

MRI リニアックの現状と将来展望

—技術面から—

東北大学病院 診療技術部放射線部門 佐藤 清和(Sato Kiyokazu)

【はじめに】

放射線治療分野で近年話題となっているMagnetic Resonance Imaging (MRI) を使用した即時適応放射線治療 (Online Adaptive Radiotherapy: Online ART)¹⁾ は主に3つの特徴を利用して行われている。1つ目がMRIの高いコントラスト分解能を用いることで正確な病変部と正常組織の切り分けを行った輪郭描出が可能である。2つ目がその日の体内状況、病変部の形状変化に対応した線量分布を作成することで、最適な放射線強度を変調した照射が行える。3つ目がMRIシネ画像を使用し、ほぼリアルタイムで照射中の動きを監視することにより、精度良く放射線を照射することが可能となる (Fig.1)。MRIリニアックであるElekta社製Unityシステムを使用した当院での直近1年間の患者数は192人であり、前立腺が全体の75%である135人、腎臓19人、肝臓16人、リンパ節16人、膵臓5人、副腎2人という内訳であった。当院の放射線治療患者数の推移はUnityを使用した前立腺患者数の増加もあり年々増加傾向である (Fig.2)。



Fig.1 即時適応放射線治療の3つの特徴

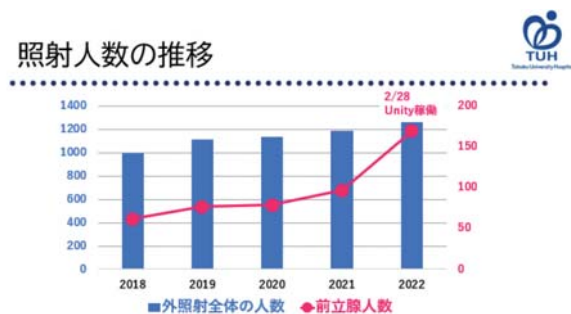


Fig.2 当院の照射人数の推移

【Online ARTの限界】

Online ARTを利用した毎日の照射の流れを説

明する (Fig.3)。患者セットアップ後に位置照合及び治療計画用のMRIを撮像し、当日の体内状況における治療計画を作成する。MRIの撮像時間が3分程度、輪郭描出から最適化計算を行う治療計画の時間が10~15分程度である。治療計画中に動きがないか位置検証用のMRIを撮像し照射位置を確認する。ここで動きがあった場合にはもう一度再計画を行う。照射位置に問題が無ければシネ画像を撮像しながら照射を行う。照射時間は10分程度である。

放射線治療におけるエラーの要因を時間区分で分けてみると、日間や1週間単位で変化するセットアップエラー及び腫瘍、正常組織の位置・形状変化、体輪郭の変化などに代表される Intra-fractionalエラーはMRIリニアックを使用した Online ARTの良い適応となる。Online ARTで治療計画を行うも治療計画や照射に苦慮し1時間程度の時間を要した場合、その間に変化する体動や腫瘍、正常組織の位置・形状変化についてはもう一度再計画することで対応が可能である。しかしながら、治療時間が長くなることは患者に苦痛を強いることに繋がる。また、毎日の患者体内状況に応じて最適な放射線治療を行える Online ARTであるが、秒単位や分単位で動くような呼吸、心拍、腸管の蠕動、腸管ガス、筋肉の脱力や力みによる体動などの Intra-fractionalエラーについて、現在のUnityで対応することは難しくある程度のマージンを付加した対応が必要となる。

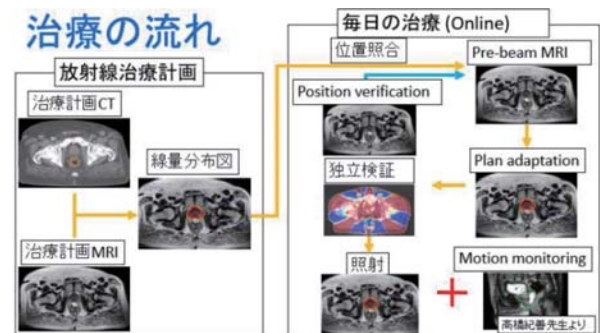


Fig.3 Online ARTの治療の流れ

【当院の工夫と将来展望～技術面から～】

Online ARTを有効活用するためにも、現状当院で行っている工夫をいくつか紹介する。まず、直

動き抑制の工夫① -直腸ガスによる変形・変位対策-

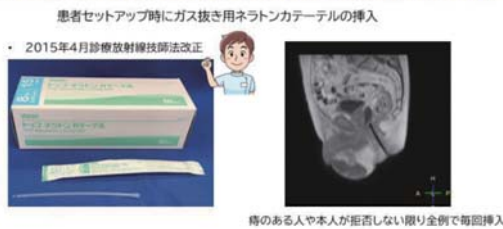


Fig.4 直腸ガスによる変形・変位対策

動き抑制の工夫② -力み・痺れ・脱力による位置変位対策-

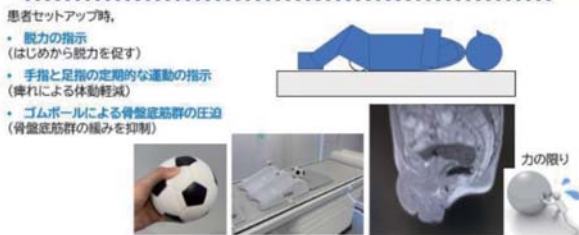


Fig.5 体動による位置変位対策

腸ガスによる標的の変形、変位対策として、前立腺照射の患者に対し、セットアップ時にガス抜き用のネラトンカテーテルを挿入している (Fig.4)。このカテーテルを挿入した状態にすると、直腸ガスが前立腺後方に降りてきた際にカテーテルを通過して体外に抜ける可能性が高まる。前立腺のIntra-fractionエラーとして一番大きな動きの要因となるのが直腸ガスによる影響と言われており、それを予防する対策となる。次に照射中の体動など動き抑制の工夫として、患者セットアップ時にゴムボールを使用して骨盤底筋群を圧迫することで筋肉の弛緩を抑制している (Fig.5)。Online ARTでは通常の外照射と比較し、どうしても治療計画に時間を要するため、その間に筋肉が弛緩すると骨盤底部の方向に動くことがある。この対策はその動くスペースを無くすことで、動きの影響を軽減することを目的としている。ただし、毎回ボールを圧迫する強さが変わることによって前立腺の傾きなどが変わる可能性があり、毎回再計画を行うOnline ARTだからこそ可能な対応と考える。また、位置照合結果の判断として、マージンを考慮した標的や正常組織の輪郭だけでなく、線量分布図のアイソドーズラインも参考指標とすることが可能である。例えば、尿道の線量を低減するような照射の場合に、尿道に2 mmのPRVマージンを付加しているが、治療計画された線量分布図はそのマージンよりも厳しめに最適化された線量計算をしていることがあり、線量分布図を毎回直接確認できるOnline ARTだからこそア

イソドーズラインで位置照合することが可能である。他にも通常、前立腺治療患者による脱力による動きは骨盤底部方向である背側、尾側へドリフトすることがほとんどであり、照射中もMRIのシネ画像をモニタリング可能であることから、膀胱の形状的に線量制約が厳しい場合や蓄尿が難しい場合などは、毎回の照射の都度頭側のPTVマージンを縮小して対策するなど、マージンもその都度最適化することがある。

様々な要因から前立腺のOnline ART中に再計画を行うことがあるが、臨床開始初期は43%の症例で照射の都度再計画を行っていた。1回の再計画だけでなく、2回、3回と再計画する場合もあった。そこで様々な対策を行うことで、現在では再計画の割合を21%まで低減することが可能となっている (Fig.6)。現在では、前立腺の照射において再計画を行わない場合だと、約30~40分程度、再計画を1回行うと50分程度の入退室時間で運用できている。この程度の入退室時間であると患者への聞き取り調査から患者満足度も高いようである。また、最近では呼吸性移動の大きな上腹部の症例である肝臓や腎臓、膵臓などの照射部位も増えてきており、現状は可能な限り腹部圧迫を行い呼吸抑制することで、照射範囲を小さくするような対応をとっている。欧米ではCE MarkやFDAを取得した包括的な動きを管理するComprehensive motion management (CMM) システムを使用して呼吸同期照射やドリフト対策等を行った臨床例も報告されてきており、本邦でもその新機能の搭載が待たれているところである。ただし、新しい機能を安全に使用するために技術面での検証と日常の品質管理は重要となるため、慎重に運用を検討する必要がある。

前立腺の再計画割合

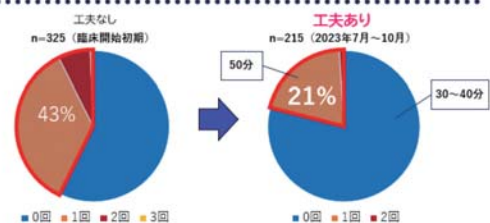


Fig.6 前立腺の再計画割合

【結語】

MRIリアックを使用した放射線治療は、MRIを使用した正確な輪郭描出、照射の都度の最適な治療計画の作成、照射中のモニタリングなど、Online ARTに必要な機能を有した装置である。し

かし、撮像時間や治療計画、照射に時間を要することで間隔の短いIntra-fractionalエラーに対して対応することが難しい場合もある。当院で現状行っている様々な対応によってIntra-fractionalエラーの低減を目的とした運用を紹介した。更に現在もMRIリニアックの開発は進んでおり、呼吸同期照射やドリフト対策などの機能搭載が待たれている状況にあり、治療中の動きによるIntra-fractionalエラーへの対応等、各種適応放射線治療機能を最大限

用いることで更なる個別化医療へ一助となることが期待される。

【参考文献】

- 1) MR画像誘導即時適応放射線治療ガイドライン, 日本磁気共鳴学会, 日本医学物理学会, 日本医学放射線学会, 日本放射線技術学会, 日本放射線腫瘍学会, 2021.