



Title	照射計画に適用される超音波断層撮影法についての検討
Author(s)	国枝, 武俊
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1977, 37(12), p. 1122-1131
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19543
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

照射計画に適用される超音波断層撮影法についての検討

国立がんセンター放射線治療部（主任：北川俊夫部長）

国 枝 武 俊

（昭和52年7月1日受付）

（昭和52年8月12日最終原稿受付）

Ultrasonic Tomography Applied to Radiation Treatment Planning: Study on Fundamental Subjects

Taketoshi Kunieda

Department of Radiotherapy, National Cancer Center

(Director: Dr. Toshio Kitagawa)

Research Code No.: 600

Key Words: *Ultrasound, Radiation treatment planning,
Radiotherapy*

Ultrasonic tomography has been applied to treatment planning procedure of radiation therapy to obtain contour of deep seated organs or tumors with its specific capability for projection of soft tissue images. Besides, according to clinical experiences, application of ultrasonic tomography was seemed to be reasonable with its much easier and faster manipulation or less distress form the point of practical clinical view comparing with conventional diagnostic X-ray techniques. Expecting much more sufficient application of this technique in the treatment planning, major basic problems on ultrasonic tomography unit, such as resolution factor, elongation factor etc, were investigated with fundamental experiment in this study. Result of experiments showed satisfactorily enough value of those factors in practical clinical purpose. Therefore, pictures of ultrasonic tomography were thought to be used in treatment planning without much difficulties. In addition, technical devices suiting to radiation treatment planning procedure on the unit developed for diagnostic purpose and beneficial points noticed in clinical trials of this methode were reported. The study is to be carried on further, investigating other numerous factors on ultrasonic unit.

I 緒 言

放射線治療の照射計画においては、従来病巣並びにその周辺臓器など軟部組織の形状を影像として把握し、計画立案の基礎資料とするための努力が払われて来た¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

しかし、その多くは、放射線診断分野において開発された特殊技術を伴う造影手段の導入¹⁾²⁾⁴⁾⁵⁾であつたことから、照射計画作業の場において、これらを適時反復しつつ使用することが必ずしも

容易ではなかつた。近来この様な難点を解決する手段の1つとして、比較的容易に軟部組織像を映出し得る超音波断層撮影法の導入が試みられてきた⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。

そこで今後この方法を照射計画の一手段として更に充実発展せしめるために、本研究においては超音波装置機構の特性について検討、改善を試みたので、その結果を報告する。

なお著者が臨床適用を試みて得た2、3の知見

をも併記する。

II 装置の特性に対する検討

本研究において検討課題は、下記のごときものである。すなわち

- A. 分解能
- B. 像の拡がり
- C. 像の歪
- D. 計測用目盛の信頼性

以下各課題について、順を追って論述する。

A. 分解能

照射計画に適用される映像は、その個々の輪郭が計測可能な程度、明瞭に識別し得なければならぬ。一方超音波による映像輪郭の明瞭性には、主としてその装置の分解能が関与すると考えられていることから、使用した装置の分解能について実験による検討を行つた。なお分解能は、その作像機構により距離分解能、方位分解能の2種類に区別されるので、その夫々についての実験結果を述べる。

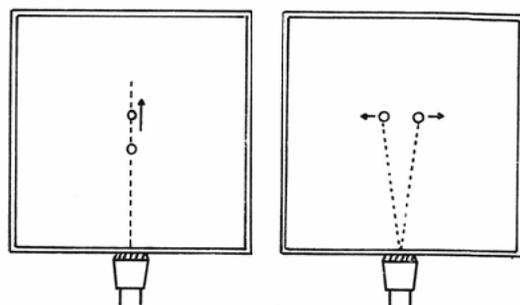
実験方法

装置：本研究に用いられた装置は、PICKER社製診断用超音波撮影装置であり、その観測系機構には静電偏向型並びに電磁偏向型兩種ブラウン管が使用せられ、又映像画面にはこの装置独自の機構によつて、1cm 間隔の目盛を表示する打点列が必要に応じ、任意の部位、方向に映出されるよう設計されている。探触子は13mm 直径の振動板（焦点深度5cm）を用いた送、受波共用、2.25 MHz のものである。

ファントム：16×16×6cm, 0.3cm 厚のルサイト槽中に、流動パラフィンを充填してファントムとして使用した。これは、流動パラフィン中の超音波の減衰が、生体内のそれと近似する¹⁴⁾からである。

イ) 距離分解能

距離分解能に関する実験としては、上記ファントム側壁外方に探触子を固定し、これより発振された BEAM の中心軸上に、Fig. 1a のごとく2本のナイロン細線（径0.2mm）を挿入し、これら細線のうち1本を壁外面より10cm の深度に



a. Vertical resolution b. Horizontal resolution

Fig. 1. Resolution test

BEAM と垂直方面に固定し、他の細線はこれより更に BEAM 中心軸に沿つて深部に向かい移動せしめ、各細線に応じて現われる映像がそれぞれ画面上で分離、識別し得た最小間隔距離をこの装置の距離分解能として測定した¹⁵⁾¹⁶⁾。

ロ) 方位分解能

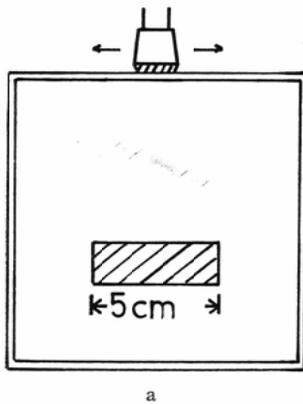
前者と同様に挿入した2本のナイロン細線を、夫々 BEAM の中心軸より、それと垂直方向に互いに反対側に向かつて、同距離ずつ移動せしめ (Fig. 1b)、両細線映像が分離識別し得た最小間隔距離を方位分解能として測定した¹⁵⁾¹⁶⁾。

実験結果

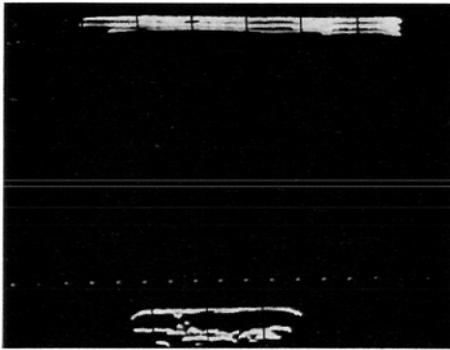
距離分解能に関しては、各細線は2mm の間隔において識別し得、又方位分解能では、測定された最小間隔距離は、14mm であつた。すなわち、この装置の映像分解能は、臨床目的においてはほぼ満足し得る精度で個々の映像を識別し得るものであり、照射計画目的に適用し得るものと考えられた。

B. 像の拡がり

方位分解能の実験において、小反射体の映像が BEAM と垂直方向に拡大する現象が認められた。これは拡大して到達する反射波を探触子が捕捉することに起因するもので、現在の装置の機構では避けられない。したがつて、BEAM と垂直方向に探触子を走査せしめて得られる断層像においては、その映像の大きさが実大と異なつたものとして現われる可能性がある。そこで、この現象について次の実験を行つた。



a

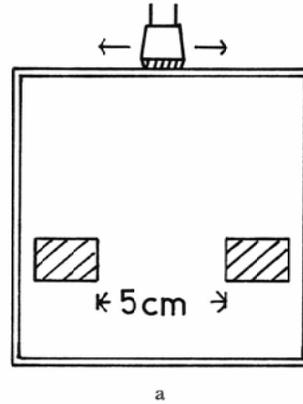


b

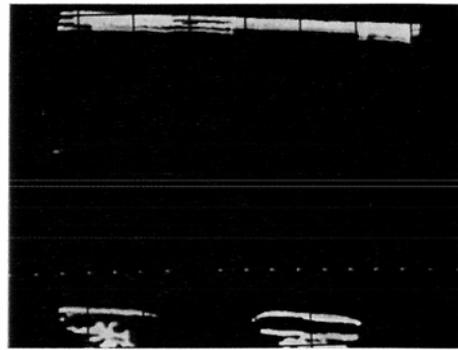
Fig. 2: Elongation factor (positive image)

実験

前者と同様の流動パラフィンを充填した槽中10cmの深部に、5cm長径アクリル直方体を設置し、その長径に沿い探触子を壁外側で直線状に走査した (Fig. 2a) 結果得られた映像 (陽性像) (Fig. 2b) の長さを計測し、6.3cmの値を得た。次に上記アクリル体2個を5cm間隔で設置し、同様に探触子を走査し (Fig. 3a), アクリル体間隙部に相当して得られた映像 (陰性像) (Fig. 3b) の計測値は3.4cmであつた。なお同様の実験を深度5cm (焦点深度) で試みた結果は、陽性像5.7cm, 陰性像3.8cmであつたことから、映像の拡大, 縮小はほぼ10~16mmであり、焦点深度と10cm深度の間にも著しい差異が認められなかつた。以上の実験は、探触子を直線方向に走査した場合のものであつたのに対し、臨床上多く用いられる多方向連続走査に関して現われる変化を、更



a



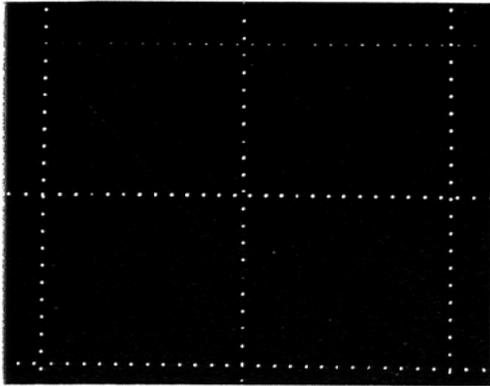
b

Fig. 3: Elongation factor (negative image)

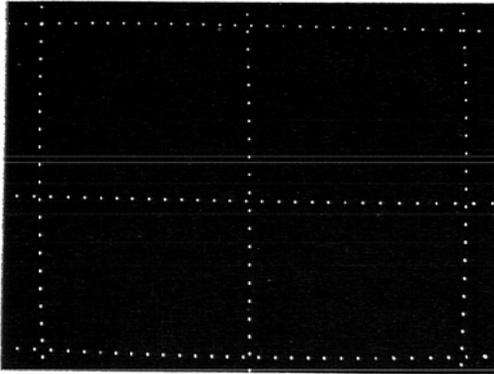
に10cm深度の直径4.1cm円筒状物体に対して計測した。その結果、陽性像には12mmの拡大, 陰性像には11.5mmの縮小を認め、前者とほぼ近似した変化を認めた。以上の結果から、この現象によつて現われる映像の大きさの変化は、径16mm以下であり、臨床上照射対象となる病巣のうち限られたものを除いては、大きい誤りなくこの映像計測値が照射計画に適用し得ると考えられた。

C. 像の歪

超音波映像は、ブラウン管など数種の作像機構を通じて得られることから、その像に歪を生ずる可能性があり、その歪が大きい場合は、その像と別途作製された線量分布との合成結果が不正確なものとなる可能性もあるため、その歪について実験による検討を行つた。この像の歪に関与する作像機構は主として、i) ブラウン管, ii) 可変抵



a. Static deflection (cathode ray tube)

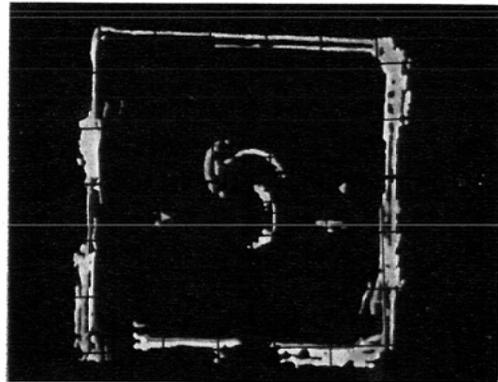


b. Magnetic deflection (cathode ray tube)

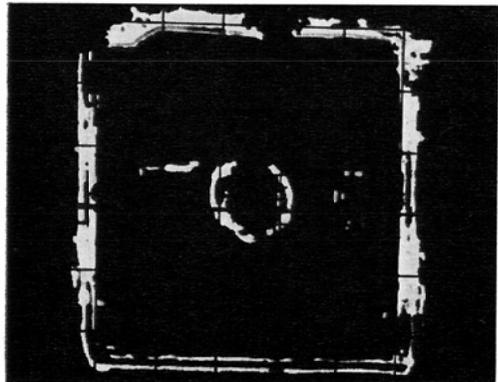
Fig. 4. Homogeneity of dot distribution

映出し得る目盛表示打点列中各打点間距離の差異を検討することとした。Fig. 4a は静電偏向型，Fig. 4b は電磁偏向型ブラウン管に映出された打点列である。Fig. 4に認められるごとく，前者に映出された打点列中各打点間距離に関して画面中心部におけるものは，周辺部のものに比し平均2%大であるが，水平，垂直方向各打点列における相対分布には著しい差異を認めない。これに対して後者のものは，周辺部の打点間距離は中心部のものに比して平均10%大であり，水平，垂直両方向打点分布にも著しい差異を認める。以上の結果から，照射計画に関しては，静電偏向型ブラウン管の映像を用いることにより，像の歪みは殆ど無視し得ると考えられた。

ii) 可変抵抗器による歪



a. Uncontrolled potentiometer



b. Controlled potentiometer

Fig. 5. Distortion of images

抗器であることから，これら各機構についての実験を行つた。

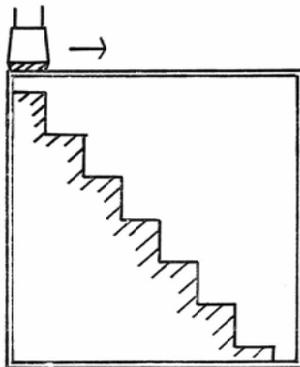
i) ブラウン管による歪

ブラウン管に起因する像の歪は，これの BEAM 偏向機構によるものと，管映像面の球面収差の合成に結果するものと考えられる。球面収差によるものに関しては，本装置に使用されている既に述べた兩種ブラウン管の映像面曲率に大差のないことから，以下これを含め合成された結果を偏向機構の差異に基づいて比較検討することとした。既に述べたごとく，現在本装置を含め超音波診断用撮影装置に組み込まれている観測系ブラウン管には，静電偏向型，電磁偏向型の二型があり，これら夫々の映像の歪みを検討する手段として，本装置に上記観測系と別回路に組み込まれ，画面上に

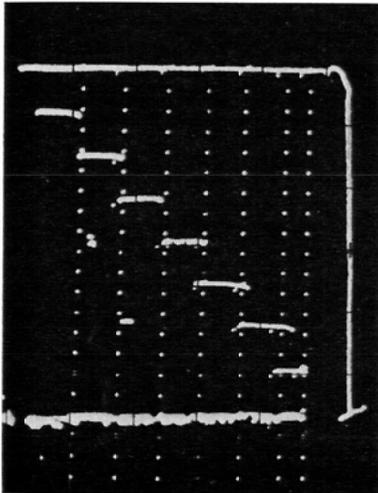
著者は本装置を用いて B-MODE 撮影を試み、著しい像の歪を経験した (Fig. 5a). これは探触子の運動に際して、振動子の位置、BEAM 方向の調整の目的で組み込まれた可変抵抗器の影響によるものであり、この抵抗を調整した結果 Fig. 5b のごとく像が改善された。以上の結果から、かかる特殊な機構を有する装置の照射計画適用に際しては、あらかじめ適切なファントムを用いて、上記可変抵抗器を含む種々の機構について調整すべき必要性があると考えられた。

D. 計測用目盛の信頼性

照射計画適用に際しては、得られた画像を他影



a. On phantom



b. On ultrasonic images

Fig. 6. Distant measurement

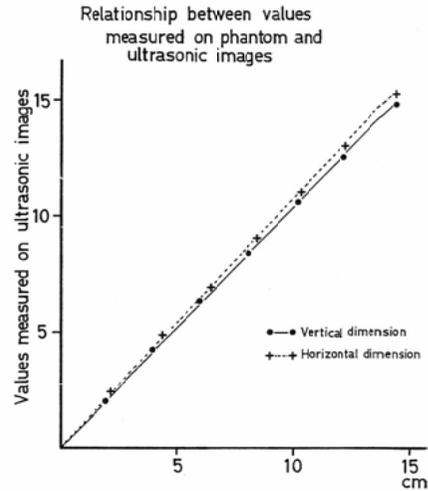


Fig. 7. Values measured on phantom

像並びに線量分布図と合成する作業において、その画像の計測値は十分信頼できるものでなければならぬ。超音波画像の計測に関しては多くの方法が考えられるが、本装置において得られるとき目盛表示打点を用いることが最も簡便であることから、これら打点列の信頼性について検討した。実験

本実験に関しては、超音波の伝搬速度が人体に近似するものとして、25°C脱気水¹⁴⁾ (1500m/sec)を既述アクリル槽中に入れ、更に水中にX線フィルムを材料とした階段状物体を設置 (Fig. 6a)し、探触子を槽外側面矢印の方向に直線走査せしめ Fig. 6b のごとく映像を得た。BEAM と垂直、水平両方向における各映像の段面と水槽外面の距離を、同時に映出した打点列目盛を用いて計測した値と、実測値相互の関係を示したものが Fig. 7である。この Fig. 7から BEAM と垂直、水平両方向の計測値、実測値は夫々ほぼ直線の関係にあり、一定の係数即ち垂直方向は1.04、水平方向は1.05を使用することにより相互値の換算が可能であると考えられた。以上の結果から、打点目盛はほぼ満足すべき精度において、照射計画に使用し得ると考えられた。

III 装置、操作に対する改善の試み

現在照射計画に用いられている超音波断層撮影

装置並びにその操作方法は、主として診断目的に開発されたものであることから、その主なる2つの点につきこの使用目的に即したものに改善を試みた。

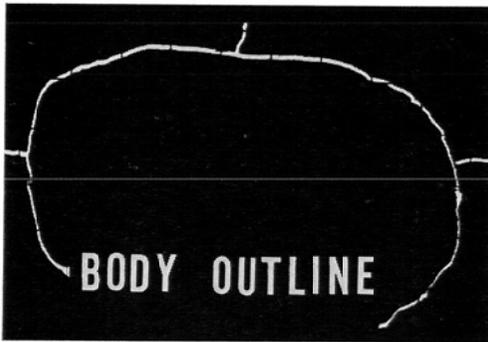
A. 体輪郭作像操作

外面が不整形の深部病巣、臓器よりの反射波を捕捉、合成して得られる超音波像撮影に際しては、探触子走査過程において可能な限り多方向の反射波を捕えるため、走査皮膚面に圧を加えて、探触子 BEAM の方向を多くする。その結果、皮膚面の映像に変形を来し、体輪郭像は実物と異なったものとなる。一方照射計画においては、体輪郭は計測の基準となるため、その映像の変形を可及的避けるよう努力されねばならない。そこで著者は BRASCHO の報告を参考にして、次のごとき操作を試みることにより、体輪郭の変形を伴わず深部臓器の映像を得ることが出来た。その操

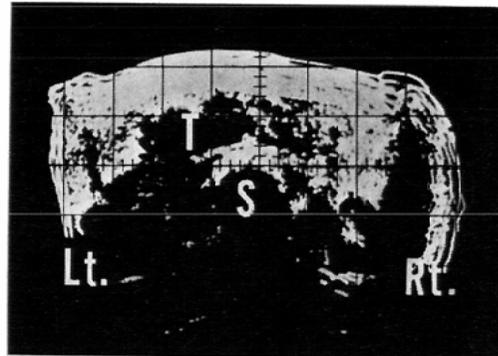
作とは、まず GAIN を可能な限り低くし、皮膚面に圧を加えることなく探触子を走査して体輪郭のみを撮像する (Fig. 8a)。ついで、GAIN を適切に調整し、再び探触子に圧を加えつつ同一走査線上を移動せしめて、深部臓器映像を同一画面上に映出する。かかる操作により、変形を伴わない体輪郭と深部臓器映像を同一画面に得ることが出来たのである (Fig. 8b)。なお臓器の位置、形状は、これらが十分深部にあるため、探触子によって皮膚面上に加えられた圧に明らかな影響は受けていない。

B. 体位と探触子走査範囲

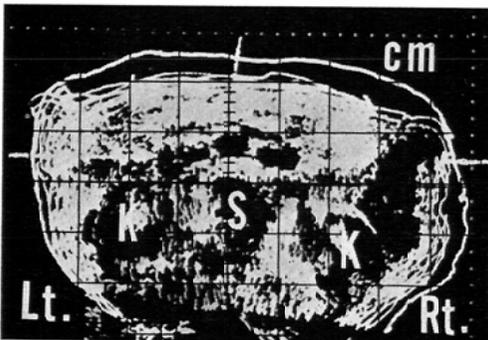
従来診断目的の撮影においては、病巣、臓器の像を得るためには、これら物体よりの反射波を最も捕捉し易い体位における撮影が行なわれて来た。しかしながら、照射計画適用に際しては、患



a. Body outline



a. Transverse scan with ordinal couch
T=tumor, S=spine



b. Transverse scan with body outline
S=spine, K=kidney



b. Transverse scan with newly devised couch
T=tumor, S=spine, K=kidney

Fig. 8.

Fig. 9.

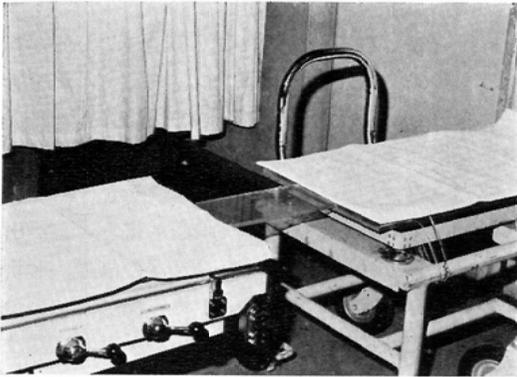


Fig. 10. Couch for ultrasonography

者の体位は想定された照射時と全く同一体位において撮影されねばならない。したがって、体横断面各部位における被写体映像を可及的多く得るためには、指摘された照射体位で照射台に密接した部位を除く広い範囲の体外周に探触子が走査されることが望ましい。しかしながら、従来照射計画又は照射の目的に使用せられている台においては、一定の長さをもった探触子の接触によつて十分な範囲の走査が困難である (Fig. 9a)。そこで著者は、この目的に応じた照射計画台 (Fig. 10) を試作し、探触子走査範囲を拡大した。その結果得られた画像は Fig. 9b であり、台の改善により照射に適切な体位で満足すべき断層映像を得ることが出来た。

IV 臨床適用

以上の諸課題に対する検討並びに改善の結果から、超音波断層像はほぼ満足すべき精度において照射計画に適用し得ると判断されたので、著者は更にこれら結果に基づいて臨床適用を試みたので、これにより得られた2, 3の知見を報告する。

症例1.

37歳, 男, 右口蓋扁桃腺原発細網肉腫の頭頸部領域病巣が放射線治療により満足すべき経過を得た2年後, 上腹部痛と共に左上腹部に腫瘍を触知, 腹部リンパ節転移と診断, 局所に放射線治療を行う事になり触診を主体とする照射野 P P' が設定され, 照射野確認の目的で超音波断層像が撮

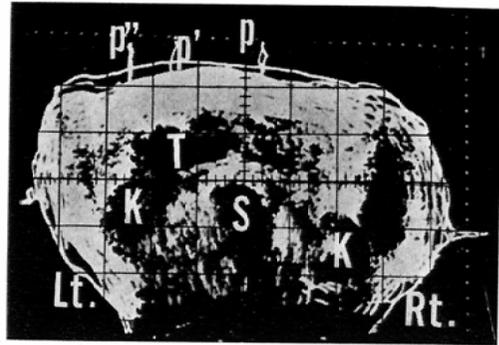


Fig. 11. Transverse scan of case 1 with field markers
P=port-margins, T=tumor, S=spine, K=kidney

影され, 両側腎並びに腫瘍像を明確に認める事が出来た (Fig. 11)。この画像と設定された照射野 P P' と比較検討した結果, 腫瘍左側がなお照射野の外にあり, これを含むために照射野が P P'' と変更され, 本画像の計測値に基づいて修正された。しかし照射野 P P'' 中には, 左腎が含まれていることも同時に認められ, 照射遂行経過中, 腎機能に対する影響も考慮すべき必要性が指摘せられた。

症例2.

70歳, 女, X線像 (Fig. 12) 並びに内視鏡所見により, 幽門前庭部を中心として, 胃体部にまで浸潤した進行胃癌と診断され, 放射線外部照射が行なわれることになった。照射計画は, X線回転横断写真 (Fig. 13a) と同一部位にて撮影された超音波断層像 (Fig. 13b) の合成画 (Fig. 13c)

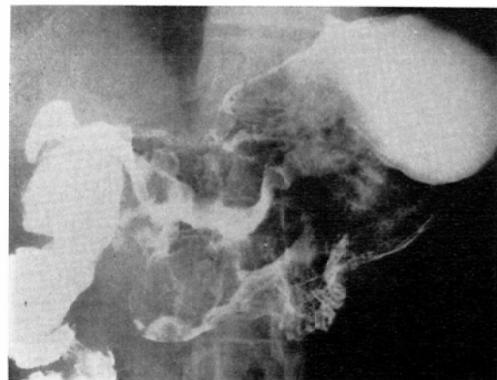
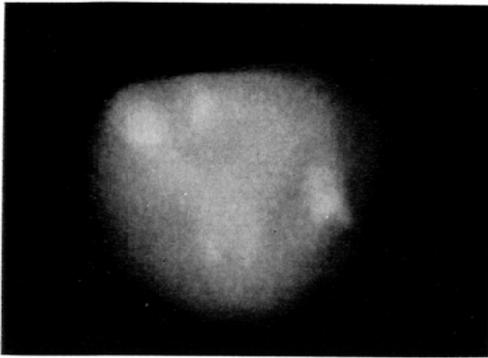


Fig. 12. Advanced gastric cancer showed in supine double contrast radiograph



a



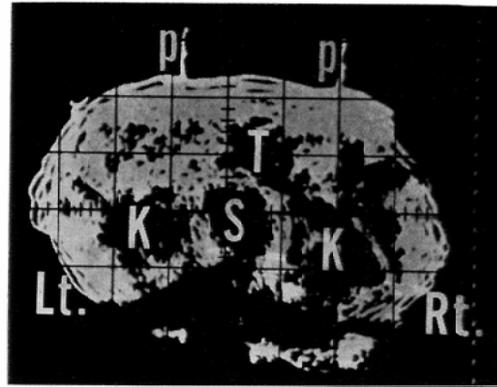
b



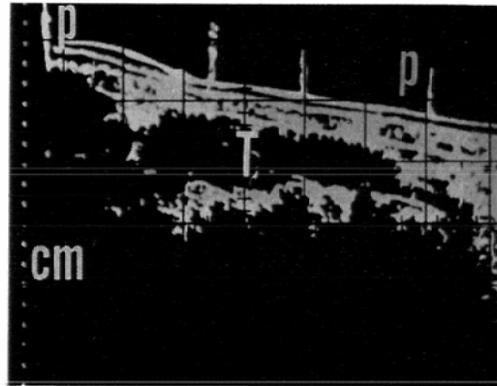
c

- a. X-ray transverse tomogram
- b. Ultrasonic transverse tomogram
T=tumor, A=aorta, S=spine, K=kidney
- c. Composed figure with contours of tumor and organs in Fig. a & b

Fig. 13.



a



b



c

- a. Transverse scan before treatment
P=port-margins, T=tumor, S=spine, K=kidney
- b. Sagittal scan before treatment
P=port-margins, T=tumor
- c. Transverse scan at 4500rads period
P=port-margins, T=tumor, S=spine

Fig. 14. case 3

に基づいて行われた。Fig.13に認められる如く、従来用いられて来たX線回転横断写真によつて胃内腔の位置を知ると共に、超音波像による胃の右側外方に進展した腫瘍の輪郭を合成把握した作図が得られている。この症例においては上記胃外方の

腫瘍塊は、外方より明確な触知は困難であり、超音波断層像併用によつて初めて照射対象を把握し得たものである。

症例 3.

15歳、男、右睾丸癌の原発巣に対し摘出術が施行せられた7カ月後、右下腹部に疼痛を伴う境界不明瞭な硬結を触知、後腹膜リンパ節転移と診断、放射線治療が考慮された。超音波断層像 (Fig. 14a, b) に両側腎 (K) と腫瘍 (T) を明らかに認め得る。しかし触診に基づいて設定された照射野 PP は、Fig. 14a にて左方に過大であり、右方は右腎を含むため縮小すべき必要性が指摘され、計測値に基づいて修正された。Fig. 14c は4500rad 照射時点の横断像であり、腫瘍の縮小による限界の明確化を認めることが出来る。この所見と計測値に基づいて照射野が縮小され、照射が遂行されると共に、腎に対する照射を避ける事が出来た。

V 研究結果並びに考案

超音波断層撮影法を、放射線治療の照射計画に適用して得られる利点について、すでに経験、報告⁹⁾¹¹⁾されたものを列記すると下記のごとくである。

1. 深部臓器、腫瘍の輪郭像を特殊技術を用いることなく得ることが出来る。
2. 操作が比較的簡単であり、短時間に終了することが出来る。
3. 照射計画の行程に応じ、適時、適所において反復し撮影することが可能である。
4. 患者に与える侵襲は少なく、臨床上無視し得る。
5. 従来のX線を使用する方法と異なり、放射線被曝が全くない。

以上の各利点により、この撮影法の照射計画導入は、臨床の見地から有意義であり、今後この方法は照射計画技術の一重要手段として用いられるものと考えられる。

そこで、本研究においては、この撮影法の適用を更に充実せしめるべき資料として、超音波装置の特性、操作技術、附属機器など種々の点につい

て照射計画に基づいた観点から検討を試みた。

その結果は次のごとくである。

イ) 超音波映像は、分解能、歪、大きさの変化などその装置の特性に基づく各因子に関しては、臨床上ほぼ満足出来る精度において適用し得ると考えられた。

ロ) 照射計画の基準となる身体横断面の外形輪郭は、前述したごとき操作方法によつて撮影可能となつた。

ハ) 照射体位に応じて探触子を走査する場合、試作改善された寝台を用いることにより、その走査範囲を、満足すべき臓器映像を得られるものに拡大することが出来た。

ニ) 本研究において臨床適用を試みた結果、前記利点に加えて、照射野照準の確認、治療経過に伴う病巣容積の変化の把握などの目的にも使用し得た。

以上の研究結果から、超音波装置の特性に関しては満足すべき適用性があり、操作技術、附属機器などに関しても工夫改善によつて照射計画にそくしたものとなし得ると考えられた。

今後この方法は、更に多くの因子に検討、改善を加えることにより、一層充実した照射計画の手段として発展するであろう。

VI 結 語

放射線治療の照射計画における超音波断層撮影法の導入に関し、この方法を今後更に充実した照射計画手段の1つとするために、超音波の特性装置、操作技術、附属機器などに対して検討並びに改善を試みた。その結果、超音波映像はその装置の基本的因子に関しては、臨床上ほぼ満足すべき精度で適用し得、操作技術、附属機器に関しては、これらを照射計画に則したものに工夫、改善することにより、更に適切な使用が可能となり得ると考えられた。

稿を終るに際し、終始適切な御指導をいただいた、本院内科、小林利次博士、放射線治療部、松本健副技師長、高橋伸作技師に感謝いたします。

文 献

- 1) 後藤 甫, 西尾徹也, 徳原正洋, 中久喜茂也,

- 仲宗根繁：経仙骨の後腹膜腔気体撮影法。臨床泌尿器，21：23—26，1967。
- 2) 高田 茂：子宮頸癌放射線治療におけるリンパ系造影法の研究。日産婦誌，23：93—99，1971。
 - 3) Kaufman, J.H., Cedermark, B.J., Parthasarathy, K.L., Didolkar, M.S. and Bakshi, S.P.: The value of scintigraphy in soft tissue sarcoma and chondrosarcoma. *Radiology*, 123: 131—134, 1977.
 - 4) 中村 紋，北川俊夫，矢野圭介，古河宏一：照射計画技術の改善。臨放，20：1115—1120，1975。
 - 5) 牧野正典：食道癌における逆行性奇静脈造影の臨床的研究。日本医放会誌，35：394—429，1975。
 - 6) Pay, N.T., Carella, R.J., Lin J.P. and Kricheff, I.I.: The usefulness of computed tomography tumors. *Radiology* 121: 79—84, 1976
 - 7) Brascho, D.J.: Tumor localization and treatment planning with ultrasound. *Cancer*, 39: 697—705, 1977
 - 8) Brascho, D.J.: Computerized radiation treatment planning with ultrasound. *Am. J. Roentgenol.*, 120: 213—223, 1974
 - 9) Cohen, W.N. and Hass, A.C.: The application of B-scan ultrasound in the planning of radiation therapy. *Am./J. Roentgenol.*, 111: 184—188, 1971
 - 10) Lowy, R.O.: The application of ultrasound tomography in radiation therapy. *Journal of the Canadian Association of Radiologists*, 24: 301—308, 1973
 - 11) Smith, E.H. and Holm, H.H.: Ultrasonic scanning in radiotherapy treatment planning. *Radiology*, 96: 433—435, 1970
 - 12) Brascho, D.J.: Clinical application of diagnostic ultrasound in abdominal malignancy. *Southern Medical Journal*, 65: 1331—1339, 1972.
 - 13) Friedrich, M., Fiegler, W., Scheffler, A. and Ernest, H.: The ultrasound-tomography in radiotherapy. *Strahlentherapie* 146: 296—312, 1973.
 - 14) 日本超音波医学会編：超音波医学。第1版，p.105，1966，医学書院（東京）。
 - 15) 日本超音波医学会編：超音波医学。第1版，p.104—106，1966，医学書院（東京）。
 - 16) 奥島基良：超音波診断装置とその原理。臨床と研究，52：3164—3167，1975。
 - 17) 実吉純一，菊池喜充，熊本乙彦，監修：超音波技術便覧，第4版，p.1200，1971，日刊工業新聞社。