

特集 高精度放射線治療における画像の役割

総 説

放射線治療計画における画像の役割①
定位放射線治療

山野 貴史、高橋 健夫、新保 宗史、本戸 幹人、
西村 敬一郎、岡田 武倫、長田 久人、本田 憲業

埼玉医科大学総合医療センター 放射線科

The role of diagnostic image in radiotherapy treatment planning①
Stereotactic radiotherapy

Takafumi Yamano, Takeo Takahashi, Munefumi Shinbo, Mikito Hondo,
Keiichiro Nishimura, Takemichi Okada, Hisato Osada, Norinari Honda

Department of Radiology, Saitama Medical Center, Saitama Medical University

要約

定位放射線治療（SRT）は脳転移などの頭蓋内の小病変（かつ少数）に対して、局所制御に優れた有効な治療法である。ガンマナイフなどの1回照射で治療を行う定位放射線手術（SRS）に比べ、直線加速器を用いたSRTは分割照射が可能であり有害事象の軽減が可能である。さらに腫瘍性病変に対しては分割照射が放射線生物学的に有利である。SRTは局所に限局した高精度治療であるため、腫瘍形状（GTV；Gross Tumor Volume）の正確な同定は極めて重要である。腫瘍の容積を過小評価すれば辺縁再発に直接結びつく。われわれはMRI用造影剤の倍量投与を行いGTVの確認を行っているが、腫瘍の形状や周辺組織との境界が明瞭となり治療計画において倍量投与は有用であると考えられる。

Abstract

Stereotactic radiotherapy (SRT) is effective for intracranial small tumor lesions including brain metastases. In comparison with stereotactic radiosurgery (SRS), as for hypofractionated SRT, the reduction of the adverse effects is enabled. The identification of GTV (Gross Tumor Volume) is extremely important in highly precise radiotherapy. We perform double-dose administration of contrast medium followed by identifying the GTV in MR images. By double-dose administration, the shape of the tumor and the border with normal tissue became clear. Therefore, we think double-dose administration of gadoteridol is very useful for treatment planning of highly precise SRT.

Key words

定位放射線治療、MRI造影剤、ガドテリドール、倍量投与、MRI、stereotactic radiotherapy、double-dose administration、gadoteridol、MRI

別刷請求先：〒350-8550 川越市鴨田辻道町1981

埼玉医科大学総合医療センター放射線科 山野 貴史

TEL：049-228-3511 FAX：049-226-5284

はじめに

転移性脳腫瘍は無治療の場合予後が1ヶ月程度とされ、予後不良な病態である。放射線療法の標準治療は古くから全脳照射が確立されていたが、数々の報告でも全脳照射治療症例の平均生存期間は約2～7ヶ月程度¹⁾と、生存期間の延長は得られるものの、それでも予後不良な病態と言わざるを得ない。

Leksellによって提唱された定位放射線照射は極小照射野で線量を多方向から集中的に病巣局所に照射する治療法である。低侵襲ながら手術に匹敵する高い局所制御を得ることが可能とされており、直線加速器(ライナック)による治療も可能である。一般的に直径3cm以内で単発または少数(2～4個)の病巣に適応される。

RTOG (Radiation Therapy Oncology Group) は予後の改善が期待できる脳転移症例 (PS良好、60歳未満、かつ原発巣が制御され、脳転移以外に転移病巣を認めない症例) において、これまでの全脳照射単独と比較して全脳照射+定位放射線照射が局所制御率・PS (Performance Status)・QOL (Quality of Life) の向上、ならびに予後の延長について良好であったと報告している^{1) 2) 3)}。予後の改善が期待できる単発または少数の転移性脳腫瘍症例について、全脳照射単独に定位照射を加えることにより、全脳照射単独よりも良好な治療成績を得ることが可能となった。現在では定位放射線照射は転移性脳腫瘍に対する標準治療のひとつに位置づけられている。

今回は当施設で行っている定位放射線治療 (SRT: Stereotactic Radiotherapy) についての概説ならびに治療計画に用いるMRI造影剤倍量投与の有用性について述べる。

当施設における脳定位放射線治療の概略

当施設では直線加速器(リニアック)によるSRTを2003年度から行っている。直線加速器によるSRTは1998年4月1日に保険収載された。頭頸部へのSRTについては、照射中心の固定精度が2mm以内と定義され、頭頸部腫瘍(頭蓋内腫瘍を含む)、および脳動脈奇形に算定されている。われわれは治療計画装置にはBrain Scan (Brain Lab社製)を用い、照射時にはm3マイクロマルチリーフコリメータを用いて小照射野を規定している。

脳定位放射線治療のながれ

はじめにGaplessの1mmスライス厚造影MRIデータ収集を行う。この際に転移病変の個数を確認する必要がある。当施設では通常の診断用造影MRIは5mmスライス厚、1.5mm間隔で撮像を行っているが、この条件では微小な脳転移病変の場合、診断できないことがあるため注意が必要である。診断用造影MRIで単発または少数脳転移と判定されていてもSRT用MRIデータ収集にて多発脳転移が判明した症例は、この時点でSRTの適応から外れることになる。

つぎに非侵襲着脱式固定具の作成ならびに治療計画を行う。治療計画用のCT画像はMRI画像と違い、歪みのない情報が得られることから、CT画像を治療の座標系に用いる。治療計画CT撮像の際にローカライザーフレームを装着し、フレーム上のマーカーの位置を検出することにより定位座標空間の測定が可能となる。

定位用造影MRIデータと治療計画CTのデータをそれぞれ別個に治療計画装置 (Brain Scan) に転送し、定位座標空間として用いる治療計画CTデータをローカライズしたのち、各々のデータ (CT・MRI) をソフトウェア (Brain Scan) 上で融合させる。

CT、MRIの融合画像が矛盾しないことを軸位像、矢状断像、冠状断像でそれぞれ確認したうえで、造影MRI軸位像を用いて腫瘍の輪郭描画を行い、プラン作成を行う。GTV (Gross Tumor Volume) に2～3mmマージンをつけたものをPTV (planning target volume) とし、更にリーフマージンを2～3mmとって行っている。最終的にDVH (Dose Volume Histogram) を確認し、D95が投与線量の95%以上になるように設定している。

治療計画作成を行った後、SRTを行う前に位置精度確認を行う。ライナックによるSRTは固定具が着脱式であることから分割照射が可能である。少数分割照射は1回照射 (定位放射線手術; SRS) と比べて急性期障害 (一過性脳浮腫) ならびに晩期障害のリスクを軽減できるという利点があり、当施設では転移性脳腫瘍に対して3分割で定位照射を行っているが、治療時に再現性の精度確認を行う必要がある。位置精度確認は治療計画CTと同じ条件で固定具ならびにフレームを再装着して撮像したのち、CT画像上で適当な頭蓋内の基準点を選択し、基準点とフレーム上のマーカーの座標から

相対的な座標を算出したうえで、治療計画CTの時とずれがないかを確認する。位置精度は概ね1mm程度におさまっている。位置精度確認で2mm以上の大きなずれがないことを確認したうえで治療開始となる。

造影MRI倍量投与の有用性について

ガドテリドール (プロハンス®) は非イオン性マクロ管構造を持つMRI造影剤であり、倍量投与が保険適応となっている唯一の造影剤である。転移性脳腫瘍が疑われる患者に対して0.2ml/kgを静脈注射し、検出されないかまたは造影効果が不十分の場合、

初回投与後30分以内に0.2ml/kgを追加投与することができる。

ガドテリドールを単量投与・倍量投与したSRT用造影MRI画像を次に示す。図1は単量投与・図2は倍量投与でそれぞれ同じスライス面を示している。症例は40歳代女性・乳癌脳転移の患者である。肉眼的に明らかに倍量投与のほうが濃染領域の範囲が拡がり、かつ正常組織との境界が明瞭になっているのが確認できる。図3は単量投与時の線量分布図で図4は倍量投与時の線量分布図を示している。濃染された領域に合わせて線量分布の範囲も異なっているのがわかる。

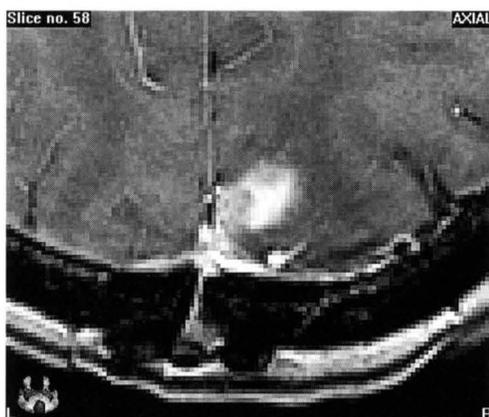


図1. 40歳代女性 乳癌術後脳転移 (右後頭葉) ガドテリドール単量投与のMRI T1強調画像である。



図2. ガドテリドール倍量投与を行ったMRI T1強調画像

図1.と同じスライス面を示している。単量投与よりも濃染範囲が拡大し周囲 (正常組織) との境界は明瞭になっている。

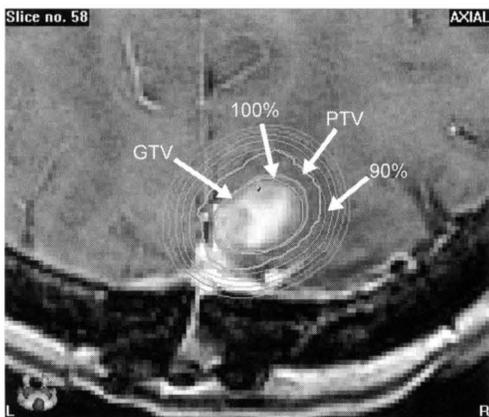


図3. ガドテリドール単量投与で治療計画作成を行った際の線量分布図 (定位放射線治療) 腫瘍、PTVならびに投与線量の100%、90%ラインを表示している。

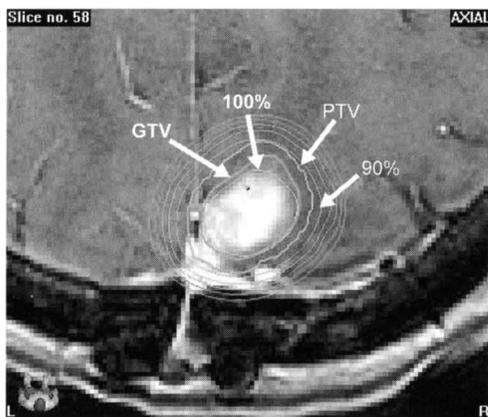


図4. ガドテリドール倍量投与で治療計画作成を行った際の線量分布図

図3.と比べて線量分布範囲が腫瘍の造影範囲に対して適切に設定されている。

局所に高線量の放射線治療を投与する定位放射線治療において、GTVを的確に同定することは極めて重要である。脳定位放射線治療計画に際し、定位照射用造影MRIデータで腫瘍の輪郭を正確に特定するには、病変が明瞭に描出されていること、すなわち造影剤で腫瘍が明瞭に描出されることが必要となるが、ガドテリドール倍量投与は腫瘍の描出に有意義であることが強く示唆される。

多方向から集中させる定位放射線治療の場合、線量分布は概ね球形を描くことになる。不整形の腫瘍の場合、例えば一部が突出するような形状の病変については、的確に病変を同定しないと辺縁で線量が急速に減ってしまう可能性があり、その点でも造影剤倍量投与による的確な病巣の同定は有意義であると考えられる。

一方で周囲に顕著な脳浮腫を伴う病変の場合、造影剤倍量投与により造影剤が腫瘍外へ多く漏出し、その結果必要以上にGTVが大きくなってしまっているのではないか、という意見もある。確かにSRSのように1回で照射する場合は、照射野の拡大は有害事象の危険性を増大させることにもなりかねない。SRSと比べて少分割で行う定位照射 (hypofractionated SRT) は有害事象の可能性が低いこと、造影剤単量投与よりも倍量投与のほうが病変の範囲についてよりの確に描出できる可能性が高いことなどから、当施設では脳転移病変に対するSRT治療計画の際、全例ガドテリドール倍量投与を行っている。ただし顕著な浮腫をともなう転移病変の場合は、腫瘍と正常組織の境界の同定が困難であることから、今後の検討課題であると考えられる。

参考文献

1. Gasper LE, Scott C, Murray K, et al: Recursive partitioning analysis (RPA) of prognostic factors in the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) brain metastases trials. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1997; 37 (4): 745-51.
2. Sanghavi SN, Miranpuri SS, Chappel R, et al: Radiosurgery for patients with brain metastases: a multi-institutional analysis, stratified by the RTOG recursive partitioning analysis method. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2001; 51 (2): 426-34.
3. Andrews DW, Scott CB, Sperduto PW, et al: Whole Brain radiation therapy with or without stereotactic radiosurgery boost for patients with one to three brain metastases; Phase III results of the RTOG9508 randomized trial. *Lancet.* 2004; 363: 1665-72.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX : 03-3475-5619 E-mail : info@jaacc.jp

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619