

## 2. MRI誘導放射線治療と adaptive radiation therapy

柏原 大朗 / 井垣 浩 国立がん研究センター中央病院放射線治療科

高精度放射線治療の実現において画像誘導放射線治療 (image guided radiation therapy : IGRT) は重要な要素であり、さまざまな機器・技術が開発されている。その中でも、治療中の腫瘍やリスク臓器 (以下, OAR) の位置をリアルタイムに観察できることは、究極のIGRTであると言えるだろう。それを可能にしたのが、MRI誘導放射線治療である。2019年9月時点で臨床利用可能な治療装置は、米国ViewRay社が開発した「MRIdian (メリディアン)」 (伊藤忠商事社販売) とエレクタ社の「Elekta Unity」の2機種である。この2機種には磁場強度、自動トラッキング機能の有無などの違いがあるが、MRIdianではMRIで治療中の腫瘍や臓器の位置を確認しながら、あらかじめ設定された治療範囲に腫瘍が含まれた場合のみ自動で照射が行われ、その治療範囲から外れた場合には照射を止めることが可能である。MRIdianが導入されている施設は、現在世界でも30施設程度であり、国内では当院 (国立がん研究センター中央病院) と江戸川病院の2施設のみである。本稿では、当院に導入されているMRIdianの特徴や実際の治療の流れについて述べたいと思う。

### MRIdianの特徴

前述したとおり、MRIdianはMRIガイド下に腫瘍やOARの動きを確認しながら放射線治療を行うことができる治療装置である (図1)。従来の放射線治療の精度を左右する因子の1つとして、

interfractional motionとintrafractional motionが挙げられる。前者はIGRTの進歩に伴って精度が高まっていると思われるが、後者に関しては、サイバーナイフでの金マーカーの留置による間接的な追尾照射などはあるものの、依然解決していない問題である。MRIdianでは、治療前だけでなく、治療中もMR画像を撮像することができ、intrafractional motionを直接観察することができる。

MRIdianでは、リング式回転ガントリに120°間隔で3つの<sup>60</sup>Co線源が配置されており、最大線量率6Gy/minで、三次元原体放射線治療 (以下, 3D-CRT) またはstep and shoot方式の強度変調放射線治療 (以下, IMRT) での治療が可能である。新たに開発されたリニアックベースの装置も、海外ではすでに25施設以上導入されている。わが国でもすでに薬機法承認はされているが、稼働開始している装置はまだない。

### MRIの磁場の影響

MRIガイド下の治療においては、磁場の影響が不可避である。具体的には、electron return effectと呼ばれるローレンツ力による電子の軌道変化や、化学シフトによる画像の位置ズレの影響を受ける。MRIdianでは、そういった影響や画像の歪み、比吸収率 (MRIdianの場合は撮像時間が長いため重要) を小さくするために、診断用のMRIと比較して磁場が低い0.35Tでの描出となっ

ている。ただ、低磁場の分、信号雑音比 (SNR) が低く、画像のノイズが多くなってしまいうという欠点があるが、画像再構成アルゴリズムの改善により、低磁場による欠点の克服を図っている。エレクタ社が開発した高磁場MRI一体型リニアックElekta Unityは1.5Tであり、高解像度の画像化が実現されているが、前述した比吸収率などの磁場の影響を大きく受けるため、少なからず高磁場が欠点となる可能性がある。

### 治療の流れ

以下、照射日の治療の流れを示す。

- ① 治療寝台上でMR画像の撮像を行う。
- ② MR画像によって位置照合を行い、得られた画像を医師が確認して肉眼的腫瘍体積 / 臨床標的体積 (GTV / CTV) やOARのコンツールリングを行う。
- ③ もともとの治療計画のまま、その日コンツールリングしたターゲットやOARの線量を評価する。
- ④ 治療可能と判断した場合は元の治療計画で照射を行う。ズレが大きく再計画が必要と判断した場合には、online adaptive radiation therapy (以下, ART。「online ARTについて」の項にて後述) を行う。
- ⑤ 実際に照射を行う。MRシネ画像を撮像し、治療中はターゲットとOARの動きを診療放射線技師がモニタリングする (「照射中のトラッキングについて」の項にて後述)。