

3. リニアックを用いた 脳定位放射線治療の発展

福田友紀子 / 高橋 侑大 自治医科大学附属さいたま医療センター放射線科 / 放射線医学物理室

脳定位放射線治療の歴史

脳定位放射線治療に使用されるモダリティには、ガンマナイフ (gamma knife: GK) やサイバーナイフ、汎用型医療用直線加速器 (リニアック) などがある。1968年にLeksellらがGKによる定位手術的照射 (stereotactic radiosurgery: SRS) を開発して以来、脳定位放射線治療モダリティの主流はGKであった¹⁾。本邦では1990年に初のGK装置が導入され、1996年に保険適用となって以降、GKによるSRSは全国に普及した。GKを用いた脳定位放射線治療においては、当初、固定精度を高めるために固定用フレームを頭蓋に直接固定するという侵襲的な手法を取ることが多く、単回照射であるSRSが基本であった。しかし、1994年にBradaらによって非侵襲的で再配置可能なヘッドフレームが開発され、照射を複数回に分割する脳のstereotactic radiotherapy (SRT) が可能になると、リニアックベースの脳定位放射線治療が急速に世界中に普及することとなった^{2), 3)}。リニアックベースの定位放射線治療としては、1994年にAdlerらによってサイバーナイフが開発され、1997年に臨床応用が開始された⁴⁾。また、本邦では、1996年に加藤らが転移性脳腫瘍に対するリニアック定位放射線治療について、GKと遜色のない治療成績を報告しており⁵⁾、1998年からは保険適用となっている。小出らの報告によると、2022年までの脳定位放

射線治療〔GKあるいはリニアック (サイバーナイフを含む)〕症例数は約40万例に上るが、GKは診療報酬が20%減額された2006年以降減少傾向であり、2017年を境にリニアック定位放射線治療がGKを上回っている⁶⁾。現在、本邦におけるGK装置の総数は約50台およびサイバーナイフが約30台であるのに対し、汎用型リニアックは960台であるため、治療へのアクセスの良さや汎用性の高さから、今後もリニアックによる脳定位放射線治療の割合は増加していくと推測されている。

GK とリニアックの比較

GKでは一般的に、計画標的体積 (PTV) 辺縁の処方線量を50%線量として標的をカバーする50% isodoseline 処方が適用され、サイバーナイフでは70~80% isodoseline 処方とされることが多い。リニアック脳定位放射線治療は比較的新しい治療技術であり、最適な線量分布 (治療計画方法)、線量処方、線量分割などはコンセンサスがなく、いまだ施設間差異が大きい。

ここ数十年の間、脳定位放射線治療ではGKがリニアックと比較して線量集中性に優れ、また、急峻な線量勾配による標的近傍正常組織の線量低下の点で優れていると報告されてきた⁷⁾。一方で、Hussらの行ったGKとリニアックの治療計画比較研究によると、15cm³以下の標的体積においてはGKで線量集中性が高く、正常脳への線量が低く、より

良好な線量分布が得られ、大きな腫瘍や不整形な腫瘍のSRTではリニアックの方が標的への線量集中性が高く、正常脳への線量が低くなるため温存が期待できると報告された⁸⁾。こうした背景から、臨床ではより大きな腫瘍や不整形な腫瘍ではリニアックSRTが選択される傾向がある。

また、3~4個の10cm³未満の多発脳転移に対するGKとリニアックによるSRS (標的体積に応じて15~24Gyを投与) を比較したLiuらの報告では、リニアックで線量集中性が高く、線量勾配が急峻で、各標的の12Gyが照射される体積 (V12Gy) は同等であり、GKは3Gy未満の低線量の広がりを減少させるのみであった⁹⁾。現在まで、脳定位放射線治療において、局所制御率、無増悪生存期間、生存率、毒性の点で、モダリティにより有意差を示したという報告はなく、線量分布の優位性がどこまで生物学的効果に寄与するかについて明確なコンセンサスはない。

参考として、当院における多発脳転移に対するリニアック脳定位放射線治療の線量分布を示す (図1)。中心線量を上げることにより標的辺縁の線量勾配が急峻となり、標的外の中および低線量領域の体積が抑えられる (図2)。そのため、標的へ高線量を投与しながら、リスク臓器である正常脳への線量を低減することが可能である。特に多発脳転移に対する照射では、非同一平面における多方向からの照射 (ノンコプラナー照射) を用いることで、線量集中性を向上させ