



Title	腔浸潤を伴う子宮頸癌の至適腔内照射条件の計算法
Author(s)	田伏, 勝義; 伊藤, 進; 砂倉, 瑞良 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1997, 57(13), p. 871-876
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15620
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

腔浸潤を伴う子宮頸癌の至適腔内照射条件の計算法

田伏 勝義¹⁾ 伊藤 進^{2)*} 砂倉 瑞良²⁾ 加藤 真吾²⁾ 楮本 智子²⁾
中村 譲^{3)**} 飯沼 武⁴⁾ 荒居 龍雄⁵⁾ 小幡 康範¹⁾

1)名古屋大学医学部 2)埼玉県立がんセンター放射線治療部 3)放射線医学総合研究所
4)埼玉工業大学 5)本島総合病院 *現 日本放射線防衛株式会社 **現 埼玉県立がんセンター

Method for Determining Optimal Intracavitary Radiotherapy Conditions for Carcinoma of the Uterine Cervix with Tumor Infiltration of the Vaginal Wall

Katuyoshi Tabushi¹⁾, Susumu Itoh^{2)*},
Mizuyoshi Sakura²⁾, Singo Kato²⁾,
Tomoko Kazumoto²⁾, Yuzuru Nakamura^{3)**},
Takeshi A. Inuma⁴⁾, Tatuo Arai⁵⁾
and Yasunori Obata¹⁾

Stage III carcinoma of the uterine cervix is occasionally accompanied by tumor infiltration of the vaginal wall. Currently, the vaginal wall has to be irradiated in the same manner as the uterine cervix. The authors have developed a system for determining the optimal irradiation conditions for treating the two regions, uterine cervix and vaginal wall, at the same time. A comparison of two methods is shown in simulation, and then a clinical case is reported. The first method consists of two treatment plans, one for the uterine cervix without tumor infiltration of the vaginal wall, and the other for the vaginal wall without carcinoma of the uterine cervix. The second, newly developed method considers the two regions together. Irradiation times of ovoid sources obtained with the second method are 15-25% less than those of the first method. Isodose curves obtained with the two methods are very different, and thus the uterine cervix and vaginal wall must be considered together in order to determine irradiation conditions.

Research Code No. : 600.1

Key words : Uterine cervical cancer, Intracavitary radiotherapy, Optimization

Received Mar. 28, 1997; revision accepted Aug. 29, 1997

1) Nagoya University School of Health Sciences

2) Saitama Cancer Center

3) National Institute of Radiological Sciences

4) Saitama Institute of Technology

5) Motojima Hospital

* Present address: Nihon Houshasen Bougyo Corporation

**Present address: Saitama Cancer Center

緒 言

子宮頸癌の放射線治療は、外部照射と小線源による腔内照射に大別され、その放射線治療基準が示されている¹⁾。小線源による腔内照射の線量分布は、線源配置や照射時間によって大きく左右されるが、線源を腫瘍近辺に配置できるので治療効果が大きい²⁾。反面、正常組織の障害に十分注意しなければならない。治癒と障害を考慮した至適線量分布を求めてから腔内照射を行うことが必要である^{1),3)}。小線源による腔内照射の至適線量分布を求める方法には視覚による方法、即時探索法、半論理的な逐次近似法や論理的な数値計画法などか用いられている⁴⁻¹³⁾。

われわれは子宮頸癌腔内照射の治療基準に合ったRALS最適化システムを開発し、臨床に使用している⁶⁾。この最適化システムは市販の治療計画装置に組み込まれ¹⁴⁾、その使用経験も報告されている¹⁵⁾。このシステムはマンチェスター法の線量分布を関数化し、それを参考にして¹⁶⁾、模擬線源の配置状態から患者の病巣に適した至適線量分布を描き、これをもたらし照射条件を2次計画法で求めている。

しかし、III期の子宮頸癌が腔浸潤を伴う場合があり、子宮頸癌の標準的な腔内照射に腔浸潤部の照射を加えなければならない。これらを別々に治療計画し合成すると、同時に治療計画した時よりもオボイドの照射時間が1~2割増すので注意を要する。子宮頸部の腫瘍と腔浸潤部分を同時に照射する条件は、複数の従来から使用していたRALS最適化プログラムを利用して求めていた¹⁷⁾。しかし、計算の一部は手動で行わねばならないので長時間を要し、治療の際患者への負担となっていた。そのため今まで臨床に使用してきたRALS最適化システムに改良を加え、子宮頸癌が腔浸潤を伴う場合の照射条件を自動的に求めるシステムを作成し、計算時間を大幅に短縮することができた。主にその計算法についてここに報告する。

方法および結果

腔浸潤を伴った子宮頸癌腔内照射の最適照射条件を自動的に求めるシステムを作成するにあたり、まず比較のため

シミュレーションで二つのものを示す。はじめは二つの治療計画を合成したもの、すなわち、子宮頸癌の治療基準に従った治療計画で得た結果と、腔浸潤部を照射する治療計画を合成したもの、次にこれら二つの条件を一つの腫瘍として治療計画をした結果を示す。

1. 治療の手順

至適照射条件を求める際の計算方法の把握を容易にするために、治療時の手順を簡単に示す。

1). タンデムと直径が約2~3cmの腔用円筒型アプリータを模擬線源とともに患者体内に配置し、この正側X線写真より、子宮腔内から腔浸潤部へのタンデム軌道を解析する。

2). 模擬線源と腔用円筒型アプリータのみ

抜去して、代わりにオボイド型アプリータを配置し、タンデムとオボイドの模擬線源を挿入する。これは標準的な腔内照射を行う時と同じ状況であり、正側のX線写真を撮る。

3). 1と2より標準的な腔内照射と腔浸潤部位を同時に最適照射する条件を計算するのに用いる抽出点を設定する。

4). 2次計画法で照射条件を計算し、放射線治療医が確認する。

5). 2の状態でタンデムとオボイドで子宮頸部を照射する。

6). アプリータを1の状態に戻して腔浸潤部のみを照射する。

2. 照射条件の計算法

シミュレーションを交えて照射条件の計算法を示す。

1). 線量分布の設定

ここでは子宮頸癌と腔浸潤部分を同時に治療することを念頭におく。その線量分布として、子宮頸部腫瘍は標準的な分布とし、腔浸潤部位は患者ごとに異なるが、基本的には粘膜表面より5mmの深さの部位の線量が、放射線治療医により4~6Gyに指示される。子宮頸癌に対する標準的な線量分布として、従来のマンチェスター法のA点を通る等線量曲線をコンピュータ内に描き、その曲線上に18~26個位の抽出点を設け、それらの部位に5~6Gyを与える。

シミュレーションにおいて、子宮腔長が5cm、オボイド間隔が3cmで、外子宮口から6cmまで腔に癌が浸潤している場合の症例がFig.1に示されている。Fig.1(A)には子宮頸部を単独に照射する治療計画のためのタンデムとオボイドが●印、外子宮口が○印、18個の抽出点が×印で示されている。腔浸潤部分は直径2.5cmの腔アプリータを使用して、粘膜下5mmのところを円筒型の線量分布を設定する。計算に使用する6個の抽出点は○印で、タンデムは3個の点線源からなり●印で示されている。このシミュレーションでは、抽出点の線量はすべて6Gyとする。

2). 部位ごとによる計算とその合成

子宮頸癌の標準的な腔内照射は、「子宮頸癌の放射線治療基準」に準じて作成した2次計画法¹⁸⁾による最適化プログラ

Table 1 The comparison of irradiation conditions in simulation shown in Fig.1

Number of source	Activity x irradiation time (TBq · sec)		Length of pull back from top of tandem point source (cm)
	Composition of results obtained by two methods	Result obtained by present method	
1	8.24	7.91	0
2	6.07	5.12	1.3
3	5.12	6.99	2.6
4	6.19	5.12	3.9
5*	17.92	15.06	—
6*	17.92	15.06	—
7	9.57	5.12	9.0
8	6.96	5.12	10.0
9	9.57	9.44	11.0

*: ovoid

ムで照射条件を求める。それにより得た照射時間がTable 1に示されており、これから得たA点を通るダルマ型の等線量曲線がFig.1(A)の上方に描かれている。

腔浸潤部分に対しては、抽出点に設定した線量をもたらし照射時間が、各線源間であまり変動しないようにして2次計画法で求め、それによる等線量曲線をFig.1(A)の下方に示した。これら2つの治療計画によって得た照射時間による吸収線量を合わせ、描いた等線量曲線をFig.1(B)に示した。

ここで使用した方法はどちらも2次計画法であるが、その中身は大きく異なる。単純な2次計画法で計算しても、臨床に使用できるような結果は得られないので上記のような工夫がしてある。

3). 同時に計算する方法

子宮底から腔浸潤部までのタンデム線源の軌道は一緒にして解析し、子宮頸部の線源配置は標準的に、一方腔浸潤部分は1~1.5cm間隔で線源を配置し、抽出点の設定は自動的に行う。同時に計算するに当たり、子宮頸部を単独に照射する治療計画のために用いた×印の18個の抽出点のうち、Fig.1(A)で等線量曲線が交差している近傍の2つの抽出点は不要となる。用いる抽出点の数は16個の×印と6個の○印の22個となり、Fig.1(C)に示されている。今回作成したプログラムにより得た、子宮頸癌とそれに伴う腔浸潤部位を同時に治療するための照射条件をTable 1に示し、等線量曲線をFig.1(C)に表した。Fig.1(D)はFig.1の(B)と(C)の比較を容易にするために示した正面の分布で、Fig.1(E)はその側面の分布である。オボイドはTAO式であり、左右のそれぞれの線源は二つの点線源からなっている。外側の破線の等線量曲線が(B)、内側の実線が(C)にそれぞれ相当する。

4). 2次計画法による計算

目的関数と制限条件からなる2次計画法の小線源治療での使用法は、一般に希望する線量値(設定値) Q_i と、計算で得られる吸収線量 D_i の差の自乗和を最小にする照射時間を求めるのを基本としている。 D_i は次式で表される組織の吸収線量である。

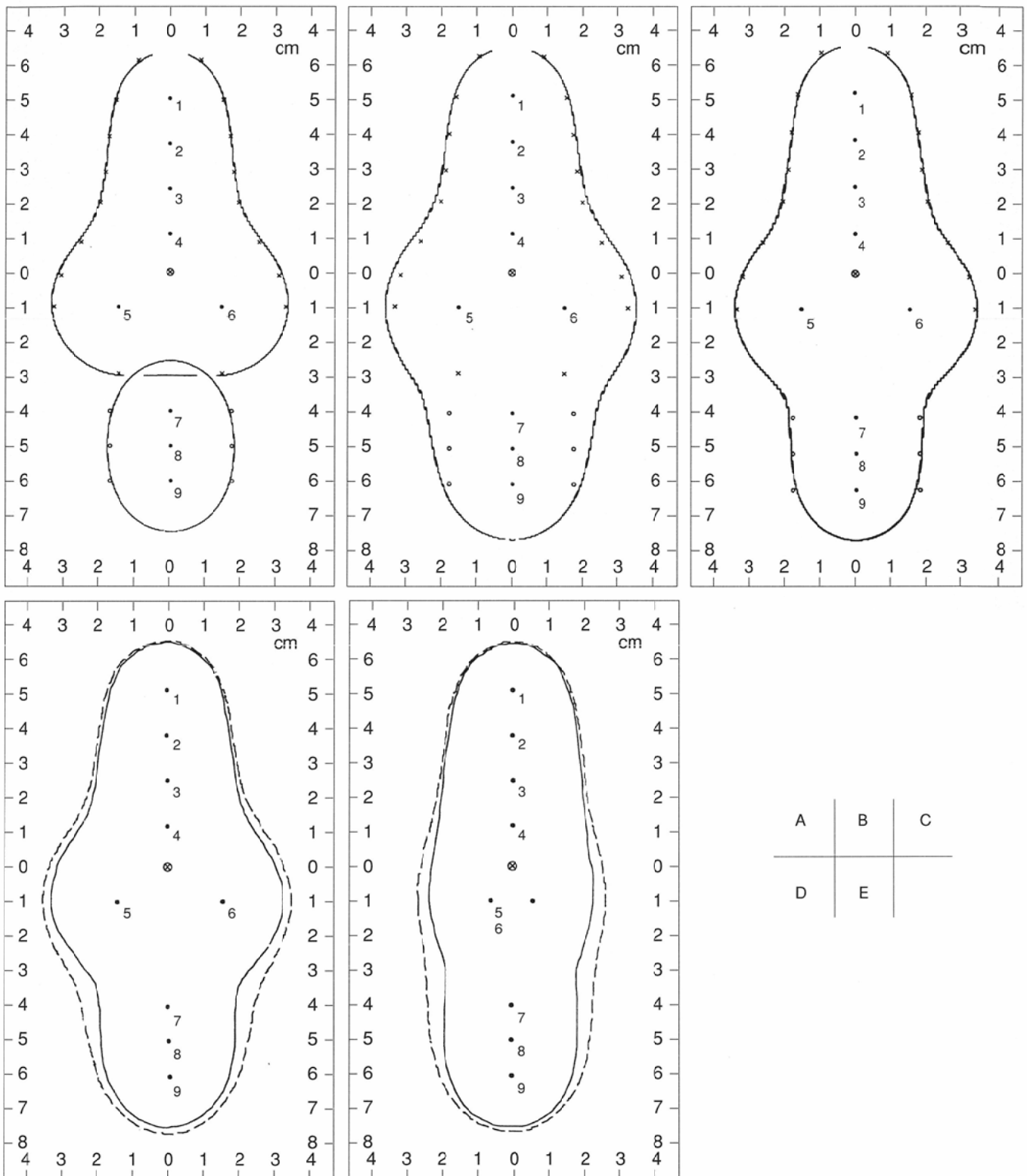


Fig.1 Comparisons of the isodose curves in simulation

●: sources; ×: selected points on the isodose curve passing through points A based on the Manchester system for treating the uterine cervix⁶⁾; ○: selected points on the line 2cm from axis consisted of sources 7 to 9 for treating the vaginal wall; ⊗: external os. Sources 1 and 9 are 5 and 6cm away from external os, respectively. The ovoid sources 5 and 6 are 3 cm away from each other. Sources 1 to 4 and sources 7 to 9 are arranged at 1.3 and 1.0cm intervals, respectively. Doses predefined at selected points are 6 Gy for treating the carcinoma. Figs. A to D are drawn in the coronal plane and E is drawn in the sagittal plane.

A: Two independent treatment planning systems were applied for calculating irradiation times. The upper isodose curve is drawn with irradiation times of sources 1 to 6 obtained for treating only the uterine cervix. The lower curve is drawn with those of sources 7 to 9 obtained for treating only the vaginal wall.

B: The curve is drawn with irradiation times of sources 1 to 9 shown in Fig. A.

C: The curve is drawn with irradiation conditions obtained with the present method for treating the uterine cervix and the vaginal wall at the same time.

D, E: The isodose curves shown in Fig. B and C are drawn by broken and solid lines, respectively.

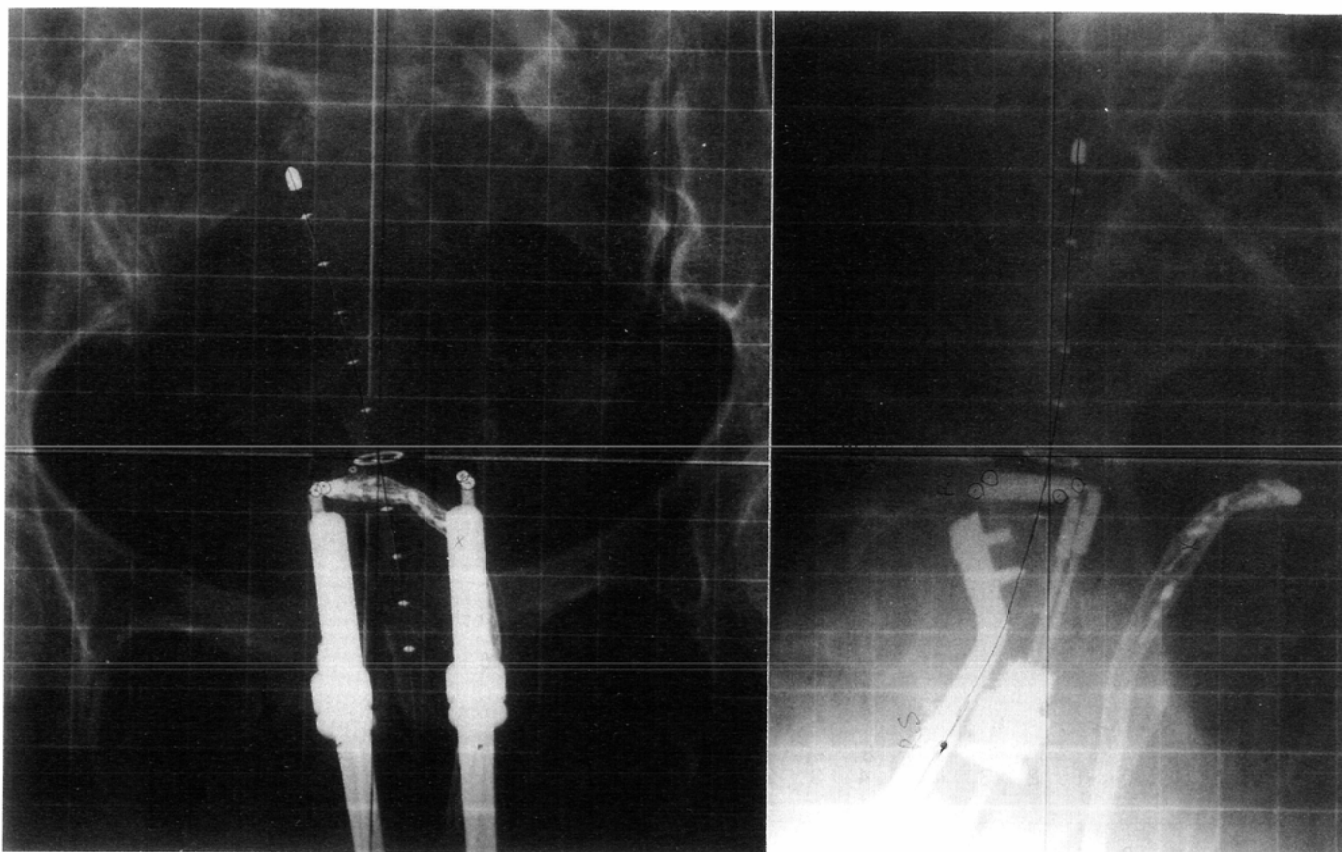


Fig.2 A clinical case of carcinoma of the uterine cervix.

$$D_i = \sum_{j=1}^N d_{ij} \cdot t_j \quad (1)$$

臨床に使用できる解を得るために、以下のような2次関数で目的関数を表し、制限条件を充たしながらその値が最小になるようにして照射時間 t_j を求める。

$$\text{目的関数} \quad F = F_1 + F_2 \quad (2)$$

$$F_1 = \sum_{i=1}^{M+V} W_i (D_i - Q_i)^2$$

$$F_1 = K (g^2 + h^2)$$

$$\text{制限条件} \quad Q_i(1-g) \leq D_i \leq Q_i(1+h) \quad (3)$$

目的関数 F_1 の $i = 1 \sim M$ は子宮頸部の線量、 $i = M + 1 \sim M + V$ は腔浸潤部の線量、 F_2 は制限条件の調整に関する項である。 W_i は重みで通常は1とする。しかし、Fig 1(A)で等線量曲線が交差している近傍の2つの抽出点は、Fig.1(C)で除去することを考慮して、5番と6番の線源を結ぶ線上の2つの×印の点の重みを2とする。 i は組織の吸収線量を求める点の

番号、 M は標準的な治療をする場合の抽出点の数から2を差し引いたもの、 V は腔を照射するために設定した抽出点の数、 j は線源の番号、 N は線源の数、 t_j は線源 j の照射時間、 d_{ij} は抽出点 i が線源 j から単位時間に吸収する線量、 D_i は抽出点 i の計算される線量、 Q_i は抽出点 i の最初に設定される線量である。 g と h は正の未知数であり、照射時間と同時に求められ、 D_i の上限と下限を自動的に設定する。これは、設定線

Table 2 The irradiation condition obtained with the present method for the case shown in Fig.2

Number of source	Activity x irradiation time (TBq · sec)	Length of pull back from top of tandem point source (cm)
1	8.19	0
2	5.02	1.1
3	4.76	2.2
4	4.77	3.3
5	4.76	4.4
6*	12.06	—
7*	12.55	—
8	4.76	8.4
9	4.76	9.4
10	7.66	10.4
11	9.22	11.4

*: ovoid

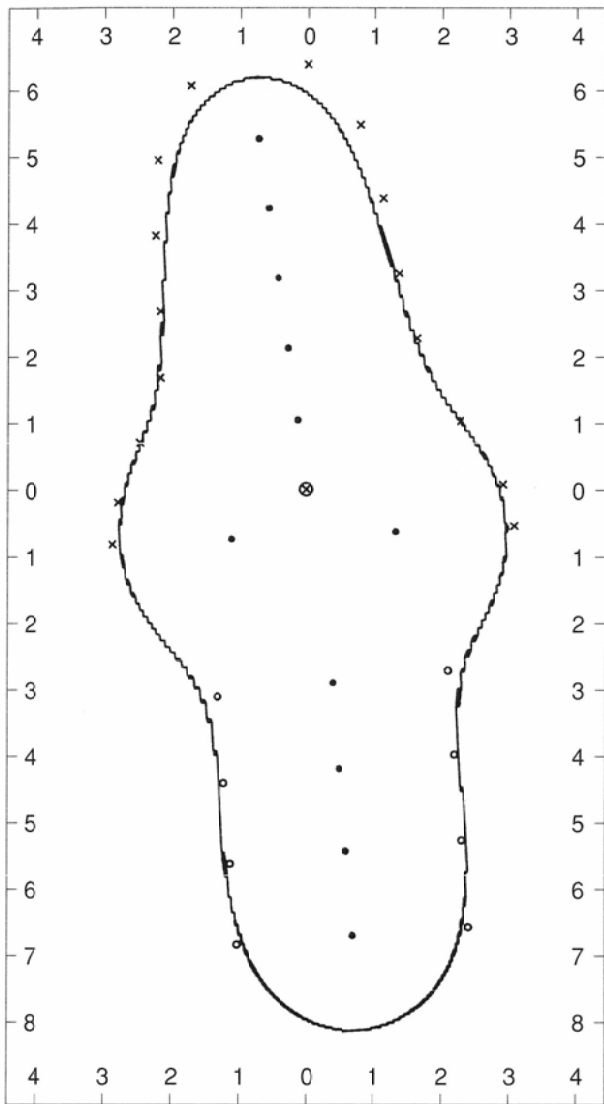


Fig.3 The isodose curve and the source arrangement for the case shown in Fig.2

●: sources; x: selected points for the uterine cervix; ○: selected points for the vaginal wall; ⊙: external os.

量と計算で得られる線量の差を小さくするとともに、設定線量の許容幅も自動的に小さくする。Kは(2)式の各項の寄与の割合を調整するための定数である。ここでは、Kは抽出点の設定線量値の自乗の総和に等しくした。

3. 臨床例

Fig.2は腔浸潤を伴う子宮頸癌の正側のX線写真であり、模擬線源とともにタンデムとオボイドのアプリケーションが体内に配置されている。子宮頸癌が標準的な腔内照射が行われる場合と同じ状態である。子宮腔長が約6cm、オボイド間隔が約2.5cmで、外子宮口から約7cmまで腔浸潤が見られる症例である。X線写真上では、体内に挿入した腔用円筒型アプリケーションは判別しにくいのでここには掲載していない。この他に直径が約2.6cmの腔用円筒型アプリケーションを挿入している正側のX線写真も撮られている。今回作成したプログラムで求めた照射条件がTable 2に示され、それを基に描いた等線量曲線がFig.3である。抽出点×印と○印の線量を

6Gyに設定して、照射条件が計算された。外子宮口と腔部分の11番の線源が等線量曲線を描いた平面上になるように描かれている。そのため、1番の線源がこの平面から約1.2cm離れることになり、等線量曲線が1番の線源近傍で×印から離れている。矢状断面での等線量曲線は、オボイド線源近辺を中心とした銀河系宇宙と似ている。

考 察

シミュレーションでは、子宮頸部を標準的なA点を通る等線量曲線になるようにするため、腔浸潤部分での照射の影響でオボイドの照射時間が15%減少した。Fig.1(D)と(E)はそれぞれ単独に計算して合成したものと、腔浸潤部も同時に考慮して得たものでかなりの差があることを示している。側面図(E)から、直腸や膀胱の線量が同時に考慮した時の方がかなり少ないと予想される。

それぞれ単独に計算して合成したものが直腸線量へ及ぼす影響を概算するのに便宜上、Fig.2, 3の症例の線源を子宮頸部側のタンデム(1-5の線源)、オボイド(6と7の線源)、腔側のタンデム(8-11の線源)に分ける。計算を別々にした時と同時にした時の放射能X照射時間の和の比は、子宮頸部側のタンデムでは1.01、オボイドでは1.26、腔側のタンデムでは1.34であった。これは計算を別々にすると、同時にした時よりも直腸線量が1%~34%増加することを意味する。腔内照射が4回行われ、同時に考慮して計算した照射条件で治療した時の5点線量計¹⁹⁾で測定した直腸線量の最大値の4回の平均は4.37Gyであった。1例として、直腸への寄与は子宮頸部側のタンデムが1、オボイドが1、腔側のタンデムが0.5と仮定した時、別々に計算すると直腸線量が18%増加し、5.16Gyとなる。

腔浸潤部まで照射が必要な患者数が少ないので、このような特殊な治療および治療計画を積極的に行わなくてもかまわないという意見もある。しかし、これをきっかけにして、個々の患者の腫瘍状況に応じた至適線量配分を決めて、より個別化した最適な治療計画を行っていきたいと思っている。5点線量計により測定した直腸線量は、予想されていたように標準的な子宮頸癌の腔内照射よりも多いと思われる。

ここで用いた方法の最大の難点として、治療に要する時間が通常の1.5~2倍(1時間半位)かかることであった。それには主な二つの理由がある。一つはオボイドと腔のアプリケーションを入れ替えなければならないこと、二つ目は照射時間の計算に使用する抽出点の設定の一部が自動化されておらず手動で行わねばならないことであった。患者を待たせた状態で、このような特殊な治療計画を手動で行う行程は、精神的な焦りを伴い治療計画を円滑に行う妨げにもなっていた。今回、手動で行っていた行程が自動化されたので、計算時間が約20~40分短縮され、治療計画時において精神的にも多少余裕ができるようになった。

治療の手順において、1)と6)は全く同じ状態が望まれる

が、実際には多少ずれる。できるだけ1)の状態を復元することに治療医が努力している。もしタンデム軌道の解析に必要な1)の手順が省略できるなら、治療時間の短縮につながり、患者の負担が大幅に軽減できる。そのために、今後1)を省略して2)から腔用円筒型アプリータによる照射条件を近似的に求めた場合と、1)を省略しない場合の比較をする必要がある。

標準的な腔内照射と腔部分の照射を同時に一回で行えると良いが、今のところ2回に分けている。そのため組織の

形状が標準的な腔内照射時と腔部分の照射時で異なっており、腔の一部が過線量になるおそれがあるが、現在のところ障害が見られずに治療している。

御協力頂きました埼玉県立がんセンターの放射線治療部の方々と渡辺義也副技師長、川村耕治主任技師、名古屋大学の小山修司氏に深謝いたします。

本研究の要旨は、日本放射線腫瘍学会第7回大会(名古屋)、第69回日本医学放射線物理学会大会(名古屋)にて報告した。

文 献

- 1) 荒居龍雄, 赤沼篤夫, 池田道雄, 他: 子宮頸癌の放射線治療基準. 癌の醇床 30: 496-500, 1984
- 2) 森田皓三: 新しい密封小線源治療マニュアル. 厚生省がん研究助成金報告書 1-2, 1989
- 3) Inoue T, Inoue T, Harada K, et al: The weighted geometric center in the remote afterloading intracavitary therapy of carcinoma of the uterine cervix. Strahlentherapie, 158: 90-93, 1982
- 4) Rosenstein LM: A simple computer program for optimization of source loading in cervical intracavitary applicators. Br J Radiol, 50: 119-122, 1977
- 5) 井上武宏, 井上俊彦, 堀 信一, 他: 子宮頸癌ラース治療のコンピュータによる即時計算・即時補正法. 臨床放射線 26: 705-709, 1981
- 6) 田伏勝義, 伊藤 進, 砂倉瑞良, 他: 子宮頸癌腔内照射における至適線量分布と照射条件計算の自動化. 日本医放会誌 42: 669-682, 1982
- 7) Inamura K, Abe S, Ueda Y, et al: A new type of visual optimization method in treatment planning. Proc. 8th ICCR, 230-234, IEEE Computer Society, Los Angeles, 1984
- 8) Anderson LL, Mohan R, Hilaris BS, et al: Brachytherapy optimization at Memorial hospital. Proc. 8th ICCR, 390-694, IEEE Computer Society, Los Angeles, 1984
- 9) Bush M: Analytical optimization method for afterloading techniques. Proc. 8th ICCR, 399-402, IEEE Computer Society, Los Angeles, 1984
- 10) 伊津野格, 今井 迅, 武井一喜, 他: 迅速なRALS線量分布図作成システムの開発. 日本医放会誌 47: 1514-1521, 1987
- 11) 尾川浩一, 国枝悦夫, 土器屋卓志, 他: パーソナルコンピュータによる小線源治療計画システムの開発. 日本医放会誌 47: 945-953, 1987
- 12) 佐方周防, 池田道雄, 平林久枝: 「小線源治療」3. 子宮頸癌腔内照射時の直腸のdose volume histogram. 日放腫会誌 2, Suppl 2, 179, 1990
- 13) Tabushi K, Itoh S, Sakura M, et al: A method for calculating the optimum irradiation condition for intracavitary radiotherapy using quadratic programming. Phys Med Biol 33: 515-527, 1988
- 14) Kutsutani-Nakamura Y, Tabushi K, Iinuma AT, et al: Optimum treatment planning system for high dose-rate intracavitary therapy of carcinoma of the uterine cervix. J Jpn Soc Ther Radiol Oncol 1: 179-188, 1989
- 15) 村元秀行, 小園康範: 子宮頸部扁平上皮癌の小線源治療におけるRALS最適化プログラムの使用経験とその治療成績. 日本医放会誌 52: 264-268, 1994
- 16) Tod M, Meredith WJ: Treatment of cancer of the cervix uteri-A revised "Manchester method". Br J Radiol 26: 252-257, 1953
- 17) 田伏勝義, 伊藤 進, 砂倉瑞良, 他: 腔浸潤を伴う子宮頸癌の腔内照射条件の計算法. 日放腫会誌 6: Suppl. 1: 121, 1994
- 18) Mcmillan C Jr: Mathematical programming, 前田功雄訳: 2次計画法. 数理計画法入門I, 167-174, 東京図書, 東京, 1972
- 19) 井上俊彦, 大関修治, 雄川恭行, 他: 子宮頸癌ラーストロン治療の小型半導体検出器による直腸線量実測-5点線量計ICD-5の試作-. 島津評論, 34: 39-45, 1977