる。

次は、特異条件を含むグラフを Fig. 12, 13 に示す。

Fig. 7. Magnification ratio of X or Y axis.
A = -2.5 cm
P = 2.5 cm

立体X線写真の解析 (山田・佐々木)

Fig. 8. The relation between real Z axis and visual Z axis.

V=50 cm to 120 cm, step 10 cm
P=4 cm

Fig. 9. Magnification ratio of X or Y axis.
A=0

Fig. 10. The relation between real Z axis and visual Z axis.

A=-2.5 cm to 2.5 cm step 0.5 cm

Fig. 11. Magnification ratio of X or Y axis.

A=-2.0 cm
P=4 cm

Fig. 12 は観察距離が変化すると直線の勾配が変化することを表わす。

このことは式 4 から明らかである。

特異条件のもとでは、勾配が 1 の直線になっている。

このときの X, Y 軸の拡大率のグラフを Fig. 13 に示す。

X, Y 軸の拡大率は 1, 従ってこの条件のもとでは、被写体と立体模像 (再生像) の X, Y, Z の 3 軸は 1 対 1 の対応関係にあることを示す。

Fig. 14 は特異条件であっても、フィルムの配置誤差が加わった場合には、非直線歪が生じることを示している。

Fig. 15 は瞳孔間距離が $6.3 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ のグラフで、ほぼ直線に近い曲線であるとわかる。

6. 考 察

立体模像 (再生像) の拡大観察のために、焦点間距離の短かな撮影をし、観察の際に、フィルム配置誤差を加

Fig. 12. The relation between real Z axis and visual Z axis.

$V=50\text{cm}$ to 120cm step 10cm
 $P=Q=6.3\text{cm}$

Fig. 13. Magnification ratio X or Y axis
 $A=0$

Fig. 14. The relation between real Z axis and visual Z axis.

$A=-2.5\text{cm}$ to 2.5cm step 0.5cm

Fig. 15. The relation between real Z axis and visual Z axis.

$Q=6.3\text{cm} \pm 0.5\text{cm}$

える方法は、X、Y軸の拡大率とZ軸の拡大率が異なっていてしまい、観察される立体模像は、歪像となる。

歪の小さな立体模像を得るためには、特異条件を満足させるような立体撮影、観察でなければならない。

被写体のM倍の立体模像でなく、1対1の立体模像であっても、視角を大きくすれば、大きく見えてくる。

視角を大きくするためには、Fig. 16に示すように、焦点一被写体間距離を短くすればよいことになる。

Fig. 17は特異条件で撮影し、焦点一被写体間距離の異なる2組の立体写真である。Fig. 17とともに被写体と1対1の対応関係を持つ立体模像が得られるが、焦点一被写体間距離の短い方が大きく見える立体模像となる。

Fig. 16でわかるように視角を決定する因子は、焦点一被写体間距離で、被写体一フィルム間距離ではない点は注目すべき事項である。したがって被写体一フィルム間距離はあまり問題にしくともよいが、短い方が同一サ

立体X線写真の解析 (山田・佐々木)

Fig. 16. The relation between object and visual angle.

Fig. 17. Comparison of stereoscopic image on skeleton in long focus-object distance, with short focus-object distance.

イズのフィルムを使用した場合、視野が広がる。

7. 結 論

歪みが小さく、且つ大きく見える立体模像を観察するためには、焦点間距離を観察者の瞳孔間距離に等しくし（およそ 6.3cm）焦点—被写体間距離を短かくした撮影を行なう。得られた立体写真を観察する場合には、フィルム配置誤差をできるだけ小さくする。

また焦点フィルム間距離に等しい瞳孔—フィルム間距離にする。

厳密には、焦点—フィルムの座標関係と瞳孔—フィルムの座標関係は一致しなければならない。

稿を終るにあたり、御校閲いただきました当放射線科学教室木村和衛教授に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) Kunio Doi: Application of Longitudinal Magnification Effect to Magnification Stereoscopic Angiography., *Radioiogy*, **124**, 395-401, (1977)
- 2) 島津製作所K.K.: 頭腹部拡大ステレオ診断システム. セールスガイド, (1980. 12. 23)