



Title	放医研サイクロトロンからの速中性子線の線量分布
Author(s)	星野, 一雄; 川島, 勝弘; 平岡, 武 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1977, 37(3), p. 248-255
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15236
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

放医研サイクロトロンからの速中性子線の線量分布

放射線医学総合研究所物理研究部

星野 一雄 川島 勝弘 平岡 武

臨床研究部

久津谷 譲

(昭和51年8月23日受付)

(昭和51年10月7日最終原稿受付)

Dose Distribution of Fast Neutron Beams from a NIRS Cyclotron

K. Hoshino, K. Kawashima, T. Hiraoka and Y. Kutsutani*

Division of Physics, National Institute of Radiological Sciences Chiba, Japan

*Division of Clinical Research

Research Code No.: 203

Key Words: Dose distribution, Fast neutron, Cyclotron

The fast neutron beams from a NIRS cyclotron has been in use for a clinical trial or radiotherapy with fast neutrons since November 1975. The beams are produced by bombarding a beryllium target with 30 MeV deuterons.

An Air-filled thin tissue equivalent plastic (TEP) wall cylindrical ionization chamber with various TEP cap thickness was used to measure the build-up curve in air of the neutron beams. The maximum build-up occurs at 0.5/cm². It is comparable to Co-60 gamma rays.

The total dose distributions in a tissue equivalent (TE) phantom for neutron beams were measured with the air-filled TEP ionization chamber. The central axis depth dose curves, isodose charts, tissue-peak dose ratios and field factors were deduced from these data. The dose distribution for neutrons is similar to that for Co-60 gamma rays. However, depth dose curves for neutrons were found to be field size dependent.

An estimation of neutron and gamma tissue doses was made using the paired chamber (TEP-TE gas, C-Co₂). The gamma dose in a TE phantom is only about 3% of the peak total dose from 2 to 16 cm depth.

I. 緒 言

近年、速中性子線による悪性腫瘍治療の有用性が見直され、数か国で基礎的あるいは臨床的研究が進められている。

放射線医学総合研究所(NIRS)にも医用サイクロトロン¹⁾が設置され、昭和50年11月より clinical

trial が開始された。著者等はこれに備えて、治療上必要な物理的基礎データ集積を目的とした実験的研究を続けているが、線量分布に関する基本的データが纏まったので報告する。

治療に使用する速中性子線は、サイクロトロンで加速された30MeV重陽子(E_d=30MeV)が厚

い Be ターゲットに衝突の際発生するもので、若干のγ線を伴なう。本論文に述べる中性子線の“線量分布”とは、特に断わらない限り、電離箱により測られた中性子線とγ線による電離の総量の、ファントム内における分布のことを言う。

II. 実験方法および結果

1. ビルドアップ

空気を電離気体とした内径6mm長さ16mm壁厚0.5mmの組織等価プラスチック²⁾(TEP, 密度 $\rho = 1.10\text{g/cm}^3$)製円筒形電離箱に種々の厚さのTEPキャップを被せてビルドアップを測定した。この場合キャップを含む壁厚は、0.055, 0.11, 0.22, 0.33, 0.55, 0.77, 1.1g/cm^2 である。ビーム中心軸上の線源検出器間距離(SSD)200cmの空气中に、この電離箱を固定し、その位置での照射野(A)を $11.4 \times 11.4\text{cm}^2$ として実験した。電離は振動容量電位計(タケダTR-84Ms)を介

してデジタルボルトメータ(タケダTR-6354)にて読み取った。以下全ての実験はこの方式で読み取った。

結果をFig. 1に示す。最大値は $0.4 \sim 0.6\text{g/cm}^2$ の厚さにわたって存在する。この厚さは単位密度の軟組織における4~6mmに相当する。

2. ファントム中の線量分布

a. 深部量百分率および等線量分布

$50 \times 50 \times 40\text{cm}^3$ の大きさの亚克力樹脂製容器に組織等価液(TEL)を満しファントムとした。TELはGoodmanの処方³⁾に従い調製した($\rho = 1.084$; 実測値)。中性子線は上方からファントム液面に垂直に入射させた。線源、表面間距離(SSD)175および190cmの位置にこのファントムを固定し測定した。前者はSSD法による照射を、後者はSTD法にて線源病巣間距離(STD)を200cm, 病巣の深さ(d)を10cmとした照射

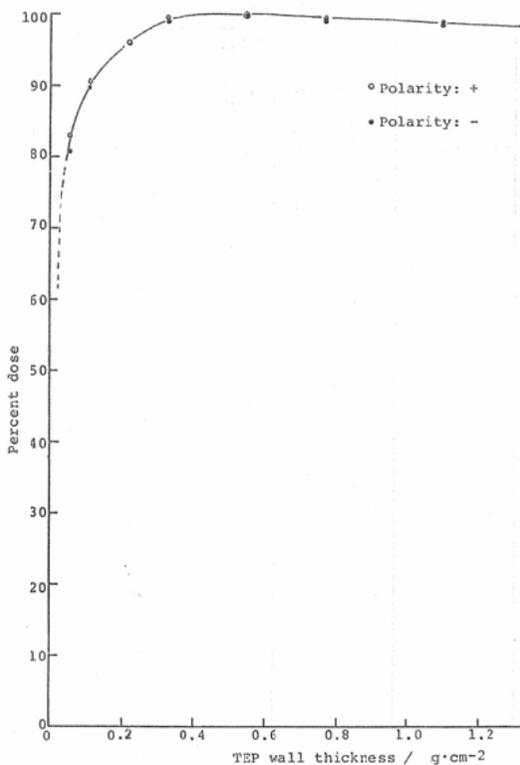


Fig. 1 Build-up curve for neutrons measured at SCD=200cm, A=11.4x11.4cm²

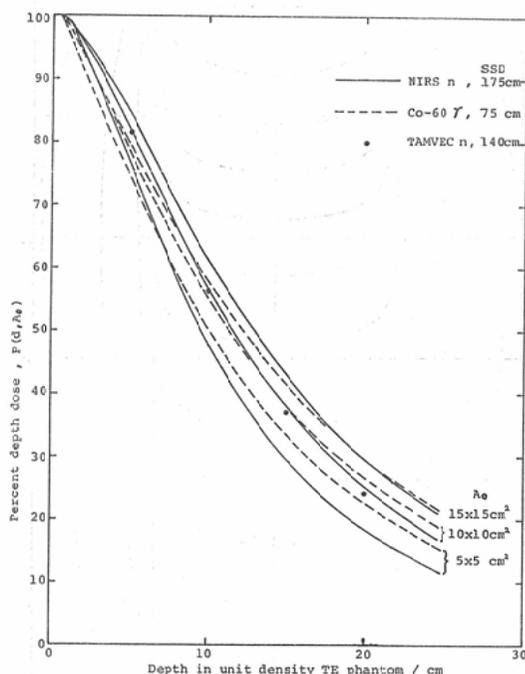


Fig. 2 Comparison of central axis depth dose curves in unit density TE phantom (or water) for neutrons and Co-60 gamma rays. The variation of the depth dose with field size is also shown in the figure.

を想定した実験である。検出器は内径6mm長さ20mm壁厚2mmのTEP製円筒形電離箱で空気密封防水型である。このTEPは導電性なる故、電離箱表面には絶縁と防水を兼ねて、厚さ1mmのアクリル樹脂キャップが被せてある。この電離箱はファントム内に設けられた三次元スキャナに取付けられ、ファントム内の任意の位置へ遠隔操作により移動される。実測は1から25cm迄の種々の深さ(d)において、その面上でビーム中心軸を通り照射野の一边に平行な線上の多数点で行なつた。これ等の実測値よりビーム中心軸上の深部量百分率およびSSDならびにSTD型等線量曲線を作製した。

Fig. 2にSSD=175cm, 表面の照射野(A_0) = 5×5 , 10×10 , $15 \times 15 \text{cm}^2$ の場合の深部量百

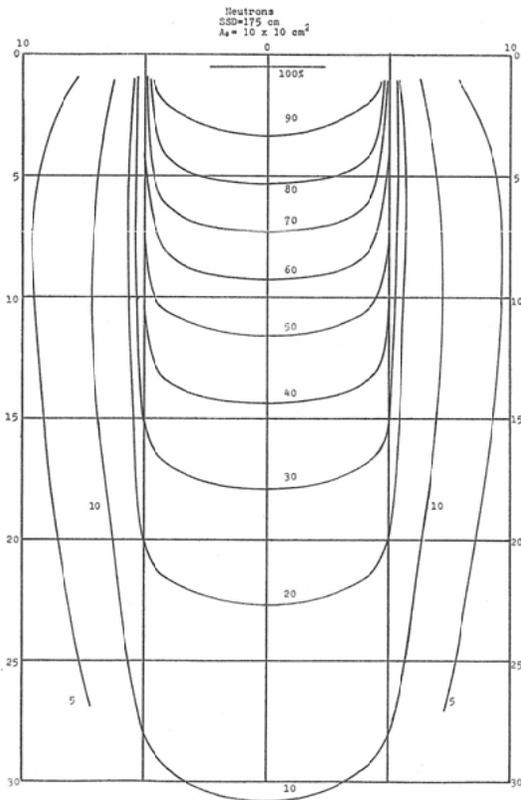


Fig. 3 Typical isodose chart in unit density TE phantom for neutrons measured at SSD=175cm, $A_0=10 \times 10 \text{cm}^2$.

分率 ($P(d, A_0)$) 曲線を実線で示す。基準深は前節Ⅱ. 1. の測定より推定して0.5cmとした。 ^{60}Co - γ 線の場合⁴⁾を破線で示し比較した。これ等の曲線は単位密度ファントム中における値に補正⁵⁾してある。この比較から、中性子線の方が ^{60}Co - γ 線より照射野依存性の大きいことがわかる。

SSD法における等線量曲線の代表例として、 $A_0=10 \times 10 \text{cm}^2$ の場合を Fig. 3 に示す。Fig. 4, 5 には $A_0=5 \times 5$, $15 \times 15 \text{cm}^2$ の場合を $A_0=10 \times 10 \text{cm}^2$ と比較して示す。この他、 $A_0=7.5 \times 7.5 \text{cm}^2$ についても等線量曲線を作製した。これ等の図に見られるように、中性子線錐外側の10~5%の領域は照射野の増加と共に著るしく拡大することがわかる。

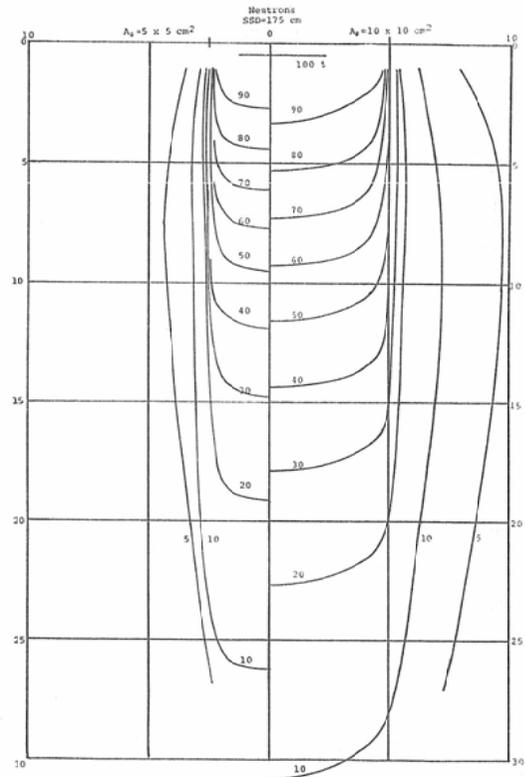


Fig. 4 Comparison of isodose charts for $A_0=5 \times 5 \text{cm}^2$ and $10 \times 10 \text{cm}^2$.

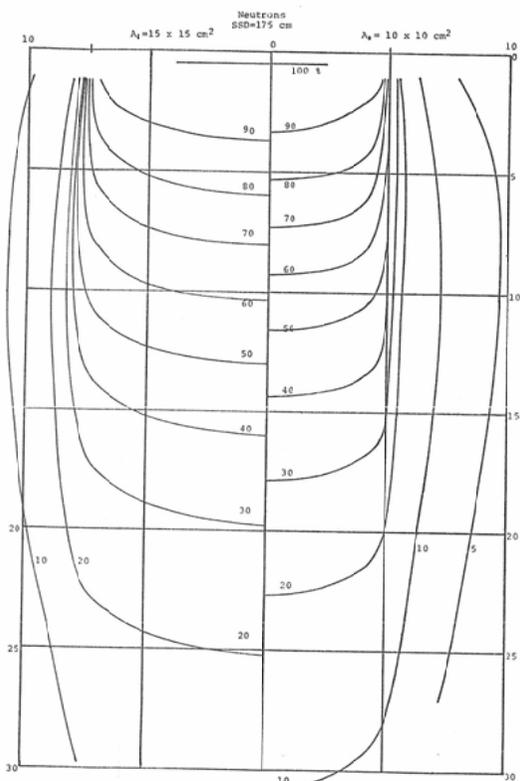


Fig. 5 Comparison of isodose charts for $A_0=15 \times 15 \text{ cm}^2$ and $10 \times 10 \text{ cm}^2$.

一方、STD 法の例として STD 200cm, $d=10 \text{ cm}$, $A=10 \times 11.4 \text{ cm}^2$ における等線量曲線を Fig. 6に示す. この他 $A=4.0 \times 5.7$, 5.8×5.7 , 8.0×5.7 , 11.4×11.4 , $17.0 \times 17.1 \text{ cm}^2$ についても等線量線を作製した. ここではビーム中心軸上の $d=10 \text{ cm}$ での線量を基準にしてある.

b. 組織/ピーク線量比

ビーム中心軸上の $SCD=200 \text{ cm}$ の位置に電離箱を固定し、ファントムを移動することにより深さ d を 1 から 25cm 迄変えた. 各深さにおいて照射野 A を 2.8×2.9 から $22.8 \times 22.9 \text{ cm}^2$ 迄種々変えて測定した. 使用機器は前項 II. 2. a と同一である. 但し小照射野に於ては本電離箱は大きすぎる. それ故、 $A=2.8 \times 2.9$ および $5.8 \times 5.7 \text{ cm}^2$ の場合、内径 6mm 長さ 6mm の TEP 製円筒形電離箱 (電離気体=空気) を用いて、TEP²⁾

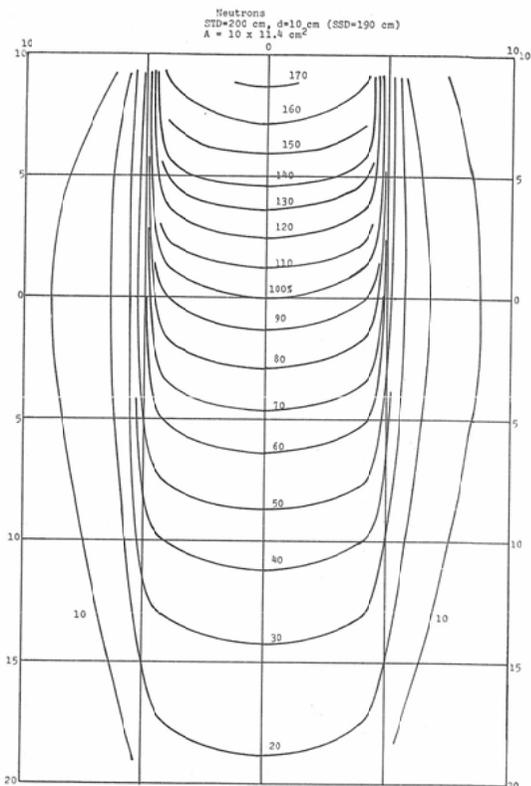


Fig. 6 Typical isodose chart in unit density TE phantom for neutrons measured at STD=200cm, $d=10 \text{ cm}$, $A_0=10 \times 10 \text{ cm}^2$.

ファントム中で測定した. この TEP ファントムは $20 \times 20 \times 1 \text{ cm}^3$ の板 20枚より成る. これ等の測定値から組織/ピーク線量比 (TRP(d, A)) を計算した. これについての詳細は別論文⁶⁾にて述べる. ピーク深は前項 II. 2. a. 同様 0.5cm とした. またファントム密度も単位密度へ補正した.

計算された TPR(d, A) を正方形照射野の一边の長さに対してプロットすれば、各 d について Fig. 7に示すような曲線群が得られた.

c. 照射野係数

前項 II. 2. b. の $d=1 \text{ cm}$ における測定値を用いて照射野係数 ($F_A(A)$) を計算した. この場合 $A=11.4 \times 11.4 \text{ cm}^2$ を基準にした.

Fig. 8にこの結果を実線 (measured) で示す. $A=11.4 \times 11.4 \text{ cm}^2$ を基準にしたのは、コリメー

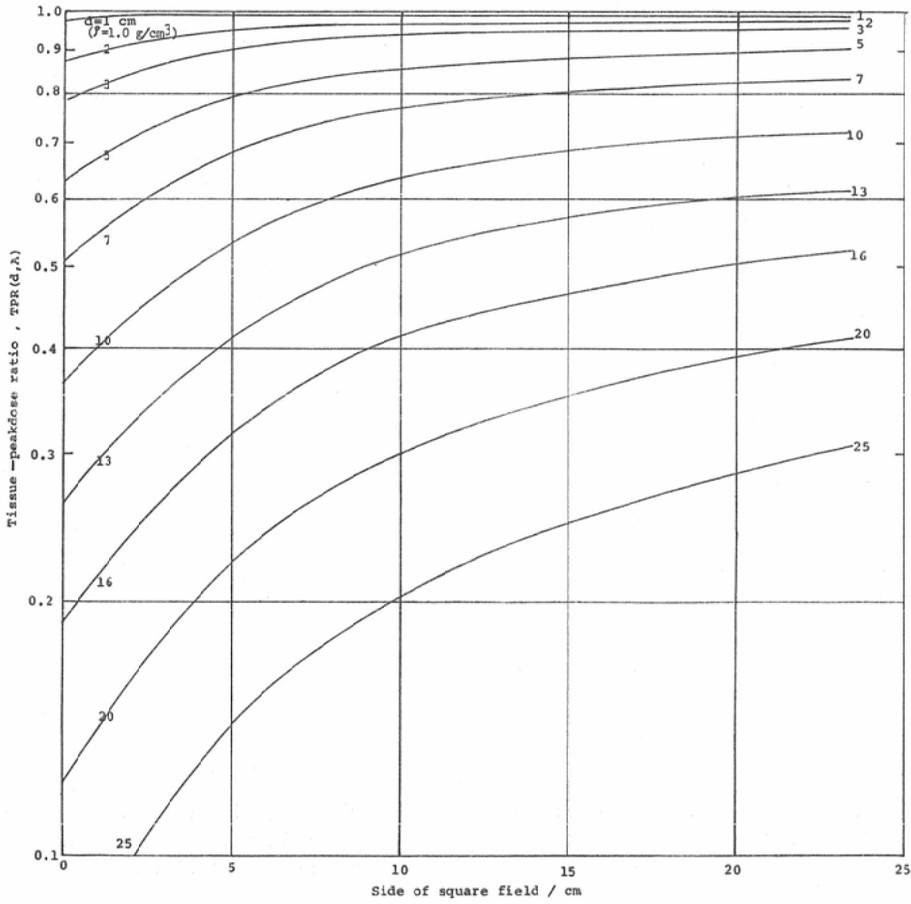


Fig. 7 Tissue-peak dose ratios for neutrons measured at SCD=200cm.

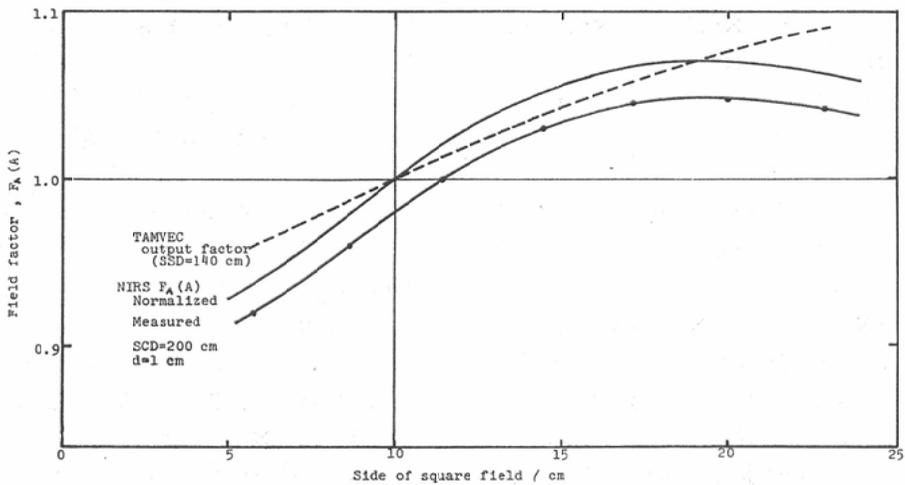


Fig. 8 Comparison of field factors for neutrons from NIRS Cyclotron and TAMVEC.

タの機構上 SCD= 200cm において $A = 10 \times 10 \text{ cm}^2$ が得られぬためである。他者との比較を容易にするために、 $A = 10 \times 10 \text{ cm}^2$ にて規格化すると実線 (normalized) のようになる。比較対照として TAMVEC の output factor⁷⁾ を破線で示す。

3. γ 線混在比

本実験は前節迄とは異なり、中性子線と γ 線による組織吸収線量(それぞれ D_N および D_G と記す)を弁別評価し、全組織吸収線量 (D_T) に対する D_G の比を求めるために行なつた。

弁別測定は TEP 壁—TE ガス電離箱、カーボン・テフロン壁—炭酸ガス電離箱の組合せによる対電離箱法により行なつた。本測定の詳細は別論文⁸⁾にて述べるので、ここでは省略する。両電離箱共容積 1.3ml の円筒形である。測定はファントム中および空気中で行なつた。いずれも SCD = 200cm, $A = 11.4 \times 11.4 \text{ cm}^2$ のみに限定した。ファントムは $30 \times 30 \times 45 \text{ cm}^3$ のアクリル樹脂容器

入 TEL である。この TEL は Frigerio 等⁹⁾の処方に従い調製した ($\rho = 1.074 \text{ g/cm}^3$: 実測値)。電離箱を薄いアクリルパイプを介してファントム中へ挿入し、深さを2から20cm 迄変えて測定した。一方、空気中測定の場合には、それぞれの電離箱に TEP 又はカーボン製のビルドアップキャップを装着し測定した。

ファントム中における結果を Fig. 9 に百分率で示す。ここで、 $D_T (d=0.5)$ は II. 2. b. の TPR(d, A)を用いて実測値より推定した。一方、空気中の組織吸収線量 (D_{Am}) の場合、 $(D_{Am})_G / (D_{Am})_T$ の百分率は 3.3%であつた。この値を参考値として Fig. 9 中にレベルで示す。

各深さにおける γ 線の混在比は Fig. 9 の Curve 1 のように、深さ2~6 cm 迄は余り大きく変化しないが、それ以上の深さでは深さと共に増加した。また、 γ 線の吸収線量の絶対量は Curve 2 のように、深さ2~16cm 迄は全組織吸収線量の最大値の約3%であつた。

III. 考 察

TEP 電離箱中に生ずる電離の分布をもつて線量分布と仮定したのは、 γ 線の混在比が比較的小さく、たとえ本電離箱が中性子線と γ 線とで感度差を有していても、それによる誤差は少く、電離は全組織吸収線量にほぼ比例すと考えられるからである。

ビルドアップの実験は平衡厚を求める目的で行なつたが、ファントム中の深さ0.05~1.0cm の範囲内で、散乱係数が変化しないとすれば、このデータよりファントム中のピーク深(基準深)が推定できよう。推定した基準深は単位密度組織等価物質中で0.5cm であり、⁶⁰Co- γ 線と類似した。またこの値は TAMVEC の Be(d, n) 中性子線の TE ファントム中での結果と一致した⁷⁾。もとより、表面附近の線量分布を正確に評価するには、シャロー型電離箱によるファントム内での測定等が望まれるが、これに付いては今後の課題としたい。

線量分布作製の際、測定点は電離箱の実効中心がその幾何学的中心に等しいと仮定して決めた。

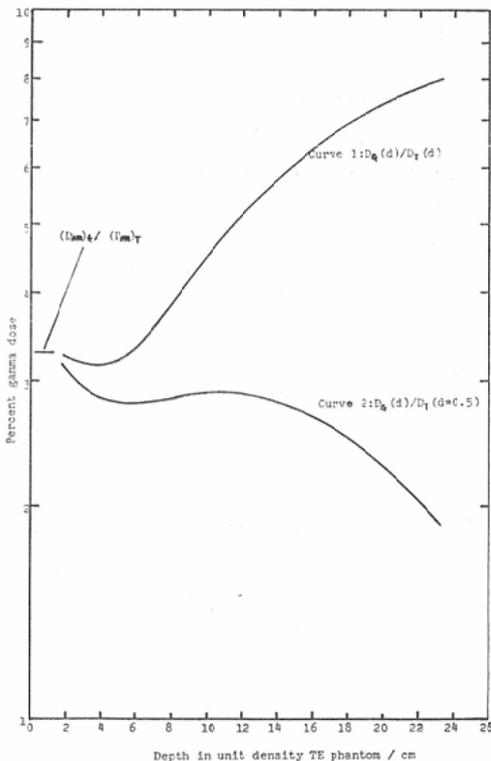


Fig. 9 Gamma ray contribution to the total dose.

また、単位密度組織等価ファントム中の分布となるよう補正を加えた。これは従来のX・γ線および電子線での習慣に従ったからで、軟組織の平均密度を 1.0g/cm^3 とするのが妥当か否か検討の必要があろう。ちなみに筋肉の密度は 1.066g/cm^3 との報告⁹⁾もある。無論筋肉以外の脂肪その他を含むから平均値はこれ以下であろうが、この問題に対する解釈は研究者により違う。例えば、Smith等⁷⁾は $\rho = 1.065\text{g/cm}^3$ の TEL 中の分布のまま報告しているが、Bewley等⁵⁾は単位密度の組織へ変換している。一概に軟組織と言つても部位により平均密度は異なるであろう。例えば脂肪の多い腹部と筋肉質の四肢とでは当然平均密度を異にしよう。従つて、各部位の平均密度を明確にしておく必要があろう。これが明確にされていれば、標準分布（単位密度 TE 中の分布）を求めておき、治療計画時に部位による密度補正を行えばよい。密度補正は照射術式が STD 法であれば、単に深さの補正のみでよいが、SSD 法であれば、この他に逆自乗則補正も必要でやや繁雑となる。この点で STD 法の方が優れている。放医研では主に STD 法で照射している。

$A_0 = 10 \times 10\text{cm}^2$ における深部量百分率を TAMVEC の Be(d, n) 中性子線 ($E_d = 30\text{MeV}$)⁷⁾ と比較した。これを Fig. 2 中に ●印で示す。放医研の結果と殆んど一致したが、深部で僅かの差が見られる。これは SSD の相違によるもので、両者の SSD を等しく補正すると、一致は更に完全となった。また、 $A_0 = 10 \times 10\text{cm}^2$ の等線量曲線を ^{60}Co -γ 線の場合と比較した (Fig. 10)¹⁰⁾。線錐周縁部の形状は両者さして変らないが、線錐外側の 10% 以下の領域は中性子線の方が拡大していることがわかった。深部量百分率の ^{60}Co -γ 線との比較はすでに前章で行なつた。これ等の比較から、中性子線の方が ^{60}Co -γ 線より散乱され易いことが示唆された。

照射野係数を TAMVEC の output factor と比較すると (Fig. 8), 放医研サイクロトロンでは $20 \times 20\text{cm}^2$ 附近に極大を持つ曲線を示すのに対し、TAMVEC では直線に近い形を示す。このような

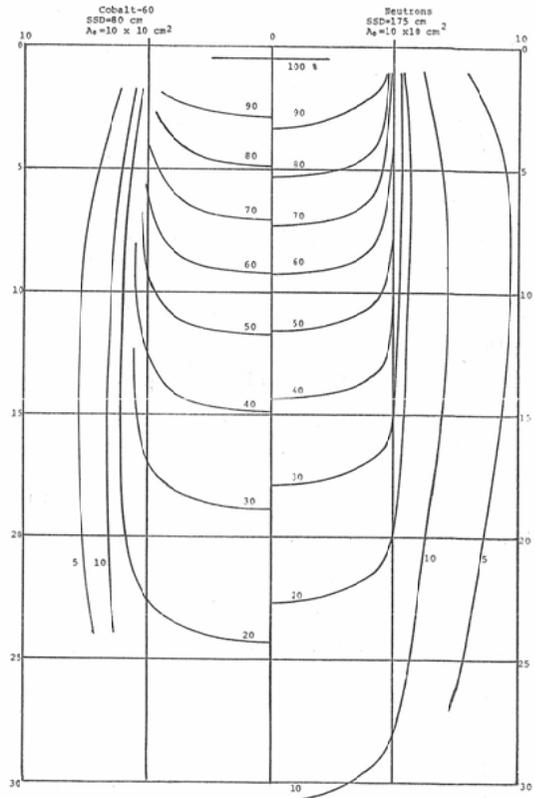


Fig. 10 Comparison of isodose charts for neutrons and Co-60 gamma rays measured at $A_0 = 10 \times 10\text{cm}^2$.

差異はコリメータの構造、材質の相違や、それからの距離の違いに原因するものと思われ甚だ興味深い。

ファントム中において、混在するγ線は2成分より成ることが予想される。1つはファントム外部ですでに発生して、中性子線と共に入射する成分、他はファントム内部で中性子線により生ずる成分である。この予想に従つて、Fig. 9の curve 2 について極めて定性的に考察する。ファントム中の浅い所は、入射γ線の寄与が優勢な部分であろう。この寄与は深さの増加と共に減少するが、一方では内部発生γ線の寄与が増加して、これを補うから、全体としては余り変化の無い状態が深さ12, 13cm 迄続く。これ以上の深さでは、入射γ線も内部発生γ線も共に減少の方向に向う

ので、 γ 線組織吸収線量は減少の一途を辿る。この問題を正確に解析するには、 γ 線のスペクトルの知見や、深さ2 cm 以下の D_G 値が必要である。本実験では電離箱の大きさと形状に制限されて、2 cm 以下は測定できなかつた。しかしながら、放射線治療のための線量分布という立場からは、これ以上詳細に検討する必要はなからう。

IV. 結 論

放医研サイクロトロンからの速中性子線のTEファントム中における線量分布を、TEP—空気電離箱を用いて測定し、深部量百分率、等線量曲線、組織/ピーク線量比および照射野係数を求めた。線量分布は ^{60}Co - γ 線の場合にほぼ類似しているが、中性子線の方が照射野依存性が大きく、線錐外側の10%以下領域が大きい。しかし、TAMVECのBe(d, n)中性子線の結果とは良く一致した。

照射野係数は装置により個性があり、他のデータは参考にならない。

TEP-TEガス、カーボン・テフロン—炭酸ガス電離箱の組合せによる対電離箱法にて、TEファントム中および空気中の組織吸収線量を、中性子線に依るものと γ 線に依るものとに弁別して求め、全組織吸収線量に対する γ 線組織吸収線量の比を評価した。 γ 線組織吸収線量は、ファントム中の深さ2から16cmにわたって、全組織吸収線量の最大値の約3%であつた。

本稿を終るに当り御校閲を賜つた放医研物理研究部松沢秀夫室長に厚く感謝の意を表すると共に、安定したビーム供給に留意された技術部サイクロトロン管理課の諸氏の御支援に感謝致します。

本論文の要旨は第35回日本医学放射線学会(昭和51年度)に於て報告した。

(この研究は厚生省がん研究費(田崎班)ならびに文部省がん特別研究費(津屋班)より一部援助を受けた。)

文 献

- 1) Ogawa, H., Kumamoto, Y., Yamada, T. and Hiramoto, T.: NIRS-Chiba isochronous cyclotron 1975, pp. 1—8, 1976 National Institute of Radiological Sciences, Chiba, Japan.
- 2) 平岡 武, 川島勝弘, 星野一雄, 松沢秀夫: 中性子線用組織等価物質の試作. 日本医放会誌, 36巻, 5号(1976), 420—424.
- 3) Goodman, L.J.: A modified tissue equivalent liquid. Health Phys. 16 (1969), 763.
- 4) 日本医学放射線学会物理部会: 放射線治療における ^{60}Co ガンマ線および高エネルギーX線の吸収線量の標準測定法. 日本医放会誌, 31巻, 6号(1971), 723—772.
- 5) Bewley, D.K. and Parnell, C.J.: The fast neutron beam from the M.R.C. Cyclotron. Brit. J. Radiol. 42 (1969), 281—288.
- 6) Kawashima, K., Hoshino, K. and Hiraoka, T.: Tissue-peak dose ratio and scatter-phantom ratio for the 30MeV d+Be fast neutrons. (to be published)
- 7) Smith, A.R., Almond, P.R., Smathers, J.B. and Otte, V.A.: Dosimetric properties of the fast neutron therapy beams at TAMVEC. Radiology 133 (1974), 187—193.
- 8) 平岡 武, 川島勝弘, 星野一雄, 松沢秀夫: 放医研サイクロトロン速中性子線の線量測定. 日本医放会誌(投稿中)
- 9) Frigerio, N.A., Coley, R.F. and Sampson, M.J.: Depth dose determinations I. Tissue-equivalent liquids for standard man and muscle. Phys. Med. Biol. 17 (1972), 792—802.
- 10) Webster, E.W. and Tsieng, K.C.: Atlas of radiation dose distributions. Vol. I. Single-field isodose charts. 58, I.A.E.A. Vienna, 1956.