Osaka University Knowledge Archive

Title	超高圧X線治療における適正エネルギー（超高圧照射法の研究 第6報）
Author(s)	北畠, 隆; 服部, 浩之; 奥村, 寛
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1967, 27(4), p. 478-482
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15564
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

超高圧X線治療における適正エネルギー

（超高圧照射法の研究　第6報）

愛知県がんセンター放射線部（部長：北畠　隆）
北畠　隆　服部　浩之　奥村　寛

（昭和41年11月12日受付）

Optimum Energy Range in Supervoltage X-ray Therapy

by

Takashi Kitabatake, Hiroyuki Hattori and Yutaka Okumura
(Lab. of Exper. Radiol., Aichi Cancer Center Institute, Nagoya)

This paper concerned with considerations on optimum energy range in therapeutic use of supervoltage X-rays. For radiotherapy following factors are desired: (1) small skin dose, both entrance and exit, (2) small side-scattering dose, (3) large and homogeneously distributed tumor dose, (4) small bone absorption as to be equal to that in soft tissues, and(5) large integral dose in lesion and small integral dose in other parts. Relationship between X-ray energy and these factors was studied and demonstrated in Fig. 1 to 8. Summarizing these factors, it is concluded that an useful range of X-ray energy for radiotherapy is 3 to 35 Mev, and an optimum range lies near 9 to 10 Mev (generating voltage).

緒　言

最近本邦においても，直線加速器またはベータトロンから発生される超高圧X線を治療の手段に用いる傾向が大きくなつてきた[1]．いかなるエネルギーのX線を使用しうるかはその装置の性能によつてきまるが，4 Mev，6 Mev, 18Mev, 24Mevなど病院によつてまちまちなエネルギーが使用されているのが現状である．それではX線はMev級であればどんなエネルギーでも治療学的には同じことであるのだろうか．それともあるエネルギー範囲が望ましいのであろうか．この論文では，生物学的効果比等はしばらくおき，これらの問題について述べようと思う．

方法と結果

合理的な放射線治療においては，病巣には高密度かつ均等に分布する放射線を与え，健常部にはできるだけ放射線を与えないことが眼目である．そのためには，（1）皮膚線量が少ない程よい，（2）側方散乱が少ない方がよい，（3）骨組織に吸収が少ない程よい，（4）病巣と全身の容積線量の比が大きい程よい，のである．そこで，これらの項目のおのおのについて，X線エネルギーが高くなるとどうなるかについて考えよう．なおこの考え方の中には，装置の精度，性能，価格などの問題は含まれていない．

1）皮膚線量：X線エネルギーが高くなると共に，最高線量点が深くなる．Brit. J. Radiol. Suppl.10[2]およびCharlton[3]（Charltonの測定はプレスウッドによつたものであるので，水に換算した数値を使用した．以下すべてこれに準ずる）のデーターから，エネルギーと最高線量点との関係を図示すると図1となる．なおエネルギーの表示はすべて発生エネルギーであつて，実効的な光子エネルギーではない．なおBrit. J. Radiol. Suppl.

図1：X線エネルギー（横軸，発生エネルギー）と最高線量点の深さ（縦軸）との関係．

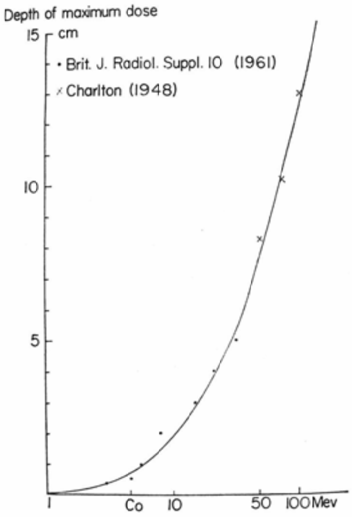
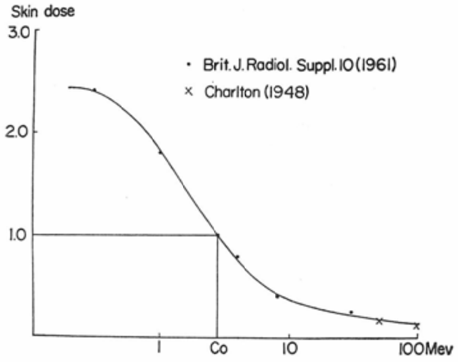


図2：^{60}Co γ線の入射皮膚線量を1とした場合の，他のエネルギーのX線の皮膚線量．



10のデーターから[2]，^{60}Co γ 線の発生エネルギーは 2.8Mev に相当すると仮定した．深部百分率曲線からみると，病巣の深さに等しい距離で初めて電子平衡が成り立つようなエネルギーのX線が望ましいが，実際的には，充分な線量出力を備えかつ広範囲にエネルギー可変として装置を製作することは経済的に困難であろう[5]．

さて単に皮膚線量を軽減する目的なら ^{60}Co γ 線でもそれ程不都合ではない．入射表面線量は最大線量の約$^1/_3$に過ぎないからである．しかしさらにエネルギーが高くなると表面線量は一層減少する．いま ^{60}Co γ 線の入射表面線量（最大線量

図3：皮膚病巣線量比とエネルギーとの関係
厚さ10cmの被照体の中心に点状病巣のある場合を想定した．縦軸の比は病巣線量を1とした場合の，皮膚線量の割合を示している．対向2門照射の場合（点線）には縦軸の値は半分の値となる．

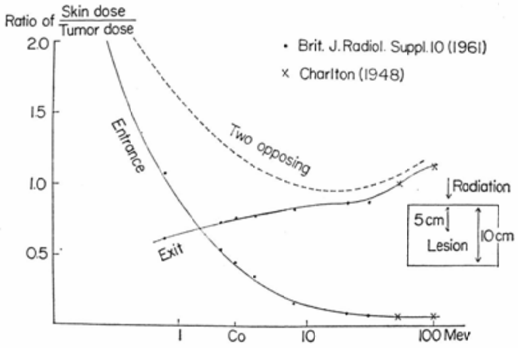
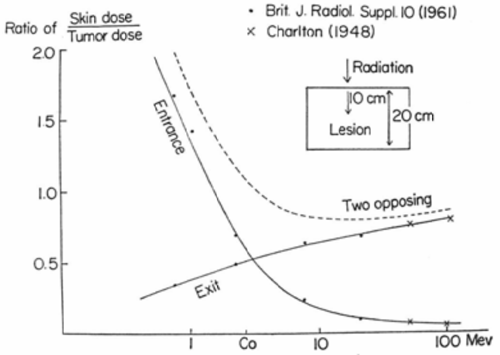


図4：皮膚病巣線量比とエネルギーとの関係
厚さ20cmの被照体の中心部に点状病巣のある場合．



点に対する相対値）とした場合の比較を図2に示す．

一方皮膚線量は病巣線量とのかね合いを考える必要があり，また射出皮膚線量の大小をも考慮しなければならない．そこで，いま考え方を単純化して，厚さ10cmおよび20cmの被照体の中央部に点状の病巣がある場合を考え，入射および射出皮膚面の線量と病巣線量との比，すなわち，病巣線量が1の時皮膚線量はエネルギーによつていかに変るかを調べたのが図3および図4である．これは Meredith の考え方に従つたが[4]，数値は Brit. J. Radiol. Suppl. 10[2]および Charlton[3] のデーターによつた．これらをみると，Meredith の述べるように，入射，射出皮膚線量ともに比較的小さ

図5：側方散乱とX線エネルギーとの関係
側方散乱を評価するために，照射野5×5cmと10×10cmの場合の，深さ10cmの点の相対線量の比をとつた．

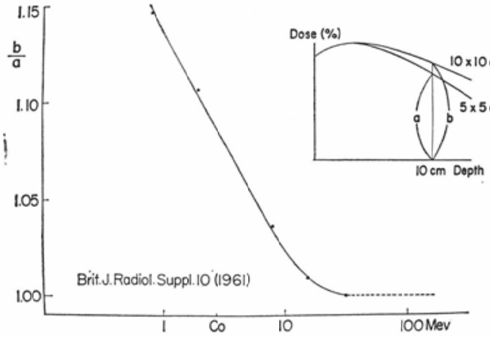
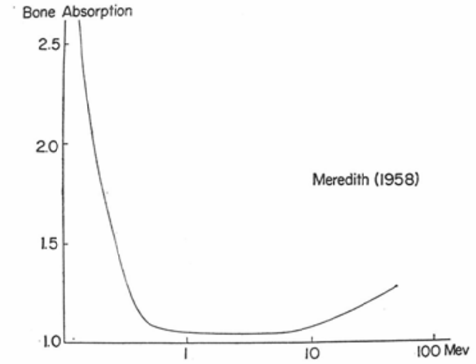


図6：骨吸収とX線エネルギーとの関係
(Meredith, W.J[4].)
縦軸は，軟部組織の吸収線量を1とした時の骨の吸収線量の割合．横軸は発生エネルギーを示す．



のいは ^{60}Co γ 線から6～7Mev程度までで，それ以下のエネルギーでは入射皮膚線量が大きく，またそれ以上のエネルギーでは射出皮膚線量が大きくなる一方である．こう考えると皮膚線量の観点からは1～6Mev 程度が最もよさそうであるが，これは一門照射においてのみ通用する考え方である．対向二門照射や廻転照射では，同一皮膚面に入射線量と射出線量とが重複するので，双方の合算量を考え，それが最も小さいエネルギー領域が望ましいことになる．図3と4の点線がそれで，被照体の厚さ10cmの場合は5～70Mev，厚さ20mmの場合は5Mev 以上であればよいことになる．

2）側方散乱：側方散乱が少なければ，運動照射の場合に特に有利である．側方散乱の程度を評価するために，5×5cmと10×10cmの照射野の場合の，深部10cmの点の線量の比を調べた．図5がそれで，2Mev 付近ではこの比は1.10位であるが，10Mev では1.02程度になり，30Mev 以上では1.00となる．

3）骨吸収：X線エネルギーが変ると，骨が軟部組織の何倍の放射線を吸収するか，という問題である．このためには Meredith のデーターを再掲する[4]．ただし Meredith は光子エネルギーで示してあるが，本論文では他の因子と合せるために発生エネルギーに換算して図6を作成した．骨吸収率が1.1以下である場合を最適エネルギーとすると500Kev～10Mevの範囲となるが，これを1.25にあげると350Kev～35Mevとなる．骨吸収の程度は ^{60}Co γ 線から6Mev程度が最小で，10Mev を越すと若干多くなる．

4）病巣全身容積線量比：病巣全身容積線量比がエネルギーによつていかに変るかを計算した．正確な数値を求めるのは困難であるので，照射野中央部の横断面のみを考えることにした．すなわち，厚さ20cm，比重1.0であるような被照体を想定し，その中央部に厚さ5cmの範囲に病巣が存在するものとした．正確な容積線量は等量曲線を用いないといけないが，超高圧X線の場合は，線束辺縁の低線量域が極めて少ないので，もし充分大きい照射野をとれば，この部分を無視しても病巣全身容積線量比（V.D.R.）に及ぼす誤差は極めて小さいだろうと判断した．そこで照射野中心部の深部率曲線 I(x) について，V.D.R. を

$$\text{V.D.R.} = \frac{\int_{7.5}^{12.5} I(x)dx}{\int_{0}^{20} I(x)dx}$$

の如く，それぞれのエネルギーについて計算した．各エネルギーのX線深部線量は愛知がんセンターではいまだ測定されてないので，主として Brit. J. Radiol. Suppl. 10のデーターを利用した[2]．結果は図7の通りである．すなわちこの比は ^{60}Co γ 線～6MevX線では23～24%であるが，エネルギーと共に増加し，70Mev附近（Charlton のデーターを内挿すると68Mev[3]）で最大値30.3

図7：病巣全身容積線量比（V.D.R., 縦軸）とX線エネルギー（横軸）との関係
厚さ20cmの被照射の中央に，厚さ 5cmの病巣のある場合．68MeV の時に最も効率がよい．

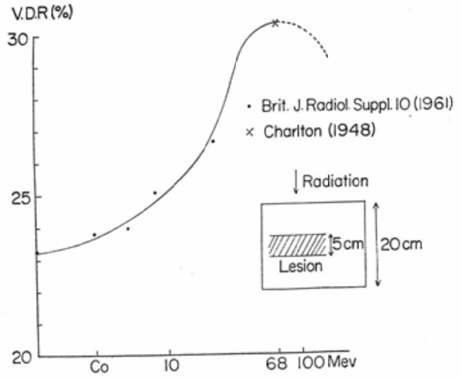


図8：病巣全身容積維線量比（V.D.R., 縦軸）とX線エネルギー（横軸）との関係
厚さ10cmの被照射の中央に，厚さ 2.5cmの病巣のある場合．25MeV 附近で最も効率がよい．

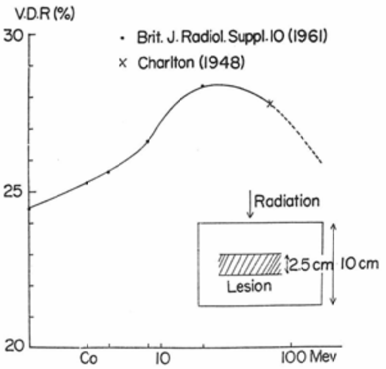


表1；超高圧X線の適正エネルギー範囲

因子	参照図	基準が厳しい場合		基準がゆるい場合	
		基準	MeV	基準	MeV
皮膚線量	3	対向 2門照射において皮膚病巣線量比（SFDR）が 1.0以下であるとこ *	8〜35	対向2門照射においてSFDRが 1.2以下であること *	3〜75
側方散乱	5	b/a 比が1.05以下であること**	5.5以上	b/a 比が1.10以下であること**	3以上
骨吸収	6	骨吸収率（BAR）が1.10以下であること	0.5〜10.3	BARが1.25以下であること	0.35〜35
容積線量	8	VDRが27%以上であること**	9〜 100	VDRが25%以上であること**	2以上
総合		概ね，最適点±10%	9〜10	概ね，最適点±20%	3〜35

＊対向2門照射においてSFDRが 1.0または 1.2ということは，実際は病巣線量が2倍与えられているので，実質的には 0.5または 0.6ということである．
＊＊b/a および V.D.R. の説明は本文参照のこと．

%をとる．さらにエネルギーが高くなると，最大線量点が病巣より深くなるために比の値は逆に小さくなる． 治療的には V.D.R. が大きい方が合理的であるので，その点で，最適のX線エネルギーはかなり高い領域にあることになる．

同様の考え方を，被照体がより薄い場合，すなわち厚さ10cmの体の中央に厚さ 2.5cmの病巣のある場合に適用すると，図8のごとく20〜50Mevの間にピークがあつて，やはり10Mev以下よりむしろ20〜50Mevの方が合理的ということになる．

5） 総合：以上を総合して，基準を厳しくした場合と，ゆるくした場合の適正エネルギーの範囲を求めると表1となる．基準を厳しくした場合とは，上記の4因子の最適点を中心に約1割程度の幅をとつた場合であり，ゆるくした場合とは約2割程度の幅をとつた場合である．前者では9〜10 Mev, 後者では3〜35Mev となる． すなわち色々の因子を総合して考えると， 3〜35Mev のX線が治療に使用してもそれ程の難のない領域であり， 中でも9〜10Mev が最もよいということになる．

考按

上記の因子中，主として適正エネルギーの下界を制限するのは， 皮膚線量および容積線量であ

る．長い在来X線時代に最も苦労した皮膚病巣線量比が，超高圧X線によつて1以下に改善されたことは，それだけでも超高圧治療の意義は充分あることで，特に廻転照射の場合にはその感を強くする．この2つの因子に関する限り，現在広く利用されている ^{60}Co γ 線や6 Mev リニアックの領域よりももつと高いエネルギー領域の方がより合理的であることが判つたのである．

反対に適正エネルギーの上界を制限する因子は骨吸収線量である．この点のみを考えると ^{60}Co γ 線～10Mev，すなわち現在の6 Mev リニアックの程度が最もよいことになる．Meredith の指摘するごとくである[4]．骨線量が少ないに越したことはないが，そのために皮膚線量や容積線量をどの程度まで犠牲にすべきかは俄かには断じがたい．しかし，乳癌の胸壁照射のごとく，骨組織が明かに線巣内に含まれる場合には10Mev 以下のX線を用いるのが合理的であろう．しかし骨盤腔や胸腔のごとく，線巣内に骨が含まれない場合には，むしろ容積線量の減少の方向に努力し，20～35Mev 程度のX線を用いるのが合理的なのではあるまいか．

しかし一方，治療装置は，装置の機械的精度や屈伸性を要求されると同時に，価格も手頃でなければいけない．かかる点では，医療上の諸要求を充たす20～35Mev 程度のリニアックを製作したり，或いは充分なX線量を得るベータトロンを製作することは価格的に容易でないという現状である[5]．現在本邦で7台のリニアックが稼動しているが，いずれも4～6 Mev である[1]．このエネルギーは上述の基準をゆるくした場合の下限に近いもので，適正と考えられる 9～10Mev とは若干の差がある．もし将来技術的経済的に製作が可能になり，10～30Mev の安定したX線照射器が容易に供給されることは無意義ではないのであるまいか．

要　約

超高圧X線を臨床的に応用する時，どの位のエネルギーが最も適当であるかを考察した．すなわち，X線が治療上効果的に使用されるためには，1) 病巣線量に較べて皮膚線量（入射，射出ともに）が小さい程よく，2) 側方散乱が少ない程よく，3) 骨吸収線量が少ない程よく，そして，4) 病巣全身容積線量比が大きい程よいのである．そこでこれらの諸因子がエネルギーの変化と共にいかに変るかを調べた．それらを綜合してみると，それ程の難点がなく臨床上使用しうる範囲は3～35Mev の領域であり，その中でも特に望ましいのは9～10Mev 付近である．

（本論文作成にあたつて，名大高橋信次教授から有益な示唆とご指導を賜り，また厚生省がん研究助成金の援助を受けた．感謝の意を表す．）

（要旨は日医放会第32回中部地方会41．11．27の席上講演した．）

文　献

1) 北畠隆，植田俊男：本邦における超高圧治療装置の調査，日医放会誌掲載予定.
2) Depth dose tables for use in radiotherapy, Brit. J. Radiol. Suppl. 10, 1961.
3) Charlton, E.E. and Breed, H.E.: Some depth dose studies of roentgen rays for energy level from 20 to 100 million electron volts, Am. J. Roentgenol. 60 : 158—174, 1948.
4) Meredith, W. J.: Some aspects of supervoltage radiation therapy, Am, J, Roentgenol. 79 : 57—63, 1958.
5) 牧野純夫：私信，1966.