OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	コバルト60-γ線による遠隔照射に於ける空間的線量分布に就いて(一門照射並に廻轉照射に就いて)
Author(s)	宮川, 正; 森榮, 卯輔; 田中, 利彦
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1954, 14(8), p. 516-528
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15376
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

コバルト60-γ線による遠隔照射に於ける空間的線量分布に就いて (一門照射並に廻轉照射に就いて)

橫濱醫科大學放射線科(主任 宮川正教授)
宮川 正 森榮 卯輔 田中 利彦

Depth Dose Distribution with Radiocobalt-60 Teletherapy.
(Single-portal and Rotational Therapy)
by
Tadashi Miyakawa. Usuke Morie. Toshihiko Tanaka.
Rodiological Department, Yokohama University School of Medicine.
(Director. Prof. T. Miyakawa.)

(昭和29年7月14日受付)

內 容

§ 緒 言
§ 測定方法の概說
§ Co^{60}-γ線と深部治療用X線(150～200kv)の空間的線量分布の比較並に考察
1) 一般論としての深部百分率曲線の比較
2) 入射線量—表面線量—淺層線量(皮下線量)
3) Co^{60}-γ線の深部百分率の實測値と計算値との比較
4) 照射野の大いさによる深部百分率の變化
5) 等線量曲線に就いて
6) 骨組織による影響
§ Co^{60}-γ線による廻轉照射に於ける空間的線量分布
1) 測定結果並に考察
2) 實測値と計算値との比較並に檢討
§ 容積線量に就いての考察
1) 容積線量の算出
2) 計算結果
§ 總 括

§ 緒 言

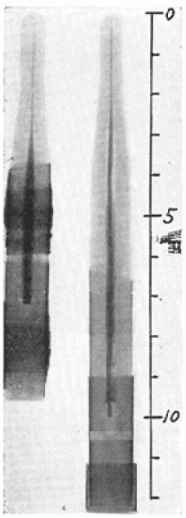
吾國に於ける深部X線治療の現況は一般にX線管電壓150～200KVであり，技術面から所謂超高壓X線治療裝置の活用はなかなか實施されず，歐米の是に比し遙かに劣つて居る感がある．近時コバルト—60の出現により吾國に於ては單にラジウム代用と云う意味より寧ろ超高壓X線治療に準ずるγ線深部治療が可能となつて來たわけである．大量コバルト—60遠隔照射治療(Telecobalt therapy, Teletherapy)が各施設に於て行われ，コバルト—60の需要は急激に增して來て居る．一方コバルト—60(其の他の人工放射性同位元素も)の入手も以前に比すれば比較的容易となり，順調に進行して居るように思われる．

既に歐米の文獻にコバルト—60遠隔照射の空間的線量分布に關する報告は數多く，是が深部治療に優れて居ることは周知のことである．當敎室に於ても既に1カ年餘本照射法を臨床的に使用し，一方空間的線量分布の測定を行つた．本照射法が從來の吾國に於ける深部X線照射(150～200kv)より深部百分率が大であると漠然と考えて居たこと以外に，測定中臨床面にも必要な色々な點に氣付き，是等を報告したいと思う．

§ 測定方法の概說

蓄電器式電離槽の方法により測定した．詳細は略すが使用した蓄電器式電離槽のX線寫眞は圖1の如くで電離槽容積は約$\pi\times(0.3)^2\times0.5\,cm^3$≒0.14$cm^3$，電離槽壁は藥用カプセルにレジンを塗布

圖1　蓄電器式電離槽



耐濕性となし，内側にグラフアイトを塗布したもので，此の壁の比重(1.0～1.1)は後述するフアントームの比重に近い．内極電壓降下は215～100Vの間を使用した．

フアントーム：—ライスフアントームを使用した．米粒を碎き是に少量の小麥粉を出來るだけ均等に混じて密度を950g/1000ccとなし（一般の米粒のまゝでは密度750～800g/1000cc）是をパラフインを塗布した厚紙（比重1.03厚さ1.3mm)を直徑20cm高さ20cmの圓筒となしたものゝ内に充滿せしめた（此のフアントームの比重を0.95と見なす）．表面線量測定のためには後述する如く特殊なパラフインフアントーム(比重0.92)を使用した．測定術式は一般に用いられて居る方法であるから省略する．

鉛照射筒並に線源：

コバルト—60約21 Curies(7 Curies—直徑1cm厚さ約1mmの圓筒—を3枚重ねたもの．從つて線源の大きさは照射方向で直徑1cmの圓板である．コバルトの自己吸收を無視して約21 Curies)を壁の厚さ16～17cmの鉛箱の中央に位置せしめた．(鉛箱は鉛平板ブロツクをくみ合せたもの)更に照射孔の大いさを調節するために5×10×15 cm³の鉛ブロツクを4コ(鉛絞り)用いた．

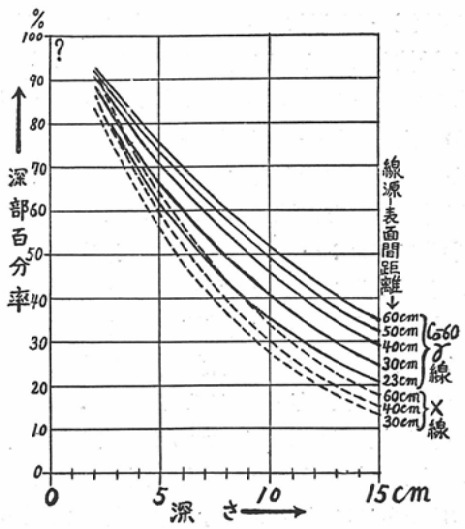
此の照射孔（鉛絞り）からのγ線によると二次線（主として粒子線か）を出來るだけ除くために，厚さ2.5mmのAl.濾過板にて鉛絞りを覆つた（臨床的にも二次線による皮膚障碍を輕減するため此のAl.濾過板は必要である).

§Co—60 γ線と深部治療用X線（150～200kv）の空間的線量分布の比較並に考察

圖2は吾々の實測値並に歐米の文獻より得たCo-60γ線の深部百分率曲線（後述する計算値）とGrebe u. Wiebeの表から得たX線深部百分率曲線との比較である．前者が深部率の大なることは云うまでもない．然し圖2に示す比較方法が果して妥當であるか否かは疑問である．即ち圖2では表面に近い部分の曲線が描いてないがCo-60γ線の場合は表面より數mmの深さの深部率の最大の所を100%となし，X線の方は表面線量を100%として居ることである．然らばCo-60γ線も表面を100%として比較すべきか否か．是の點は今回の報告で最も檢討したい點である．後述する如くCo-60γ線表面線量の測定或は定義が嚴密な意味では非常に困難である．結局表面線量の項で述べる理由で，深部率の比較は圖2の方法が現階段では臨床的には一番適切だろうと考えた．

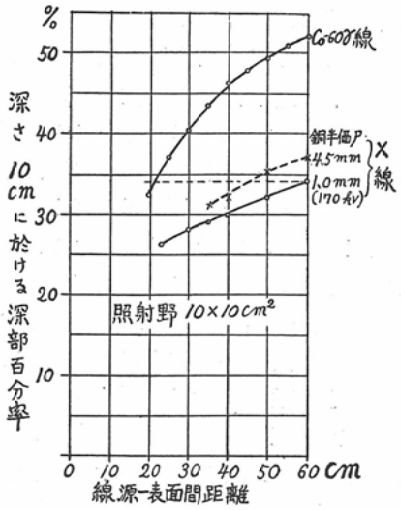
尙解り易くするために圖2より深さ10cmに於ける深部百分率と線源—表面間距離との關係を圖

圖2　種々なる線源—表面間距離に於ける深部百分率曲線



Co-60γ線とX線(銅半價層1mm)との比較

圖3　深さ10cm に於ける深部百分率と線源—表面間距離との關係



Co-60γ 線とX線との比較

3に示す. Co-60γ線源量が少い場合(現在日本に於ては20～100Curies)は照射量の絕對値を增すためには可及的に線源—表面間距離を短くしたいわけである. 從來の深部X線治療(150～200kv)の線源—表面間60cm の場合の深さ10cm に於ける深部率はCo-60γ 線の場合の線源—表面間23～25cm にて得られる. 從つて Co-60 が少量の場合は徒らに線源—表面間距離を長くしなくてもよいと云える. 但し線源—表面間 25～40cm の時は特に前述せる如く鉛絞りよりこの二次線による皮膚障碍を輕減するため 2～3 mmAl. の濾過板が必要である.

2)　入射線量—表面線量—淺層線量(皮下線):—今回の測定中最も檢討すべきものである. 從來のX線の場合と同樣に圖7, b に示す如く電離槽を半分フアントームに沒して表面線量を測定した. 照射野10×10cm² 線源—表面間40cm Co-60γ線の場合從來通りの指頭電離槽測定法を行うと, 第一に目立つことは空氣中線量(入射線量)と表面線量との差が極く僅かであることである. 試みに170 kv (濾過板0.5mmCu+1mmAl) のX線と比較する. 入射線量を 100 とすると表面線量はX線の場合124 であるに對し Co-60γ 線の場合は 100～103 であつた.

圖4　表面淺層に於ける線量分布の測定

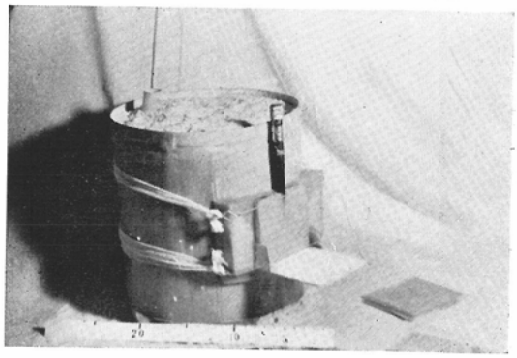
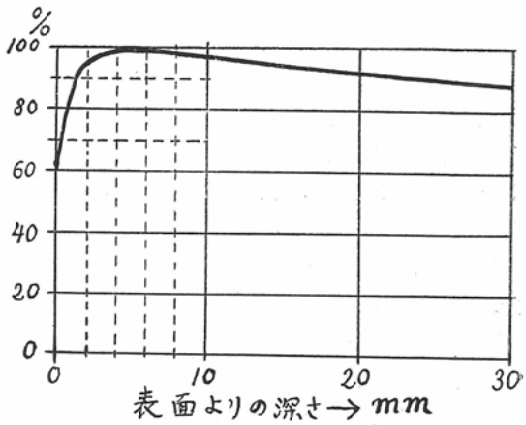
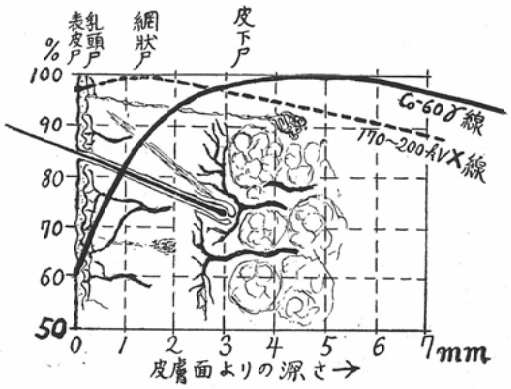


圖5　表面淺層部深部百分率曲線



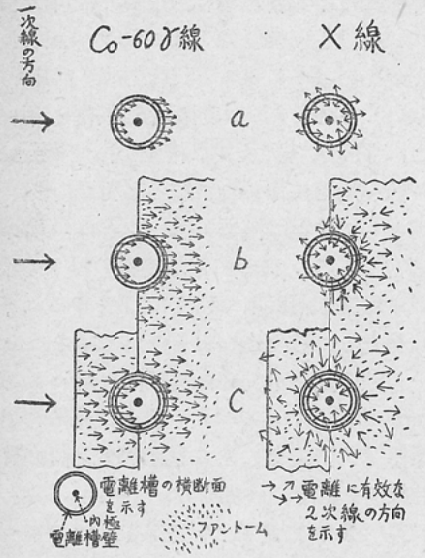
線源—電離槽間距離40cm
フアントームの比重1.0に換算したもの

圖6　皮膚—皮下組織に於ける線量分布



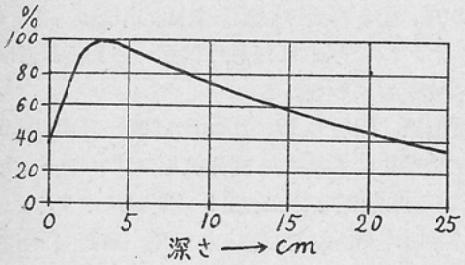
Co 60 γ 線の場合, 皮膚面に於ける線量(電離～吸收エネルギー)の割合は實際は此の曲線の示す値(約62%)より遙かに少ない.

圖7　指頭電離槽壁並にフアントームに於ける散亂線(粒子線を含む)の比較



a-空氣中線量　b-表面線量　c-表面より數mmの深さに於ける線量(空氣による散亂，Co-60 γ線の側方一，背後散亂は僅かであるから書いてない)

圖8　15MeV X線の深原百分率曲線(文獻)



焦點表面間50cm (Strahlentherapie 92, Bd. Ht 4, S. 523, 1953)

又照射野の大いさを變えても Co-γ 線の場合は表面線量は餘り變化しない．X線の場合は Grebe u. Wiebe の表からわかる如く照射野が大となるに從い表面線量は增して居る．之は Co-γ 線の場合は背後散亂並に側方散亂が非常に少ないことを意味する．2次線(散亂)の大部分は前方散亂である．次に電離槽をフアントーム內に僅か沒すると其の線量は急激に增加する．斯る淺層の空間的線量分布を云々するためにはもつと小さい電離槽を使用すべきであるが，今回は取敢えず次の如き方法をとつて淺層部の線量分布の概略を測定した．

圖4に示す如く，ライスフアントームの表面にパラフイン(比重0.92)にて電離槽が丁度半分沒する凹部を作つた附加パラフインフアントームをとりつけた．線源側にも同樣に電離槽が半分沒する凹部のあるパラフイン板をつくり前記附加フアントームとの間に電離槽を密着してはさんだ．更に線源側に厚さ1.4～1.5mm のパラフイン板を次々に密着重ねて測定した．圖5はその測定結果である．表面より數mm (4～6mm) の部分が最大値を示して居る．此の最大値と線源側のパラフイン板の全く無い場合の値(從來の表面線量)との差は測定する電離槽壁の厚さによつて異つて來る．即ち電離槽壁の薄い程その差は大となる (勿論電離槽壁の質によつても大いに影響される)．

圖7に示す如く γ 線測定の場合，電離にあずかるものは大部分は電離槽壁から出る二次線である．而も背後散亂，側方散亂が少ないから電離の大部分は電離槽壁の線源側の壁よりの二次線 (前方散亂) によるとみるべきである (フアントーム側の電離槽壁よりの二次線は電離槽內に入らない)．云いかえれば電離槽壁が既にフアントームであり嚴密な意味での表面線量ではないわけである．若し厚い壁の電離槽を用いれば，たとえ表面に位置せしめても既に壁の厚さだけ表面より深い所を測定して居ることになる．X線 (150～400kv—超高壓でないもの) の場合は背後散亂，側方散散が多いから電離槽壁の厚さは (勿論餘り厚くては不可) Co-60 γ 線程表面線量測定に影響して來ない．上記の理由(圖7に示す)で Co-60 γ 線の場合從來の表面線量測定法では其の値が (特に淺層の最高値との比) 電離槽壁の質並に厚さによつて非常に異つて來るわけである．以上のことは Co-60 γ 線の空氣中線量測定或は從來の表面線量測定の場合若し電離槽壁の厚さに僅か不均等な部分があつても此の電離槽は方向依存性が可成りあることを意味する．即ち幾分厚い部分が線源側に位置されると測定値は大となる．(附の項で後記する)

深部百分率を表す時どこを100%とすべきか：

測定の見解から一は前記せる如く從來の表面線量を100%とすると深部百分率は電離槽壁の僅か

の差(質並に厚さ)により非常に異つて來る. 表面より數mmの深さの最大値は既に數mmの厚さによる散亂(前方散亂)附加が測定されて居るのであるから電離槽壁の厚さ(一定以內)は餘り影響されて來ない. 從つて數mmの深さの最大値を100%として深部率を表した方がよい.

臨床面から一深部治療を行う時, 深部百分率の値は皮膚の障碍を豫知するため非常に役立つわけである. 試みに圖5に示す淺層の空間的線量分布を一般の皮膚組織學的見方よりすると大體圖6の如くなる. Co-60γ線の場合皮下4～6mmが最大値であるが此の部分は皮下層の血管が多い, 此の血管層の變化は當然皮膚の障碍と密接な關係がある(勿論更に淺層の皮內血管層の變化がより皮膚障碍に關係あるが). 若しCo-60γ線の場合從來の表面線量を用いたとすれば, その値は測定法により異るから皮膚の障碍を豫知することに不適當である. 結論としてCo-60γ線の場合は皮膚面より數mmの深さが最高値であり此の層まで皮膚變化に關係ありとして, 此の値を100%とし皮膚線量(或は皮下線量)とみなした方が臨床的にも便利と考える.

將來超高壓X線裝置が發達し, Co-60γ線より遙かに硬いX線が使用される場合(既に吾國に於ても治療用6.7MeVベータートロンが製作された)は前記最大値は更に深層に移行し,(參考にまで圖8に15MeVのX線の深部百分率曲線を示す)Co60-γ線の場合の如く皮下層とは云えない深さ, (15MaV X線では3cm)が最大値となれば皮膚線量を更めて考えなおすべきであり又深部百分率の定義を變えなくてはならない.

(現在の深部百分率$=\frac{\text{深部線量}}{\text{表面線量}}\times 100\%$の定義は不可)

附. 空氣中線量の測定:—

ラジウムのγ線測定で既に解決して居ることであるが, 吾國に於てはラジウムの遠隔大量照射は極く一部の施設で而も小規模にしか行われて居ない. 現在の如くCo-60γによる大量γ線源遠隔照射がX線深部治療と同樣に行われる傾向にあれば各施設で入射線量測定が必要となる(輸入したCo-60の放射能の强さは幾分誤差があり, 有效放射能の計算値では不適當な場合がある). 簡單な測定法としては有效放射能既知のCo-60γ線源と比較することがよい(ラジウムと比較しても臨床的には支障ない). 比較する場合指頭電離槽を用いるとすると, 前記せる如く電離槽壁が薄い場合は壁の厚さが餘程均等に作られて居る必要があり, γ線測定用としては電離槽壁が薄いことは物理學的にも不適當である. 從つて電離槽壁の厚さの不均等性が或る程度無視出來る程度に厚くする(又一方二次線を充分に發生せしめるに足る厚さ)か, 或はたとえ壁の薄い不均等な電離槽を用いる場合でも數mmの厚さのパラフイン等を出來るだけ均等に電離槽壁に密着せしめて電離測定を行い標準線源と比較すればよいと考える.

「參考0.5mm白金にて濾過されたラジウム1mgよりのγ線量は10cm 60分で約0.084r同じ條件でCo-60 1mcは約0.13r(0.084×1.5～1.6)」

2) Co-60γ線の深部百分率の實測値と計算値との比較

目的. 或る特定の線源—表面間距離の深部百分率がわかつて居れば任意の線源—表面間距離の深部百分率が求められるか.

實測値. 照射野10×10cm² 線源—表面間40cm前記測定法にて求めた實測値をフアントームの比重1.0に換算したものを圖9の實線に示す.

計算値. 歐米の文獻より線源—表面間80cm～70cm(Radiology Vol. 62 No. 2等)の深部百分率曲線より距離の2乘による減弱を除いた深部率曲線を求め, 更に距離の2乘による減弱を線源表面間40cmにして計算したものを圖9點線に示す. 換算法は表面より5mmの深さを100%とする. (嚴密に云えば線源—表面間距離により最高深部率の深さは多少違つて來る).

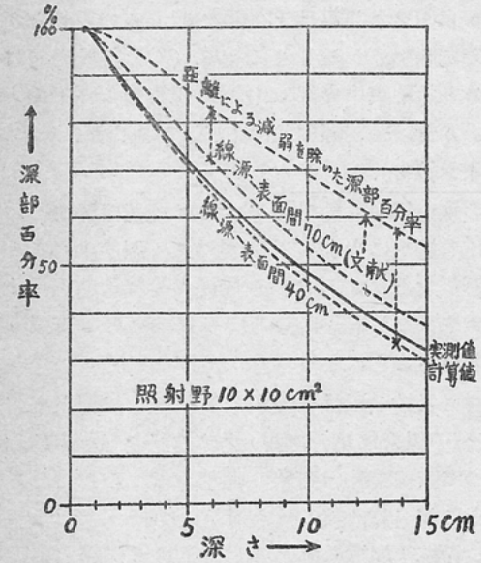
線源—表面間70cmの時の表面よりXcmの深さの深部百分率をD_{70}(文獻より)とし, 求める線源—表面間40cmの場合の深さXcmの深部百分率をD_{40}とすれば,

$$D_{40}=\underbrace{D_{70}\times\frac{(70+X)^2}{(70+0.5)^2}}\times\frac{(40+0.5)^2}{(40+X)^2}$$

となる

(距離による減弱を除いた深部百分率になる)

圖 9　Co-60 γ 線の深部百分率の計算値と實測値との比較



上記計算法にて得た D_{40} の曲線は圖 9 の點線である．圖 9 が示す如く實測値と計算値とは殆ど一致する．

從つて豫め距離による減弱を除いた深部百分率曲線(實際にはあり得ない深部百分率曲線)を計算により求めておけば，極端に短い線源表面間距離でない限り，一般に用いられて居る任意線源—表面間距離に於ける深部百分率曲線が計算により求め得る．即ち距離による減弱を除いた深部百分率曲線(圖 9 の一番上の曲線)より得られる深さ Xcm の深部百分率を D_∞ とし，任意の線源—表面間距離 hcm に於ける深さ Xcm の深部百分率を Dh とすれば

$$Dh = D_\infty \times \frac{(h+0.5)^2}{(h+x)^2}$$ となる

(但し深さ 5mm を 100% とする)

此の計算法は從來の深部 X 線の場合にも或る程度用いられるが，X 線の場合側方散亂等が多く線束の擴りが變つて來ると計算値は Co-60 γ 線の場合程實測値に一致しない．

更に次項に述べる如く Co-60γ 線の場合一般に治療に用いられる照射野の範圍では深部率が照射野の大いさに餘り影響されないから，此の深部百分率の計算法は臨床上大いに活用出來ると思う．參

表 1　Co-60 γ 線遠隔照射に於ける深部百分率

照射野 / 線源—表面間距離 / 深さ (cm)	100cm²				25cm²	35cm²	100cm²	
	距離による減弱を除いた深部百分率	70cm	40cm				30cm	
		文　献	計算値	實測値	實測値	計算値	計算値	實測値
0								
0.4～0.6	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
1	99.0	97.6	96.6	97.4		97.0	96.0	96.5
2	97.5	93.4	90.7	90.0	89.8	89.3	88.5	
3	94.3	88.0	83.8	84.0		82.4	80.8	81.2
4	91.1	82.6	77.1	77.5	75.5	75.0	73.1	
5	86.8	76.8	70.2	71.0	68.9	68.5	66.0	67.0
6	83.2	71.5	64.7			62.0	60.0	
7	79.4	66.6	59.0	61.5	58.2	57.0	54.0	
8	75.5	61.7	53.8			51.5	49.0	
9	72.0	57.2	49.2	52.0		47.0	44.0	
10	69.5	54.0	45.6	48.1	45.1	43.1	40.4	42.6
11	66.0	50.0	41.6	44.8		39.0	37.0	
12	63.0	46.5	38.2			36.0	33.2	
13	60.0	43.3	35.0	37.5	35.0	32.0	30.0	
14	56.5	39.8	31.8			29.0	27.1	
15	53.9	37.1	29.2	32.5	29.0	26.5	24.6	27.0
16	51.9	34.9	27.1			24.0	22.8	
17	48.6	31.9	24.6	26.4	23.5	22.0	20.5	
18	47.0	30.1	22.9			20.0	19.0	
19	44.6	28.0	21.0	22.0		18.0	17.3	
20	42.4	26.0	19.3	°20.0	°17.2	16.5	15.8	°16.3

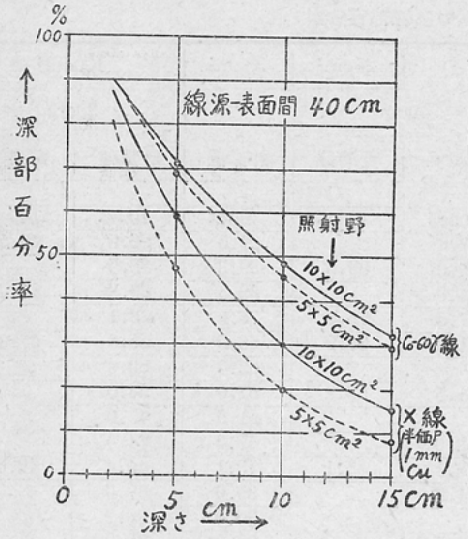
° 實測値の 20cm に於ける値は射出側の表面線量 (Exit Dose)

考にまで種々なる照射條件に於ける深部百分率を表1に示す.

3) 照射野の大いさによる深部率の變化:

Co-60γ線の場合は側方散亂, 背後散亂が極く僅かで散亂附加の大部分は第一次線の方向並に此の方向に極く近い二次線(前方散亂)によるものである. 從つて照射野の大いさが深部率に及ぼす影響はX線(超高壓を除く)程でないことは大體想像出來ることであるが, 一應實測した. 線源—表面間40cmで照射野の大いさ25cm²と100cm²との深部百分率曲線は圖10の如くで, 同圖のX線の場合(Grebe u. Wiebe の表より)に比し其の差が僅かである. 一般に一門照射の場合使用される照射野は40～150cm²であるから臨床的には深部率の照射野による變化は餘り考慮しなくてよいと考えられる. 唯特に狹い線束を用うる場合はCo-60γ線といえども深部率は減ると考える. これは今後實測する豫定である.

圖10 照射野の大いさと深部百分率との關係
Co-60γ線とX線との比較



4) 等線量曲線に就いて:

實測はして居ないが主線束内に於て理論的に考えられることはX線の場合側方, 後方散亂が大であるから, ある特定の深さの線量分布は主線束の中央部が可成り大となる. 而るにCo-60γ線の場合は側方—後方散亂が僅かであるから主線束の中央部の線量が目立つて大となることはない, 即ち主線束内では病巢はCo-60γ線の方がX線よりも均等に照射されることになる.(然し筧氏の報告によると主線束中央部にむしろ線量の少い不均等部分ありと, 一線源の並べ方によるものか. 昭和29年4月總會).

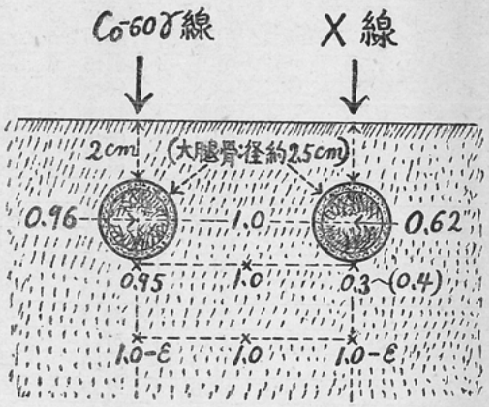
主線束周緣に於いてCo-60γ線源はX線の焦點に比し遙かに大である. 從つて線源の半影による影響が大となり, 主線束周緣の等線量曲線は此のためやゝなだらかになる. 主線束外にも可成り照射されることになる.

次に鉛絞り周緣を透過するγ線も無視出來ない(X線の場合は殆ど無視)之は前記の半影の部分に重つて主線束外の周緣の照射を增すことになるが半影に較べれば其の量は遙かに少ない. 以上半影並に鉛絞り周緣透過γ線は後記する廻轉照射の場合の深部率に影響するので其の項に於て概略の計算値を示す.

5) 骨組織による影響:

直徑約2.5cmの大腿骨をフアントーム内に沒して骨による深部率の變化を實測した. 各深さに於いて骨を透過しない部位の線量を1とすると, 圖11の如くなる. 測定個所が少いので詳細を論じられないが, X線の場合は骨直下(骨に接して)は同

圖11 骨組織による影響



數値は骨のない部位の同じ深さの線量を1.0としたときの線量比である骨中央の値はフイルム黑化法による, 他は電離槽

じ深さの骨の無い部位の30～40%である，然るに骨直下より更に約2.5～3cm の深さでは周圍と大差ない側方散亂により補われると考える（篩照射法の原理から納得出來る）.

Co-60 γ 線の場合は骨直下は90～95%であり更に2～3cmの深さも周圍と大差ない．X線の場合でも骨から2～3cm 以上深い所では(太い骨の場合は更に深くなる）比較的均等に照射されることになるが骨直下に病巣がある時は病巣線量が不足する．骨並にその周圍に近く病巣がある時は Co-60 γ 線が遙かに優れて居る（例えば頭部，乳癌手術後の豫防照射等）．乳癌手術後の豫防照射は斯る見解から Co-60，Radium による間隔照射（間隔3～5cm)がよいと考える．尙，Co-60 γ 線の場合フイルム黒化法によると骨組織の適當な厚さの部位では線量が增加して居る部分がある．骨による前方散亂附加によるもの考えるが，未だ詳しく測定して居ないから省略する．

§ Co-60γ 線による廻轉照射に於ける空間的線量分布

照射條件

線源—鉛絞り間距離　21.5cm(∵20cm)
線源—表面間距離　41.5cm(∵40cm)
線源—廻轉軸距離　51.5cm(∵50cm)
鉛絞りの幅　1.5cm，2.5cm，4cm
廻轉角度　360度
Co-60 γ 線源直徑1cm の圓板　約21 Curies
フアントーム：ライスフアントーム(密度950 g/100cc 前述)直徑20cm 高さ20cm の圓筒電離槽，前述の如し，

圖12，圖15に照射の狀況並に幾何學的條件を示す「之等の測定條件は以前中泉，宮川がX線による廻轉照射の空間的線量分布を測定した條件（日，「レントゲン」誌，16卷）に出來るだけ一致さしたもので，X線の場合と比較するためである.」

1)　測定結果並に考察：

圖13は測定結果である．線束が狹くなる程廻轉軸に於ける深部率が大となることは當然である．廻轉軸に於ける深部百分率と主線束の幅との關係を圖14に示す．X線の場合より深部率が幾分大である然しγ線の硬度から考えてもつと深部率が大きくなると期待し勝ちであるが，實測の結果は圖14の如くであつてX線に比して大して增して居ない．之は次の諸因子に基くと考える.

圖12　廻轉照射の空間的線分布の測定

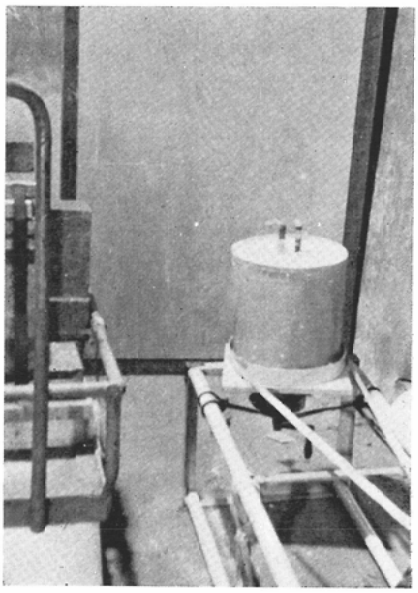
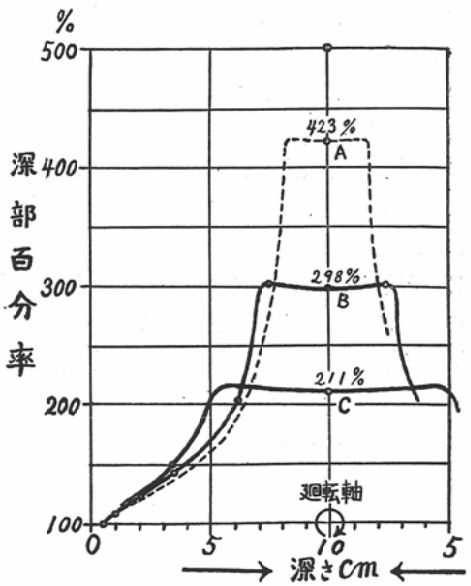
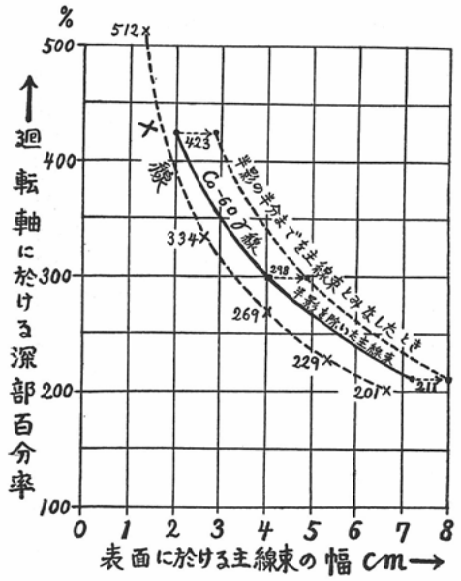


圖13　Co-60γ線による廻轉照射法に於ける空間的線量分布



鉛絞り幅：A-1.5cm，B 2.5cm，C-4cm，
(深さ0.5cm の處を100%とした)

圖14 主線束の幅と廻轉軸に於ける深部百分率との關係



Co-60γ線とX線(銅半價層0.89mm)との比較

(1) X線に比し線源の反對側の表面線量（射出表面線量 Exit Dose)が大となること.

(2) X線に比し線源が大きいから半影による表面線量(入射側，射出側共に)が增すこと.

(3) 鉛絞り周緣透過 γ 線が無視出來ない線量で，之による表面線量が增すこと（X線の場合は無視出來る).

(4) 鉛絞り內面よりの二次線(Al 濾過板を透過するもの）による表面線量の增加.

以上の諸因子がX線の場合と大部異るためと考える.（フアントーム內の側方—背後散亂による表面量の增加はX線の方が大である).

2) 實測値と計算値との比較並に檢討：

前項の諸因子(1, 2, 3等)の概略の計算値を求め，數値的にどの程度各因子が深部率に影響するかを知り，一方斯くして求めた廻轉軸に於ける深部百分率の計算と前記の實測値とを比較檢討する.

圖15に示す如く表面(0.5cm の深さとする)のある一點が受ける量として主線束により360度廻轉中入射側の表面（0.5cm の深さ）で照射される總量をI射出側の表面で照射される總量を i, 半影(1カ所)により照射される總量として入射側をH, 射出側をh鉛絞り周緣透過 γ 線により照射される總量として入射側を P, 射出側を p, 其の他フアントーム內の散亂(僅か)鉛絞りよりの散亂等より照射される總量をSとする. 360° 廻轉中廻轉軸に於ける總量を D_0 とすれば廻轉軸に於ける深部百分率は

$$\frac{D_0\times 100\%}{I+i+2(H+h+P+p)+S}$$ である

Sは計算不可能であるが I, i, H, h, P, p, の概略の計算値を求めてみる.

I, i, H, h, の計算

圖16に示す如く入射側，射出側の表面に於ける主線束並に半影の幅を L_I, L_i, L_H, L_h とし，表面より0.5cm の深さの圓に於て主線束並に半影を廻轉軸が含む角度を θ_I θ_i θ_H θ_h とすると圖形計算により表2の如き値を得る. L_I, L_i, L_H, L_h は計算には必要な値ではないが主線束に對し半影の大いさを示すためにかゝげた.

P, p の計算—

鉛絞り周緣透過 γ 線量のフアレトーム表面に於

圖 15

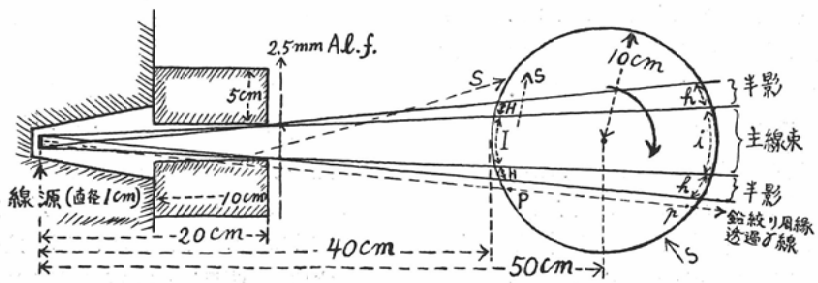


圖　16

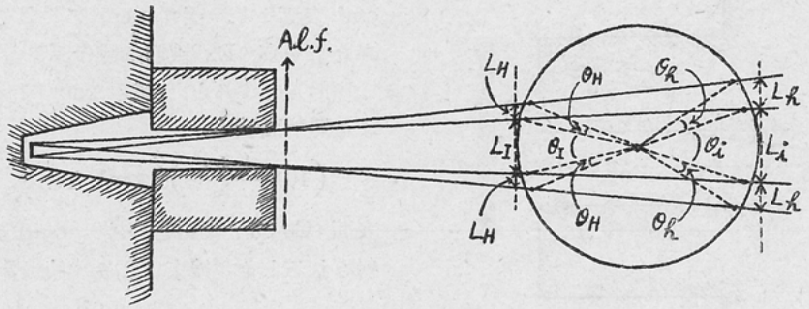


表　2　　圖16に於ける各部の數値

鉛絞りの幅	LI	Li	θI	θi	LH	Lh	θH	θh
1.5cm	2cm	2.5cm	12.1°(100)	15.2°(18)	1cm	2cm	6.3°(50)	12°(9)
2.5cm	4cm	5.5cm	24.9°(100)	33.4°(18.5)	1cm	2cm	7°(50)	12.5°(10)
4.0cm	7cm	10cm	43.9°(100)	61.3°(20)	1cm	2cm	8°(50)	13.5°(12)

表中(　)の値は入射側の表面より0.5cm の深さに於ける主線束の平均强さを100としたときの各部位に於ける．平均强さである．廻轉軸に於ける强さは45.1(表1，圖10の照射野 5×5 cm² の深さ10cm に於ける深部百分率)

ける分布を求めることは線源に擴りがあるから非常に困難であるが，廻轉照射の場合は此のγ線により表面の一點が廻轉中に照射される總量がわかればよい．今回は此の意味で計算に便利なため點線源として計算した．圖17に示す如く鉛絞りの幅を2Bcm 鉛絞り邊緣よりの距りをxcm とすれば鉛絞りの位置に於ける此のγ線總線量は

$$K\int_0^{(10\sim15)} e^{-\alpha\frac{x_1\sqrt{20^2+(x+B)^2}}{x+B}}dx$$

となる（鉛の半價層を1.2cmとした）是を更に圖形計算をすると，(射出側はファントームによる吸收を計算した圖15に於ける P, p の値は表3の如くなる

表2，表3の値より計算して得られる I, i, H,

表　3

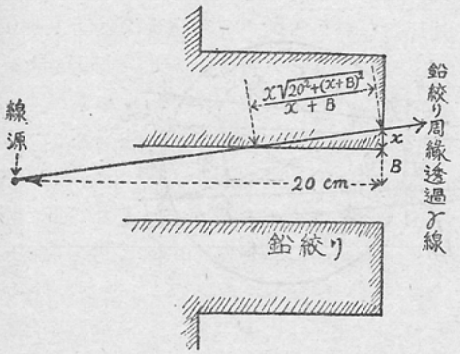
鉛絞りの幅→	1.5cm	2.5cm	4cm
入射側—P	15.2	27.6	46.8
射出側—p	4.4	7.8	16.5

(但し此の數値は入射側主線束の0.5cm の深さに於ける 1cm² のγ線量を100としたときの値)

表4　表2並に3より得られる廻轉軸に於ける深部百分率の計算値と圖13並に14に於ける實測値との比較

鉛絞りの幅→			1.5cm	2.5cm	4cm
表面線量（計算値）(但し0.5cm の深さの線量)	主線束によるもの	入射側—I	100×12.1=1210	100×24.9=2490	100×43.9=4390
		射出側—i	18×15.2=274	18.5×33.4=618	20×61.3=1226
	半影によるもの	入射側—2H	50×6.3×2=630	50×7×2=700	50×8×2=800
		射出側—2h	9×12×2=217	10×12.5×2=250	12×13.5×2=324
	鉛絞り周緣透過によるもの	入射側—2P	15.2×2=30.4	27.6×2=55	46.8×2=94
		射出側—2p	4.4×2=9	7.8×2=16	16.5×2=33
	計=I+i+2(H+h+P+p)		2370	4129	6867
廻轉軸に於ける總照射線量-D_0（計算）			45.1×360=16210（圖10の値，實際は照射野の大いさにより幾分變る）		
廻轉軸に於ける深部百分率	計算値；$\frac{D_0\times100\%}{I+i+2(H+h+P+p)}$		683%	392%	236%
	實測値：(圖13並に14より)		423%	298%	211%

圖 17



h, P, p, 並に廻轉軸に於ける深部百分率の計算値と實測側とを表4に示す.

表4の計算値と實測値とは可成り差がある. 之は表中の I, i, H, h, P, p, の値が實際と少しづゝ違つて居ること, 又 D_0 が照射野の大いさにより幾分變つて來ること (X線の場合程は變らない) は當然考えられるが, 是等の誤差を大幅にみても

$$\text{計算値}\frac{D_0\times 100\%}{I+i+2(H+h+P+p)}\quad \text{の分母即ち表面線}$$

量として1000(表4の値の單位)位不足する. 之は前記したSによるものと考えられるか? Sとしては照射筒特に鉛絞り附近から出る第2次線が主であると考える. 今回の照射條件として鉛絞り—表面間距離が20cm であるから Al 濾過板があつても此の因子によるものは可成り考えられる. 尙フアントームによる側方散亂も僅かであるがSの中に含まれる. 又實驗室が狹いため周圍よりの散亂による表面量の增加(極く僅かと考えるが)も考慮しなくてはならない.

§ 容積線量に就ての考察

深部治療に於て全身障碍を出來るだけ輕減するために病巢線量が一定なら, 容積線量を可及的に小となすべきである. 斯る見解から Co-60 γ 線遠隔照射とX線 (銅半價層 1 mm) 深部治療の場合を比較してみる.

容積線量の算出:—

被照射體の各深さに於ける照射面積と其の大さに於ける放射線の量 (深部率) との積を入射表面より射出表面まで積分したものを求める (圖形計算によつた).

線源—表面間距離を hcm 照射野 (表面)10×10 cm^2 表面よりの深さ xcm に於ける深部率 (百分率ならず)を Dx 被照射體の厚さを20cm (腹部等の照射) とすると, 深さ xcm に於ける主線束による照射面積は

$$\left(10\times\frac{h+x}{h}\right)^2\ cm^2\ \text{となる.}$$

表面 (Co-60 γ 線のときは0.5cmの深さ) が1r 照射されるとき主線束による容積線量を V_0 とすれば

$$V_0=(\text{容積線量の單位})\times\int_0^{20}Dx\times\left(10\times\frac{h+x}{h}\right)^2dx$$

となる.

從つて xcm 深のさの病巢に 1r 照射する時の容積線量を Vx とすれば, $Vx=V_0\times\frac{1}{Dx}$ となる. 「$Dx\left(10\times\frac{h+x}{h}\right)^2$ は距離による減弱を除いた深部百分率に略ゞ等しくなる」.

Co-60 γ 線の場合の主線束外の散亂線量は無視した. X線の場合主線束外の散亂線を無視するわけにはいかない, 而も此の種の散亂線量の計算或は測定は非常に困難であるので次の如き方法をとつた.

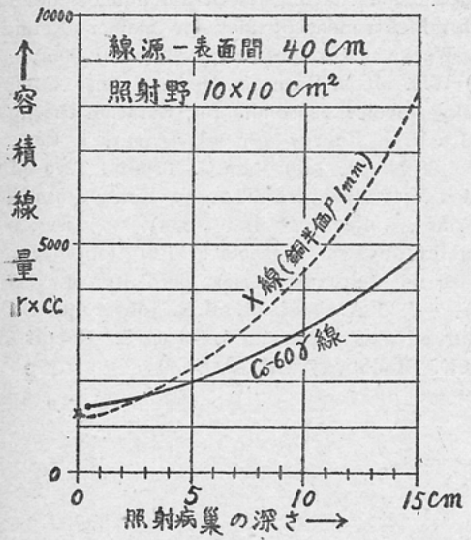
Dx として照射野10×10cm^2 の深部率を使用すると主線外の散亂線を無視したことになるので以下述べる理由で Grebe u. Wiebe の表の照射野400cm^2 の深部率を用いる方が妥當と考えた. 卽ち400cm^2の場合は照射野の增大に伴う深部率の增大は略ゞ飽和に近い. 從つて此の深部率値は照射量として問題にし得る散亂線がフアントーム內で到達し得る最大距離 (嚴密に云えば斯る有限の距離はないが) に殆ど近いものまで含められて居るとみなし得る. 見方を變えれば照射野 10×10cm^2 の場合の主線束外の散亂線の略ゞ總和と主線束による線量の和が大照射野(400cm^2)の深部率値に近いものとみなし得る. 今回の計算では Dx の値として Grebe u. Wiebe の表の照射野400cm^2 の値を用いた. Co-60γ線の場合, 半影を考えるべきであるが半影の半分までを主線束とみなせば總和には變らない. 鉛絞り周緣透過 γ 線並に其の他の散亂線は今回は計算に入れなかつた.

計算結果:—

線源—表面間 40cm，照射野10×10cm²（Co-60γ線の場合は半影の半分までを照射野とする），種々なる深さの病巣に1r照射するための容積線量を圖18に示す．

（前項の V_0 はX線の場合約1300 Co-60γ線の場合は 1410 になる）．

圖18 一定の病巣線量を與えるための照射病巣の深さと容積線量との關係（被照射體の厚さ20cm）



Co-60γ線とX線との比較

圖19 種々なる線源表面間距離に於いて一定の病巣線量を與えるための照射病巣の深さと容積線量との關係（被照射體の厚さ20cm）

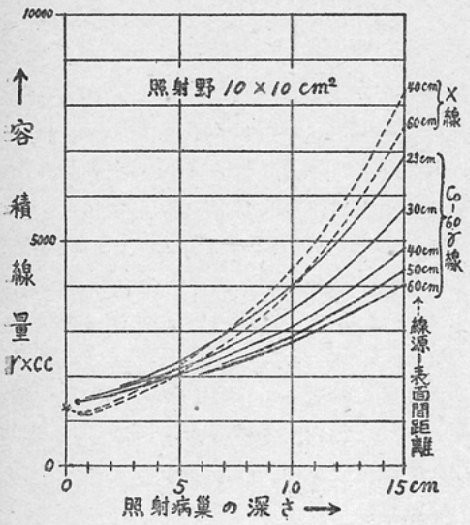


圖18からわかる如く容積線量は表面より 0～3.5 cm の比較的淺層の病巣に一定の病巣線量を照射するためにはX線の方が幾分小となるが，之以上深い所の病巣照射の場合は Co-60γ線の方が遙かに優れて居る．試みに種々なる線源—表面間距離の容積線量を求めると圖19の如くなる此の圖に於けるX線の曲線（點線）と Co-60γ線の曲線（實線）との交點の照射病巣の深さからみると容積線量の見解からも Co-60γ線は線源—表面間距離が可成り短い場合でもX線より優れて居ることがわかる．

§總　括

1) 種々なる線源—表面間距離に於けるCo-60γ線による遠隔照射の空間的線量分布を蓄電器式電離槽並にライスフアントム（碎米粒＋小麥粉密度 950g/1000cc）を使用，實測並に計算により求めX線（170～200kv）の場合と比較檢討した．

2) Cc-60γ線の方がX線に比し深部百分率の大なることは云うまでもない．線源—表面間23～25cm でも從來の深部X線治療の焦點—表面間 60 cmの深部百分率に匹敵するから，Co-60 が少量の場合，線源—表面間を徒らに大とする必要がないことを强調した（但し本文の Al 濾過板の必要性）．

3) 尙 Co-60γ線の場合深部百分率の實測値と計算値が比較的よく一致するので或る特定な線源—表面間距離に於ける深部百分率がわかつて居れば任意の線源—表面間距離の深部百分率が計算により求め得る．

4) Co-60γ線の場合，入射線量と表面線量と表面より數mm の深さに於ける空間的線量分布が從來のX線の場合と非常に異るので之等を特に檢討し，又測定に用うる指頭電離槽壁に就ても檢討した．

5) 一般に臨床的に用いられる照射野の範圍（40～150cm²）に於ては照射野の大いさは深部百分率に餘り影響しない．

6) 4), 5) の結果は Co-60γ線は側方—背後散亂が非常に少く，二次線は專ら前方散亂（粒子線も含む）であることによると結論した．

7) 測定結果より Co-60 γ 線は骨組織による吸收が非常に少く，骨並にその周圍の病巢を均等に照射し得る.

8) Co-60 γ 線による廻轉照射法(360度廻轉)に於ける空間的線量分布を實測し，X線の場合と比較した.

9) 廻轉軸に於ける深部百分率はX線の場合より幾分大であるがγ線の硬線から期待される程增さない. 此の要因について檢討した.

10) Co-60 γ 線による廻轉照射はX線の場合に比し深部百分率を增す意義より，寧ろ骨組織附近の深い病巢を均等に照射し得ることに意義があることを强調した.

11) 廻轉軸に於ける深部百分率の實測値と計算値とを比較し，兩者の差について檢討した.

12) 深部治療に於ける容積線量を計算により求めCo-60 γ 線とX線とを比較した. 表面より0～3.5cm の深さの病巢の場合は從來のX線の方が容積線量は幾分小となるが，之より深い病巢の場合は容積線量を少くするためには Co-60 γ 線の方が遙かに優れて居る.

文 獻

1) 中泉正德, 定川正, 廻轉式集光照射法に於ける「レントゲン」線量の空間的分布（日本「レ」誌16卷2號235頁昭13年). —2) 江藤，宮川，津屋，蓄電器式電離槽に就いて（日，醫，放，誌，2卷6,7號). —3) K. Gund u. R. Schittenhelm. Die physikalischen Eigenschaften der Strahlenbündel der 15 MeV-Elektronenschleuder der Siemens-Reiniger-Werke (Strahlentherapie 92(1953) 506). —4) W.S. Moos. Roentgen therapy Dose Comptuing deveice, especially for Rotation therapy with High Energy (2mev). (Amer, J. Roent, Vol. 68 No, 5). —5) John G. Trump. Two Million Volt Roentgen Therapy Using Rotation (Amer, J. Roent. Vol. 66 No. 4). —6) J. S. Jaughlin physical Aspects of Rotation therapy with the Betatron. (Amer. J. Roent. Vol. 65No. 5). —7) **T.A. Watson. H.E. Johns and C.C. Burkell Sas katchewan 1,000 curie Cobalt 60 unit. (Radiology Vol. 62, No.2)**