

腹部放射線治療における圧迫照射法

岩田 和朗, 吉村 均, 辻 佳彦, 玉田 俊明,
堀川 典子, 大石 元, 打田 日出夫

IRRADIATION WITH COMPRESSION FOR ABDOMINAL TUMOR

Kazuro IWATA, Hitoshi YOSHIMURA, Yoshihiko TSUJI,
Toshiaki TAMADA, Noriko HORIKAWA, Hajime OHISHI,
and Hideo UCHIDA

(Received 19 December 1990, accepted 6 April 1992)

Abstract In abdominal external radiotherapy with high energy X-rays, a new irradiation method with abdominal compression has been developed. This abdominal compression leads to protection of the normal tissues from radiation damage, and increases the tumor dose by shortening the distance between the abdominal wall and a deep tumor, and removing intestines from the irradiation field. This method has been confirmed by computer to be useful in assessing tumor and non-tumor volume dose for radiotherapeutic planning.

Key words: Compression radiotherapy, Abdominal tumor, Dose distribution

はじめに

高エネルギーX線を用いた腹部放射線治療のさい、腸管など放射線の感受性が高い臓器が存在するため、急性期障害により腫瘍の治癒線量に達する前に照射を中断したり、あるいは晩発障害の発生を経験する。このような腹部深部治療に伴う問題を改善するため、圧迫体で腹部を圧迫し照射を行う圧迫照射法を考案した。圧迫照射法は、腹壁と深部腫瘍間距離が短縮するため、腫瘍線量が相対的に増加し、健常組織の被曝線量が減少する。さらに照射野内の腸管の大部分または一部が照射野外へ移動するため腸障害の減少が期待できる。今回、コンピュータを用いて設定したファントーム、および臨床例に対し、腫瘍部と健常組織中の容積線量 (Volume Dose) から圧迫照射法の評価

をし、若干の考察を行ったので報告する。

材料および方法

1. コンピュータ・シミュレーションによる検討
コンピュータ (MODULEX, CMS Co.) を用いてほぼ軟部組織と等価な密度 (1 g/ml) を有する厚さ 20 cm の体幹とその中心に 4×4 cm² の腫瘍を持つファントームを設定した (Fig. 1a). また、腹部圧迫を想定して体幹表面に深さ 3 cm, 5 cm および 7 cm のくぼみを作った (Fig. 1b, c, d). 照射はリニアックによる 4MV (NELA C-1004, NEC), 10MV (ML-20M, MITSUBISHI) の X 線 (以下 4MVX, 10MVX とする) を用い照射野 5×5 cm² で 1 門, 対向 2 門照射とした。1 門照射での Isocenter は腫瘍の遠位辺縁部中央に、対向 2 門ではビーム中心軸の midpoint に設定した。いずれの照射

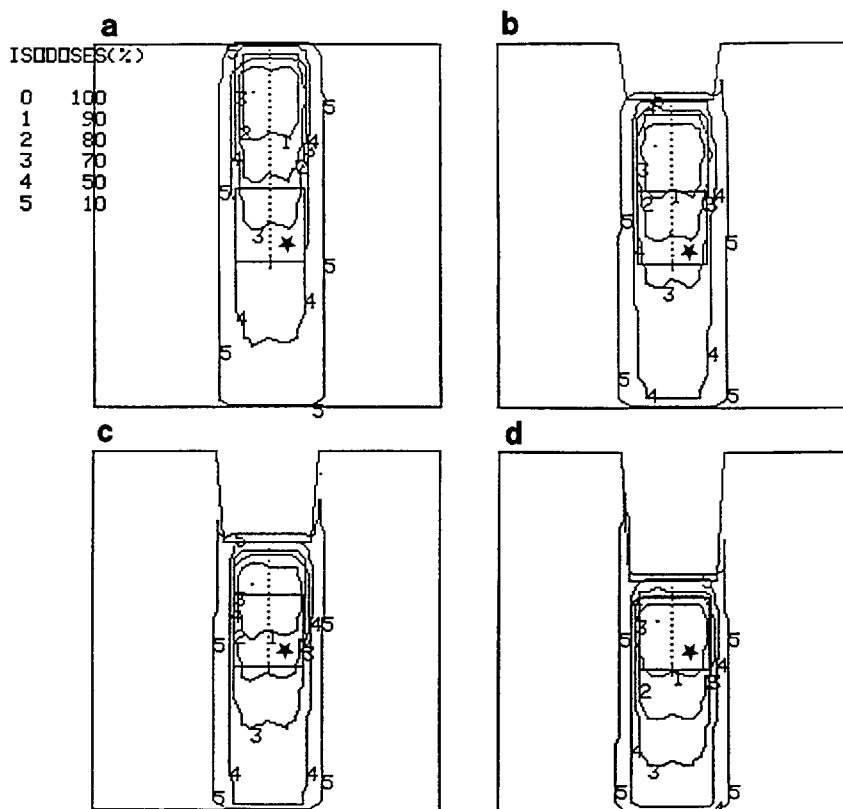


Fig. 1. Isodose distributions for a single 10MV X-ray beams without or with compression. Cross sections of body (thickness; 20 cm) compressed in different thicknesses (a; 0 cm, b; 3 cm, c; 5 cm, d; 7 cm) were simulated with a computer. Tumor (★) in the size of $4 \times 4 \text{ cm}^2$ is located in the center of body. Densities of body and tumor on computer are 1 g/cm^3 and almost equal to electron density of soft tissue in human. Irradiation was performed with the field size of $5 \times 5 \text{ cm}^2$. Isodose curve 0, 1, 2, 3, 4 and 5 indicate 100%, 90%, 80%, 70%, 50% and 10% of the maximum dose within irradiation field, respectively.

も Isocenter が同量の線量になるようにした。CT 画像の計算領域を設定し、マトリックスサイズ 63×63 のピクセルに分割後、線量分布を求めた (Fig. 1)。各ピクセルの線量は格子点の線量で近似した。腫瘍部と健常組織について、容積と線量を積算し、それぞれの Volume Dose とした。この Volume Dose の計算は、放射線治療計画システム (MODULEX, RTP) の Volume Dose Histogram のプログラムを用いた²⁾。圧迫のない場合、圧迫の深さを 3 cm, 5 cm および 7 cm に設定した場合の腫瘍部と健常組織の Volume Dose を比較した。

2. 臨床例による検討

前処置として患者を絶食させ、位置決め時およ

び照射時に深く圧迫できるようにした。圧迫により深部腫瘍の位置や形状が変わらないことを CT 画像と超音波断層装置で確認できた症例に圧迫照射法を用いた。X 線シミュレータで照射野を決定し患者の体表にマーキングした。圧迫体には発泡スチロールを照射野の大きさに裁断したものを用い、圧迫の深さは患者の苦痛を伴わない範囲で出来るだけ深くした。圧迫体に低密度の発泡スチロールを用いたのは皮膚障害を少なくするためである。患者体部と圧迫体を固定するため、患者の体型に合わせて型どりしたシェルフिटタ (クラレ Co.) を用いた。仰臥位で照射野にビームを一致させた後、患者を動かさず照射野に圧迫体を乗



Fig. 2. Photograph on a fixation of the compression material (styrofoam) with a shellfitter.

せシェルフィッタで押さえベッドに固定した。そのさい、圧迫体が術者から見て前後左右にずれないようにベッドの両側の二人が十分注意しながら同時に垂直に押さえた。照射の再現性を高めるため、患者の体表にシェルフィッタの両端の位置をマーキングした。

圧迫の有無でスライス厚 1 cm の CT スキャンを行った (Fig. 2)。CT 画像を用いた放射線治療計画システム (MODULEX, RTP) により 4MVX および 10MVX に対して 1 門、対向 2 門照射の場合の線量分布を作成し、腫瘍に最大線量の 80% 以上が照射でき腸管、Spinal Cord、腎の線量を少なくするように照射法を Try and Error によって決定した。また、コンピュータを用いて線量分布から腫瘍部と健常組織の Volume Dose を計算した。Volume Dose の計算は、コンピュータ・シミュレーションと同様、各スライス毎の Volume Dose を計算し、最後にすべてのスライスについて総和した。腫瘍部と健常組織の Volume Dose の比を求め、圧迫の有無に対し健常組織の Volume Dose の変化を検討した。対象は腹部傍大動脈リンパ節腫大が存在する悪性リンパ腫ならびに精嚢癌(腺癌)術後の大動脈リンパ節再発の 2 例に対して検討した。

結 果

1. コンピュータ・シミュレーションによる検討

圧迫をしない従来の 10MVX 1 門照射の線量分布では、腫瘍部の半分以上が最大線量の 70% 以下の線量になった。一方、圧迫照射の場合、圧迫の深さが 3 cm, 5 cm, 7 cm に対して腫瘍部の大部分がそれぞれ最大線量の 70%, 80%, 90% 以上になる線量分布が得られた (Fig. 1)。

健常組織の Volume Dose については圧迫照射により 4MVX, 10MVX および 1 門、対向 2 門照射のいずれも圧迫が深いほど減少し、特に、1 門照射の方が対向 2 門照射より Volume Dose の減少は大きく圧迫による効果が大であった。一方、腫瘍部の Volume Dose は圧迫によりほとんど変化しなかった。また、圧迫の深さが 7 cm で 10MVX 1 門照射の時、健常組織に対する腫瘍部の Volume Dose の比が最も小さくなった (Table 1)。

2. 臨床例による検討

1) 症例 1. 47 歳、男性、悪性リンパ腫

圧迫により、CT 画像上腫瘍と腹壁の距離が約 6 cm 短縮し、腸管の照射野外への移動がみられ (Fig. 3a, b, c)。従来の 10MVX 対向 2 門照射に対し圧迫による 10MVX 対向 2 門照射の方が健常組織の Volume Dose は約 30% 軽減した (Fig. 3b)。

Table 1. Volume doses in radiotherapy with abdominal compression with different X-ray energies and irradiation techniques under the conditions shown in Fig. 1. Volume doses were calculated with a computer for radiation planning.

X-ray energy and irradiation technique	Volume dose* and its ratio () versus thickness of compression			
	0 cm	3 cm	5 cm	7 cm
4MVX				
single beam	960/198 (4.85)	684/194 (3.53)	532/192 (2.77)	391/190 (2.06)
parallel opposed beams	836/171 (4.89)	683/172 (3.97)	585/173 (3.38)	470/173 (2.72)
10MVX				
single beam	919/191 (4.81)	691/190 (3.64)	559/189 (2.96)	324/175 (1.85)
parallel opposed beams	844/175 (4.82)	690/175 (3.94)	592/175 (3.38)	495/167 (2.96)

*: volume dose (g*Gy) on non-tumor/tumor

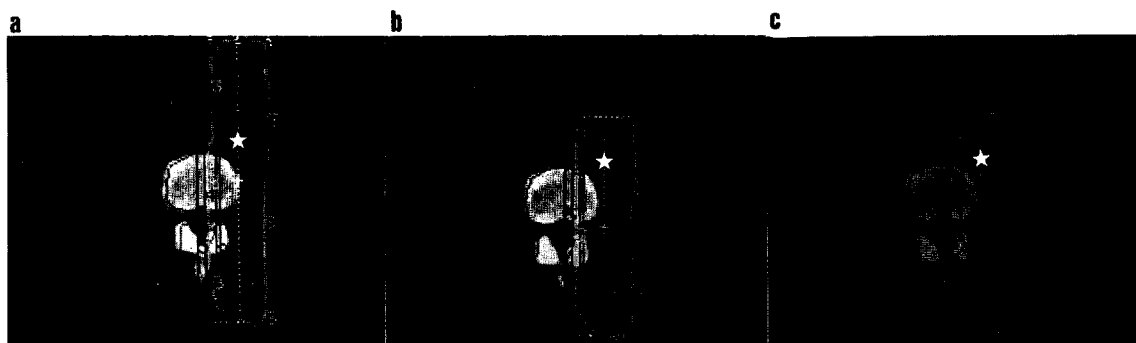


Fig. 3. Case 1. Isodose distributions for a single or parallel-opposed 10MV X-ray beams with versus without abdominal compression. Parallel opposed beams without (a) or with (b) compression, or a single beam with (c) compression are used as irradiation techniques. The field size is 5×5 cm². Tumor due to lymphnode metastasis (★) is localized in left paraaorta. Isodose curve 0, 1, 2, 3, 4 and 5 indicate 100%, 90%, 80%, 70%, 60% and 50% of the maximum dose within irradiation field, respectively. Volume Dose Ratio of non-tumor on tumor: a; 11.9, b; 7.6, c; 6.5.

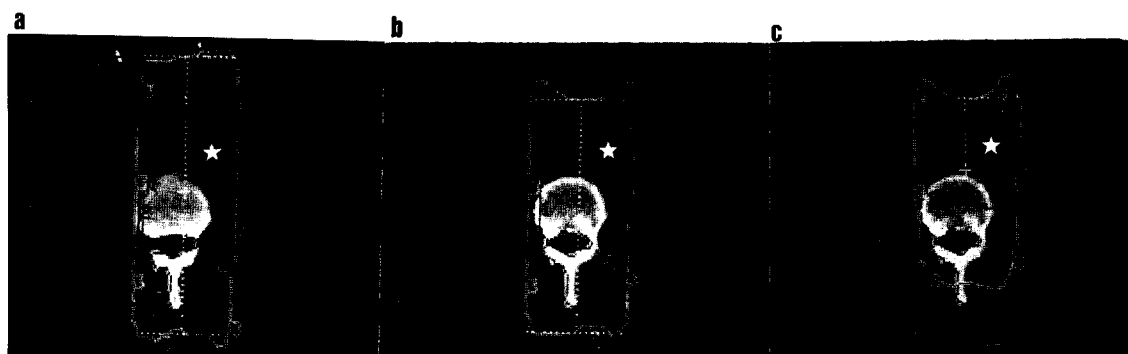


Fig. 4. Case 2. Isodose distributions for a single or parallel-opposed 10MV X-ray beams with versus without abdominal compression. Parallel opposed beams without (a) or with (b) compression, or a single beam with (c) compression are used as irradiation techniques. The field size is 14×7 cm². Tumor due to lymphnode metastasis (★) is localized around aorta. Isodose curve 0, 1, 2, and 3 indicate 100%, 90%, 80%, 60% of the maximum dose, respectively. Volume Dose Ratio of non-tumor on tumor: a; 6.81, b; 5.69, c; 4.68.

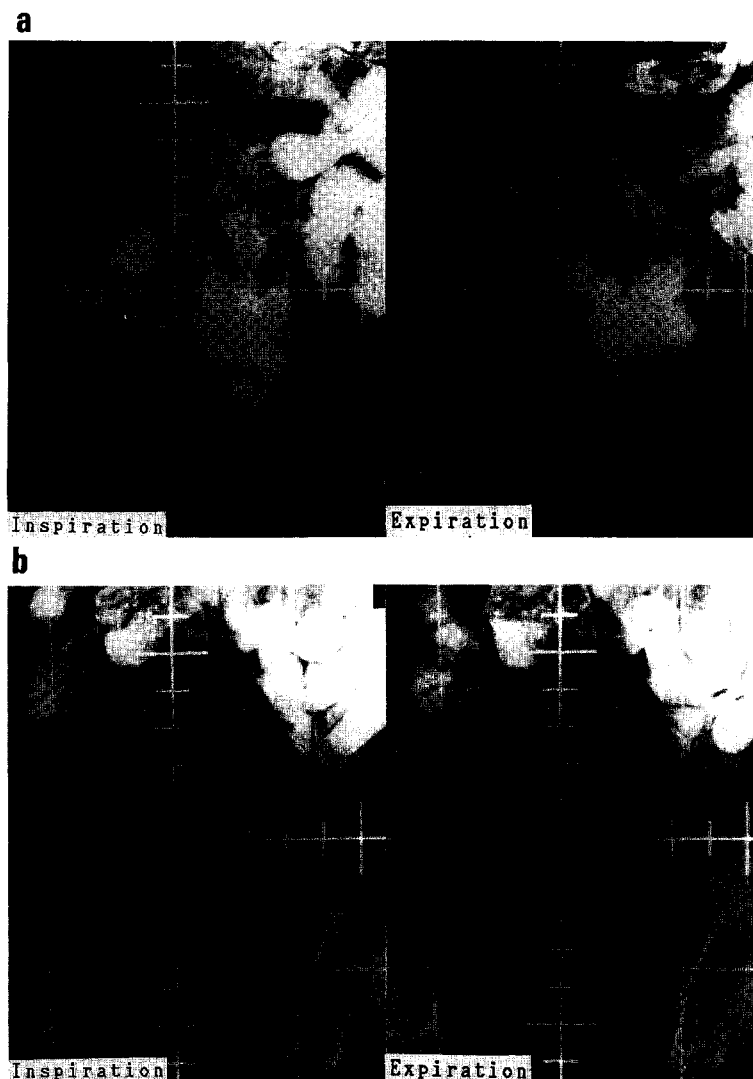


Fig. 5. Radiographs with contrast in the small intestine without (a) and with (b) abdominal compression. The upward displacement of pelvic small intestine with abdominal compression is shown. The abdominal compression decreased the volume of small intestine within the radiation portal. Left: inspiration. Right: expiration.

また、圧迫による 10MVX 1 門照射の場合、腫瘍部は最大線量の 80%以上の線量となった。従来の 10MVX 対向 2 門照射に対し圧迫の 10MVX 1 門照射による健常組織の Volume Dose は約 40%減少した。実際の照射は 10MVX 1 門照射、照射野 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ により 1 回 3Gy 総線量 50Gy の治療を行った。治療中ならびに治療終了後何ら副作用が見られず中断することなく外来通院で照射を完了

することができた。

2) 症例 2. 62 歳, 男性, 精囊癌再発

圧迫により腫瘍と腹壁の距離が約 5 cm 短縮し、腸管の照射野外への移動がみられた (Fig. 4a, b, c). 従来の 10MVX 対向 2 門照射に対し圧迫による 10MVX 方向 2 門照射の方が健常組織の Volume Dose は約 20%軽減した (Fig. 4b). また、圧迫による 10MVX 1 門照射の場合、症例 1 と同様

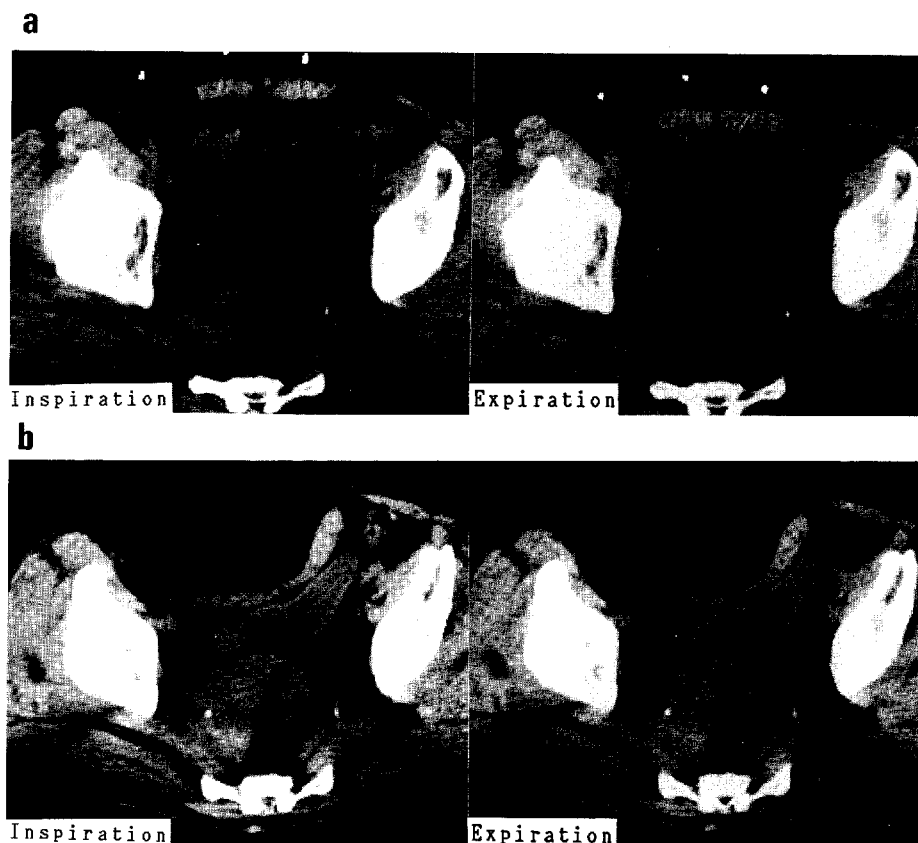


Fig. 6. CT slices at the same level with (a) and without (b) abdominal compression. Left: inspiration. Right: expiration. The thickness of body do not vary by breathing in the case of abdominal compression. The abdominal compression excluded small intestine within the radiation portal. ★; Tumor.

に、腫瘍部は最大線量の80%以上の線量となり、Spinal Cordの線量は圧迫のない10MVX対向2門照射に比べて約30%減少した。従来の10MVX対向2門照射に対し圧迫の10MVX 1門照射による健常組織のVolume Doseは約30%減少した。実際の照射は圧迫の10MVX 1門照射、照射野 $14 \times 7 \text{ cm}^2$ により1回2Gy総線量60Gyの治療を行った (Fig. 4c)。治療中ならびに治療終了後何ら副作用が見られず外来通院で照射を完了することができ、照射後のCT検査で腫瘍のほぼ消失が認められた。

考 察

腹部の深部腫瘍の放射線治療の際、急性あるいは晩発性の放射線障害は照射線量のほか被曝組織

の容積と密接に関係している³⁻⁶⁾。このため容積と線量を積算したVolume Doseは放射線障害に対し重要な指標となる⁷⁾。これまで腸管への障害を少なくするため、原体照射法や腫瘍部を露出し直接照射する術中照射法が広く行われている^{8,9)}。原体照射法は理想的であるが、外照射の場合、皮膚と腫瘍の間に存在する健常組織の被曝は避けられない。この問題を改善するため腹部を圧迫することにより腸管の照射野外への移動が期待できる。例えば、骨盤腔を圧迫することにより腸管は上方に押しやられ照射野内の腸容積は大きく減少する (Fig. 5)。すでに“Berry Bord”と呼ばれる穴のあいた板の上に腹臥位となり、小腸を照射野外の穴に移動させることにより小腸の被曝線量を減少させる方法が報告されている¹⁰⁾。われわれの経験から、

仰臥位に比べ腹臥位での照射は、呼吸による体全体の動き、胃や腸管の日々の内容量の変化により照射野の移動が大きく、再現性が悪いと思われる。また、圧迫の確認が腹臥位では患者の影になり困難となる。圧迫照射法は腹部を垂直にへこませるが腫瘍の変形、移動がない症例を用いているため再現性は悪くないと考えている。シェルフिटタの固定枠はテーブルに取り付けてあり、また同一圧迫体で固定されているため、患者の動きも無く、呼吸あるいは胃や腸管の日々の内容量の変化による腹部厚の変動は従来の方法より少なく、皮膚、腫瘍、テーブル間の距離は一定になり照射の再現性は良好であると考えられる (Fig. 6)。今後、何らかの方法で再現性をチェックしたい。

高エネルギーX線は軟部組織中で減弱が少なく、本学の10MVXリニアックの場合、軟部組織での深部百分率曲線は照射野サイズによりわずかに変化するが、最大線量の80%以上の範囲は皮膚から深さ約2 cmから約8.5 cmの間にあり最大線量は約3 cmのところにある。本研究の症例のように皮膚と腫瘍の距離を数cm短くすることにより、しばしば1門照射でも深部腫瘍に最大線量の80%以上の線量を照射することが可能となる。このため従来行われていた対向2門照射に対しSpinal Cordの被曝線量が軽減できる。4MVXリニアックの場合、最大線量の80%以上の範囲は皮膚から深さ約0.1 cmから約3.9 cmの間にあり最大線量は約0.2 cmのところにある。4MVXはビルドアップ領域も小さく、また1門照射で腫瘍部を80%領域を入れるためにはかなり深く圧迫する必要がある、これまでの症例では1門照射の適応例はなかった。圧迫照射法は非観血的であり、必要な材料は発泡スチロール、シェルフिटタで容易に入手可能であり、どの施設でも施行できる。

既に、本症例以外に悪性リンパ腫、肺癌などの腹部腫瘍ならびに転移性骨盤腫瘍の症例に対し圧迫照射を行ったが苦痛をとまなうことなく3 cmから6.5 cmの圧迫が可能であった。圧迫1門照射法で腫瘍 (Target Volume) に対し最大線量の80%以上の線量分布が得られない場合は、圧迫による前後対向2門照射を行った。肺癌を除いて重篤な合併症を伴うことなく50Gyから60Gyの線量を

照射することができ良好な治療効果を得られている。肺癌の1例は30Gyで照射を中断せざるを得なかったものの、照射野 $9.7 \times 6.5 \text{ cm}^2$ の圧迫の10MVX 1門照射で腫瘍に対し最大線量の80%以上の線量分布が得られ除痛効果があったが、1.5ヵ月後死亡した。

今回、腹部深部腫瘍の圧迫照射法に対しVolume Doseの相対的变化を中心に検討した。圧迫照射法は深部腫瘍に総線量の増量が期待でき、腹部腫瘍に対する放射線治療の適応拡大に寄与するものと考ええる。今後、腸管への影響に関して、容積効果や各線量レベル毎の効果発生確率にも留意し、さらに臨床例を重ね圧迫照射法の確立をしていきたい。

結 語

高エネルギーX線外部照射による腹部放射線治療において、腫瘍線量を増やし、健常組織の被曝線量を減少させることを目的として圧迫照射法を考案した。圧迫照射法は、腸管の照射野外への移動および健常組織のVolume Doseが著しく減少し、腹部の深部腫瘍に相対的に総線量の増量が期待できる。

文 献

- 1) ICRU (1962). International Commission on Radiation Units and Measurements, Clinical Dosimetry, ICRU Report 10d, NBS Handb. 87, (Washington, D. C., USA.) 1963.
- 2) 森田皓三, 内山幸男, 不破信和: 線量分布の評価法 Volume-dose histogram (Dose spectrum), 癌の臨床 別集 16, 赤沼篤夫, 尾内能夫編 (第1版), 篠原出版, 1989, pp. 129-136.
- 3) Potish, R. A., Jones, T. K., Jr., Levitt, S. H.: Factors predisposing to radiation-related small bowel damage, *Radiology* **132**: 479-482, 1979.
- 4) Langlois, D., LeBourgeois, J. P., Leung, S. *et al.*: Intestinal complications of wide field abdominal irradiation for lymphoma. *Radiother. Oncol.* **3**: 293-298, 1985.
- 5) Gunderson, L. L., Russel, A. H., Llewellyn, H. J. *et al.*: Treatment planning for colorectal cancer: Radiation and surgical techniques and value of small-bowel films. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **11**: 1379-1393, 1985.

- 6) Mameghan, H., Fisher, R., Mameghan, J. *et al.*: Bowel complications after radiotherapy for carcinoma of the prostate: The volume effect. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **18**: 315-320, 1990.
- 7) Lawrence, T. S., Tesser, R. J., Ten Haken, R. K.: An application of dose volume histograms to the treatment of intrahepatic malignancies with radiation therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **19**: 1041-1047, 1990.
- 8) Matuda, T., Goto, A., Makino, N. *et al.*: Computer controlled monoblock conformation radiotherapy. Proceeding of the seventh international conference on the use of computers in radiation therapy, 293-297, 1981.
- 9) Abe, M. and Takahashi, M.: Intraoperative radiotherapy: The Japanese experience. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **7**: 863-868, 1981.
- 10) Shanahan, T. G., Mehta, M. P., Bertelrud, K. L. *et al.*: Minimization of small bowel volume within treatment fields utilizing customized "belly boards". *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **19**: 469-476, 1990.

要旨：高エネルギーX線外部照射による腹部放射線治療において圧迫照射法を考案した。圧迫照射法は腹壁と深部腫瘍間距離が短縮するため、腫瘍線量が増加し、しばしば1門照射法が適応となり健常組織のVolume DoseおよびSpinal Cordの被曝線量の軽減が可能となった。さらに、腸管の照射野外への移動が期待でき、大動脈周囲リンパ節転移などの腹部腫瘍ならびに骨盤腔再発腫瘍に対する放射線治療の適応拡大に寄与するものと考えられる。