The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Betatron による超高圧放射線治療の臨床的研究
Author(s)	横山, 敬
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1971, 31(2), p. 194-220
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19901
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Betatron による超高圧放射線治療の臨床的研究

山口大学医学部放射線医学教室　(主任：桜井孝教授)
横　山　　敬

(昭和46年1月23日受付)

Clinical Studies of Supervoltage Radiation Therapy on Betatron

By

Takashi Yokoyama
Department of Radiology, School of Medicine, Yamaguchi University
(Director: Prof. Ko Sakurai)

The author has examined and experienced that radiation sickness is slight in case using supervoltage X-ray and electron beam, the decrease of white blood cell is scanty, skin injury is slight and the continuation of radiation treatment as scheduled became comparatively easy. On these items, the further clinical studies done by the author have clarified following problems.

1. As one factor which dominates the influence of radiation, necrotic mass accumulation produced by radiation has been pointed out. On the radiation method with these many products, radiation sickness would be regarded stronger. The result of experiment was demonstrated that volume dose at the time of radiation related with necrotic mass accumulation is far less in 15 MV X-ray than in 250 kVp X-ray.

2. Radiation sickness is seen in most cases of 250 kVp X-ray radiation but in 15 MV X-ray the occurrence is quite seldom.

3. In peripheral blood picture, hematocrit, the number of red blood cell show no remarkable difference before and after the treatment and shows the tendency of improvement after the treatment rather. The number of white blood cell is seen decreased but the decrease is not so remarkable as 250 kVp X-ray and ^{60}Co γ-ray.

4. Hematocrit, serum protein, albumin, γ-globulin, C.C.F.T. and cholinesterase show no remarkable difference before and after the treatment, general condition and dysfunction of liver by irradiation are hardly recognizable.

5. When depth dose curve near the skin surface is examined by using shallow chamber about 250 kVp X-ray, ^{60}Co γ-ray, 15MV X-ray, electron beam. 15MV X-ray, ^{60}Co γ-ray show clear build up. In skin injury, 15 MV X-ray was the slightest, ^{60}Co γ-ray and in 250 kVp X-ray was the strongest. In high energy electron beam slight build up was observed. Skin injury was considerably strong, and it seems equal to that of 250 kVp X-ray, however, if radioepidermitis exsudativa happens, it is quite astonishing that two or three weeks after the radiation it would be curable. As the histological changes of skin tissue. vacuolization of basal layer, telangiectasis and the changes of appendage can be observed, but they are slight in comparison to ^{60}Co γ-ray and 250 kVp X-ray in super high voltage X-ray and electron beam. Stromal changes were observable in the increase of young collagenous fiber and the split of elastic fiber, and shows the increase in accordance with the increase of radiation volume.

目　次

Ⅰ　緒言
Ⅱ　超高圧X線及び電子線の特徴
1.　超高圧放射線治療法の利点
2.　線量測定
3.　線量分布
Ⅲ　研究材料
Ⅳ　照射方法
Ⅴ　宿酔症状及び血液所見
1.　容積線量
2.　宿酔症状
3.　末梢血液像
4.　血液生化学的所見
Ⅳ　皮膚障害
1.　皮膚表面近接部における線量分布
2.　肉眼的変化
(a)　Betatron X線照射の場合
(b)　Betatron 電子線照射の場合
3.　組織学的変化
A　結果
(i)　個々の症例
(ii)　結果
(a)　Betotron X線照射の場合
(b)　Betatron 電子線照射の場合
B　小括
Ⅶ　総括並びに考按
Ⅷ　結語

Ⅰ 緒　言

近年種々の超高圧放射線発生装置が開発され，医療に用いられるようになり，放射線治療は飛躍的な発展を遂げるにいたつた．なかでも Betatron 装置は1940年，D. Kerst によつて初めて用いられてより，1949年には Quastler 等によつてBetatron による癌の治療が発表され，T.A. Watson 等によつて治療成績が報告されている．以来超高圧X線および電子線は深在性ならびに表在性の腫瘍の治療に広く用いられている．わが国においても各所に超高圧放射線治療装置が設置せられ，実際に治療が行なわれてきている．著者らの所にもいち早く昭和37年11月に東芝製15 MV Betatron 装置を設置して悪性腫瘍その他の疾患の治療を行なつてきた．

著者はこの装置により発生される超高エネルギーX線および電子線を用いて悪性腫瘍の治療を行なつた患者について臨床的に詳細な観察を行なつてきたが，ここでは特に治療時に問題となる副作用ならびに皮膚障害について検討を加えた．

Ⅱ 超高圧X線及び電子線の特徴

1.　超高圧放射線治療法の利点

悪性腫瘍の放射線治療を行なうにあたり最も大切なことは，いかにして病巣部に腫瘍致死線量というような大量の放射線を照射して，しかも副作用をすくなくするかである．ことに経皮照射に際しては，実際には皮膚の耐容線量以上には照射することはできないし，また従来の 200kVp 程度の深部治療装置では副作用が強いため充分な病巣線量を照射することができない場合が多いことは放射線治療医が等しく経験するところである．これを解決する方法として研究されたのが運動照射法や篩照射法であり，さらには超高圧放射線療法である．1,000kVp 以上の超高圧X線では深部線量は増大する一方，皮膚に吸収せられる線量が同一の空中線量に対してすくないので，皮膚の障害はすくなくして深部の病巣に大線量を照射することができる．さらには線束の側方または後方に散乱するX線が減少するので，身体に吸収される容積線量は減少し，その結果病巣容積線量率は大となる．骨と軟部組織の吸収係数の差が小さくなるので，骨組織を通して病巣を照射する際には病巣線量の減少がすくなくなり，また骨組織での吸収がすくないために骨壊死等の後障害がすくない．このような特徴をもつた超高圧X線を用うれば，皮膚の障害をすくなくして身体深部の病巣に充分な線量を照射することが可能となる．

一方身体の表面に近い部分に存在する病巣の治療には，X線やγ線では身体深部に不用の放射線が照射されることとなる．このようなことは腫瘍の周囲の正常組織を保護し，全身に吸収される容積線量をすくなくし，しかも重要臓器を保護するという立場から好ましいことではない．かくしてX線やγ線と異なり電子に負荷されたエネルギーによつて定まる飛程以内の距離で照射されたエネ

ルギーの全部が吸収され，それより深部には電子線の到達がないという特徴をもつ高エネルギー電子線による治療が注目されるようになつた．

高エネルギー電子線は表在性の腫瘍の治療に最も適している．

2．線量測定

放射線の照射線量の測定には一般に指頭型電離槽が用いられ，空気の電離度をR単位に換算して読んでいる．しかしこのR単位は3 MeV 以下のX線またはγ線に用いられるものであるので，著者は次のようにかりにさだめて用いることにした．東芝製直読型線量率計に2㎝厚さの Acrylite cap をかぶせたものを Victoreen Radocon 線量計 Probe Model 606の電離槽に2㎝厚さの Acrylite cap をかぶせたものにて較正し，線量率計の読みをそのままR単位にて呼ぶことにした．

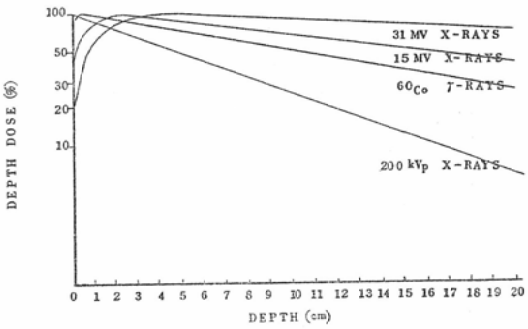
超高圧電子線に対しては，Radocon 線量計 Probe Model 607の電離槽にて較正した2㎜厚さの Acrylite cap をかぶせた線量率計の読みをもつてそのままR単位にて現わすことにした．

rad の表現には超高圧X線にあつてはR単位のよみの値に0.97を乗じたものを，高エネルギー電子線にあつてはR単位の読みをそのまま用いた．

3．線量分布

放射線治療の場合問題となる線量分布について考えてみたい．200kVp X線，^{60}Coγ線 Betatron による15MVX線および31MV X 線の深部率曲線は図（Fig. 1）のようになる．

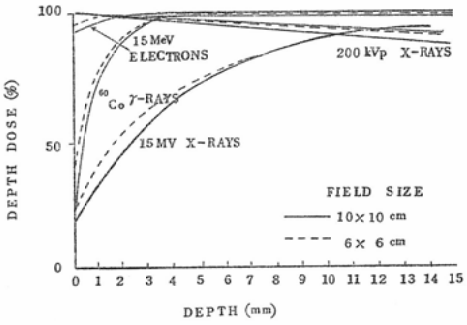
ここに 200kVp X線は島津製作所製博愛号より，^{60}Co γ線は東芝製^{60}Co γ線照射装置（103R型），15MV X線は東芝製BMS—15型 Betatron より測定したものであり，31MV X線は東芝製医療用31MV Betatron の文献より求めたものである．すなわち 200kVp X線では被照射体表面において線量が最大で，深部になるにつれて急激に減弱するが，^{60}Co γ線や15MV X線および31MV X線では被照射体表面では最大線量を示さず，ある深さで最大の線量を示し以後深部になるにつれて徐々に減弱する．上記の深部率曲線は指頭型電離槽を用いて測定しているので皮膚表面における線量分布を正しく評価しているとはいいがたいので，できるだけ正確を期するために薄い壁をもつた小さな電離槽すなわち Shallow chamber（東芝製）をもつて皮膚表面近くの線量分布を測定し図（Fig. Ⅱ）のような結果を得た．



200kVp X-rays: SSD: 60cm, Field Size: 6×6cm at 10cm Depth
^{60}Co γ-rays: SDS: 60cm, Field Size: 6×6cm at 10cm Depth
15MV X-rays: SSD: 70cm, Field Size: 6×6cm at 10cm Depth
31MV X-rays: SSD: 100cm, Field Size: 6×6cm at 10cm Depth

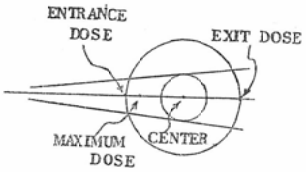
Fig. Ⅰ　Percentage Depth Dose for Four Types Radiation

Field Size: 10cm×10cm
Phantom: Acrylite



200kVp X-rays: Filter: 1.0mmCu+1.0mmAl, HVL: 1.55mmCu, SSD: 50cm
15MV X-rays: SSD: 70cm, No Equalized
15MeV Electerer: SSD: 80cm
Scatterer: 0.3mmPb
^{60}Co γ-rays: SSD: 50cm (Toshiba RI 103C)

Fig. Ⅱ　Depth Dose of Four Types Radiation for Build-up Region Measured with Shallow Chamber



Tab. I Dose Distribution in Phantom for One Field Irradiation
Tumor Ceter: At 10cm Depth, Dose 100%, 5000rad Phantom 20cm Sphere, Tumor 6 cm Sphere

Energy	Entrance Dose		Dose at 2 mm Depth		Maximum Dose		Center		Exit Dose	
	%	rad	%	rad	%	rad	%	rad	%	rad
200 kVp	385	19250	377	18850	385	19250	100	5000	25	1250
^{60}Co	41	2500	177	8850	193	9650	100	5000	52	2600
15MV	27	1350	75	7750	140	7000	100	5000	60	3000
31MV	22	1100	40	2000	110	5500	100	5000	83	4150

Field Size: 6 × 6 cm cm at 10cm Depth
SSD: 60cm for 200 kvp X-rays (HVL: Cu$^{1.55}$), ^{60}Co γ-rays
70cm for 15 MV Xrays Equalized
100cm for 31 MV X-rays *From Toshiba Hoshyasen Shiryo No. 48
Exit Dose: Dose at 20cm Depth

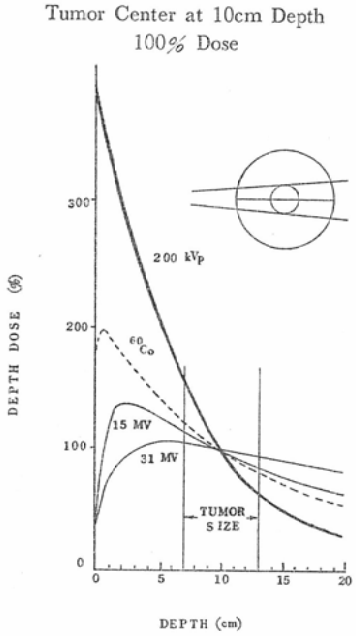
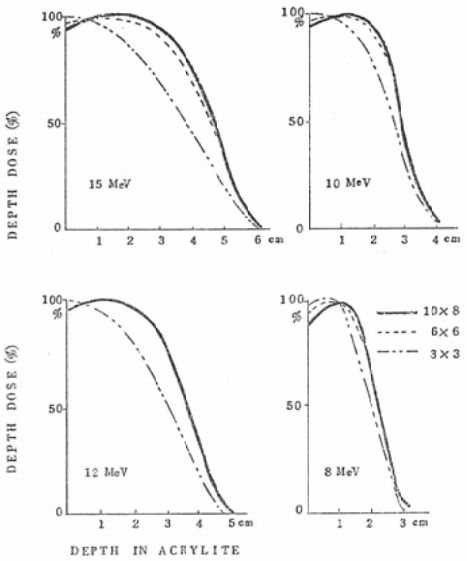


Fig. II Depth Dose Distribution for Single Field Irradiation of Four Types Radiation

いま図（Fig. I）により10cm深部における線量は 200kVp X線では最大線量の26%^{60}Co γ線では52%，15MV X線では72%，31MV X線では93%となる．つまり病巣に大線量を与えるには負荷電圧を高くした方がよいことがわかる．しかしあまり高すぎると透過する線量が却つて多くなるので好ましくないと思う．

次に直径20cmの円壔形の被照射体の中心に直径6cmの病巣を想定して，病巣中心で6×6cmの広さをもつて照射した時の中心軸における線量分布を検討した．一門照射をした場合，Shallow chamber を用いて測定した表面の線量分布を考慮に入れば，射入表面の線量，2mm深部の線量，最大線量および20cm深部の線量は表（Tab. I），図（Fig. III）のようになる．つまり病巣中心に，5,000 rad を照射するには15MV X線は皮膚のうける線量がすくなく，^{60}Co γ線や 200kVp X線では多くなる．さらに腫瘍内の線量分布の均等性は，200 kVp X線より ^{60}Co γ線，さらに15MV X線と負荷電圧が上昇するほどよくなつている．

電子線照射の深部線量は図（Fig. IV）にみられるように負荷された電圧によりある深さまではほぼ均等な線量分布が得られるが，それより深部では線量は急激に減少し，より深部の正常組織は照射されない．つまりエネルギーによつて定まる一



SSD: 65cm, No Scatterer
Measured with Dosimeter (Toshiba)
Fig. Ⅳ Depth Dose for High Energy Electrons Energies and Field Size

定飛程以上にはほとんど作用をおよぼさないので，その飛程より深部の正常組織は照射による障害より保護される．超高圧電子線の最大到達距離は負荷電圧により変るが，また50%深部線量の深さは負荷電圧のほか照射野の大きさ等にも左右される．したがつて超高圧電子線は大照射野を用いる時，大体負荷電圧の$^1/_3$以内の比較的浅在性の限局した腫瘍の治療に適している．超高圧X線程著明ではないが表面よりある深さにおいて最大線量を示す．体表面の線量分布をShallow chamberで測定すると前述の図（Fig. Ⅱ）にみるように15 MeV 電子線では3～9㎜深部で最大線量を示すが，表面線量は照射野の大きさによつてもかわり，最大線量の95～97%である．

Ⅲ　研究材料

研究の対象としたものは山口県立医科大学附属病院（昭和42年6月1日以降山口大学医学部附属病院となる）放射線科において昭和38年1月より昭和40年12月末日までの3年間に治療を行なつたBetatron　X線照射例 225名，　電子線照射例 101名である．装置の性能の関係上多数の患者をこなすことは困難であり，1日に治療する人数は多い時で30人余り，普通20～25人である．治療は全身におよび，取扱う患者には癌末期のものが多く当初計画された腫瘍線量を照射できないものもあつて，病巣線量 4,000rad 以上照射できた完全照射例はX線では73%，電子線では78%であつた．

照射治療をはじめる前に自覚症状を詳細に聴取すると同時に，指頭より穿刺採血してHematocrit，赤血球数，白血球数および白血球の分類をしらべ，また肘静脈より採血して Hematocrit，血清蛋白，A/G 比，C.C.F.T，Cholinesterase，γ-Globulin を測定して爾後の検査の基準とした．治療開始後は隔日に頭痛，眩暈，倦怠感，発熱，食思不良，悪心，呕吐，下痢等の自覚症状を問診するとともに，1週間毎に採血して上記の血球成分を検査し，また治療前後に血清の諸成分を調べた．皮膚の変化については治療経過をおつて詳細に肉眼的観察を行なうとともに一部には皮膚の組織学的検索を行なつた．

Ⅳ　照射方法

本装置（東芝製 BMS-15Betatron 装置）ではX線と電子線をスイッチの変換によつて容易につかいわけることができる．X線は7MVから15MVまで，電子線においても7MeVから15MeVまでエネルギーを段階的に変えることが可能である．Betatronによる超高圧X線治療は固定照射を行ない，Flattening filter は症例により適宜使用したS.S.D. 70㎝，線量率はドーナツ管によつて多少のちがいはあつたが，30～40R/mm である．照射野は最大13×13㎝から最少 2.5× 2.5㎝とし，また病巣の形状によつて自由変形の補助絞りを用いて正常組織を保護しながら照射した．1回の病巣線量は150～200rad で週5～6回照射を行なつた．

電子線治療では病巣の深さによつて負荷するエネルギーを7～15MeV まで変えている．Scattering foil はPb. 0.1～ 0.3㎜のものを用い，S.S.D.は80㎝一定である．線量率は 160～ 200R/mm.照射野は最大15×15㎝から最少2㎝φのものを病巣の大きさによつてかえている．必要によつては側

視鏡つきの照射筒を用い，これを腟内病巣に密着して照射する．1回病巣線量はおおむね 300rad，週5～6回照射を行なつた．

照射期間中はX線，電子線治療のいずれの場合にも隔日に観察し，アミノ酸製剤，強肝剤，ビタミン剤，造血剤等の投与ならびに時には輸血等も行ない，全身状態をよくするように努めた．また照射部位は外部からの損傷を受けぬように注意し，照射に際しては被服を除去した．

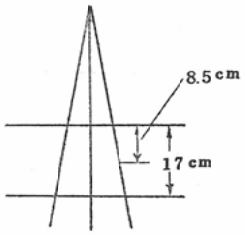
V　宿酔症状及び血液所見

1．容積線量

従来から用いている 200kVp X線で深部治療を行なう際には，強い宿酔症状や白血球の減少が顕著で，当初に計画された腫瘍線量を与えることが不可能で治療を中途でやめなければならないことが往々にあることは放射線治療医の誰もが経験するところである．放射線の影響を左右する因子にはいろいろのものがあげられているが，その一つには照射によつて産生された体内崩壊産物の蓄積があげられよう．放射線照射後の宿酔症状，血球数の変化等は，主要臓器が放射線錐内にあるかどうかにもよるであろうが，容積線量の大小が大いに関係している．それで容積線量をできるだけ小さくすることはこれらの障害を軽減するに役立ちうるであろう．

いま厚さ17cmのファントームの中心 8.5cmの深さに 100rad の線量を与えたときの容積線量を検討した．計算を簡略にするために線錐外の散乱線，ボケを考慮せず，等量曲線はこの線錐内では均一に分布しているものと考えて容積線量を求めた（Tab. Ⅱ）．この時の照射条件は 250kVp X線では S.S.D. が50cm，^{60}Coγ線では60cm，15MV X線では70cm，31MV X線では 100cmと日常の治療の際の S.S.D. をとり，照射野はいずれも 8×8cm と一定にした．この表によれば 250kVp X線の容積線量は 148,400mg-rad では15MV X線のそれは 121,900mg-rad であつて，超高圧X線の容積線量は 250kVp X線のそれにくらべてはるかにすくないことがわかる．

超高圧電子線では皮膚表面に近く存在する限局した病巣に均等な線量分布が得られ，負荷電圧によつて定まる飛程より深部の正常組織へは作用がおよばない等の理由から，超高圧電子線では宿酔症状はすくなく，血液諸成分への影響はすくないとされている．



Tab. Ⅱ　Volume Dose for Single Irradiation of Four Types Radiation

Energy	Volume Dose	
250 kVp	148400 mg-r	100%
^{60}Co	135600	91
15MV	121900	82
31MV	112900	77

250 kVp X-rays: SSD 50cm, Field Size 8×8 cm
^{60}Co γ-rays: SSD 60cm
15 MeV X-rays: SSD 70cm
31 MeV X-rays: SSD 100cm

2．宿酔症状

放射線治療を行なうものは比較的末期のものが多いので，自覚症状の発現が疾患の重症のためか照射による副作用であるかの区別は非常に困難である．われわれが行なつた Betatron による超高圧X線治療によつて現われる宿酔症状は表（Tab. Ⅲ—1）にみられるとおりである．

宿酔症状は頭痛，眩暈，倦怠感，発熱，食思不良，悪心，呕吐，下痢等で一般に宿酔症状として述べられているものである．

Betatron X線で治療した症例 131例のうち頭頸部24例，上腹部8例，下腹部63例，その他9例のものではいずれも頭痛12.9%，倦怠感25.1%，食思不良24.4%が認められたが，いずれも軽度で他の深部X線治療や^{60}Co γ線治療のそれに較べてすくなく，これらの成績は藤野らの成績とほぼ一致

Tab. Ⅲ-1 Radiation Sickness and General Findings After 15MeV Betatron Therapy

	Total Cases	Radiation Sickness							General Findings		
		Head-ache	Vertigo	Fatigue	Fever	Anorexia	Nausea Vomit-ting	Diarrhea	Aggra-vation	Sta-tionary	Improve-ment
Head Neck	24	8	1	5	0	3	0	0	2	21	1
Chest	27	3	0	10	3	10	2	0	14	10	3
Upper Abdomen	8	0	0	3	1	1	1	0	5	2	1
Lower Abdomen	63	6	0	14	7	15	4	2	20	31	12
Others	9	0	0	1	1	3	1	0	4	4	1
	131	17 (12.9)	1 (0.8)	33 (25.1)	12 (9.1)	32 (24.4)	8 (6.1)	2 (1.6)	45	68	18

Tumor Dose more than 4000 rads

Tab. Ⅲ-2 Radiation Sickness and General Findings after Betatron Electron Beam Therapy

	Total Cases	Radiation Sickness							General Findindings		
		Head-ache	Vertigo	Fatigue	Fever	Anorexia	Nausea Vomit-ting	Diarrhea	Aggra-vation	Sta-tionary	Improve-ment
Head Neck	32	1	0	6	1	7	3	0	9	18	5
Chest	20	2	0	5	1	4	5	0	5	12	3
Others	9	0	0	1	0	1	1	0	4	5	0
	61	3 (5)	0 (0)	12 (19)	2 (3)	12 (19)	9 (15)	0 (0)	18	35	8

Tumor Dose more than 4000 rads

Tab. Ⅳ Uncomplete Treatment due to Decreased W.B.C.

Quality	Total Cases	Cases With Decreased W.B.C.	2000 ～	4000 ～	6000 ～	8000 ～	10000 ～	12000 ～	14000 ～	16000 ～	18000 ～	20000 ～
15 MeV Electrons	32	8 (25%)	1	3	2	1	0	0	0	0	1	
15 MV X-Rays	76	18 (23%)	3	8	3	0	2	1	0	0	0	1
^{60}Co γ-Rays	110	41 (37%)	8	7	5	7	1	2	1			
250 kVp X-Rays	51	20 (39%)	3	7	4	4	2	0				

している．

電子線治療ではその線量分布から考えても宿酔症状がすくないであろうことは容易に理解できるが，しかしまつたくない訳ではなく表（Tab. Ⅲ—2）にみるように軽度ながら訴えられ頭痛5％，倦怠感19％，食思不良19％があげられるがいずれも軽度である．

3．末梢血液像

放射線照射によつて末梢血液像に変化が起こり，特に白血球数の減少が著明で，このために放射線治療が当初計画された通りに実施できないことが往々にある．著者らの例にしても白血球減少のために治療を中断した症例は，表（Tab.Ⅳ）にみるように15MV X線では 250kVp X線や^{60}Co γ線による治療よりもすくないとはいえ，なお可成の照射の影響がみられるが，これらはいずれもし

ばらく中断の後白血球数の回復をまつて予定の治療が完了されている.

超高圧X線治療による末梢血液像に与える影響を，容積量の大きい子宮頸癌患者および肺癌患者について観察した.

子宮頸癌患者では下腹部前後4門照射で，病巣線量 4,000rad 以上の完全照射を行なつた症例を選んだ. 照射開始後1週間毎に末梢血液検査を施行して病巣線量との関係を調べた. 血液像は全身状態および局所の状態等に左右されることを考慮して，ここでは手術を行なつた比較的軽症のものと，手術不能の重症例の2群にわけてその変化を観察した (Fig. V—1).

手術を行なつた子宮頸癌患者では Hematocrit. 赤血球数は照射前の値と大差がなく，むしろ増加の値がえられた. このことは 250kVp X線照射では照射後いずれも減少していることにくらべて，15MV X線との間に差が認められる. 白血球数は15MV X線では照射後 4,000rad 附近で一時減少するが比較的速やかに回復するようで，治療終了時には治療前とあまり差がない. 250kVp X線では減少の程度が15MV X線に比較して強く，照射終了時までに回復することがない. 白血球各成分の消長については特に放射線に対して感受性の高いリンパ球の推移を観察したが，250kVp X線照射によるものの方が15MV X線照射時よりも減少が高度である.

手術を行なつていないⅢ～Ⅳ期の広範な病巣を有する子宮頸癌患者についても同様のことを検討した結果，Hematocrit および赤血球数は超高圧X線では10,000～12,000rad の大線量照射でも減少しないが，250kVp X線や^{60}Co γ線では減少の傾向がうかがわれる. 白血球数は超高圧X線では照射後一時減少するが，照射終了時にはむしろ照射前の値にまで回復するようである.

しかし^{60}Co γ線では一旦減少の後は回復の傾向はみられず，250kVp X線では減少は前2者にくらべて著しい. リンパ球の減少は 250kVp X線ではきわめて著しく，^{60}Co γ線と15MV X線はほぼ同程度に減少するが，15MV X線の方がややすく

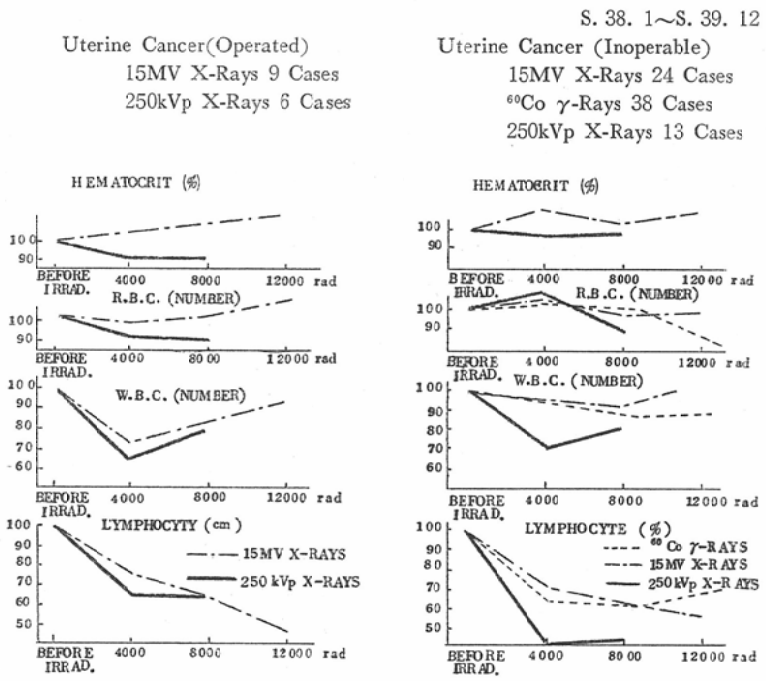
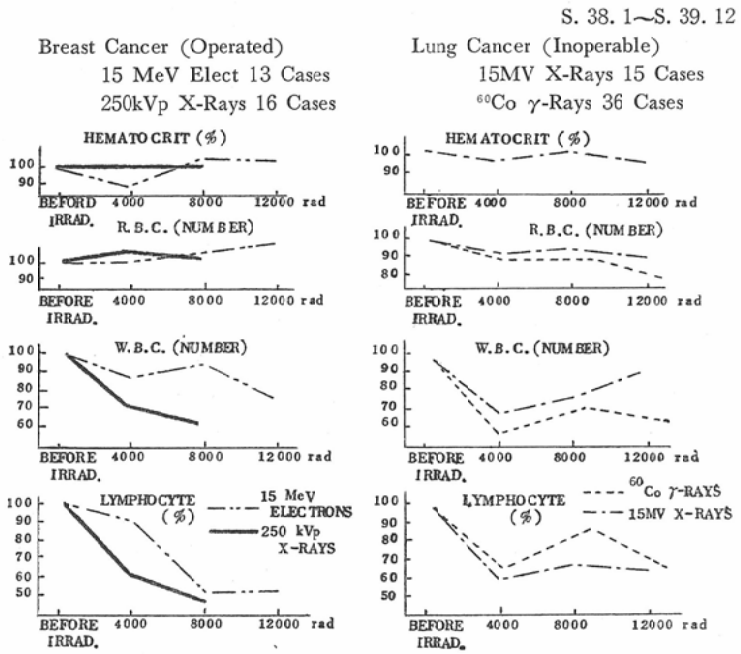


Fig. V-1 Peripheral Blood Findings with Radiation Therapy



Fig, V-2　Peripheral Blood Findings with Radiation Therapy

ないようである．このような関係は下腹部照射の場合だけでなく，手術を行なつていない肺癌の胸部照射の場合にもみられる（Fig. V－2）．
しかしこの場合はほとんどが末期の重症例であるためか Hematocrit, 赤血球数は治療前にくらべて治療後にはやや減少するが，^{60}Co γ 線においてはこの傾向はやや強いようである．白血球数は減少するが15MV X線では一時 4,000rad 附近で減少し，その後回復がみられるのに対し^{60}Co γ 線はこの回復は徐々である．リンパ球の減少は15MV X線と ^{60}Co γ 線とはともに大線量の照射後に著しい．これらのことより15MV X線では腫瘍線量という大線量を照射しても Hematocrit, 赤血球数の減少はすくなく，リンパ球のみは著明な減少がなお残つている．白血球数は一時減少するが治療終了時までにはおおよそ回復の状態にあるものと思われる．

このことは 250kVp X線や^{60}Co γ 線にくらべて15MV X線では放射線の影響はすくなく大線量照射をするも重大な支障を残すことがないように思われる．

電子線治療については乳癌術後の電子線照射例（Fig. V－2）で観察を行なつた．Hematocrit, 赤血球数は照射前と大差はないが白血球数の変動はこれと趣きを異にし，250kVp X線照射時ほど著しくはないが，照射後一時減少した後一旦回復して 8,000rad 位の大線量になると再度減少することが知られる．これは胸骨辺縁のリンパ節を照射するためにこの段階において白血球数の減少が著明に起こり，このような経過をたどるものと解釈できる．

4.　血液生化学的所見

大量のX線を照射することにより，肝障害が起こり血液生化学的所見に変化が現われ，特に放射線照射後には血清 Alubumin の減少，Globulin の増加，就中 γ-Globulin の増加がみられると述べられている．柴田によれば Hematocrit，血清蛋白，A/G 比は全身障害を観察する指標になり，C.C.F.T. のほか Cholinesterase，γ-Globulin は肝機能障害の指標になるとしている．そこで照射

前および照射後に血清の Hematocrit, 総蛋白量, A/G 比, Cholinesterase 値, γ-Globulin を調べて照射による全身障害の有無, 肝機能障害発現の有無を検討した. 検査対象としては15MV X線の照射治療を行なつた子宮頸癌ならびに肺癌を選び, 子宮頸癌では根治手術を行なつた軽症のものと手術不能の広範な病巣をもつたものの2群にわけて検討した. 電子線照射では乳癌術後照射を選んだ.

まずはじめに癌進展の影響をさけ照射の影響を観察するために比較的軽症のⅠ～Ⅱ期にある手術を行なつた子宮頸癌について血液生化学的所見をしらべた. 15MV X線照射例では Hematocrit は前32.7%に対し後34.9%, 血清総蛋白は前 6.7 g/dlに対して後 7.1 g/dl, A/G 比は前0.89に対し, 後0.95といずれも照射後に血液所見の改善が認められている. また C.C.F.T. も前 0.2に対し, 後 0.9, Cholinesterase は前0.65ΔpH に対し, 後0.83 ΔpH, γ-Globulin は前27.4%に対し, 後25.4%となつており, これらはいずれも照射後に血液所見の改善がみとめられている. これらのことから全身障害および肝機能障害は照射後においても惹起されていないものと解釈される.

このことは非手術の進展した子宮頸癌についてもいえる. すなわち A/G 比を除き Hematocrit, 血清蛋白, C.C.F.T., Cholinesterase, γ-Globulin の所見はいずれも照射治療後に改善されている.

15M VX線照射をうけた手術を行なつていない肺癌については Hematocrit は前38.0%に対し, 後34.6%, A/G 比は前0.94に対し, 後0.87とともに減少がみられ, 血清蛋白は前 6.8 g/dlに対し, 後 6.9 g/dlと照射前後で差がなく, これらの所見から全身状態の一般的な悪化が推定される. これはⅢ～Ⅳ期の末期患者であることにもよるであろう. ところが C.C.F.T. は前 0.3に対し, 後 0.3で両者に差がなく, Cholinesterase は前0.70ΔpH に対し, 後0.72ΔpH で照射後にやや増加して血液所見の改善がみられ, 肝機能の強い障害は認められないようである.

電子線照射の影響は乳癌手術後の症例について観察した. Hematocrit は前34.0%に対し, 後35.0%, 血清蛋白は前 7.4 g/dlに対し, 後 7.3 g/dl A/G 比は前0.92に対し後0.93と照射前後であまり差が認められず照射の影響はすくないようである. また C.C.F.T. は前 0.3に対し, 後0.45, Cholinesterase は前0.80ΔpH に対し, 後0.93ΔpH, γ-Globulin は前26.6%に対し, 後23.8%であつてこれも照射後に血液所見の改善が認められるようで

Tab. V　Chemical Findings of Blood for Radiation Therapy

	Uterine Cancer post operative				Uterine Cancer inoperable				Lung Canecr inoperable		Breast Cancer post operative				
	15 MV X-rays		250 kVp X-rays		15 MV X-rays		250 kVp X-rays		15 MV X-rays		Elect.		250 kVp X-rays		
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	
Hematocrit(%)	32.7	34.9	35.4	34.0	32.0	33.8	33.8	34.6	38.0	34.6	34.0	35.0	34.8	35.6	40—54 (♂) 37—47 (♀)
Serum Protein (g/dl)	6.7	7.1	7.1	7.1	6.9	7.3	6.5	6.7	6.8	6.9	7.4	7.3	7.2	7.4	6.5～ 8.0
A/G ratio	0.89	0.95	0.94	0.98	0.91	0.82	0.79	0.89	0.94	0.87	0.92	0.93	0.92	0.97	1.2～ 1.8
C.C.F.T.	0.20	0.90	0.35	0.55	0.15	0.40	0.55	0.40	0.30	0.30	0.30	0.45	0.40	0.40	0 ～ 1.0
Cholinesterase ΔpH	0.65	0.83	0.81	0.78	0.72	0.75	0.68	0.61	0.70	0.72	0.80	0.93	0.82	0.85	0.8～ 1.1
γ-Globulin (%)	27.4	25.4	25.7	24.6	27.3	27.8	27.0	25.4	24.1	25.6	26.6	23.8	25.1	25.4	21.4± 3.2
Number of cases	(9 cases)		(11 cases)		(18 cases)		(13 cases)		(12) cases		(9 cases)		(16) cases		

ある（Tab. V）.

以上の検討の結果超高圧X線，電子線照射によつても大線量を照射したにかかわらず全身状態の悪化，肝機能障害の出現はみられないようであり，むしろ照射後に全身状態の改善と肝機能の改善が認められ，このことは癌治療効果の一側面を観察しえたものと考えられる.

VI　皮膚障害

放射線治療において経皮的照射を行なう場合には，血液の変化もさることながら，最も支障をきたすものの一つに皮膚の障害がある. ^{60}Co γ線治療および超高圧放射線治療が行なわれるようになつて皮膚変化がすくなくなつたことは一般に知られている. 皮膚の変化は吸収線量その他物理的条件によつて左右されることのほかに個人差が多いことはもちろんであるが，同一人についても背面と腹面で著しい差があるごとく部位による差があり，露出部位と庇護部位によつてもことなり，さらにまた冬期と夏期によつても色素沈着に差があることからも想像されるように，いろいろの因子によつて影響をうけるようで，これを一元的に結論づけることは困難であろう. ここでは Betatron X線および電子線治療を行なつた患者の照射部位の皮膚変化を肉眼的，組織学的に観察して放射線の線質，放射線量との関係を検討した.

1.　皮膚表面近接部における線量分布

治療例を観察していると，従来の深部治療X線に比して超高圧放射線や，^{60}Co γ線治療の際には皮膚障害がすくないことがわかる. この理由の一つとして超高圧放射線や^{60}Co γ線治療の場合には，吸収線量の最大値が皮膚表面下数mmにあたり皮膚表面線量はこれよりかなり下まわつているからだと考えられる. ^{60}Co γ線に関しては尾内等の測定があるが，吸収線量の最大値が皮下数mmにあることを述べ，最近は Linac, Betatron による皮膚表面近くの線量の分布がわが国においても測定されている. 著者らも Betatron X線および電子線，^{60}Co γ線および深部治療X線について同様に皮膚表面近くの線量分布を測定した. さきに述べたように測定には直径の大きい電離槽を用いたのでは正確を期しがたいので，薄い壁をもつた電離槽，すなわち Shallow chamber（東芝）を用いて測定した. 結果はすでに述べたように15MV X線では25～30mm深部で最大線量を示しその表面では最大線量の19%，2mm深部で49%であり，^{60}Co γ線は4mm深部で最大線量を示し，表面では最大線量の21%，2mm深部では90%であり，この^{60}Co γ線の値は John's の値とほぼ一致している. 200 kVp X線では表面で最大線量を示した. ところでこのような3種類の放射線を深部の病巣に同じ量だけ照射しても，皮膚において吸収され反応にあずかる線量は3つとも少づつ異なるはずである. そこでこの著者らが測定した結果にもとづき，各症例の放射線感受性が高い基底層があると考えられる2mm深部における吸収線量を算定しこの線量と皮膚反応，ならびに線質との関係を調べた.

2.　肉眼的変化

肉眼的変化は Betatron 治療を行なつたもののうち，X線治療で完全照射を行なつたもの 169名ならびに電子線治療を行なつたもの79名を対象とした. 照射部位はX線，電子線ともに頭頸部，胸部，腹部，上下肢その他全身におよび1照射を1件として数え，初回治療のもののみを対象とした.

皮膚の肉眼的変化としては，紅斑および着色，脱毛，毛嚢炎，乾燥，水泡形成，糜爛形成等について隔日に観察し，変化があらわれた日までに照射された線量と皮膚変化との関係を調べた. なお皮膚反応は負荷された線量や照射野の大きさに左右されるので，Betatron X線では6×6cm以上，電子線では6×6cm以上の比較的大きい照射野で照射した例についてのみ観察することにした.

(a) Betatron X線照射の場合

(a_1) 一門照射の場合（Tab·VI）（Fig. VI—1 a,b, 2 a,b, 3 a,b）射入野における皮膚変化は一般に軽微であり，紅斑および色素沈着は個人差，照射部位による差異もあるが一般に皮下2mmの吸収線量 1,500～3,000rad で認められる. 毛嚢炎は 3,000rad 以上，乾燥は 2,000～3,000rad より認められる. 脱毛は頭部照射例においては大体

Tab. VI Skin Reaction with Betaron Therapy One Field Irradiation with 15MV Betatron X-Rays

	Total Given Dose rad	2000～	3000～	4000～	5000～	6000～	7000～	8000～	9000～	10000～
	Reaction ＼ Dose At 2 mm Depth rad	1000～	1500～	2000～	2500～	3000～	3500～	4000～	4500～	5000～
Entrance Field	Erythema & Pigmentaion		7	7	8	8	3	1	2	
	Epilation		3	1						
	Folliculitis					2	1	1		
	Siccation & Desquamation			5	1	4		1	1	
	Vesiculation									
	Erosion									
	Ulceration									
Exit Field	Erytoema & Pigmentation		6	5	1	2				
	Epilation									
	Folliculitis									

Tab. VII Skin Reaction with Betatron Therapy One Field Irradiation with 15MeV Electrons

Reaction ＼ Total Given Dose rad	1000～	2000～	3000～	4000～	5000～	6000～	7000～	8000～
Erythema & Pigmentation		11	29	13	3	2		
Epilation								
Folliculitis			3	12	10	11	1	1
Siccation & Desquamation			3	2	8	6		
Vesiculation					1		1	1
Erosion					4	5	3	1
Ulceration								1

1,500rad で認められる．しかしこれらの変化はいずれも軽く，5,000rad 以上照射したものでも水泡形成，糜爛形成等の高度の変化は1例も認めなかつた．ただこの場合注意すべきは射出野における皮膚変化で，症例によつては射入野より早く変化があらわれるものがあり，照射線量としては 3,000～6,000rad 位から軽度の紅斑，毛嚢炎，乾燥等が起こるが，それ以上の高度の変化は認められない．

(a_2) 対向二門照射の場合 (Fig. VII)

肺癌，子宮癌のごとく対向する二門照射を行なつた場合には，もちろん体の厚さによつても異なるが，射入と射出の線量が加算されることとなり，一門照射の場合よりもすこし早く変化が認められる．対向する二門で隔日交互に照射した場合は一方向の皮下2㎜における吸収線量で表示すると 2,300～3,500rad で紅斑が認められ，毛嚢炎は 3,500rad 乾燥も 2,300～3,500rad 位から認められるが，それ以上の高度の変化は起こらず予定病巣線量を照射し終えている．

(b) 電子線照射の場合 (Tab. VII) (Fig. VIII—1 a.b, 2 a.b)

超高圧電子線 (15MV) では肉眼的皮膚変化は可成強く認められる．紅斑はX線と同様個人差，照射部位等による差異があるが，紅斑は 2,000～4,000rad で認められるものが多く，毛嚢炎は 4,000～6,000rad で起こる．そして 5,000～6,000rad 以上照射すると照射終了後に湿性皮膚炎を起こすものがほとんどで糜爛形成を見る．8,000rad 下腿照射の1例に難治性の放射線潰瘍を作つたものがあるがそのほかはたとえば糜爛を生じても大体3週間の比較的短かい期間に治癒し

Tab. Ⅷ-1　Betatron X線照射例

症例	年令	性別	部位	照射野 (cm²)	照射線量 (R)	期間 (日)	皮下2mmの吸収線量 (rad)	切除迄の日数	上皮 過角化	上皮 萎縮	上皮 色素増加	上皮 空泡状変性	真皮 血管拡張	真皮 リンパ管拡張	真皮 細胞浸潤	真皮 皮脂腺萎縮	真皮 毛根萎縮	真皮 弾力線維変性	真皮 膠原線維増加	汗腺萎縮	脂肪織線維化
T.O	34	男	上腹部	8×13	1950/	16	927	2	+	+	++	−	+	+	+	+	+	−	+	+	−
I.Y	56	男	上腹部	8× 9	3000/	12	1426	2	+	+	+	+	±	±	+	++	++	+	+	+	−
S.M	36	女	下腹部	7×13	4500/	25	2139	7	−	+	+	±	+	+	+	−	−	+	+++	−	−
T.M	52	男	下腹部	8×13	4500/	23	2139	8	+	++	+	±	+	−	−	−	++	+	+	−	−
A.Y	32	男	下腹部	8×13	10260/	88	4876	9	+	+++	++	+	+	+	+	+	++	−	++	+	
Y.M	52	男	胸部	8×13	14156/	105	6728	0	+++	+	++	++	++	++	++		+	+	+	±	−
K.K	71	男	胸部	8×13	1400/	8	665	69	+	+	−	+	+	−	−	−	−	++	−	−	
S.H	61	男	下腹部	6× 9	4200/	19	1996	33	+	±	+	+	+	−	−	−	+	+	−	−	±
K.Y	72	男	胸部	5×10	4320/	14	2053	28	−	−	±	−	+	+	+	−	+	++	±	−	
Y.S	43	男	胸部	8×13	5200/	73	2472	36	+	+++	+	−	±	−	−	−	+	+	+	+	
T.F	36	男	胸部	4× 8	8600/	66	4088	19	±	+	+	−	+	±	±	±	+	+	++	−	−
Y.K	66	男	胸部	8×13	9700/	114	4610	42	+	+++	+	−	−	+	+	++	+	−	+	++	
T.N	37	男	胸部	8×13	9860/	140	4686	25	+	+	+	±	−	−	−		++	−	+	−	
H.T	59	男	胸部	7× 8	9920/	211	4715	20	±	+	+	±	±	+	+	+	++	++	+	+	−
S.Y	19	女	肩部	8×13	10700/	57	5086	46	+	++	++	±	+	−	−		+	+++	+	+	+

Tab. Ⅷ-2　Betatron 電子線照射例

症例	年令	性別	部位	照射野 (cm²)	照射線量 (R)	期間 (日)	皮下2mmの吸収線量 (rad)	切除迄の日数	上皮 過角化	上皮 萎縮	上皮 色素増加	上皮 空泡状変性	真皮 血管拡張	真皮 リンパ管拡張	真皮 細胞浸潤	真皮 皮脂腺萎縮	真皮 毛根萎縮	真皮 弾力線維変性	真皮 膠原線維増加	汗腺萎縮	脂肪織線維化
K.M	62	男	腋窩部	6× 8	900/20		882	2	±	+	+	±	+	+	+	±	+	−	+	−	−
K.M	62	男	肘径部	10×10	900/20		882	2	−	−	+	±	+	+	+			−	+	±	−
M.T	62	女	胸部	8×10	3300/12		3234	1	±	+	++〜+++	±	+	+	−	+	+	−	+	+	−
K.W	56	男	背部	6× 8	3000/16		2940	5	±	++	+	+	++	++	+	+	+	+	+	−	−
T.Y	34	女	鎖骨上窩	8×10	3900/15		3882	1	+	±	+	+	−	−	+	−	−	+	−	−	−
T.U	59	男	頚部	10×10	6000/49		5880	3	++	+	−	±	−	−	−	++	++	+	+	±	+
S.M	53	男	腰部	8× 6	6000/25		5880	6	+	+	++	+	++	++	+	+	+	+	−	−	±
K.N	40	女	胸部	8×10	4000/21		3920	109	+	−	−	−	++	++	±		+	−			
H.M	51	女	胸部	10×10	5100/34		4998	11	±	+	+	−	+	+	−	−	−		粗		
M.K	42	男	頚部	10×10	5700/31		5586	82	++	++	+	−	+	+	−	−	−	+	+	−	±
S.S	53	男	肘径部	6×10	6000/25		5880	62	+	−	−	++	+	+	+		++	+	+	+	−
O.N	32	男	下肢	6× 8	8000/36		7840	202	+++	+	−	−	血管変化	+	+	−	−	−	+++	−	

ているようである.

3. 組織学的変化

Betatron により発生される高エネルギーX線および電子線を用いて照射を行なつた場合，肉眼的にその皮膚障害は従来の深部治療X線によるものより遙かにすくない．照射された皮膚の変化を組織学的検索から論じた研究はすくないので，15 MV Betatron による照射治療を行なうにあたり，15MV X線照射15例，電子線照射11例の皮膚組織を採取して，病理組織学的に検索した.

被検者は表（Tab.Ⅷ—1）（Tab.Ⅷ—2）のごとくで男性20名，女性6名．年令は19～71才であつた．被検査の皮膚は胸部，背部，上腹部，下腹部，頚部，鼡径部，腋窩部，下腿部から採取した．採取の方法は手術，剖検，Biopsy等にできるだけ深く皮下組織を含むように注意して切除した.

採取した皮膚組織は直ちに10% Folmalin 液にて固定し，切片標本を作成した．染色方法としては Hematoxylin Eosin染色，Elastica Van-Gieson 染色，Masson 氏 Trichrome 染色，PAS染色ならびに鍍銀染色を行なつた.

A. 結果

（i）個々の症例

症例1．56才，男子．上腹部，15MV X線照射例，吸収線量は 1,426rad/12日照射後2日目に切除．上皮の hyperkeratosis および atrophy を認め，真皮においては円形細胞浸潤が認められる．Elastica Van-Gieson 染色で真皮上層の弾力線維減少と中～下層で弾力線維断裂を認める（Fig. Ⅸ—1，2）.

症例2．36才女子，下腹部，15MV X線照射例，吸収線量は 2,139rad/23日照射後7日目切除．上皮の hyperkeratosis，pigmentation および真皮内のtelangiectasisを認める．また真皮層内の著明な幼若膠原線維の増加があり，弾力線維は消失している（Fig. X—1，2）.

症例3．52才，男子，下腹部，15MV X線照射例，吸収線量は 2,139rad/23日照射後8日目に切除．上皮の hyperkeratosis および一部に atrophy を認める．真皮層内では毛根周囲の小円形細胞浸潤と幼若な膠原線維の増殖および弾力線維の断裂が認められる（Fig. Ⅺ—1，2，3）.

症例4．19才，女子，肩関節，15MV X線照射例，吸収線量は 5,086rad/57日，照射後46日目に切除．上皮の atrophy 著明な rete ridge の延長を認める．真皮層内では膠原線維の断裂，弾力線維の消失が認められる（Fig. Ⅻ—1）.

症例5．52才，男子，胸部，15MV X線照射例，吸収線量は 6,728rad/ 105日，照射後直ちに切除．上皮の pigmentation および基底細胞層の萎縮を認めまた同部の空泡変性を認めるが，PAS染色にて内容は染まらない．真皮層では telangiectasis 毛根の萎縮および幼若膠原線維の増加ならびに弾力線維消失が認められる（Fig. XIII—1，2，3，4，5）.

症例6．62才，女子，胸部，9 MeV 電子線照射例，吸収線量 3,234rad/12日，照射後1日目に切除．上皮では hyperkeratosis があり，真皮上層では血管周囲に軽度の小円形細胞浸潤を認める．その他は萎縮した毛根および皮脂腺周囲に膠原線維が認められる（Fig. XIV—1，2）.

症例7．59才，男子，頚部，15MeV 電子線照射例，吸収線量は 5,880rad/49日，照射後3日目に切除．真皮では毛根萎縮および角化が認められ，著明な弾力線維断裂がありかつ結節状に存在する（Fig. XV—1，2）.

症例8．53才，男子，鼡径部，15MeV 電子線照射例，吸収線量は 5,880rad/25日，照射後62日目に切除．上皮では hyperkeratosis, rete ridge 消失があり，基底細胞は空泡変性に陥り，内容はPAS染色では染らなかつた．melanine，貪食細胞が認められ，真皮では毛根周囲の幼若な膠原線維増殖とリンパ球の浸潤があり，一部では幼若結合織増殖のため弾力線維消失が認められる（Fig. XVI—1，2，3，4）.

症例9．32才，男子，下肢，7 MeV 電子線照射例，吸収線量は 7,840rad/36日，照射後 202日目に切除．放射線潰瘍を形成した1例で，潰瘍辺縁で扁平上皮の肥厚が認められ，真皮層では血管の充盈と血管壁に fibrinoid 変性が認められる

(Fig. XVII—1, 2, 3).

(ii) 結果

このようにして観察した皮膚組織の変化は肉眼的所見にも見られたように年令，性別，照射部位その他諸種の因子に影響されるので個々の症例について詳述することは意味がすくないので，これを総括して全般的な傾向について検討を加えることにした．上皮層では hyperkeratosis, atrophy, pigmentation,基底細胞層の空泡変性について，真皮層では血管，リンパ管拡張，細胞浸潤，皮脂腺萎縮，毛根萎縮，弾力線維の断裂および減少，膠原線維増加，汗腺萎縮，皮下組織では脂肪組織線維化について観察した．なお照射後切除までの期間の長いものと短いものでは，回復の因子も考慮されるので，照射後10日以内に切除したものと，10日以上経過したものに分けて観察し，線量は皮下2㎜における吸収線量を表示した．

(a) Betatron X線照射の場合 (Tab. Ⅶ—1)

(a_1) 照射10日以内に切除したもの (6例)

皮下2㎜における吸収線量は 927～ 6,728rad で，この照射期間は12日から 105日まで種々である．照射野は8×9～8×13㎝，照射部位は上腹部，下腹部ならびに胸部である．組織学的所見は上皮において hyperkeratosis は一般に軽度であり，atrophy は軽度～高度，pigmentation および基底細胞の空泡変性は軽度～中等度に認められ，これらの変化は線量の増加とともに増強の傾向がうかがわれた．真皮においては血管，リンパ管拡張は軽度～中等度に認められ，線量の増加とともに増強している．細胞浸潤は軽度でほとんど円形細胞浸潤であつた．皮膚附属器の変化は毛根の萎縮が他の皮脂腺や汗腺の萎縮より強く認められ，線量の増加とともに強くなつていた．しかしいずれにしても軽度～中等度であつた．そのほかの変化としては膠原線維増加が軽度～高度に認められ，弾力線維の変性は軽度であつた．膠原線維は幼若なものの増加が目立ち，弾力線維は断裂および減少等の変化が見られた．皮下組織においてはあまり変化が認められず脂肪織の線維化はほとんど認められなかつた．

(a_2) 照射後10日以上経過したもの (9例)

皮下2㎜における吸収線量は 665～ 5,086rad で照射期間は19日から69日までである．照射部位は胸部，下腹部および肩部で照射野は4×8～8×13㎝である．

上皮では hyperkeratosis は軽度であるが，atrophy が軽度～高度に認められた．pigmentation および空泡変性は，いずれも軽度～中等度の変化が認められ，線量の増加により増強の傾向がうかがわれるが，回復の因子が関与するためか，照射後10日以内切除群程強くなかつた．

真皮では血管，リンパ管拡張は軽度で線量による差は認められず，照射後10日以内切除群よりも変化がすくない．細胞浸潤は軽度で照射後10日以内切除群よりすくない．皮膚附属器の変化としては毛根萎縮は軽度～中等度に認められ，線量の増加につれて強いが10日以内切除群とあまり差がない．膠原線維増加および弾力線維変性はやはり線量の多いものほど強く，膠原線維増加は10日以内切除群よりすくないようである．そして弾力線維の断裂および減少は小線量群においても可成強い変化が認められ，10日以内切除群よりもやや強い．皮下組織においては10日以内切除群ではほとんど全例脂肪織線維化は認められなかつたが，この群では軽度の変化が認められた．

(b) Betatron電子線照射の場合 (Tab. Ⅶ—2)

Betatron X線照射例と同様の方法で皮膚変化の観察を行なつた．

(b_1) 照射後10日以内に切除したもの (7例)

皮下2㎜における吸収線量は 882～ 5,880rad で照射期間は12日から25日までである．照射部は腋窩部，鼡径部，胸部，頚部，鎖骨上窩，腰部，背部である．照射野は6×8～10×10㎝である．

上皮では hyperkeratosis および atrophy は軽度～中等度であり，pigmentation は軽度～高度であつた．空泡変性は軽度に認め，これらの変化は線量の増加にともない強くなる．

真皮では，血管，リンパ管拡張は軽度～高度に認められ，線量の増加とともに強くなる．細胞浸潤は軽度であり，皮膚附属器の変化は毛根萎縮が

強く，中～高度であり，皮脂腺，汗腺萎縮は軽度であつた．膠原線維増加，弾力線維の断裂，消失が認められ軽度であつた．膠原線維は幼若なものの増加が認められた．脂肪織線維化は上皮の結節状増殖を来たした1例において軽度に認められたが，他はほとんど認められなかつた．

（b_2）照射後10日以上経過したもの（5例）

皮下2㎜における吸収線量3,920～7,840rad で照射期間は21日から36日である．照射部は胸部，頚部，鼡径部および下腿部で，この下腿部照射の1例に難治性の放射線潰瘍を作つた．照射野は6×8～10×10㎝である．

上皮では，hyperkeratosis は潰瘍を作つた1例において非常に強く認められた．他は中～高度であり，線量の増加とともに強くなる．atrophy は中等度であり，pigmentation は切除までの期間の長いものでは線量が多くても認められないものもあつた．空泡変性は軽く，1例を除いては認められず，10日以内切除群に較べて変化がすくない．

真皮では，血管，リンパ管の拡張は全例において中～高度のものが認められ，10日以内切除群とあまり差がなかつた．潰瘍を作つた例では血管の充盈と血管壁の fibrinoid 変性が目立つた．細胞浸潤は線量の多いものほど強く認められた．皮膚附属器の変化は10日以内切除群よりも軽い．膠原線維増加は潰瘍形成の例において非常に強く認められたが，その他は軽度であつた．脂肪織線維化は軽度のようである．

（B）小括

照射による皮膚変化と各線質ならびに線量との関係を組織像の変化から観察したが，症例がすくなく同一条件下における正確な比較は必ずしも容易でない．Betatron X線照射によるものと電子線照射によるものについて，照射線量と皮膚変化との関係ならびに切除までの期間との関係を検討し，大要を述べれば図（Fig. XVIII）に示すようになる．^{60}Coγ線および 250kVp X線照射については自験例および文献より引用し，Betatron によるものとの比較を行なつた．

上皮の pigmentation および atrophy は個人差が

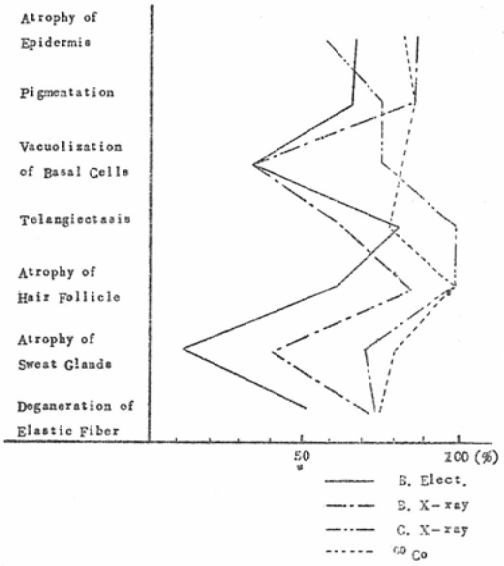


Fig. XVIII　Comparison of Histopathoiogical Changes Caused by Various Radiation

あるためか Betatron X線，電子線照射例ともに変動が大きく，はつきりした差は認められず，^{60}Coγ線，200kVp X線との差もはつきりしない．しかし基底細胞層の空泡変性を観察すると，いずれも線量の増加とともに増強しているが，Betatron X線および電子線照射によるものの方が^{60}Coγ線や 200kVp X線より軽い．そして照射後切除に要する時間の長いものほど変化が軽いようである．真皮層の変化として血管，リンパ管の拡張を観察したが，基底細胞層における変化と同様の傾向が認められた．次に皮膚附属器の変化として毛根萎縮および汗腺萎縮について観察すると，電子線照射例が一番軽く，ついで Betatron X線になり，^{60}Coγ線や，200kVp X線照射によるものが強くなつている．間質の変化としては，弾力線維変性および膠原線維増加について観察したが，電子線照射例が一番軽く，Betatron X線，^{60}Co γ線，200kVp X線はほぼ同程度であつた．膠原線維の増加としては幼若なものの増加が認められ，このような部では弾力線維の減少ないし消失が顕著である．

VII　総括並びに考案

近時 Betatron や Linear accerelator などの超

高エネルギー放射線発生装置がわが国においても各地に設置せられ，悪性腫瘍のみならず，各種の疾患の放射線治療に広く用いられるようになつた．これらの超高エネルギーX線および電子線はいくつかのすぐれた特性をもつているからである．実際に従来から使用していた 200kVp X線で深部治療を行なう際には強い宿酔症状や皮膚障害があらわれて当初に計画された腫瘍線量を与えることが不可能な場合があり，また照射治療を継続中，白血球数のいちぢるしい減少のために照射をやむなく中断することが往々あることは放射線治療医の等しく経験することで，これらの照射治療をいかにして予定通り続けるかということが放射線治療医に与えられた重大な課題である．ところがこの超高エネルギーX線または電子線を用いる場合にはこれらの不快な宿酔症状の軽減がみられ，皮膚変化も軽微で，照射を予定通り続けることは比較的容易となつた．また白血球数の減少も絶無ではないがかなり頻度は低くなり，以前程には若心せずに腫瘍線量の照射が可能となつた．ここにおいて著者は超高エネルギーX線および電子線治療を行なう患者についてその宿酔症状，末梢血液像の変化を観察するとともに血液生化学的所見の変動を検討して照射治療の影響を考察した．また放射線照射による皮膚の障害については肉眼的皮膚変化のほかに採取し得た皮膚の組織学的検索を行なつて照射の影響を考察した．

一体に放射線治療の際にあらわれる宿酔症状を惹起する原因については，従前からいろいろの見解がとられていて一定していないが，その一つには照射によつて産生された体内崩壊産物の蓄積が原因すると述べられている．それであれば主要臓器が照射されているかどうかにもよるであろうが体内崩壊産物の多い照射方法は宿酔症状その他の影響が強いことになる．そこで従来から治療に用いている 250kVp X線とこの度の15MV X線照射にもとづく容積量を比較してみると，17cm厚さの被照射体の中心すなわち 8.5cmの深部に 100 rad を照射するときは照射野を 8×8 cmS.S.D. を 250kVpでは50cm, 15MV X線では70cmにとれば，その容積線量はそれぞれ 148,400mg-rad, 121,900 mg-rad となり，250kVp のそれを 100%とすれば15MV X線のそれは82%となる．つまり従来からの 250kVp X線は15MV X線照射の場合よりも容積線量ははるかに大きいことになる．

15MV X線を照射した治療患者についてその宿酔症状をしらべてみると，頭痛12.9%，眩暈 0.8%，倦怠感25.1%，発熱 9.1%，食思不良24.4%,悪心,呕吐 6.1%，下痢 1.6%にあらわれ，従来の 200kVp X線照射のほとんどの症例に上記症状がみられることにくらべれば宿酔症状の発現はすくなく，しかもその症状は軽度であるといえよう．

超高エネルギー電子線を照射した治療患者については，頭痛5%，倦怠感19%，発熱3%，食思不良19%および悪心・呕吐15%にあらわれて上記超高エネルギーX線よりも宿酔症状の発現はさらに減少している．

放射線照射によつて，特にその線量が多くなれば血球数の減少をきたすことはよく知られたことで，特に白血球数の減少は著明である．放射線治療を行なう患者において白血球数が 3,000以下に減少するようなことになれば照射の続行にあたつては特に注意を要する．入江らによれば^{60}Co γ線治療を行ない白血球数の 3,000以下減少のために照射を予定通り終了することができなかつたものは全例の10.5%であつて普通X線にくらべて白血球減少の頻度ははるかにすくなくなることを明らかにしている．著者がしらべたところによれば，白血球数が 3,000以下に減少して照射治療を止むを得ず一時中断したものは，200kVp X線では39%，^{60}Co γ線では37%であるのに対し，15MV X線では23%とすくなくなつている．また電子線においても照射部位によつては白血球数が著明に減少する場合もあり，25%に照射が一時ではあるが中断されている．これらのすべてはしばらくの間隔をおけば白血球数の回復が期待でき，この段階において照射は再開されて予定線量の照射が可能となる．

末梢血液像の変化を，15MV X線照射を行なつ

た手術後の子宮頚癌と手術を行なわない広範な子宮頚癌および肺癌について，また電子線照射を行なつた手術後の乳癌についてしらべた．手術後子宮頚癌においてはHematocrit，赤血球数は照射後も照射前の値と大差は認められない．むしろ病状の改善にともない照射後に改善の傾向がうかがわれるものもある．この点^{60}Co γ線，250kVp X線では軽度，著明の差こそあれ照射後では照射前の値にくらべて減少がみられる．15MV X線では白血球数は大線量照射により一時軽度ながら減少するけれども，250kVp X線，^{60}Co γ線のように著明に減少しない．

このことは術後照射の子宮頚癌のみならず非手術子宮頚癌や肺癌においても大体同様のことがみられ，15MV X線照射後の末梢血液像の変化は他にくらべて軽度であるといえよう．

高エネルギー電子線照射の影響は250kVp X線よりもはるかにすくないが，照射部位によつては白血球の減少は一時的ではあるが著明であり，しばらくの後回復するようである．

次に大量のX線を照射すれば肝障害がおこり，血清蛋白分屑に変動をきたす．すなわち照射後には血清Albuminの減少，γ-Globulinの増加が明らかにみられる．また微量ながら長期にわたつてX線を受けたような場合においても血清の総蛋白量の増加，Albuminの減少，α-およびγ-Globulinの増加がみられることも知られている．要するにX線の照射によつて血清蛋白分屑の変動があらわれる．また照射をうけていない癌患者にあつても血清Cholinesteraseの増加，γ-Globulinの増加がみられると述べられている．一方柴田らが述べているように，病態の重症度，経過，予後等にはこれらの諸検査所見は重要な参考になる．就中C.C.F.T.は肝障害があるとその程度に応じて値は大となり，Albnmin量が3.8g/dl以下に減少する低Albumin血症は肝機能障害，さらには全身障害の指標と考えられ，Globulinが3.5g/dl以上に増加することは肝障害，慢性炎症，腫瘍等の際にも認められ，またA/G比の1.2以下への低下は肝機能ひいては全身障害の指標となる．さらにまたCholinesteraseは肝機能障害があると減少するといわれている．そこでHematocrit，血清総蛋白量，Albumin，γ-Globulin，C.C.F.T，Cholinesteraseを検索して治療開始前と治療終了後の値を比較検討して15MV X線照射によつておこる全身状態の増悪，肝機能障害の有無を知るように努めた．

手術後の子宮頚癌では15MV X線照射によつてこれらの値は正常値に近づき，大線量の照射によつても全身障害および肝機能の障害はあらわれず，むしろ全身状態の改善がみられる．広範な病巣を持つ手術を行なつていない子宮頚癌，肺癌においても同様のことがみられ，また電子線照射を行なつた術後乳癌にも同じようなことがみられる．

つまり大線量の照射によつても血清総蛋白量，Albumin，γ-Globulin，C.C.F.T，Cholinesteraseに著しい変動はなく，照射の影響はすくないものと思われ，むしろ病巣の改善の結果上記諸測定値の改善がみとめられ，照射により全身状態の悪化，肝機能障害等の悪影響はみとめられない．

体外より照射治療する際には，皮膚障害をいかにすくなくして腫瘍に必要なる線量を与えるかが最も大切で，治療にあたつては皮膚の変化に充分に注目することが肝要である．従来から用いていた200kVp X線の照射では5,100radで湿性皮膚炎を起こし，^{60}Co γ線の照射では6,500radで湿性皮膚炎を起こすことが明らかにされている．

著者の観察によれば15MV X線を用いた照射の際，病巣に充分な線量を与えるにあたり重篤な皮膚の障害をおこしたことはない．もちろん治療患者の個人差，年令差，照射部位のちがい等によつて大いにことなるけれども，軽度ながら皮膚の紅斑，着色を残すにすぎず，せいぜい毛嚢炎，皮膚乾燥を認めるのみである．さきに述べた変化は射入部におけるものであるが，射出部における皮膚の変化も超高エネルギーX線においては無視することはできず，腫瘍の治療中射出部皮膚の着色，軽度の毛嚢炎をみることがあることはこうしたエネルギーの高いX線にみる特徴であろう．

ただここで注意しなければならないことは，か

かる超高エネルギーX線にあつてはbuild upがあることで，表面における線量は少く，ある深さのところで最大の線量を示すことである．著者はShallow chamberを用いて皮膚表面に近い部分の深部率曲線を求めて，このことを明らかにした．著者の実験では皮膚表面の線量は正確を期しがたいので，放射線感受性の高い皮膚基底層があると思われる2㎜深部における吸収線量を計算した．それによれば射入部においてはこの部の吸収線量が1,500～3,000radの範囲で皮膚紅斑が多くあらわれるようであるし，毛嚢炎は3,000rad以上の照射であらわれる．また射出部においては1,500～2,000radで紅斑があらわれはじめている．

電子線照射の際には超高エネルギーX線といささかおもむきをことにしていて，皮膚の変化はかなり強くあらわれ，J.S. Lauhlinらは22.5MeV電子線ではあるが紅斑は1,500～2,000radで認められ，4,000～4,500radで中等度の紅斑がみられるとしている．著者の観察によれば2,000～4,000radでpigmentation，紅斑があらわれ，4,000～6,000radでは毛嚢炎，5,000～6,000radでは湿性皮膚炎がみられ，5,000rad以上になると糜爛，水泡を生じてくるものがある．しかしこの糜爛は照射終了後2ないし3週間の比較的短かい期間で治癒することは250kVp X線，15MV X線と異なつたところであろう．

照射治療を行なつた皮膚の組織学的検索を行なつたが，このような研究はすくなく，特に超高エネルギーX線ならびに電子線を照射した場合についての検索は見当らない．著者の観察を総括すれば上皮においては表皮のatrophy，pigmentationは15MV X線，^{60}Co γ線，250 kVp X線とも差がないが，基底細胞層の空泡変性およびそれに伴う上皮一真皮移行部離開は，^{60}Co γ線に最も強く認められ，真皮層においては血管，リンパ管拡張は，15MV X線では一番軽く，普通X線では最も高度である．皮膚附属器の変化は電子線が最も軽く，次いで15MV X線となり，^{60}Co γ線や普通X線が最も高度である．弾力線維の変性および断裂は著明な差はないけれども，電子線照射例が最も軽いようである．膠原線維の変性としては，15MV X線，電子線ともに幼若なものの増加が顕著で，^{60}Co γ線や普通X線では硬化性の変化が認められる．

要するに15MV X線および電子線照射の照射により惹起された皮膚の変化は普通X線や^{60}Co γ線にくらべて変化の度合が一般に軽く，特有の変化は認められないが，強いていうならば真皮における幼若な結合織の増殖が著しいようである．

VIII 結　語

15MV医用Betatronによる超高圧放射線治療を行なつた患者について次のことが観察された．

1．一般に宿酔症状がすくない．

2．末梢血液像ではHematocrit，赤血球数には治療前後に大差はないが，白血球数は一時減少，特にリンパ球減少を認めるが，ほかの普通X線，^{60}Co γ線の場合より減少の度合は軽い．

3．血液生化学的検査ではHematocrit，血清総蛋白，Albumin，γ-Globulin，C.C.F.T，Cholinesterase を測定したが，治療前後に著明な差がなく，むしろ改善の傾向が認められ，照射によると全身症状の悪化，肝機能障害等の悪影響は認められなかつた．

4．皮膚障害は次のとおりである．

i）年令，性別，照射部位等による差が著しい．

ii）Betatron X線，電子線ともに線量が増加するにつれて変化は強くなる．

iii）15MV X線治療時の肉眼的皮膚変化は，^{60}Co γ線や深部治療X線に比して軽い．

iv）電子線治療時の肉眼的皮膚変化は著明であるが，その回復は深部治療X線に比して早い．

v）組織学的に著しい変化は，基底細胞層の空泡変性，血管障害，皮膚附属器の変化であるが，Betatron治療によるものはほかの^{60}Co γ線，普通X線に比して軽く，15MV X線よりも電子線の方が変化は軽いようである．間質の変化としては，幼若な膠原線維が増加し，弾力線維の断裂が認められ，線量が多くなるにつれて増強しているが，15MV X線と電子線の間には差が認められない．

Fig. VI-1a（射入野）

Fig. VI-1b（射出野）

60才♀　胸部 4701rad/54日 15MVX線照射　射入野の変化が強い.

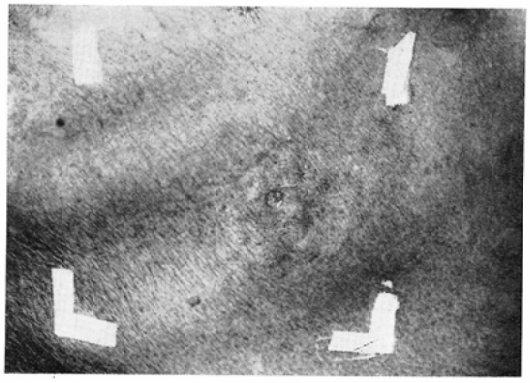


Fig. VI-2a（射入野）

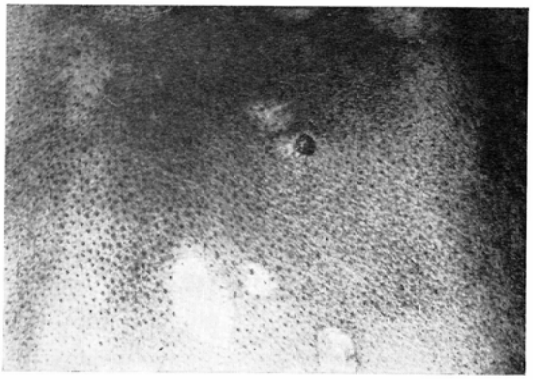


Fig. VI-2b（射出野）

55才♂　胸部 4494rad/52日 15MV X線照射　射出野の変化が強い

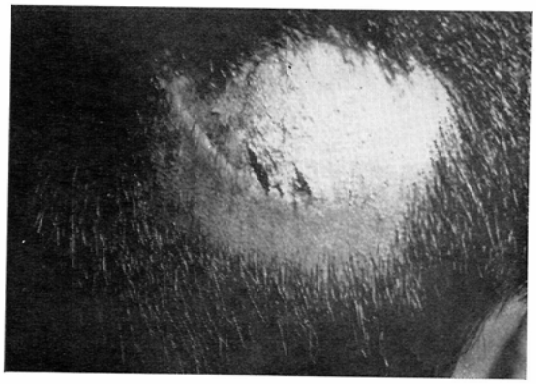


Fig. VI-3a

Fig. VI-3b

25才♂　2139rad/45日 15MV X線照射脱毛が射入野，射出野に認められる.

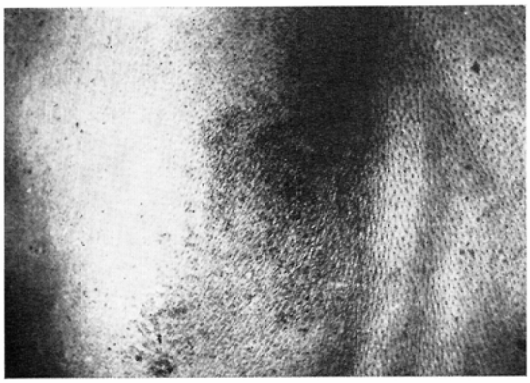


Fig. Ⅶ
70才♂　胸部　対向二門照射 15MV X線照射 5104rad/58日

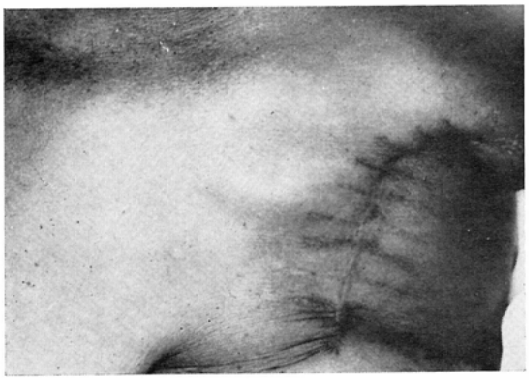


Fig. Ⅷ-1a（治療前）

Fig. Ⅷ-1b（治療終了時）

66才♀　胸部 6000rad/28日　9 Me V 電子線照射

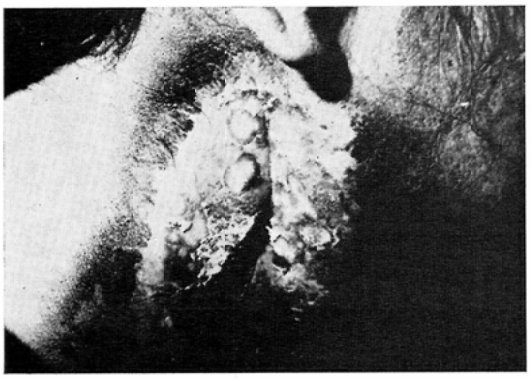


Fig. Ⅷ-2a（治療終了8日目）

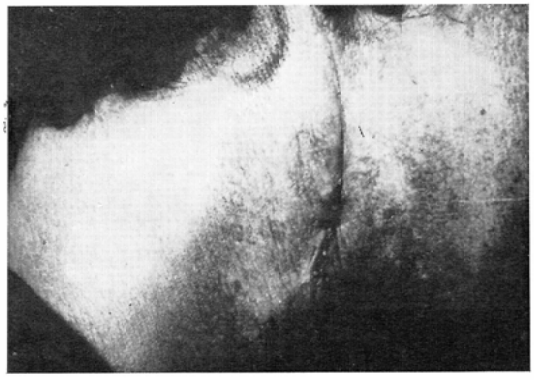


Fig. Ⅷ-2b（治療終了3週目）

34才♀　頚部　9 Me V 電子線照射 4800rad/29日

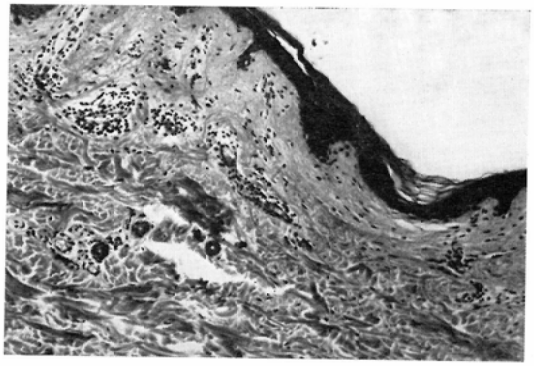


Fig. IX-1 H.E 染色

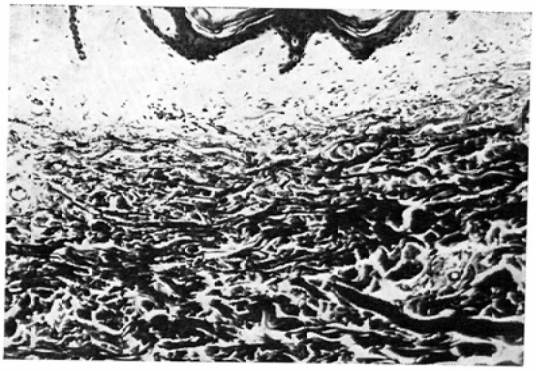


Fig. IX-2 Elastica Van-Gieson 染色

Fig. X-1 H.E 染色

Fig. X-2 Elastica Van-Gieson 染色

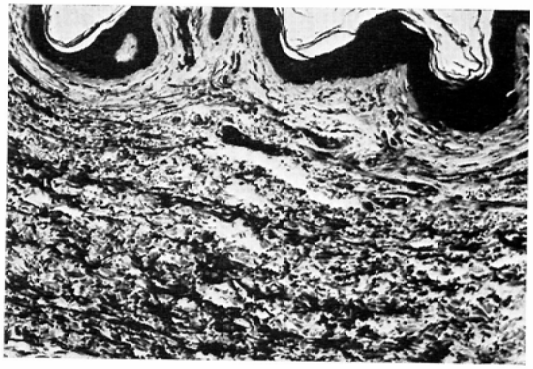


Fig. XI-1 Elastica Van-Gieson 染色

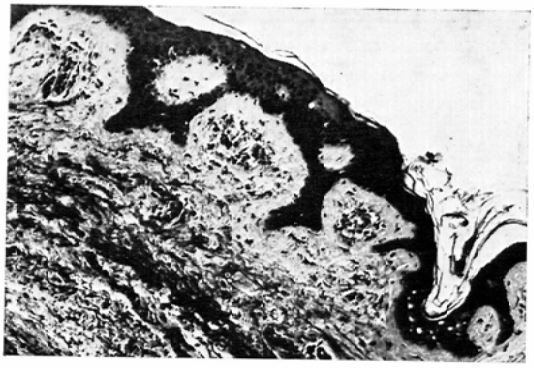


Fig. XI-2 Elastic Van-Gieson 染色

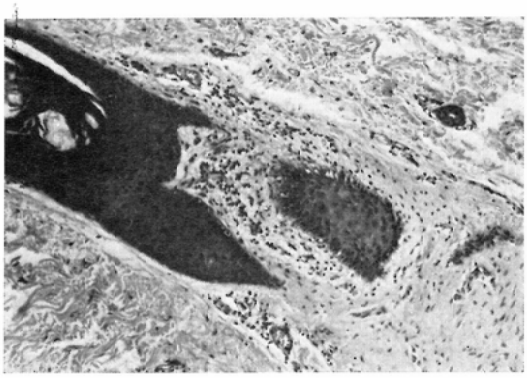


Fig. XI-3　H.E 染色

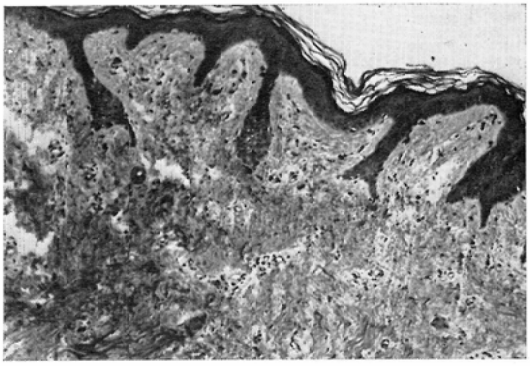


Fig. XII　Masson 氏 Trichrome 染色

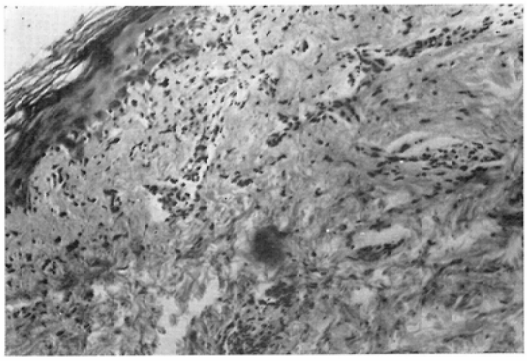


Fig. XIII-1　H.E 染色

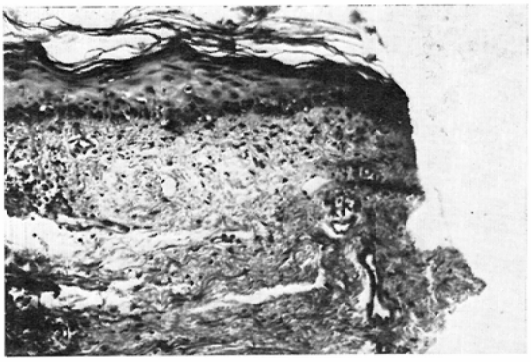


Fig. XIII-2　Elastica Van-Gieson 染色

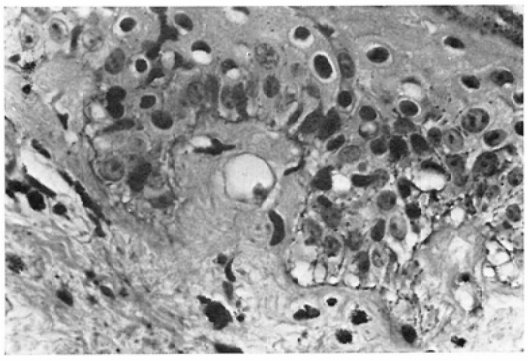


Fig. XIII-3　P A S染色

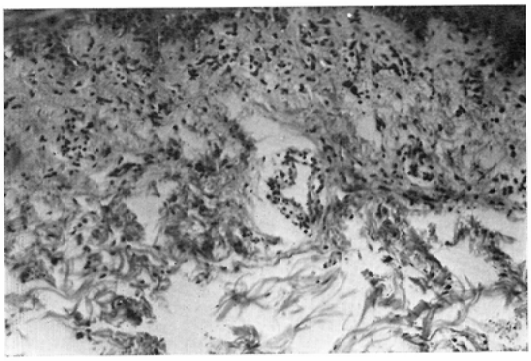


Fig. XIII-4　H.E 染色

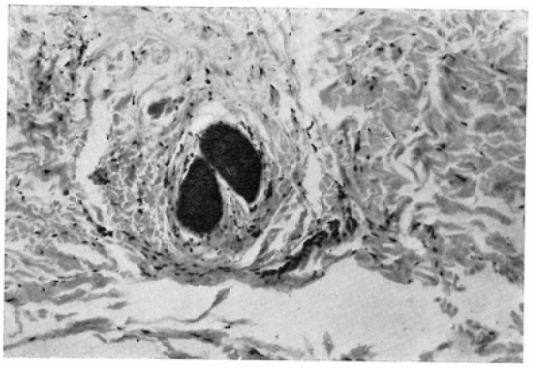


Fig. XIII-5　H.E 染色

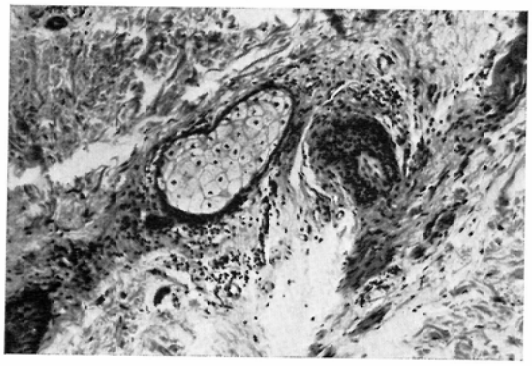


Fig. XIV-2　H.E 染色

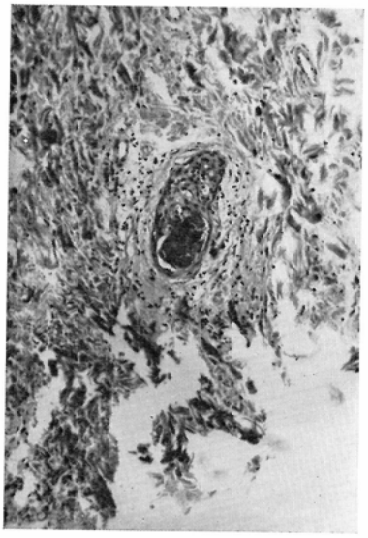


Fig. XV-2　H.E 染色

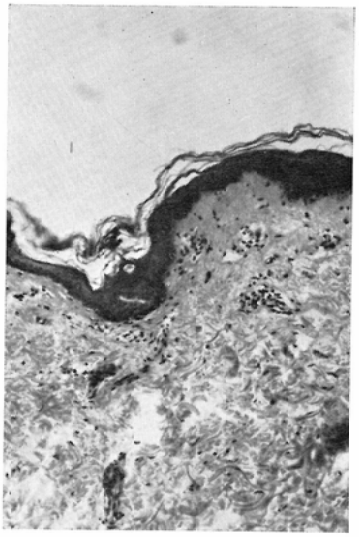


Fig. XIV-1　H.E 染色

Fig. XV-1　Elastica Van-Gieson 染色

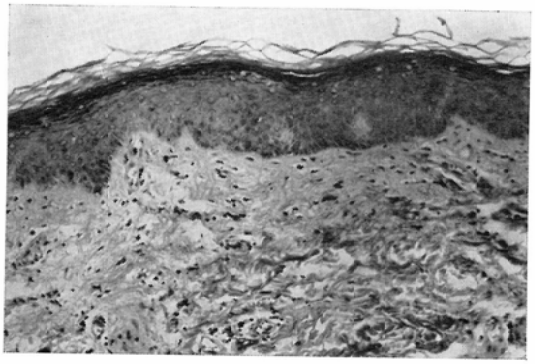


Fig. XVI-1　H.E 染色

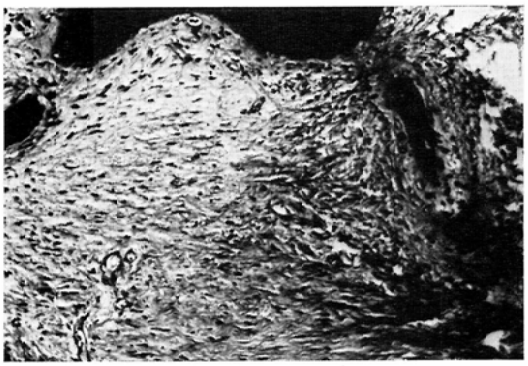


Fig. XVI-2　Elastica Van-Gieson 染色

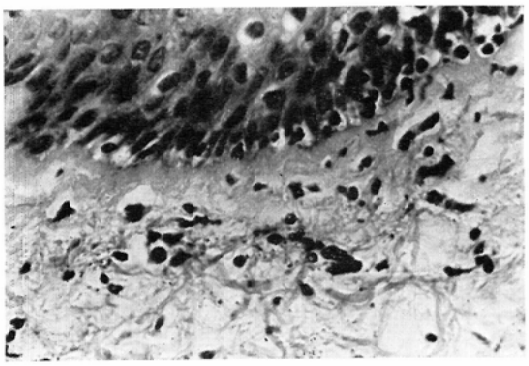


Fig. XVI-3　H.E 染色

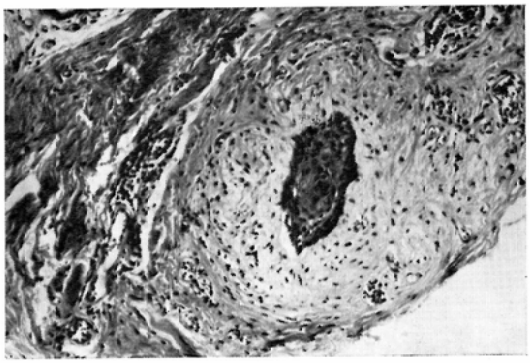


Fig. XVI-4　H.E 染色

Fig. XVII-1　H.E 染色

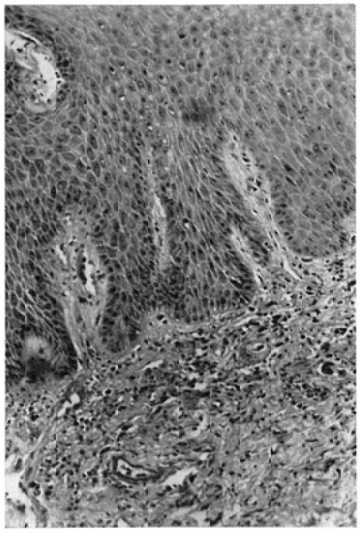


Fig. XVII-2　H.E 染色

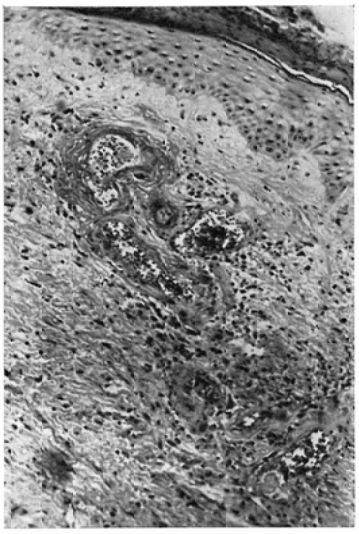


Fig. XVII-3　H.E 染色

稿を終るに臨み御懇篤なる御指導，御校閲を賜った恩師桜井孝教授，小野助教授（現久留米大学医学部助教授）中西助教授に深甚の謝意を表わすと共に組織学的検索に御指導を賜った本学第一病理学教室細川修治教授，内野助教授，松本博士並びに ^{60}Co γ線治療患者の組織の御提供を戴いた宇部興産中央病院朝来野博士に心から感謝いたします．本論文の要旨は第25回日本医学放射線学会総会並びに第55回日本病理学会総会において発表した．

参考文献

1) C.C. Burkell, M.D., D.M.R.T., T.A. Watson, M.B., D.M.R., H.E. Johns, Ph D., F.R.S.C. and R.J. Horrley Ph. D.: Skin effect Cobalt 60 telecurie therapy., Brit. J. Radiol. Vol. 27, No. 171, 1954.
2) Dvid A. Hall: The fibrous components of connective tissue with special reference to the elastic fiber., Inter. rev. cytology Vol. 8, No. 212, 1959.
3) 江藤秀雄他：放射線医学，医学書院，昭和36年．
4) 藤生太郎：子宮頚癌患者のレ線治療前後における血液スペクトルの変化，産婦人科の実際．第10巻，第5号．
5) 藤野守次他：15 MeV 医用ベータートロンによる治療　臨床放射線，第8巻，第6号．
6) 藤野守次他：高エネルギー放射線治療特にその線量分布を中心にして，日医放会誌，第24巻，第6号．
7) 藤田親徳：レ線照射に因る白血球増多に関する研究．熊本医学会雑誌，第28巻，第1号．
8) George F. Odland: The morphology of the attachment between the dermis and the epidermis., Anat. Rec., Vol. 108, No. 399, 1950.
9) Gilbert H. Fletcher, M.D.: Supervoltage radiotherapy for cancers of the uterine cervix., Brit. J. Radiaolgy, Vol. 35, No. 409, 1962.
10) H.A. Teloh, M.D., M.L. Moson, M.D., F.A.C.S., and M.C. Wheelock, M.D.: A Histopathological study of radiation injuries of the skin., Amer. J. Surg., Gyne and Obst. Vol. 90, No. 355, 1950.
11) Ham, S.W.: Histology, Lippincott Co., 1957.
12) H.L. Keller: Möglichkeiten und Grenzen der Strahlentiefentherapie Fortschritte der Medizin Vom. 15, 1963.
13) 平松　博：レ線放射の血液像並びに蛋白質濃度に及ぼす影響，日本医事新報，第1431号，昭和26年．
14) H.W.C. Ward, M.B., M.R.C.S., F.F.R.: Electron therapy at 15 MeV., Brit. J. Radiol., Vol. 39, No. 435, 1964.
15) 入江英雄：癌の放射療法における最近の動向，最新医学，第14巻，第2号．
16) 入江英雄：^{60}Co 治療とレントゲン治療に伴う障害の臨床的比較観察，日医放会誌，第21巻，第12号．
17) 入江英雄：超高圧放射線療法．第16回日本放射線技術学会九州地方会総会講演特集号．
18) 入江英雄他：電子線照射療法．臨床放射線，第3巻，第2号．
19) Johns, H.E. et al.: Radiotherapeutic physics (1) The physical aspects of treatment of cancer by 22 MeV X-rays., Brit. J. Radiol., Vol. 24, No. 283, 1951.
20) John H. Cooper: Microanatomical and histochemical observations on the dermal-epidermal junction., Arch. Dermat, Vol. 77, No. 18, 1958.
21) Justin .J Stein, M.D .,Richard E. Ottiman, M.D., Edward A. Langdon, M.D. and William A. Gore, M.D.: Use of Megavoltage Therapy in Cancer: End-Results., Radiology, Vol. 79, No. 2, 1962.
22) J.L. Howarth, M.A., M. Sc.: The relative surface ionization for high energy Electromagnetic radiation., Amer. J. Roentgenol., Vol. 90, No. 2, 1963.
23) Jack Spira, Ph. D., Charles Botstein, M.D., Benson Eisenberg, M.D. and Walter Berdon, M.D.: Betatron: Electron beam 10–35 MeV., Amer. J. Roentgenol., Vol. 88, No. 2, 1962.
24) Josef Becker und Günter Weitzel: Dreijährige Erfahrungen mit dem 15 MeV-Siemens-Betatron., Strahlen., Bd. 101, 1956.
25) J. Becker: Klinishe Erfahrungen mit dem Betatron, Dtsch. med. Wschr., Vom. 24, No. 17, 1955.
26) 金田浩一：放射線治療の際の血液障害．日医放会誌，第19巻，第9号．
27) 北川俊夫：ベータートロン電子線治療（1）．臨床放射線，第7巻，第7号．
28) 北川俊夫：ベータートロン電子線治療（2）．臨床放射線，第7巻，第8号．
29) Kurt Reiche: Uber die Wirkung von 180-keV-und 31-MeV-Röntgen-strahlen auf das Ehrlich-Aszıteskarzinom der weißen Maus., Strahlentherapie Bd. 97, Ht. 4, 1955.
30) Leucutia, T.: Electron beam therapy., Amer. J. Roentgenol., Vol. 72, No. 2, 309, 1954.
31) Lewis, L.H. et al.: Medical aspects of high energy electron beams., Amer. J. Roentgenol., Vol. 72, No. 2, 250, 1954.
32) 宮川正他：放射線治療学．朝倉書店，昭41年．

33) Morton M. Kligerman, M.D., Norah duV. Tapley, M.D. and Ginette Jacod, B.A.: Consideration of rotation therapy. with the 22.5 MeV. Betatron., Amer. J. Roentgen., Vol. 79, No. 3, 1958.
34) 村上晃一：高エネルギー治療の経験．臨床放射線，第8巻，第6号．
35) 中島良貞：医学レントゲン学講議．第3巻，治療学，南山堂書店．
36) 永井春三：放射線治療によつて起る障害とその防禦，臨床放射線，第7巻，第1号．
37) 長瀬勝也：放射線照射の表皮に及ぼす影響，特に電子顕微鏡的研究．日医放会誌，第22巻，第7号．
38) 楢林和之他：医療用ベータートロンBMR—18による悪性腫瘍の電子線治療，東芝レビュー，19巻，7号，1964.
39) 西田恒男：^{60}Co 遠隔照射における血液並びに臨床所見．北関東医学，第7巻，第1～6巻．
40) 縄田千郎他：進行せる癌治療の対策．日医放会誌，第26巻，第6号．
41) 尾内五味：Tele-Cobalt 治療の際の皮膚障害．臨床放射線，第3巻，第9号．
42) 岡村重昭他：睾丸重量を指標とした 200 kVp X線，^{60}Co-γ 線，15MVX線及び15MeV 電子線の生物学的効果比率（第1報）局所照射の場合．日医放会誌，第23巻，第2号．
43) P. Veraguth, M.D.: Clinical experiments with electron therapy up to 30 MeV., Brit. J. Radiol., Vol. 34, No. 399, 1961.
44) Perdo Cervantes Ochoa et al.: The dermal-epidermal junction, A.M.A. Arch Dermat, Vol. 75, No. 70, 1957.
45) R. Bauer und U. Feine: Stellung der Megavolt-Therapie bei der heutigen Strahlenanwendung., Dtsch. med. Wschr., Vom. 89, 1964.
46) R. Loevinger, Ph. D., C.J. Karzmark, Ph. D. and M. Weissbiuth, Ph. D.: Radiation Therapy with High-Energy Electrons Part 1. Physical Considerations, 10 to 60 MeV., Radiology, Vol. 77, No. 1, 1961.
47) Robert S. Stone, M.D. and J. Maurice Robinson, M.D.: A comparison of skin reactions produced by 200 KV and 1000 KV radiations., Amer. J. Roentgenol., Vol. 65, No. 934, 1951.
48) 桜井孝他：ベータートロンによる超高圧放射線治療の経験．日医放会誌，第25巻，第6号．
49) 桜井孝他：悪性腫瘍の放射線治療と血清反応，日医放会誌，第21巻，第4号．
50) S.S. Kurohara, L.H. Hempekmann, C.L.S. Englander: Eosinophilia after Exposure to Ionizing Radiation, Radiation Resarch, Vol 23, No. 357, 1964.
51) 塩路敏典：X線と赤血球寿命に関する実験的研究．日医放会誌，第19巻，第11号．
52) 柴田　進：肝機能検査の Routine work，臨床病理，第2巻，第6号，439.
53) 柴田　進：臨床生化学診断法．金芳堂，1961.
54) 柴田良治：X線照射の血清蛋白分屑に及ぼす影響．日医放会誌，第19巻，第12号．
55) 柴田陽子：子宮癌と血清蛋白とくにレ線照射による変動，岩手医学雑誌，第10巻，第1～6号．
56) 豊川保雄：皮膚及び皮下組織に及ぼす大量レ線照射の作用に関する研究．（第1報）肉眼的変化，日医放会誌，第24巻，第4号．
57) 豊川保雄：皮膚及び皮下組織に及ぼす大量レ線照射の作用に関する研究（第2報）組織学的観察，日医放会誌，第24巻，10号．
58) 竹下健児他：最近の高エネルギー放射線の医学的利用について，福岡医学雑誌，第53巻，第2号．
59) 田中利彦他：^{60}Co γ線及び深部治療X線照射による人体皮膚変化について．臨床放射線，第8巻，第6号．
60) 梅垣洋一郎：高エネルギー放射線治療の経験．日本癌治療学会雑誌，第1巻，第1号．
61) W.J. Meredith, M. Sc., F. Inst. P.: Some aspects of supervoltage radiation therapy. Amer. J. Roentgenol. Vol. 79, No. 1958.
62) 吉浦省吾：レ線治療の血液像に及ぼす影響について．医学研究，第28巻，第11号．
63) 吉永春馬：文部省科学研究班．高エネルギー放射線のRBEに関する研究．レポート，36—2—吉1．