

2019年8月作成

学位論文の関連論文の研究背景及び要旨

所属 放射線腫瘍学講座

氏名 藤本 昂也

〔題名〕 Evaluation of the effects of motion mitigation strategies on respiration-induced motion in each pancreatic region using cine-magnetic resonance imaging
(Cine-MRIを使用した膵臓の各領域における呼吸性移動対策の効果に関する評価)

〔研究背景〕

膵臓がんの標準治療としては手術が第一選択となるが、多くの患者は切除不能な局所進行膵癌と診断されるため化学放射線治療が重要な役割を担っている。しかし膵臓癌の放射線に対する感受性は比較的強く致死率の高い腫瘍であるため、腫瘍に対して一度に多くの線量を投与する体幹部定位放射線治療が欧米を中心に行われている。一方で膵臓周囲には十二指腸などの放射線感受性の高い重要臓器が多く存在するため腫瘍周囲の正常臓器の線量を低減し有害事象を抑えることが重要な課題である。腫瘍への線量増加と正常組織の線量の低減を実現するためには、放射線照射中の呼吸による腫瘍や正常臓器の動きを考慮する必要があり、腹壁や体内に留置された金属マーカの動きを腫瘍の動きの代理指標として評価し一定の呼吸時相でのみ照射を行うゲーティング法や息止め法、腹壁をベルトなどで圧迫して呼吸による移動を強制的に小さくする腹壁圧迫法などの呼吸性移動対策が一般的に用いられている。またMRIと放射線治療装置を融合した装置（MRIリニアック）の普及に伴い、MRIによる動画像（cine-MRI）を使用して直接腫瘍の動きを評価しながら治療する方法が注目されており、近年ではMRIリニアックを用いた投与線量増加試験によって膵臓がんの化学放射線療法後の生存率が改善したことも報告されている。本研究ではcine-MRIを使用して膵臓の各領域における呼吸性移動を定量化するとともに、呼吸性移動対策を行った際の膵臓各領域の呼吸性移動抑制効果について評価を行った。

〔要旨〕

当院の倫理委員会において承認の得られたボランティア11名を対象として、腹壁圧迫な

しおよび圧迫ありの状態において自由呼吸下で腓臓各領域（頭部、体部、尾部）のcine-MRIを撮像した。撮像時には規則的な呼吸を促すために音声による呼吸指示を行い、sagittal方向およびcoronal方向において腓臓全体が含まれるように連続的に撮像スライスを設定し、各スライス20秒ずつcine-MRIの撮影を行った。MATLAB (Version: R2016a, MathWorks, Natick, MA) にて作成したソフトを使用し、撮像したcine-MRIの各スライスに対して腓臓各領域の近傍の静脈（頭部：門脈、体部～尾部：脾静脈）および腹壁に関心領域を設定しテンプレート画像を得た。次にテンプレートマッチングを行い、自由呼吸下の腓臓各領域および腹壁の動きを波形として取得した。得られた波形を使用し、腓臓各領域（頭部、体部、尾部）において頭尾（SI）、前後（AP）、左右（LR）方向の呼吸性移動量と呼吸性移動対策実施時の効果を以下の三項目について評価した：①呼吸性移動対策を用いない場合の腓臓各領域の呼吸性移動量の評価、②腹壁圧迫をした場合（腹壁圧迫法）の腓臓各領域の呼吸性移動量および呼吸性移動抑制効果の評価、③腹壁の動きを腓臓の動きの代理指標として使用した場合（サロゲート法）の腹壁と腓臓の動きの相関および呼吸性移動抑制効果の評価。サロゲート法の呼吸性移動抑制効果の評価においては、デューティサイクルを40%（腹壁波形を使用して呼気終末時相の±20%の範囲のみでゲーティング照射を行う場合）を想定し、腹壁波形の呼気終末時相の±20%における腓臓の呼吸性移動量をsagittal断面のcine-MRIにて評価した。

結果は、① 呼吸性移動を用いない場合の腓臓の呼吸性移動量はSI方向およびLR方向において領域ごとに異なり、腓尾部で有意に大きかった。② 腹壁圧迫法の呼吸性移動抑制については、SI方向およびAP方向の呼吸性移動は腓臓全領域において有意に抑制されたが、LR方向に関しては腓尾部において呼吸性移動が大きくなる症例が観測された（3症例）。また各領域の呼吸性移動量は依然として領域ごとに異なり、SIおよびLR方向において腓尾部で有意に大きかった。③ サロゲート法における腹壁と腓臓の呼吸性移動の相関は腓臓全領域においてSI方向で0.96、AP方向で0.88と良好であった。呼吸性移動抑制効果は、SI方向およびAP方向の呼吸性移動は腓臓全領域において有意に抑制されたが、SI方向において腹壁の動きと腓尾部の動きとの間に有意に大きな誤差を生じ、腓尾部の呼吸性移動抑制効果が有意に低い結果となった。

腹壁圧迫とサロゲート法による腓臓各領域の呼吸性移動抑制効果（SI、AP方向）を比較すると、腓頭部においてはサロゲート法の方が有意に大きい抑制効果を示したが、体部、尾部については腹壁圧迫法とサロゲート法の抑制効果は同等であった。以上より腓臓の呼吸性移動対策においては、腹壁圧迫の有無にかかわらず腓臓の領域ごとに呼吸性移動の大きさは異なること、呼吸性移動対策時の移動抑制効果は領域によって異なり、腓頭部ではサロゲート法が有効であるが、その他の領域では腹壁圧迫法とサロゲート法の呼吸性移動

抑制効果は同等であることが明らかとなった。また腹壁圧迫時にLR方向の移動が大きくなる例も観測されたことから、膵癌の放射線治療計画時には三次元的な臓器の移動を評価できる4DCTや4DMRIを使用し、患者個別で呼吸性移動対策の効果および腫瘍や周囲臓器の動きを確認した上で放射線の照射範囲を決定するためのマージン設定を行うことが望ましいと考えられる。さらにMRIリニアックにおいて腫瘍や臓器の動きをcine-MRIで直接評価する放射線治療法では、2Dのcine-MRIを使用してゲーティング照射を行うため、今回観測された膵臓領域ごとの各方向の動きの差を考慮すると、スライス面に直行する臓器の動きに注意して治療を行う必要があると考えられる。

本研究では、呼吸性移動対策時の各膵臓領域の呼吸性移動および、膵臓の呼吸性移動と代理指標との動きの相関性をcine-MRIを使用して定量化した。膵臓の放射線治療において呼吸性移動対策は有効であるが、腹壁圧迫の有無にかかわらず呼吸性移動量が膵臓領域ごとに異なり、サロゲート法によって生じる位置誤差の大きさも領域ごとに異なる可能性があることを考慮する必要がある。