感光エネルギー量について (Ⅱ)

関東労災病院 (部長 大島敏美)

鍵 田 政 雄

(論文受付 33年1月22日)

ON THE EXPOSING ENERGY QUANTITY OF X-RAY (II)

By MASAO KAGITA

Kanto Labour Accident Hospital

(Article received : Jan. 22, 1958)

Summary

In Report (I) I mentioned about the relation between the theoretical value of the exposing energy quantity of X-ray and density of the rentgenphotogram, and how to apply to practical radiography, but in this Report (II) I did how to conclude the condition of deep structure in the clinical cases by using the theoretical formula of the exposing energy quantity basing on density of the rentgenphotogram.

本論文の要旨は昭和32年5月1日新潟における本会第13回総会において発表した。

緒 言

第1報(本誌第11巻4号)において感光エネルギー量の理論値とレ線写真の黒化度とを関係づけ実際の写真撮影に利用する方法について述べたが、今回はレ線写真の黒化度を基にして感光エネルギー量の理論式を用いて生体内部組織の状態を推定する方法を臨床例にしたがって述べる。

方 法

胸 部 編

第1図 胸 部

$$E_1 = \int_{\lambda_0}^{\infty} I_0 e^{-\mu_0 - \mu x} F d\lambda$$

$$E_2 = \int_{\lambda_0}^{\infty} I_0 e^{-\mu_0} F d\lambda$$

1図に示すように、胸廓内に異物(x)があれば当然フィルムに到達する感光エネルギー量(E_1 , E_2)が変化して黒化度(S_1 , S_2)は健側と相違するものと考えられる。

第 2 図

したがってこれとは逆に、フィルムの黒化度(S_1)から示性曲線を媒介として感光エネルギー量(E_1)を求めて、右側の数式に代入すればxの厚さは算出するはずである。

臨床例として左肺に高度の肋膜滲溜液を有するレ線写真(胸厚18cm, 50kVp, 200mA, 0.2sec, 150cm)の相対応する肋骨間の黒化度を測定すると第2図○印中の数値となった。

肋膜滲出液のレ線に対する減弱をその構成物質よりして血液のそれとほぼ相等しいとすると減弱項 $\mu=1.05 \times (2.5\lambda^3 + 0.18)$ となる。胸厚18cmの被射体に1~10cm

まで滲出液が瀦溜したとするとその総合減弱は

$$e^{-7(2.37\lambda^2+0.194)} - n(2.625\lambda^2+0.189)$$

ただし、 n —瀦溜液の厚さ

厚さ 18cm の胸部による減弱は筋肉 7cm に相当するとした（瀦溜液が多量になると肺の見掛けの厚さは減少するも、肺胞が圧縮されるのでレ線に対する減弱は実質的には同一となる）。

第 3 図

$n=1\sim 10$ と代入して感光エネルギー量を算出すると第3図をうる。横軸に瀦溜液の厚さ、左縦軸に単位感光エネルギー量、右縦軸に撮影時における総エネルギー量とこれに対応する黒化度を示性曲線第4図（作製方法は

示性曲線 (50kVp H_2O 7cm さくらタイプ
RYF kV 3 SDIFPD 75cm)

第 4 図

第1報にて既述)より求めてこれと並べてとり、筋肉の厚さ（胸厚該当）をパラメータとして表わしてある。この表により黒化度がわかれば瀦溜液の厚さは直接求められることになる。算出法を簡単に説明すると第2図右胸部鎖骨下1.33の黒化度の部分の筋肉該当値を第3図より求めると7cmとなる（0cm縦軸上の点）。したがって

この部分に瀦溜した液の厚さは7cmのカーブより求められることになる。よってこの部分と対称的な左鎖骨下の黒化度が0.86になっているので、これを図より求めると2.4cmを得る。他も同様にして

右肺黒化度 筋肉該当値 対称左肺黒化度 瀦溜液の厚さ
このようにして求めた計算値による瀦溜液の厚さを第2図の○印中に記入した。

しかしながらこれは計算値であるので事実といかほどの誤差を生ずるかを検するため、つぎの如き基礎実験を行なった。すなわち木片とフィルムにて楔形の箱を作り他の患者より採集した滲出液でこれを充たした。この箱を同一人の健側胸部背面に密着させて撮影せる写真を示す(写真第1図)。白線は液の深さ1cm毎につけた計測用

写真 第 1 図

のフューズである。フィルム面の楔箱の各部分の黒化度と瀦溜液の厚さは実測できるので、楔箱の位置を移動させて撮影した数枚のフィルムについて実測した結果と、計算値による表（第3図）とを比較すると、筋肉該当値6～9cmの範囲では第3図の7cmカーブで代表させたごとく瀦溜液の厚さ6cmまではほとんど一致し、これを超えるにつれて実測値（破線）が計算値より下まわる結果

となった。これにより液の厚さ6cmまでは事実と一致することを確かめたので、爾後自信をもって診断に供して好結果をえている。また肋膜肥厚の場合も同様の方法でこれを算定計測し20mm程度の肥厚までは大差はなかった(ただし、この場合の比較物質にはギブス楔板を使用した)。その他肺癌についても同様方法により算出した厚さと、回転横断面撮影像よりえたる厚さとを比較しても誤差の程度は僅少でともに好結果をえた。

骨 編

写真 第 2 図

写真第2図は、青年と老人との下腿骨のレ線写真を示す。見るとおり骨の黒化度が相違している、これは骨および筋肉の厚さは同一でも骨自体の密度が異なるため、フィルムに到達する感光エネルギー量が変化して起ったものと考えられる(第5図)。胸部の場合と同様レ線写真の黒化度より骨の密度を求めてみる(46kVp 50mA 1sec 100cm)。

健康成人の骨の平均密度は1.9といわれている。骨の病変の場合は正常状態より低下するものと考えられるので、密度 $\rho=1\sim1.9$ まで変化させて密度の変化に伴う感光エネルギー量表を作った(第6図)。密度を横軸に単位感光エネルギー量を左縦軸に、総エネルギー量と黒化度を右縦軸に並べてとり、軟部組織すなわち筋肉の厚さを

第5図 骨 の 場 合

第 6 図

パラメータとして表わしてある(軟部組織および骨の厚さは前後左右径のレ線写真像より計測し得)。筋肉の厚さ6.5cm(骨2cm)の例をとれば、黒化度0.41であれば骨の密度は1.9、黒化度0.57の密度は1.45であることを表わしている。

生体内の骨の密度を直接測定することは難事なので既知物質を使用して比較検討することにした。すなわち $\rho=1\sim1.9$ を変化した場合に實際上計算表のとおりになるかということの立証である。そこで骨の主成分物質と比較的に等しくレ線に対する質量減弱係数が近似しているギブス粉(炭酸カルシウム)を用いて楔形階段を作り第7図のとおり水6.5cmの水槽(筋肉の厚さに該当)の下に置き、上記条件にて撮影しギブス板の厚さに対する黒化度曲線を作ると同図の左表のとおりとなった。今この基礎実験図表と第6図の計算図表とについて考えてみるに、フィルム面のギブス板像の黒化度と骨の黒化度とが相等しい個所について考えると、両者の感光エネルギー量は相等しきゆえ

第7図 ギプス板の厚さに対する黒化度

$$\frac{mAs}{D^2} \int_{\lambda_0}^{0.5} I_0 e^{-\mu_p D} F d\lambda = \frac{mAs}{D^2} \int_{\lambda_0}^{0.5} I_0 e^{-\mu' \rho' D'} F d\lambda$$

(ただし、左辺ギプス板、右辺骨とす)

しかるに、撮影条件は同一でかつ両者の質量減弱係数はほとんど差違のないものを選んだため、

$$\mu_p D \div \mu' \rho' D'$$

つぎに減弱項が上記の $1/m$ になった場合を考えると、

$$\frac{1}{m} (\mu_p D) \div \frac{1}{m} (\mu' \rho' D') \cdots \mu_p \frac{D}{m} \div \mu' \frac{\rho'}{m} D'$$

$$\therefore \frac{mAs}{D^2} \int_{\lambda_0}^{0.5} I_0 e^{-\mu_p \frac{D}{m}} F d\lambda \div \frac{mAs}{D^2} \int_{\lambda_0}^{0.5} I_0 e^{-\mu' \frac{\rho'}{m} D'} F d\lambda$$

すなわちギプス板の厚さが最初の $1/m$ になった個所と、骨の密度が最初の $1/m$ になった個所との写真黒化度は相等しいということの意味する。換言すれば骨の密度の変化率は、黒化度の同価点においてギプス板の厚さの変化率として換算できるということである。

この理を応用し黒化度0.41ギプス板の厚さ13mm骨の密度1.9を基準として、両表の黒化度の等しい点を探りおのおのの変化率を比較し、その実測値を第6図の破線にて示す。

これによると計算値表は密度が1.9~1.4間は基礎実験の結果とよく一致し、これを超えるにつれて実測値が計算値より下まわる結果となった。したがって骨の密度1.9~1.4の範囲では実用に供し差支えないということがわかったので臨床的な1例として、健康なる当院勤務者の年齢別における骨の密度の変化を求めてみると第8図のとおりとなった。すなわち、20歳代では1.960歳代では1.5附近に低下することを示している。右縦軸は密度を同一として厚さに換算した変化率をとってある。これによると20歳代の厚さを100%とすれば60歳代では約80%に低下することを示す。しかしながらこのような場合には個人差による誤差を生じやすいので、なるべく同一

第8図 年齢別骨の密度表

人の骨折および骨髄炎等の密度や厚さの変化する病変の診断に適用されるべきものと考え、これらの臨床例についてただ今追試中なので発表を次号に譲りたいと思う。

考 按

一定条件のフィルムを得ること

復元性の正しい装置で一定条件で撮影し、指定現象をなしかつ一貫性のあるフィルムを使用して、毎回一定条件のフィルムを得るように留意しなくてはならない。しかしながら実際にはなかなかできがたいので適当な補正が必要となる。

装置についてはあらかじめ撮影時間に対する高圧開閉器を含めたタイマー回路の復元性を調べておいて適当に補正する。また電源電圧の変動による管電圧・管電流の誤差を少なくするため、ベノアの硬度計を使用し、2,3回撮影し平均値をとるのも一方法と考えられる(写真2図参照)。

現像補正

レ線プリンターの理を応用し、最初に指定現象(25°C 5min)で黒化度1附近になるとく一定光源による露出を調整しておき、つぎにこの条件にて同時露出せしフィルムを同時現像し4分より30秒ごとに引上げて、現像時間と黒化度の進行状態の関係を示す表をスタンダードとしてあらかじめ作製しておき、実際の撮影の際は鉛板をもって未露光部分を作りこれにプリンターで一定露出を与えこれを現像し、この部分の黒化度とスタンダード表の黒化度とを比較すれば、現像液の疲労を含めた真の現像時間が補正される(写真1図左上辺)。これと同様にレ線照射によるおのおのの黒化度に対する現像時間との関係を表にしておいて(第9図)、前述の方法で真の現像時間がわかればこの表により正確な黒化度を求めることができる。

第9図 現像時間に対する黒化度曲線

フィルムに関しては一貫性のあるフィルムの使用が望ましいが、これができがたい場合は再々示性曲線および現像補正を更新することによって精度は保たれると考えられる。

計算値より実測値が下まわる結果となったのは、減弱項に近似値を使用したために起ったものと考えられる。

示性曲線は諸種の誤差の混入を防ぐため、撮影管電圧にて作製すべきである。

整流方式が相違すると波長の強度分布波形が相違するので整流波形による補正が必要である。

結 論

1) 胸部編において、肋膜滲溜液を有するレ線写真より感光エネルギー量の理論式を用いて滲溜液の厚さを導きだし、これと基礎実験の結果とを比較して滲溜液の厚さが6cmまでは計算図表が実用に供しうることを明らかにした。なお、石灰化巣、肺癌、肉腫等の病変にも適用されることをも言及した。

2) 骨編においても同様に、レ線写真の黒化度より骨の密度を求める方法を述べ、計算図表が密度1.4~1.9範囲内で実用に供しうることを明らかにし、実用例として健康者の年齢別における骨の密度を求めた臨床例をあげた。なお、骨折および骨髓炎等の密度および厚さの変化する病変の診断にも適用しうることを示唆した。

3) 一定条件のフィルムを毎回得ることが困難なのでこれに対する補正方法をも併記した。

以上のごとく理論値を実際に即応することによってレ線写真の診断能力を一段と向上さしうるものと期待されるので、本論に対する先輩諸賢の御批判並びに追試を切望いたします。

最後に本実験に御協力を賜りました国立国府台病院 原田淳、星正司、山崎清弘、中川ハツの諸氏に厚く感謝いたします。

Fujicon 2FE2

自由傾斜透視台型

蓄電器放電式X線装置

放電撮影 80 K.V. 1000 mA 1/30 秒
透視 80 K.V. 3 mA 連続

富士レントゲン工業株式会社

本社 東京都文京区湯島三丁目三番 工場 東京都文京区湯島二丁目
電話 小石川(92) 1561・5362・6814・7578