

総説

定位放射線照射について

Stereotactic Irradiation

斎藤 真理

Mari SAITO

**要旨**：放射線治療は“周辺の正常組織に損傷を与えずに、腫瘍部に大線量を投与し腫瘍を治癒せしめる”ことを目標に進歩してきた。このために治療用陽子線、重粒子線などの開発、従来のX線、γ線の治療方法にも工夫がこらされてきた。近年の目覚ましいコンピュータの発達により、CTやMRIといった画像診断装置の高精度化、その画像を使った精密な三次元治療計画装置、治療計画装置とオンラインでつながれ、治療計画に沿った照射範囲や治療方向などを正確に再現できる放射線治療装置の開発普及が進んできた。脳外科領域で行われてきた定位手術の方法論とこの放射線治療装置により、上述の課題である線量集中性のよい放射線治療が行われるようになってきている。これが定位放射線照射であり、現在、脳の病巣を中心に治療が行われている。定位放射線照射は近い将来体幹部の病巣にも治療の適応が拡大されると思われる。この治療について概説する。

放射線治療について

外照射治療装置の発達

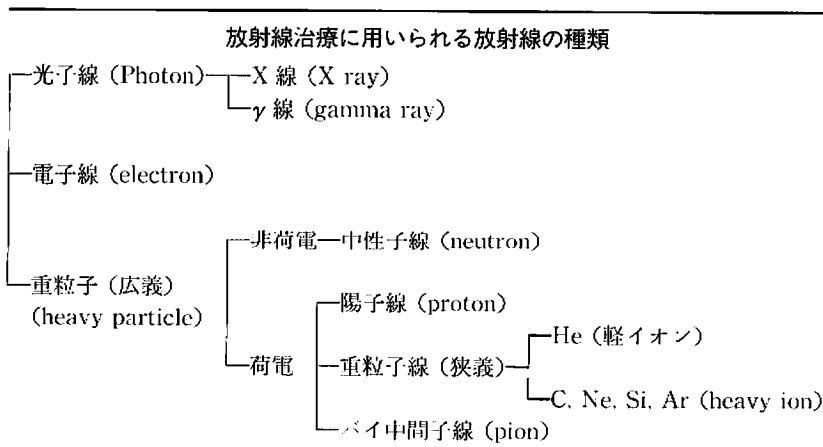
定位放射線照射は放射線源を生体から離れた部位において治療を行う(体)外照射である。(放射線治療に使われる放射線は表1のようにいろいろあるが、以後放射線とは断りのない限りX線、γ線をさすものとする。)

放射線治療は“周辺の正常組織に大きな損傷を与えることなく、腫瘍部に大きな線量を投与し、腫瘍

を治癒せしめる”という課題のもとに進歩してきた。

放射線外照射の報告はX線発見の翌年から出されているそうであるが<sup>1)</sup>、初期には未熟な放射線治療および診断装置で治療対象を摸索しながら治療を行っていたというのが実情のようである。診断手技、装置の発達や照射方法の工夫に伴って深部臓器の病巣にも放射線治療が行われるようになり、使用できるX線も次第にエネルギーの高いものになってきた。1950年代からテレコバルトやリニアックX線といった高エネルギーの外照射装置が使われるように

表1. 放射線治療に用いられる放射線の種類



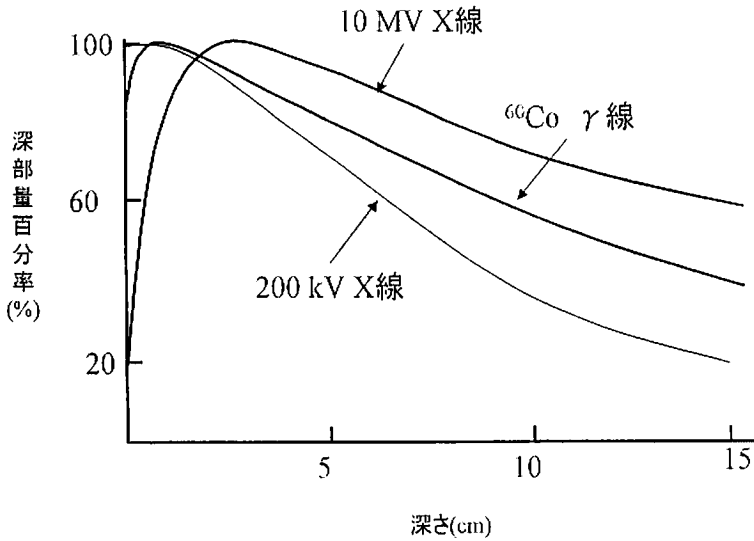


図1. X線,  $\gamma$ 線の深部量百分率曲線

なり, さらに装置の改良, 技術の発達から, 全身のあらゆる臓器, また, 全身照射といった広い範囲に均等に放射線治療を行うことが可能となっている。

しかしながら, 放射線の線量分布から, 特に深部臓器では放射線が腫瘍のある臓器に到達するまでに通過する正常組織の線量が無視できず, これが照射線量に足かせをかけることになっている。

この放射線による外照射の欠点を克服するために陽子線, 重粒子線などの放射線が治療に使われはじめていますが, 装置が非常に大きく, 設置や運転に大きな経費がかかる。

一方近年の目覚ましいコンピュータの発達が放射線治療を大きく変え始めている。CTやMRIといった画像診断装置の高精度化, その画像を使ってより精密な線量分布を表示させ, いくつかの照射方法を比較検討することができる三次元治療計画装置, 治療計画装置とオンラインでつながれ, マルチリーフコリメータを制御し, 治療計画に沿った照射範囲や治療方向などを再現できる治療装置の開発普及である。こういった機器の発達が, 外照射時に放射線が通過する正常組織の線量を減らし, 腫瘍部の放射線線量を増加させようとする努力に大きな進歩を与えつつある。その一つが定位放射線照射である。また, 照射野内の放射線の強度を変化させることにより, 治療を目的とする腫瘍の形と必要とする放射線の量を増減することを目標としたIMRT (Intensity modulated radiotherapy) が治療の現場に導入されようとしている。

放射線外照射の線量分布について  
放射線の線量分布図を図1に示す。

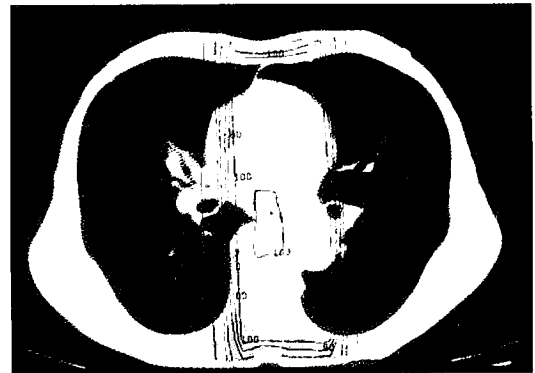


図2. 10MV X線前後対向2門法で照射したときの線量分布図

高エネルギーの放射線は皮膚から数mmないし数cmのところまで最大線量となりその後次第に減衰していく。最大線量になる部位とその深部の線量の減衰の仕方はその放射線のエネルギーや照射野の大きさ, 形による。

放射線で深部臓器の腫瘍を治療しようとする時, 従来最も多くの症例で施行されてきた方法は左右または前後対向二門法と呼ばれる方法である。これは身体の深部にある病巣に対し均等に放射線が照射されるように左右または前後から挟み撃ちにして照射する方法である。図2は食道癌に前後対向二門法で放射線治療をするときの線量分布を示したものである。治療範囲はほぼ均等な線量が照射されるが, この方法では心臓や脊髄などの正常組織にも病巣と同じだけの線量が照射されてしまうので, 正常組織の放射線耐容線量(後述)が線量の上限を決め食道癌

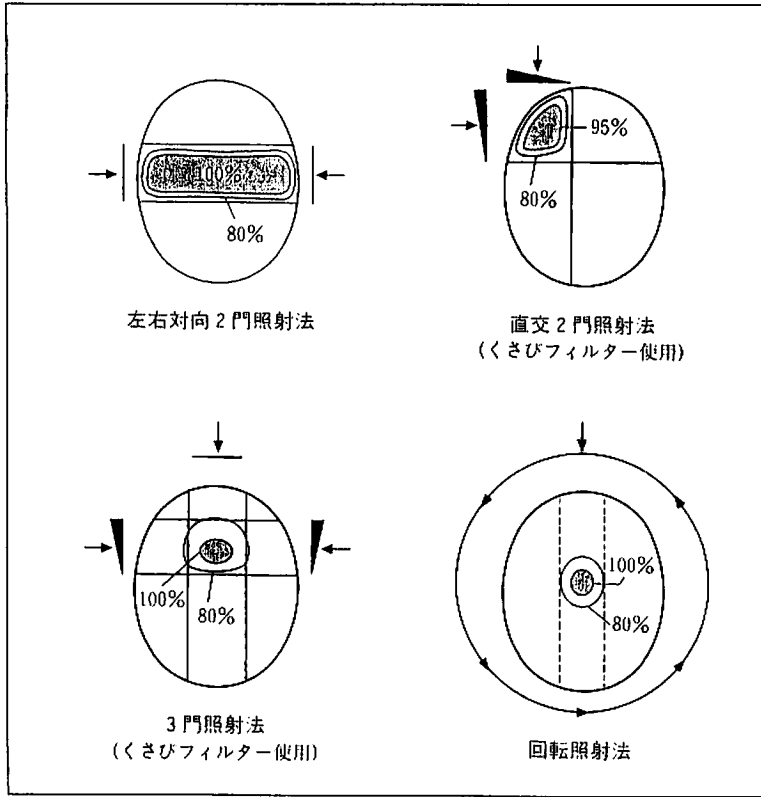


図3. いろいろな照射方法

を治癒せしめるだけの線量は照射できない。一般的には正常組織の放射線耐容線量以上の線量は、放射線の照射方向を変え、それまで照射されていた正常組織を外し、食道癌の治療線量まで持ち上げるという方法をとる。

進行癌では最初に領域リンパ節までの広い範囲をカバーして放射線を照射するが、顕微鏡的な転移を心配した照射範囲には実際に腫瘍がある部位に比べて線量は少なく済むので、一定量の照射のあとは、実際に画像などで把握されている腫瘍だけに照射を行うように照射範囲を小さくする。放射線の照射方向を変える頃に照射野も小さくすることが多い。

この方法以外に図3に示すように直交二門法、三門、四門といった多門照射法、病巣を中心に放射線源を回転させながら治療を行う運動照射法（回転照射法、原体照射法、アーク照射法）などがある<sup>2)</sup>。腫瘍組織に均等で十分な線量を与えながら正常組織の線量を極力抑えることを目標に考えられた方法である。

**局所耐容線量<sup>3)</sup>**

正常組織の放射線感受性を表す指標として耐容線量が用いられる。TD<sub>5/5</sub>、TD<sub>50/5</sub>として示されるが、

これは照射後5年の経過観察をして障害の発生率が5%以下または50%以下である線量を意味する（表2左）。この確率は同じ臓器でも放射線が照射された体積、総線量と分割回数、全照射期間、年齢、合併症の有無、併用治療の有無などによって異なる。根治照射の場合はTD<sub>5/5</sub>の線量を目安に治療計画を行う。

**腫瘍致死線量<sup>3)</sup>**

腫瘍の放射線感受性の目安として腫瘍致死線量が用いられる。TCD<sub>95</sub>として示され、腫瘍を95%以上の確率で治癒させる線量を意味する(表2右)。腫瘍の種類や大きさによって感受性が異なる。

**治療可能比<sup>3)</sup>**

腫瘍の治療線量と正常組織の耐容線量の比を治療可能比といい、これが“1”より大きければ大きいほど障害を残さず腫瘍を治癒せしめる可能性が大きくなる。

**定位放射線照射**

脳外科領域では、非観血的に頭蓋内の病巣の位置を決定し細い電極をその病巣まで差し込んでその病

表2. 局所耐容線量と腫瘍致死線量

臓器全体が照射された場合の正常組織の耐容線量 (cGy)

臓器	回照射の場合	通常分割照射の場合
	TD5/5-TD50/5	TD5/5-TD50/5
卵巣	200- 600	600-1,000
精巣	200-1,000	500-2,000
水晶体	200-1,000	600-1,200
肺	700-1,000	2,000-3,000
胃・小腸	500-1,000	5,000-6,000
腎	1,000-2,000	2,000-3,000
骨髄	1,500-2,000	4,000-5,000
肝	1,500-2,000	3,500-4,000
皮膚	1,500-2,000	3,000-4,000
心臓	1,800-2,000	4,000-5,000
脊髄	1,500-2,000	5,000-6,000
脳	1,500-2,500	6,000-7,000
骨・軟骨	>3,000	>7,000
筋肉	>3,000	>7,000

(Rubin, P. (1989)による)

いろいろな腫瘍の致死線量 (TCD<sub>95</sub>)

腫瘍致死線量	腫瘍の種類
20~40Gy	精上皮腫, 急性リンパ性白血病, ウィルムス腫瘍, 神経芽細胞腫
40~50Gy	ホジキン病, 非ホジキンリンパ腫, 皮膚癌 (基底細胞癌)
50~60Gy	扁平上皮癌のリンパ節転移, (N <sub>0</sub> , N <sub>1</sub> ), 髄芽腫, 網膜芽腫, ユーイング肉腫, 乳癌 (切除後)
60~65Gy	喉頭癌 (<1cm), 乳癌 (T <sub>1</sub> )
70~75Gy	頭頸部癌 (<2cm, 2~4cm), リンパ節転移 (1~3cm), 乳癌 (T <sub>2</sub> ), 子宮頸癌, 膀胱癌, 肺癌 (<3cm)
80Gy 以上	頭頸部癌 (>4cm), 乳癌 (>5cm), 骨肉腫, メラノーマ, 軟部組織腫瘍 (>5cm), 甲状腺癌

(Rubin, P. (1983)による)

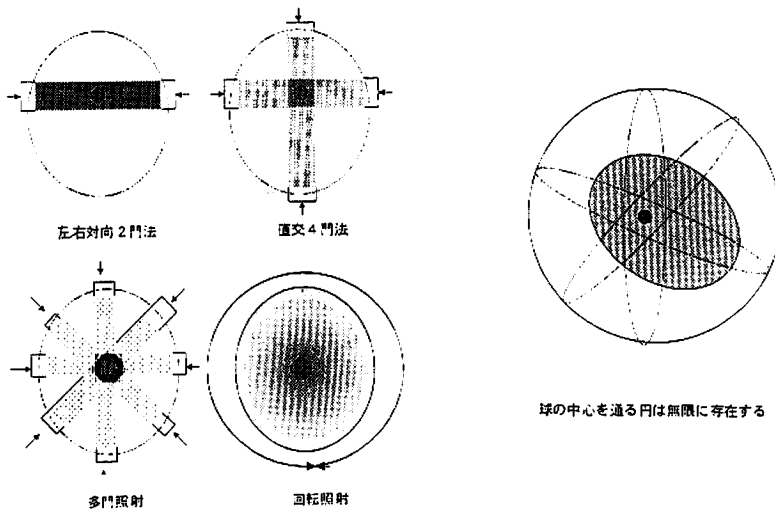


図4. 定位放射線照射の原理

巣を破壊する手術を定位手術と呼んで1900年代初期から研究されていた。対象は、主として脳の機能的疾患であった。この定位手術の病巣の位置を決定する方法をもとに病巣の位置を決定し、その病巣に多方向からX線を照射することにより病巣を治療する方法が、1951年にスウェーデンの脳外科医 Lars Leksell によって発表された。初期には200KVp程度のX線や一時は陽子線も使われたようであるが、1968年にコバルト線源を使ったガンマユニットが作

られ、改良が加えられながらガンマナイフとして知られるようになった<sup>4)</sup>。

病巣の位置決定には初期には気脳写、血管造影などが使われていたが、CTが普及した現在ではその主力にCTが用いられている。

定位放射線照射の考え方

ここで脳の深部にある一つのあまり大きくない脳腫瘍に放射線治療を行うことを考えてみる (図4)。

単純に照射をするためには左右対向二門法で行う方法がある。腫瘍にはほぼ均等な線量が照射されるが、周辺の正常脳組織にもほぼ等しい線量が照射されてしまう。そこで前後二門法を追加して4方向から照射してみる。腫瘍に左右二門法のとおり同じ量の放射線を照射するとすれば腫瘍に到達するまでの正常組織の線量は半分ですむ。この考え方でさらに照射する方向を多くしていくと最終的には線源を360度回転させればよいことになる。今は腫瘍を中心とした一つの円の円周上を360度、線源を回転させることを考えたわけであるが、腫瘍を中心とした円周は理論上無限にあり、異なった円周上を線源を回転させることによりさらに正常組織の線量を減らすことが可能になる。即ち、球の中心に放射線治療をしようとする腫瘍をおき、球の表面を球の中心を通る円周上に線源を動かすということである。これがリニアックの定位放射線照射の考え方である。人体に照射をするときには制約があり(360度回転させられない、放射線の量を“0”にしたい臓器もあるなど)、実際には球の中心を通る円の円周をいくつか選択し、またその円周上的一部分(弧)を使うことになる。この方法では腫瘍径が大きいと腫瘍周辺の正常組織の線量を十分におとすことができなくなるのでこの治療で対応できる腫瘍は原則的には3cm以下の腫瘍とされる。リニアックを使った装置では、上述した線源の動きのほかに線量の集中性を歳差運動で得ようとするもの、腫瘍の位置を見定めて、アームの移動により多方向から照射を行うものなどがある。ガンマナイフの場合には線源を動かすのではなく球の表面に固定された201個のコバルト線源から球の中心に置いた病巣に放射線を集中させ、治療しようとするものである。こうして、腫瘍にはTCD<sub>9.5</sub>以上の線量を照射しながら、周辺正常組織にTD<sub>5.5</sub>以下でできるだけ少ない線量で照射できるよう計画し治療する。

**定位放射線照射の定義**

定位放射線照射として述べてきたが、この方法はまだ世界的に合意を得た呼称がない状況である。本邦では1996年12月厚生省がん研究助成金阿部班、“各種放射線治療の適応と精度管理に関する研究”でこの治療法の呼称について次のように提唱することが決められた<sup>9)</sup>。

Narrow beamで線量を集中的に照射する技術のうち下記の条件を満たす放射線治療を定位放射線照射 (Stereotactic Irradiation ; STI) とする。

この内、1回照射の場合を定位手術的照射 (Stereotactic Radiosurgery ; SRS) 分割照射の場合を定位放射線治療 (Stereotactic Radiotherapy ; SRT)

と区別して呼称する。

**条件**

- 1) 患者あるいはそれに連結された座標系において照射中心を固定精度内に納めるシステムであること
- 2) 定位型手術枠を用いた方法、または着脱式固定器具を用いた方法であること
- 3) 照射装置の照射中心精度が1mm以内であること
- 4) 治療中を通じて上記固定精度を保つこと

**定位放射線照射に使用される治療装置**

**リニアック定位照射装置<sup>6)</sup> (図5)**

一般的に使用されているリニアック治療装置(汎用リニアック)に定位照射用のコリメータや治療台の精密な動きを決める装置をつけることが必要である。また頭部の固定装置や定位放射線照射用の治療計画装置も必要である。頭部だけでなく、体幹部の治療にも用いることができる。リニアックの放射線源を治療台の周辺を回転させながら照射する。治療台の角度を変えることによって病巣に対する回転面

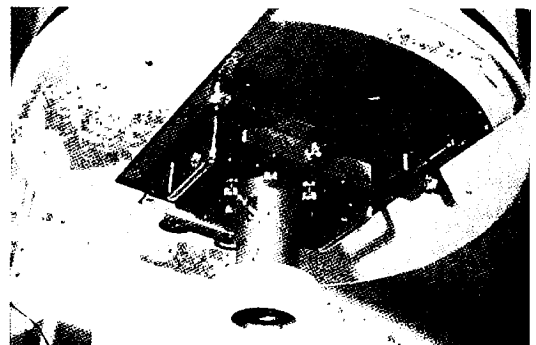


図5. リニアック定位照射装置円筒型付加コリメータをガントリーヘッドに取り付けた状態<sup>6)</sup>

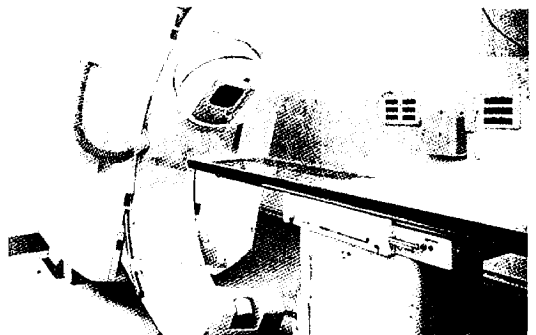


図6. Cアーム型リニアック<sup>7)</sup>

を変えることができる。

### Cアーム型ライナック<sup>7)</sup> (図6)

汎用リニアックのガントリー(放射線外部治療用線源保持装置)はガントリーの支持台に平行な面で回転するだけである(従って、一つの中心を持ついくつかの円弧を得るためには治療台の角度を変えなければならない)が、Cアーム型ライナックのガントリーはガントリーの支持台に平行な面と、支持台に垂直な面とに回転するので、一つの中心を持ついくつかの円弧を得るために治療台を動かす必要がない。歳差運動も可能である。治療台の動きの誤差を小さくすることは技術的に難しいとされるのでこれを考えなくて済むことはメリットになる。

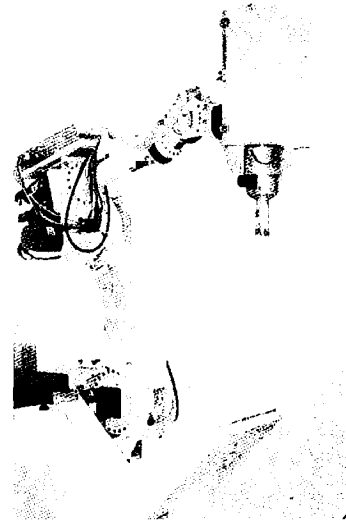


図7. サイバーナイフ

### サイバーナイフ (図7)

X線エネルギー6MVのリニアックをロボットアームにとりつけることで上述のリニアックに比べ格段に線源の動きの自由度を高くした装置である。自由度が高いのと同時に高い精度も実現している。サイバーナイフでは線源が患者のまわりを回転しながら、約100の停止点で照射を行う。放射線を出す直前に線源と病巣の位置を、2台のX線透視装置から得られる画像とそれに基づく計算値から割り出して照射をするので一つの円周上の1点から照射する必要はない。患者の体や腫瘍の位置のずれがあれば、ロボットがそれを追跡して正しい場所に照射する。この方法は巡航ミサイルのナビゲーションにも用いられている方法である。患者の動きが1 cm以内であればロボットアームの追跡が可能であり、他のリニアックやガンマナイフのように観血的な固定フレームを必要としない。また、ガンマナイフや他のリニアックサーチャリが線量の均等性からみるとほぼ球形の照射範囲しかとれないのに反し、サイバーナイフでは線量の均等性を保ちながら不整形の照射範囲をとることができ、治療対象となる症例の範囲が拡大する。頭部だけでなく体幹部の治療報告も出てきている。体幹部で問題になる呼吸や拍動による病巣部の動きに対しても他の装置に比べ比較的容易に対応できる。

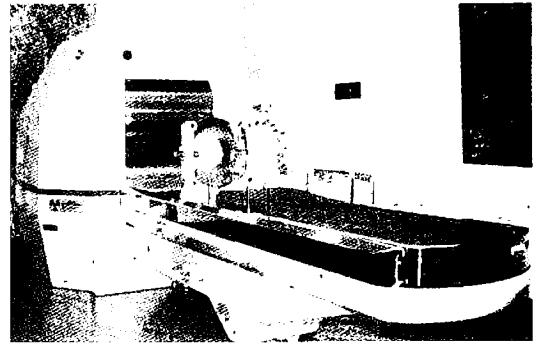


図8. ガンマナイフ<sup>8)</sup>

線源の出力は安定しており、精度管理もリニアックに比べ簡単である。

### 定位放射線照射の適応

定位放射線照射は現在わが国では脳および頭頸部領域の病巣のみ保険適応が認められている。体幹部などの病巣については、高度先進医療の適応を受けた大学病院などで治療が行われており、この部分についての保険適応も近い将来に認められると思われる。

保険適応として認められた疾患は頭頸部領域の血管性病変(主として脳内動静脈奇形)、腫瘍性病変として転移性脳腫瘍、原発性脳腫瘍としてはグリオーマなどの悪性腫瘍のほか聴神経腫、下垂体腺腫、髄膜腫などの良性腫瘍が上げられている。上述のごとく、腫瘍径3 cm以下のものが適応として考えられており、広い浸潤範囲を持つ腫瘍や、腫瘍径が大きい腫瘍では、通常の放射線治療や化学療法、手術など

### ガンマナイフ<sup>8)</sup> (図8)

ガンマナイフは球の表面に201個のコバルト線源を置くことによって球の中心に線量を集中させ、治療しようとするものである。

ガンマナイフはその装置の形から頭頸部以外の治療には使えない。またコバルト線源は半減期が約5年なので、線源の減衰状況により治療時間が異なり、一定の期間で線源の交換が必要である。しかし照射室は小さくて済み、遮蔽も比較的簡単であること、

て腫瘍径を縮小させてから定位放射線照射を行うことになる。

**SRS と SRT**

SRS で治療をするのか、SRT とするのかは大きな問題である。腫瘍の性質、周辺臓器の放射線感受性、治療部位(脳)の固定と再現性が関与してくる。

現在リアックで治療が行われている疾患は悪性腫瘍が主体であり、一般に悪性腫瘍は正常組織に比べて増殖速度が速く正常組織に比べて放射線感受性

が大きいとされている。STI は悪性腫瘍の他に血管性病変や聴神経腫、下垂体腺腫などの良性腫瘍も治療対象とされ件数が多い。これらの疾患は放射線感受性の点からは正常組織に近く、治療は悪性腫瘍に対する時と考え方を変えなければならない。

悪性腫瘍では分割照射を行うことで正常組織の障害を抑えるメリットが出てくるが、血管性病変や良性腫瘍ではこの差が得られない。しかし分割することによって正常組織の障害を減らすことができるので、近傍に重要な神経組織が存在する場合は分割照

表3. ガンマナイフ治療件数の推移

ガンマナイフによる脳腫瘍の治療  
(全世界5,800例, 1968~92)

聴神経腫瘍	1,475例(25.4%)
髄膜腫	1,058 (18.2 )
下垂体腫瘍	628 (10.8 )
頭蓋咽頭腫	123 ( 2.1 )
松果体腫瘍	96 ( 1.7 )
血管芽腫	56 ( 1.0 )
三叉神経腫	49 ( 0.8 )
脊索腫	40 ( 0.7 )
その他神経鞘腫	27 ( 0.5 )
その他良性腫瘍	66 ( 1.1 )
転移性脳腫瘍	1,205 (20.8 )
神経膠腫	780 (13.4 )
眼の黒色腫	34 ( 0.6 )
血管外皮細胞腫	32 ( 0.6 )
グロムス腫瘍	28 ( 0.5 )
鼻咽腔腫瘍	24 ( 0.4 )
軟骨肉腫	13 ( 0.2 )
その他悪性腫瘍	66 ( 1.1 )

出典

寺原淳朗:癌と化学療法20 : 2133, 1993.

TABLE 50-1 ■ NUMBER OF CASES TREATED WITH THE GAMMA KNIFE WORLDWIDE FROM 1968 TO 1997

Diagnosis	No.	Percentage
<b>Vascular</b>		
Arteriovenous malformation	17,442	22.0
Aneurysm	94	0.1
Other vascular	652	0.8
<b>Tumor</b>		
<b>Benign</b>		
Acoustic neuroma	8307	10.5
Meningioma	9969	12.6
Pituitary	7806	9.8
Pineal	1152	1.5
Craniopharyngioma	1058	1.3
Hemangioblastoma	451	0.6
Chordoma	465	0.6
Trigeminal neuroma	469	0.6
Other benign tumors	608	0.8
<b>Malignant</b>		
Metastasis	17,221	21.6
Glioma	7958	10.1
Chondrosarcoma	91	0.1
Glomus tumor	233	0.3
Ocular melanoma	355	0.4
NPH carcinoma	420	0.5
Hemangiopericytoma	288	0.4
Other malignant tumors	625	0.8
<b>Functional</b>		
Intractable pain	204	0.3
Trigeminal neuralgia	1521	1.9
Parkinson's disease	607	0.8
Psychoneurosis	68	<0.1
Epilepsy	539	0.7
Other	134	0.2
Total	79,150	100

From Elekta Radiosurgery, Inc, Atlanta, 1998.

射を考えるべきであろう。

一方、固定と再現性の問題であるが、再現性を得るために観血的に照射用固定具を付ける必要がある場合は、治療期間中その固定具をつけたまま生活しなくてはならないので、分割照射は患者にとっては大きな負担となる。このために分割照射が難しくなっているとも言える。サイバーナイフでは追跡装置とロボットアームの装備により、観血的な固定が

不要なので分割照射を行いやすい条件が整っているといえる。

治療件数

ガンマナイフによる定位放射線照射の件数を表3に示した。1993年の報告<sup>9)</sup>に比べ1998年の報告<sup>10)</sup>では腫瘍治療症例数が10倍程度に増加している。また、1997年8月までのわが国のリニアックによる定位放

表4. リニアック定位放射線照射の件数  
平成9年8月までの我が国におけるリニアックを用いた  
定位放射線照射実績

(カッコ内は平成8年8月調査結果)

悪性脳腫瘍	脳転移	1399	47.0%	(860)
	悪性グリオーマ	275	9.2%	(166)
	その他	135	4.5%	(88)
良性脳腫瘍	聴神経腫瘍	233	7.8%	(171)
	髄膜腫	145	4.9%	(98)
	下垂体腺腫	60	2.0%	(32)
	頭蓋咽頭腫	28	0.9%	(17)
	その他	72	2.4%	(53)
脳血管性病変	脳動静脈奇型	350	11.8%	(247)
	その他	40	1.3%	(30)
機能性脳病変	てんかん他	0	0	(0)
脳外病変	上咽頭癌	23	0.8%	(前回未調査)
	肺癌	80	2.7%	(前回未調査)
	肝癌	34	1.1%	(前回未調査)
	その他	108	3.6%	(91)
治療患者総数		2982		(1853)

表5. 岡山旭東病院におけるサイバーナイフ治療の成績

378例の内訳 (15カ月)

治療成績 経過観察期間3~15カ月

頭蓋内病変	332例	症例数
脳動静脈奇形		27
転移性脳腫瘍		163
神経膠腫		36
髄膜腫		36
神経鞘腫		29
頭蓋咽頭腫		7
悪性リンパ腫		10
下垂体腺腫		11
三叉神経痛		2
その他		11
頭蓋外、頸部病変	46例	

診断(症例数)	奏効率(%)	制御率(%)
転移性脳腫瘍(90)	71	95
悪性神経膠腫(15)	13	13
神経膠腫(18)	88	22
髄膜腫(31)	96	13
神経鞘腫(27)	100	30
頭蓋咽頭腫(7)	71	57
下垂体腺腫(9)	100	11
頭頸部扁平上皮癌(10)	80	20



射線照射の実績を表4に示す<sup>11)</sup>。定位放射線照射が可能な治療機器の普及により、今後さらに治療症例数が増加するものと思われる。

#### 治療成績

表5にわが国で最もサイバーナイフ治療症例数の多い岡山旭東病院から発表されているサイバーナイフ治療のデータを示す<sup>12)</sup>。また治療症例数の多い転移性脳腫瘍の治療では、全脳照射を含む従来の外照射成績に比べ局所コントロールの向上が見られている<sup>13)</sup>。

サイバーナイフを含むリニアックによる定位放射線治療はまだ黎明期である。現在までに報告されている成績は良好なものが多く<sup>14,15)</sup>、理論的にも生体に対する侵襲性の点からも優れた治療方法であり、今後治療症例は増加が見込まれる。それぞれの疾患の治療症例数が増えるにつれ、至適治療適応例、線量、分割方法などがあきらかになるものと思われる。

#### 参考文献

- 1) 高橋正治：放射線治療の歴史。癌・放射線療法 2002, 大川智彦ら編, p.p.3-14, 篠原出版社, 東京, 2002.
- 2) 酒井邦夫：放射線治療の方法。TEXT 放射線医学 第2版, 蜂屋順一ら編, p.p.624-626, 南山堂, 東京, 2000.
- 3) 酒井邦夫：放射線治療の生物学的基礎。TEXT 放射線医学 第2版, 蜂屋順一ら編, p.p.627-631, 南山堂, 東京, 2000.
- 4) Leksell L: Occasional review Stereotactic radiosurgery; Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry. 46: 797-803, 1983.
- 5) 厚生省がん研究助成金 研究課題8-27: 各種放射

線治療法の適応と精度管理に関する研究。平成8年12月15日班会議事録

- 6) 國枝悦夫：ライナック定位照射装置。定位照射—その技術と臨床—, 久保敦司ら編, p.p.88-94, 医療科学社, 東京, 2001.
- 7) 玉木紀彦, 江原一雅：Cアーム型ライナック。定位照射—その技術と臨床—, 久保敦司ら編, p.p.95-99, 医療科学社, 東京, 2001.
- 8) 山本昌昭：ガンマナイフ。定位照射—その技術と臨床—, 久保敦司ら編, p.p.103-108, 医療科学社, 東京, 2001.
- 9) 佐藤修, 大井静雄：ガンマナイフによる脳腫瘍の治療。脳神経データブック, p.162, 中外医学社, 東京, 1996.
- 10) Ladislau S. et al: Gamma surgery in cerebral vascular lesions, malformations, tumors, and functional disease. Operative neurosurgical technique. IVth. Edition. Chapter 50. 671. W. B. Saunders Company. Pennsylvania, 2000.
- 11) 永田靖：定位照射施行の実態。定位照射—その技術と臨床—, 久保敦司ら編, p.p.69-74, 医療科学社, 東京, 2001.
- 12) 佐藤健吾, 馬場義美, 井上光広, 大森理江：特集 患者に選ばれた放射線治療 サイバーナイフの現況。新医療, 28(12): 76-78, 2001.
- 13) 林靖之, 越智誠, 林邦昭：特集：放射線治療最前線—放射線治療のEBM— 転移性脳腫瘍。日本医学放射線学会雑誌, 62(4): 120-125, 2002.
- 14) 高倉公朋, 斎藤勇, 河瀬斌, 寺本明。脳神経外科 Advanced Practice. 定位的放射線治療。メジカルビュー社, 東京, 2000.
- 15) 定位照射—その技術と臨床—, 久保敦司ら編, p.p. 69-74, 医療科学社, 東京, 2001.