

MR画像誘導即時適応放射線治療ガイドライン

第1版 2021年10月30日

一般社団法人日本磁気共鳴医学会
公益社団法人日本医学物理学会
公益社団法人日本医学放射線学会
公益社団法人日本放射線技術学会
公益社団法人日本放射線腫瘍学会
(五十音順)

第1章 はじめに

2017年5月に, magnetic resonance (MR)画像誘導放射線治療システムの本邦第1号機が導入され, 2018年2月より当該システムを用いたMR画像誘導即時適応放射線治療が開始された。MR画像誘導放射線治療システムでは, その優れた軟部組織描出能からX線を用いた画像誘導放射線治療と比較して, より正確な画像照合・照射が可能となる。また腫瘍及び周囲正常臓器をほぼリアルタイムで直接監視することが可能であるため, 治療直前あるいは治療中であっても腫瘍及び周囲正常臓器の位置と形状に基づいて治療計画を立案する即時適応放射線治療を, より安全かつ有効に行うことが可能となる。

MR画像誘導放射線治療では, 放射線治療室内にMRIシステムが導入されているため, 従来の放射線治療にはない新たな物理・技術・臨床的な検討と検証が必要となる。品質保証(Quality assurance: QA), 品質管理(Quality control: QC)を適切かつ十分に行わなければ, 治療成績の低下や有害事象, 想定外の照射事故を引き起こす危険性がある。また, MRIシステム固有の安全管理に必要な要件があるため, MRIシステム使用の安全性を確保するために, 一般社団法人日本磁気共鳴医学会策定の「臨床MRI安全運用のための指針」¹⁾に準じて運用することも必要となる。

また一方で, MR画像誘導即時適応放射線治療は, 従来から行われてきた強度変調放射線治療(intensity-modulated radiation therapy: IMRT), 体幹部定位放射線治療(stereotactic body radiation therapy: SBRT), 画像誘導放射線治療(Image-guided radiotherapy: IGRT), 呼吸性移動対策の各技術を基盤として用いており, それらを適切に運用することによって治療精度が担保される。従って, これらの基盤技術に関する機器および運用にかかる要件を満たすために, 公益社団法人日本放射線腫瘍学会および関連学会が策定する最新版の臨床施行のためのガイドライン(「強度変調放射線治療(IMRT)ガイドライン」, 「体幹部定位放射線治療ガイドライン」, 「画像誘導放射線治療の臨床施行のためのガイドライン 2019」, 「呼吸性移動対策を伴う放射線治療に関するガイドライン 2019」もしくはそれらが改訂された最新版)および物理・技術的ガイドライン(「強度変調放射線治療における物理・技術的ガイドライン 2011」もしくはそれが改訂された最新版)²⁻⁶⁾を参照する必要がある。従って, MR画像誘導即時適応放射線治療を適切に実施するためには, 物理・技術・臨床の各面から十分な検討や検証が必要となる。

以上の背景に基づき、5 学術団体の協議により、MR 画像誘導即時適応放射線治療の包括的なガイドラインを策定した。本ガイドラインでは、MR 画像誘導即時適応放射線治療を安全に臨床導入するための、機器的要件、人的・施設要件、運用指針、そして QA・QC を提示する。

なお、コーンビーム computed tomography (CT) を用いた画像誘導即時適応放射線治療については、本ガイドライン執筆時点で物理・技術・臨床の各面での知見が不十分であったため、本ガイドラインでは対象外とした。今後、本邦での臨床導入の状況を見据え、コーンビーム CT を用いた画像誘導即時適応放射線治療に関しても、ガイドラインの対象拡大を検討する。

第2章 MR画像誘導即時適応放射線治療の定義

MR 画像誘導即時適応放射線治療の前提となる技術として、MR 画像誘導放射線治療、適応放射線治療並びに即時適応放射線治療がある。本ガイドラインでは「MR 画像誘導即時適応放射線治療」を、①MR 画像誘導放射線治療、および、②即時適応放射線治療の 2 つの技術に加え、治療直前に作成した治療計画通りに照射されることを保証するために③治療ビーム照射中の腫瘍・標的自体の MR 画像による持続的実時間における直接監視により適切に治療ビームを制御する技術の 3 つの要素を併用して行う放射線治療と定義する。MR 画像誘導即時適応放射線治療を行うことによって照射範囲を可及的に縮小、変更することが可能であり、その結果として、標的への高線量投与による抗腫瘍効果の増強、周囲正常臓器への線量低減による有害事象リスクの軽減、安全性の高い寡分割照射の実現などの臨床的有益性が期待できる。

MR 画像誘導放射線治療とは、IGRT ガイドラインに示される IGRT のうち、患者位置変位量の計測・修正および照射位置の照合を MR 画像に基づいて行う放射線治療と定義する。

適応放射線治療とは、放射線治療期間中に生じる腫瘍の縮小及び患者の体重増減等により初期の治療計画では標的への線量不足及び周囲正常臓器への線量増加等が危惧される場合に、治療期間中に取得した三次元医用画像に基づき新たな治療計画を立案し照射する放射線治療と定義する。適応放射線治療はその技術の違いにより、ESTRO physics workshop による pattern survey では下記の4つの細分類が採用されている⁷⁾。

- 1) ad-hoc offline replanning: 腫瘍の縮小等に応じて新たに治療計画を立案する
- 2) protocolled offline replanning: 新たな治療計画を立案するタイミングを計画的に決める
- 3) online plan library: IGRT の結果をもとに、事前に用意した複数の治療計画の中から最適な治療計画を選択する
- 4) daily online replanning: 当日の状態に最適な治療計画を照射の直前に都度作成する

即時適応放射線治療とは、本ガイドラインでは適応放射線治療のなかの(4)に該当する技術を用いた放射線治療を示すものとする。具体的には、三次元画像の取得、およびそれを基にした輪郭描出、新たな治療計画作成、検証、照射の一連の工程を、患者が治療寝台上に配置された状態で行う放射線治療をいう。

第3章 MR画像誘導即時適応放射線治療の適応疾患

MR 画像誘導即時適応放射線治療で用いられる IGRT と即時適応放射線治療のいずれの技術も、X線による放射線治療の適応があるあらゆる疾患、特に限局して高線量処方が必要とするリスク臓器に近接するような固形悪性腫瘍で適応がある治療方法である。IGRT による治療効果への影響は、既存の IGRT システムにて証明されており、既に保険診療として認められている。更に、MR 画像誘導即時適応放射線治療では、従来の X 線を利用した IGRT と比較して、金属マーカを利用せずに照射中 (intra-fraction) の標的とその周囲正常臓器の三次元体内解剖を連続的に観察可能であり、これにより従来放射線治療の適応とならなかった疾患 (良性疾患を含む) に対する新たな適応も生じうる。即時適応放射線治療については、どの疾患が必要であり、どの程度の頻度で必要であるか、事後的 (第 2 章にて引用した ESTRO physics workshop の定義における(1)および(2)に該当) な適応放射線治療との使い分け、またそれによる治療成績への影響については今後証明されることであり、現在国内外で研究が始まっている。海外からのある報告では 28.5%の部位、67.7%の治療回数で⁸⁾、国内からの報告では 49%の治療回数で即時適応放射線治療が実施されていた⁹⁾。海外において多施設共同の前向き臨床試験が以下のような様々な腫瘍部位ごとに検討されている¹⁰⁾。

脳腫瘍、乳がん、肺がん、食道がん、頭頸部がん、膵臓がん、前立腺がん、直腸がん、肝臓がん、胆管がん、膀胱がん、腎臓がん、子宮がん、オリゴ転移などの固形がん全般

ただし、患者背景により非適応となる場合があるので注意する必要がある。例として、①体内除細動器や人工内耳など MRI が禁忌となる症例、②閉所恐怖をもつ症例、③長時間(40-60 分程度¹¹⁾)の安静保持が難しい症例、などが挙げられる。

第4章 MR画像誘導即時適応放射線治療として認められる機器的要件

MR 画像誘導即時適応放射線治療の機器は、MR 画像誘導即時適応放射線治療システムと放射線治療周辺機器(QA 機器、治療関連機器)から構成される。MR 画像誘導即時適応放射線治療システムは、寝台を共有する一体型の放射線治療システムと MRI システム、これらに接続された放射線治療計画システムから構成され、以下の要件を満たすこと。

4.1. MR画像誘導即時適応放射線治療システム

MR 画像誘導即時適応放射線治療に対応する放射線治療システム, MRI システム, 放射線治療計画システムは, 以下の要件を満たすこと。

4.1.1. 放射線治療システム

- 1) 直線加速器を用いた光子線治療装置であること。
- 2) IMRT を実施可能であること。
- 3) 放射線制御機構に対し, MRI システムにより発生する磁場の影響を低減したシステムであること。

4.1.2. MRIシステム

- 1) 画像の歪みは, 臨床使用範囲において治療精度が保証できる範囲内であること。必要に応じてマージンの適用について検討する。
- 2) 取得した MR 画像を治療計画に使用可能であること。
- 3) MRI システムにより照射中の患者体内の腫瘍及び周囲正常臓器を監視する機能を有すること。

4.1.3. 放射線治療計画システム

- 1) 逆方向治療計画(インバースプラン)が可能な三次元放射線治療計画システムであること。
- 2) 磁場の影響を考慮した線量計算が可能なこと。
- 3) 照射直前に装置本体で撮影した MR 画像を基に, 腫瘍・周囲正常臓器を描出できること。また, 描出支援機能として非剛体画像レジストレーション(Deformable Image Registration: DIR)などの機能を有することを推奨する。
- 4) 照射直前に装置本体で撮影した MR 画像を基に, 事前に作成した治療計画による線量分布を計算する機能を有すること。
- 5) 照射直前に装置本体で撮影した MR 画像を基に, 計画の修正・線量分布の再最適化及び線量分布の評価が可能なこと。

4.2. 放射線治療周辺機器

MR 画像誘導即時適応放射線治療実施に際して推奨される放射線治療周辺機器について以下に示す。これらの機器及び類似する機器を使用する場合には, 第 6 章「6.4. 放射線治療周辺機器(固定具, QA 機器など)の安全使用」を参照し, 安全性を確認すること。

4.2.1. QA機器

- 1) 固体ファントムは, MR 撮像中にラジオ波(radiofrequency: RF)パルスにより発熱しないこと。積層して使用する場合は, 空気層が生じにくい形状・構造であること。
- 2) 動体ファントムは, MRI 対応であること。
- 3) 線量計及び放射線検出器は, MRI 対応であること。
- 4) 電位計は, 治療室外に設置できること。

- 5) 独立線量検証システムは、治療計画システムから治療計画情報を取得・検証可能なこと。また、即時適応により修正した治療計画を治療実施前に検証可能であること。
- 6) MR 画像歪み評価用ファントムは、臨床時に使用する撮像範囲内において画像の歪みが評価できること。
- 7) MR 画像画質評価用ファントムは、治療計画に使用する MR 画像の信号雑音比(signal-to-noise ratio: SNR)、均一性などを評価できること。

4.2.2. 患者固定具及び関連機器

- 1) 患者固定具は、MR 撮像時の安全性が確認されたものであること。
- 2) 点滴台、生体情報モニタなど治療室内に持ち込む医療関連機器は、原則として MRI 対応のものを備え、それ以外の場合は MR 撮像時の安全性が確認されていること。
- 3) 治療室内に持ち込む固定具及び関連機器は、磁場に影響を与えないものであること。
- 4) 入室者の磁性体所持を確認する検出器を備えること。
- 5) MRI 対応の車椅子、ストレッチャー等の患者移動機器を備えること。

第5章 MR画像誘導即時適応放射線治療の人的・施設要件と運用指針について

MR 画像誘導即時適応放射線治療は、SBRT, IGRT, IMRT の照射技術、実施体制を基盤として実現できる。そのため、SBRT, IGRT, IMRT に十分な経験を有し安全に施行できる実施体制を有することを要件の前提とする。加えて、照射回ごとの治療計画および精度検証、ならびに MRI システムの安全管理に対し十分な教育を受け、専門の知識と経験を有する医療者が適正に配置されるよう以下の体制整備を行うこと。なお、即時適応を伴わない MR 画像誘導放射線治療を行う場合には、「画像誘導放射線治療の臨床施行のためのガイドライン 2019」⁴⁾もしくはそれが改訂された最新版に基づいた体制整備を行うこと。

5.1. 人的要件

IMRT 施設基準で規定された人的要件を満たすことを前提とし、かつ MR 画像誘導即時適応放射線治療を実施、運用するための体制として、以下に人的要件を示す。

5.1.1. 放射線治療、画像診断を専ら担当する常勤の医師又は歯科医師

放射線治療を専ら担当する常勤の医師又は歯科医師が 2 名以上、かつ画像診断を専ら担当する常勤の医師が 1 名以上配置されていること。なお、放射線治療を専ら担当する常勤の医師のうちの 1 名は公益社団法人日本放射線腫瘍学会及び公益社団法人日本医学放射線学会が共同認定する放射線治療専門医の資格を有し、かつ画像診断を専ら担当する常勤の医師は公益社団法人日本医学放射線学会が認定する放射線診断専門医の資格を有すること。

5.1.2. 放射線治療を専ら担当する常勤の診療放射線技師

放射線治療を専ら担当する常勤の診療放射線技師(放射線治療の経験を5年以上有するものに限る。)が1名以上配置されていること。なお、当該常勤の診療放射線技師は、一般社団法人日本放射線治療専門放射線技師認定機構が認定した放射線治療専門放射線技師の資格を有すること。

5.1.3. 放射線治療を専ら担当する常勤の看護師

放射線治療を専ら担当する常勤の看護師が1名以上配置されていること。なお、当該常勤の看護師は公益社団法人日本看護協会が定めるがん放射線療法看護認定看護師の資格を有することを推奨する。

5.1.4. 放射線治療における機器の精度管理, 治療計画の検証, 治療計画立案補助作業等を専ら担当する者

放射線治療における機器の精度管理, 治療計画の検証, 治療計画立案補助作業を専ら担当する常勤の技術者(放射線治療における機器の精度管理, 治療計画の検証, 治療計画立案補助作業等の経験を5年以上有するものに限る。)が1名以上配置されていること。なお、常勤の技術者は医学物理士認定機構が認定した医学物理士の資格を有すること。

5.1.5. MRIの安全管理を担当する者

MRIの安全管理を担当する常勤の技術者が1名以上配置されていること。また、当該技術者は特定非営利活動法人日本磁気共鳴専門技術者認定機構が認定した磁気共鳴専門技術者の資格を有することを推奨する。

5.2. 施設要件

IMRT および IGRT 加算の施設基準で規定された施設要件をともに満たしていること。さらには、以下に示す治療実績を有すること。

- 1) SBRT を年間 10 例以上実施していること。
- 2) IMRT を年間 50 例以上実施していること。
- 3) IGRT(腫瘍の位置情報によるもの)を年間 50 例以上実施していること。

5.3. 運用指針

5.3.1. 基本方針

精度と安全性を担保するために、以下のことが遵守されること。

- 1) 当該保険医療機関において、即時適応放射線治療に関する機器の精度管理に関する指針が策定されており、実際の線量測定等の精度管理が当該指針に沿って行われているとともに、公開可能な精度管理に係る記録が保存されていること。
- 2) 当該保険医療機関において、即時適応放射線治療の実施における各職種の役割を記載した診療手順書, 病態ごとの治療計画立案指針及び MRI の安全管理に関する指針が策定されており、実際の即時適応放射線治療が当該指針に沿って行われているとともに、公開可能な記録が保存されていること。な

お、治療計画立案指針においてはリスク臓器に対する線量制約基準について記載されていること。

5.3.2. 実施体制について

MR 画像誘導即時適応放射線治療の実施時において以下の人的体制のもと実施すること。

- 1) 照射範囲の修正，治療計画及び照射位置の承認を実施する放射線治療を専ら担当する医師が1名以上配置されていること。
- 2) 照射位置の修正及び確認を実施する，放射線治療を専ら担当する診療放射線技師（専従であることが望ましい）が2名以上配置されていること。
- 3) 照射位置，治療計画の修正及び確認を実施する間，患者の状態を観察し，急変時または患者の要請に速やかに対応することのできる看護師が1名以上配置されていること。
- 4) 治療計画の修正及び確認の実施，放射線治療における機器の精度管理，治療計画の検証，治療計画立案補助作業等を専ら担当する技術者が1名以上配置されていること。

5.3.3. 診断を目的としたMRIシステムの使用について

当該システムを用いて診断目的に画像を取得する場合には，撮像範囲に放射線治療の対象部位を含むものとし，腫瘍の形態や機能診断を行うなど当該患者に対する放射線治療に直接関連するものであることを推奨する。

5.3.4. 実施者への教育・研修体制について

MR 画像誘導即時適応放射線治療の実施に携わる者は扱うシステムの特長，操作方法について十分な研修を受けることを基本とし，MR 画像誘導即時適応放射線治療の経験を有する施設にて事前に研修，または当該施設が実施する講習等を受けることが推奨される。

第6章 MRI搭載放射線治療装置におけるMRI安全運用のための指針

MRI システム使用の安全性を確保するために，一般社団法人日本磁気共鳴医学会策定の「臨床 MRI 安全運用のための指針」¹⁾および各種ガイドライン²⁻⁶⁾に準じた運用を行う。なお，「臨床 MRI 安全運用のための指針」（令和2年3月19日一部改定）では，放射線治療を想定した記述がなされていないため，記載の一部を以下の通りに読み替えて運用すること。

- 1) 「医師，診療放射線技師もしくは臨床検査技師，看護師」→5.1.の人的要件に従い，「医師，診療放射線技師もしくは臨床検査技師，看護師，機器の精度管理・治療計画の検証・治療計画立案補助作業等を専ら担当する者」
- 2) 「MRI 検査」→「MR 撮像^{注1)}」

注1: 本ガイドラインにおいて「MR 撮像」とは，画像診断目的に行われる「MRI 検査」だけでなく，放射線治療における位置照合，治療計画立案のための MR 撮像も含むものとする。

放射線治療部門における MRI 安全運用において特記すべき注意事項を以下に示す。

6.1. 放射線治療部門における安全管理体制

「臨床 MRI 安全運用のための指針」に示される安全管理体制と同様に、施設内に MR 撮像を管理するチームを構築すること。本チームは放射線治療を担当する医師、診療放射線技師もしくは臨床検査技師、看護師、機器の精度管理・治療計画の検証・治療計画立案補助作業等を専ら担当する者などで構成される。なお、画像診断部門の MRI 検査を管理するチームと合同とすることを推奨する。

6.2. MRIシステムの品質管理

始業時・終業時点検並びに保守点検における画質の維持・向上については「臨床 MRI 安全運用のための指針」に準じて行う。治療室に設置されたモニタや治療室の照明、放射線測定関連機器、治療関連機器(固定具、絶縁ツールなど)などが MR 画像の画質に影響を与えていないことを確認する(画質評価については「9.1. 受入試験・コミッションング」を参照)。照射中に取得する MR 画像については、ガントリ角度やマルチリーフコリメータ位置などの照射条件の変更時、または放射線照射時および線量計測時に、画質に影響を与えていないことを確認する^{12, 13)}。

6.3. 治療時の安全管理

撮像時は電流ループが起きないようにタオルや専用ツールで両手・両足同士の接触を避け電氣的に絶縁する。また、寝台移動時には、固定具と装置の干渉が起きないように注意する。即時適応放射線治療を行う際には、患者が長時間磁場下に置かれるため、ラジオ波パルスによる発熱や傾斜磁場変化による末梢神経刺激に注意する。撮像に際しては、それぞれ比吸収率(specific absorption rate: SAR, W /kg)と磁場の時間変化率(dB/dt)に留意する。また、患者にはあらかじめ撮像時の発熱等の注意喚起と異常時連絡方法の確認を行い、特に第一次水準管理操作モード使用時には患者状態を注意深く観察する。第一次水準管理操作モードとは、一つ又は複数の出力が患者に医療管理を必要とする生理学的ストレスを引き起こす可能性のある値に達する MRI 装置の操作モードのことである(JIS Z 4951¹⁴⁾より引用)。

6.4. 放射線治療周辺機器(固定具, QA機器など)の安全使用

放射線治療周辺機器を MR 画像誘導放射線治療室および MRI 検査室へ持ち込む際には、MRI 検査室入室前のチェックリスト(一般社団法人日本画像医療システム工業会)を参考にすること¹⁵⁾。その他、放射線治療実施時、品質管理実施時の持ち込みの注意が必要とされる周辺機器について別紙1に示す。一部の周辺機器で MRI 対応のものがある。該当する周辺機器においては、可能な限り MRI 対応の製品を利用すること。

金属を有する(遮蔽ブロックなど)ものについては治療室に持ち込まない。治療時に使用する固定具などにおいては、長時間撮像されることを想定しあらかじめラジオ波パルスによる熱の発生について影響がないことを確認する。特に固定具素材で用

いられるカーボンは導電性であり熱が発生するため、カーボン素材の固定具は使用しない。

QA 機器を治療室に持ち込む際には、吸着防止のため事前に磁性体検出器などを用いて磁性体の有無を確認する。デジタル温度計など電子機器を有する MRI 非対応の QA 機器を治療室に持ち込む場合は、その QA 機器を磁場の影響を受けにくい領域(例えば 5 ガウスライン外の領域)に設置し、動作確認を行う。また MR 画像の画質に影響を及ぼしていないことを確認する。MRI 対応と明示されている QA 機器についても、使用にあたっては、画質・動作に異常がないことを定期的に確認する。

第7章 放射線治療計画

MR 画像誘導即時適応放射線治療は、事前の治療計画立案だけでなく、治療時の患者状態に合わせた照射を行うために、臨床的有益性が期待できる技術であるが、治療時間の増加、临床上の時間の制約といった問題点があるため注意が必要であり、この治療を安全に実施するため、以下の点を考慮して治療計画を立案する。

7.1. 施設ごとの治療計画指針の策定

7.1.1. MR画像誘導即時適応放射線治療導入時の確認

MR 画像誘導即時適応放射線治療を施設として始めるにあたり、従来の治療と工程が異なるため、マニュアルや手順書などの整備を図り、治療前にはリハーサルを行うことが望ましい。治療時間が長くなることで患者負担が増加するため、1 回の治療あたりの目標時間を決めておくことを推奨する。また、即時適応放射線治療の臨床開始後も、どの工程に時間を要するかを検討し、効率的な治療が実施できるよう継続的な分析を行うことを推奨する。

7.1.2. 即時適応放射線治療の指針策定

疾患毎に即時適応放射線治療の適応症例の方針を作成し、放射線治療部門内で共有しておくこと。事後的に治療計画の変更を行う症例も同様に方針を作成することにより、即時適応放射線治療の過度な実施を避けられ、適正化につながる。また、症例毎に、臨床的意義ならびに実施における問題点(治療時間、体動など)を医師、診療放射線技師および機器の精度管理・治療計画の検証・治療計画立案補助作業等を専ら担当する者らで協議し、即時適応放射線治療実施の妥当性を最終的に医師が決定する。

7.2. 治療計画立案

7.2.1. 患者の固定

MR 画像誘導即時適応放射線治療は患者が寝台で治療体位を保持する時間が増え、患者負担が増加する。患者負担に配慮した体位固定を行う。

7.2.2. 治療計画に用いる画像

治療計画時に参照する画像には、CT 画像だけではなく、軟部組織コントラストに優れる MR 画像も用いることを推奨する。また使用しているコイルの違いや治療時との体位や天板などの違いにも注意を払う必要がある。

7.2.3. 治療計画におけるレジストレーション精度の確認

治療計画立案時に治療計画 CT、治療計画 MR 画像のレジストレーションの精度を確認する。

7.2.4. 輪郭作成, 計画作成の実施者

輪郭作成作業及び治療計画立案は MR 画像誘導即時適応放射線治療に関する十分な研修を受けた医師、機器の精度管理・治療計画の検証・治療計画立案補助作業等を専ら担当する者、診療放射線技師が協働して担当すること。

7.2.5. 相対電子濃度の割当て

線量計算に必要な相対電子濃度については、臓器種類別に適切な相対電子濃度の値を割り当てる方法や、CT 画像を撮影し、CT 画像と MR 画像を DIR することによって割り当てる方法があげられる。コミッショニングでの確認項目に関しては第 9 章を参考にすること。

7.2.6. CTV-PTVマージン

Clinical target volume (CTV)-planning target volume (PTV)マージンは治療対象病変によって異なるため、あらかじめ部位毎に適切なマージンを検討すること。即時適応放射線治療を行う場合にも、様々な不確かさも考慮してマージンを設定すること。

7.2.7. 即時適応放射線治療実施時

新たな治療計画立案のために、都度輪郭描出を行う領域や範囲を事前に決定しておくこと。各治療での線量分布や dose-volume histogram (DVH)評価のための指針を決定しておくこと。

第8章 位置照合・照射

照射時に実施される患者固定、位置照合、治療計画立案中の監視、照射において留意すべき事項について記載する。

8.1. 患者固定

- 1) MRI システム使用における安全管理については第 6 章を参考にすること。特に、固定具や補助具等は MR 撮像での安全性を確認した物を使用し、固定具や人体が装置ボアと干渉せず、導電性ループを形成しないように注意すること。また、治療室内には磁性体を持ち込まないこと。皮膚マーカ用インクには金属を含有するものがあるため、発熱に関する安全性を確認したうえで使用する。

- 2) 一般的な画像誘導放射線治療での注意点とMR撮像における注意点に留意する。特に、人体による静磁場の乱れや撮像シーケンスなどにより画像の歪みが発生するため、可能な限り標的を磁場中心またはその近傍に配置することを推奨する。
- 3) 頭頸部や乳房など体表面付近を標的とする照射では、体外に散乱した電子が磁場の影響を受け、照射野外の体表面に再入射し、想定外の線量が照射されることがあるため、照射野外の体表面にボラス等を配置することにより線量を低減することを推奨する。

8.2. 位置照合

- 1) MR画像を用いて臓器位置を評価する際は、位置ずれの原因となる化学シフトや磁化率など各種アーチファクトの画像特性を考慮する。
- 2) CT画像を基準としてMR画像により画像誘導を行う場合は、CTとMRIで画像コントラストが大きく異なるため、解剖学的情報を考慮して位置照合する必要がある。

8.3. 治療計画立案中の監視

輪郭描出や線量評価など位置照合から照射前までの時間が長くなると想定され、その間の患者体動や臓器の変位に注意が必要であり、照射直前のMR撮像にて目的とする部位の位置が正しいことを確認することを推奨する。

8.4. 照射

- 1) MR画像誘導即時適応放射線治療を行う際は照射中にMR画像を取得し、目的とする標的及び標的に近接するリスク臓器の位置が正しいことを確認すること。
- 2) MR画像により照射部位の移動対策を行う場合には、目的部位の認識精度を画像上で随時観察し、追尾に不具合があれば照射を停止する。また照射制御には遅延時間が発生するが、通常の照射装置の遅延時間に加えてMR画像生成と処理の遅延時間を考慮する。

第9章 QA・QC

9.1. 受入試験・コミッショニング

MR画像誘導即時適応放射線治療では、通常の放射線治療システムの受入試験・コミッショニング項目に加えて以下の項目を含め臨床導入を図る。

9.1.1. 放射線治療システムの出力線量精度に関する項目

モニタ線量計や線量測定に用いる検出器は磁場環境下での使用となるため、動作精度を確認する。モニタ線量計の安定性についてはコミッショニング期間だけではなく始業前点検、定期点検を通して長期的に評価する。また測定に用いる検出器についても校正定数の長期的な変化および電離量の傾向を確認する。モニタ線量計の出力線量精度としては、一般的な性能評価(線量率依存性、再現性、直線性)を行う。また、臨床開始前および定期的に第三者評価システムを受審することを推奨する。線量校

正においては、MRI 対応の電離箱を使用する。磁場によって散乱電子の軌跡が変化し(electron return effect: ERE)、電離箱の設置向きによって電荷量が大きく変化するため、静磁場と電離箱の長軸方向を一致させて測定する¹⁶⁻²²⁾。

9.1.2. 基準ビームデータに関する項目

基準ビームデータを放射線治療計画装置のモデリングデータとして用いる場合には、公益社団法人日本医学物理学会発行の「基準ビームデータを使用した放射線治療装置及び放射線治療計画装置の導入に関するガイドライン」もしくはそれが改訂された最新版を参考にする²³⁾。

9.1.3. 減弱補正に関する項目

通常の放射線治療装置に使用される X 線減弱の小さいカーボン素材の寝台は、MR 撮像時に発熱することから、MRI システムにおいては発熱しないグラスファイバー等の素材が使用される。ただし、X 線減弱が大きいため放射線治療計画システム等で寝台による X 線の減弱を考慮し補正を行う。コミッショニングによってこの補正が正しいことを確認する。また、RF 受信コイルの減弱を測定し、必要に応じて放射線治療計画システム等で補正を行う。

9.1.4. MR画像の画質・歪みに関する項目

MR 画像は磁場不均一による画像の歪みがあるため、治療計画や照射中の監視など臨床で使用する MR 画像の撮像条件ごとに画像中心(アイソセンタ)から辺縁までの画像の歪みを、ファントムを配置して三次元的に評価する²⁴⁾。また MRI 専用の画質評価用ファントム等を使用して、SNR や均一性の基準データを取得する²⁵⁾。治療室の環境(モニタ、照明、放射線測定関連機器)が画質に影響を与えていないことを確認する。

9.1.5. 放射線治療計画システムの線量計算精度に関する項目 (MR画像を用いた線量計算精度に関する項目も含む)

臨床使用前に放射線治療計画システムの線量計算精度を確認する。単純条件から IMRT までの臨床を模擬した条件で治療計画を行い、実測により計算精度を確認する。MR 画像を用いた線量計算が可能な場合には、その計算精度も確認する。また、不均質ファントム等を用いて ERE の線量計算精度を評価する。

9.1.6. 画像レジストレーションに関する項目(剛体および非剛体レジストレーション)

画像レジストレーションの精度は即時適応放射線治療の精度に影響を与えるため、剛体および非剛体レジストレーション精度を評価する。非剛体レジストレーションの精度評価では、変形画像と目標画像の一致を確認する。評価方法においては、公益社団法人日本放射線腫瘍学会発行の「放射線治療における非剛体画像レジストレーション利用のためのガイドライン 2018 年版」もしくはそれが改訂された最新版を参考にする²⁶⁾。

9.1.7. データ通信と画像の保存に関する項目

MR 画像誘導即時適応放射線治療は、複数のシステムを連携することで実現できる技術であるため、放射線治療システム、放射線治療計画システム、MRI システム間で照合画像・位置情報・計画情報などが適切に通信されていることを確認する。また、画像保存に関する要件は、医療情報システムの安全管理に関するガイドラインおよび画像情報の確定に関するガイドラインを参考にし、適切に管理する^{27, 28)}。

9.1.8. 即時適応放射線治療の総合的照射精度試験(End to End試験)

MRI システムと放射線治療システム(放射線治療計画システムも含む)が一体となった装置であるため、両システムの独立した位置精度管理と両装置の座標中心を一致させる包括的な位置精度管理が必要となる。前者は受入試験で確認し、コミッショニングでは後者の包括的な位置精度管理のため総合的照射精度試験(End to End試験)を行う。実際には、計画画像の取得、放射線治療計画システムへの画像取込み、治療計画立案、治療システムへの計画情報の取込み、ファントムを用いた即時適応放射線治療の実施、独立線量検証システムによる検証、システム全体で連携して動作することを確認するとともに、総合的に照射位置精度、線量精度について確認する。End to End 試験はコミッショニングだけではなく臨床導入後においても定期的に実施し、システム全体で問題がないことを確認する。

9.1.9. 体内臓器の動きへの対応に関する項目

治療中の体内臓器(標的及び周囲正常臓器等)の動きを確認しながら必要な臓器等の移動対策のもと照射を行う場合には、「呼吸性移動対策を伴う放射線治療に関するガイドライン 2019」³⁾、「画像誘導放射線治療の臨床施行のためのガイドライン 2019」⁴⁾もしくはそれらが改訂された最新版を参考にしながら、動体ファントム等を用いた線量検証を行う。

9.2. 日常点検・定期的品質管理

通常の放射線治療装置・放射線治療計画装置に関する日常点検・定期的品質管理に加え、MRI システム・即時適応放射線治療に関する日常点検・定期的品質管理を実施する必要がある^{2-4, 29, 30)}。

また、装置の定期的品質管理に加え、診療工程全体の問題点や業務改善についても医師、診療放射線技師、看護師、機器の精度管理・治療計画の検証・治療計画立案補助作業等を専ら担当する者らで協議する。必要に応じて診療工程全体に対しプロセスマップを用いて可視化し、即時適応放射線治療のリスク分析を定期的に実施する。リスクの高い事象に対しては業務改善を図り事故防止策を講じる³¹⁾。

【QA/QC プログラムに含むことが推奨される項目】

- 1) 放射線治療システムの出力校正に関する項目
- 2) 放射線治療システムのモニタ線量計の線量的精度に関する項目
- 3) 放射線治療システムの幾何学的精度に関する項目
- 4) MRI システムと放射線治療システムの両座標系の一致度に関する項目
- 5) MR 画像の歪み・画質に関する項目

- 6) MRI システムの安全性に関する項目
- 7) 放射線治療計画システムの線量計算精度に関する項目 (MR 画像を用いた線量計算精度に関する項目も含む)
- 8) 画像レジストレーションに関する項目 (剛体および非剛体レジストレーション)
- 9) 放射線治療システム (放射線治療計画システムも含む) と MRI システム間の接続に関する項目
- 10) 即時適応放射線治療の総合的照射精度試験 (End to End 試験)

9.3. 即時適応放射線治療実施時の品質保証

IMRT 物理技術ガイドラインに従い、即時適応放射線治療においても、全例事前の線量検証を実施しなければならない。しかし、患者が寝台に配置されたまま画像取得、治療計画、照射が一連として実施されるため、電離箱、フィルム、多次元検出器等を用いた測定による線量検証が困難である。よって、測定による線量検証の代用としてコミッショニングを通じて利用可能と判断された線量検証の機器等を用いて実施すること。一般的には、独立線量検証システムの利用が挙げられる。また、限られた時間で放射線治療計画の安全確認を確実に実施するための体制が求められる。即時適応放射線治療実施の運用指針を次に示す。

- 1) 独立線量検証システムのコミッショニングにおいては、ファントムを用いた線量検証を基準に、独立線量検証システムの計算精度を確認する。即時適応放射線治療の臨床導入後少なくとも 30 例は、治療開始後速やかに患者ごとに 1 回以上事後の線量測定を行う。測定結果から独立線量検証システムの検証結果と事後に実施した測定による線量検証の結果を比較し、その妥当性を確認する。
- 2) 独立線量検証システムを導入し、即時適応放射線治療の照射 monitor unit (MU) などの安全性を確認する。なお、即時適応放射線治療を行わない通常の IMRT 治療計画については、IMRT 物理技術ガイドラインに従い治療開始前に測定による線量検証を行う。また、即時適応放射線治療の修正前の IMRT 治療計画 (オリジナルの治療計画) についても同様である。
- 3) 独立線量検証システムの結果が基準を超えた場合の治療可否の指針について、独立線量検証システムのコミッショニング結果を踏まえ事前に作成する。
- 4) 独立線量検証システムの検証後の治療可否について、医師、診療放射線技師、機器の精度管理・治療計画の検証・治療計画立案補助作業等を専ら担当する者で協議し、その結果を医師が承認する。または、医師により事前に承認された治療可否の指針にもとづいて治療可否を決定する。
- 5) 即時適応放射線治療の治療計画の安全性を複数名で確認し、確認した結果を記録する。運用においてはチェックリストの導入を推奨する。
- 6) 即時適応放射線治療実施後は、治療計画情報および実績情報を電子カルテ等に記録する。

上記のチェックリストで含まれることが推奨される、即時適応放射線治療の治療計画の主な確認項目を次に示す。

- 1) 輪郭の描出形状
- 2) 輪郭の論理演算処理

- 3) 線量計算に用いられる電子濃度情報の確認^{注2}
- 4) 投与線量の処方($D_{95\%}$ など)
- 5) 線量分布や DVH などの線量評価
- 6) 修正前と修正後の治療計画情報^{注3}の比較

注2: DIRによって線量計算に必要なCT画像を治療直前に取得したMR画像に合わせている場合、体輪郭などの形状の変化が再現されていることを確認する。輪郭情報によって均一な電子濃度(Bulk density)を割り当てられている場合は、適切な値が割り当てられていることを確認する。

注3: 線量分布, DVH, 照射パラメータ(ガントリ角度, ビーム数, 投与線量, 照射 MU)など

第10章 おわりに

一般社団法人日本磁気共鳴医学会, 公益社団法人日本医学物理学会, 公益社団法人日本医学放射線学会, 公益社団法人日本放射線技術学会および公益社団法人日本放射線腫瘍学会の5学術団体共同でMR画像誘導即時適応放射線治療ガイドラインを作成した。MRIを搭載した放射線治療装置が開発・臨床導入され, 本邦でもMR画像誘導放射線治療が開始されている。本ガイドラインは, MRIが搭載された放射線治療装置によりMR画像誘導即時適応放射線治療を安全かつ適正に行うための物理・技術・臨床面における包括的ガイドラインである。第1章で述べられているように, MR画像誘導即時適応放射線治療は, 従来から行われてきたIMRT, SBRT, IGRT, 呼吸性移動対策の各技術を基盤として用いている。画像誘導放射線治療に係る技術の進歩に対応し, 2019年5月に公益社団法人日本医学物理学会, 公益社団法人日本放射線技術学会および公益社団法人日本放射線腫瘍学会の3学会によるIGRTガイドライン2019が発出された。IGRTに引き続き, 放射線治療の高精度化に伴い, 治療期間中に生じる腫瘍の縮小あるいは患者の体輪郭の変化等に対応した, 新たな治療計画による放射線治療として「適応放射線治療」が臨床的に用いられるようになった。MR画像誘導即時適応放射線治療は, MR画像誘導放射線治療技術を用いて, 「適応放射線治療」のうち“daily online replanning”に相当する「即時適応放射線治療」を行う治療となる。本ガイドラインでは, 同時に, これまで詳細な定義のなかった「適応放射線治療」についても記載を加えた。MRIによるIGRTに限定せず, 他の画像診断技術によるIGRTにも適応される定義を示したことで, IGRTガイドラインと本ガイドラインとの間を補完するものとなっている。

MR 画像誘導即時適応放射線治療ガイドライン ワーキンググループ

委員長

井垣 浩 国立がん研究センター中央病院 放射線治療科

執筆メンバー

青木 茂樹 順天堂大学医学部附属病院 放射線科
阿部 孝憲 埼玉医科大学国際医療センター 放射線腫瘍科
阿部 幸直 千葉大学医学部附属病院 放射線部
井口 治男 大阪市立大学大学院医学研究科 放射線腫瘍学
伊丹 純 新松戸中央総合病院 放射線治療センター
稲葉 浩二 国立がん研究センター中央病院 放射線治療科
宇野 隆 千葉大学大学院医学研究院 画像診断・放射線腫瘍学
江島 泰生 獨協医科大学病院 放射線治療センター
大西 洋 山梨大学医学部 放射線医学講座
大屋 夏生 熊本大学病院 放射線治療科
岡本 裕之 国立がん研究センター中央病院 放射線品質管理室
加藤 真吾 埼玉医科大学国際医療センター 放射線腫瘍科
角谷 倫之 東北大学病院 放射線治療科
木村 智樹 高知大学医学部 放射線腫瘍学講座
熊崎 祐 埼玉医科大学国際医療センター 放射線腫瘍科
黒田 輝 東海大学情報理学部 情報科学科
逆井 達也 国立がん研究センター中央病院 放射線技術部
茂松 直之 慶應義塾大学医学部 放射線科学教室
澁谷 景子 大阪市立大学大学院医学研究科 放射線腫瘍学
神宮 啓一 東北大学大学院医学系研究科 放射線腫瘍学
高橋 紀善 東北大学病院 放射線治療科
辰己 大作 都島放射線科クリニック 放射線治療科
千葉 貴仁 国立がん研究センター中央病院 放射線品質管理室
恒田 雅人 千葉大学大学院医学研究院 MR 画像誘導即時適応放射線治療学
寄附講座
遠山 尚紀 東京ベイ先端医療・幕張クリニック 医療技術部医学物理室
中村 光宏 京都大学大学院医学研究科 医学物理学分野
西岡 史絵 京都第二赤十字病院 放射線治療科
野田 真永 埼玉医科大学国際医療センター 放射線腫瘍科
古山 良延 千葉大学医学部附属病院 放射線部
造酒 慶喬 大阪市立大学大学院医学研究科 放射線腫瘍学
渡辺 未歩 千葉大学大学院医学研究院 画像診断・放射線腫瘍学
(五十音順)

第三者評価

公益社団法人日本放射線腫瘍学会 ガイドライン委員会

公益社団法人日本医学物理学会 QA/QC 委員会

公益社団法人日本放射線技術学会 標準・規格委員会

一般社団法人日本磁気共鳴医学会 安全委員会

特定の団体からの経済的援助状況に関する記載

ガイドライン作成に当たり、特定の団体から資金的援助はなく、独立性が担保されていることを確認している。

利益相反の開示

日本放射線腫瘍学会の定める「利益相反に関する指針」(<https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/aboutus/cat5/post-55.html>)に基づきガイドラインワーキンググループ委員の利益相反を開示する。ガイドライン公表の前年から過去3年分を開示事項ごとにまとめて記載した。株保有・利益、原稿料、その他の報酬、その他の組織利益相反、の事項については該当する委員がいなかったことから割愛した。また、開示すべき利益相反がない委員の掲載は割愛した。

氏名(所属)	年	1. 役員・顧問	3. 特許使用料	4. 講演料	6. 研究費	7. 寄附金	8. 寄附講座	組織 COI 6. 研究費	組織 COI 7. 寄付金
井垣 浩 (国立がん研究センター中央病院)	2020							伊藤忠商事株式会社	
青木 茂樹 (順天堂大学医学部附属病院)	2018			第一三共株式会社, 学研メディカル秀潤社	エルピクセル, バイエル薬品株式会社	エーザイ株式会社, 第一三共株式会社, ゲルベジヤパン株式会社			
	2019			学研メディカル秀潤社, 第一三共株式会社		エーザイ株式会社, ゲルベジヤパン株式会社			
	2020			学研メディカル秀潤社		エーザイ株式会社, GEヘルスケアファーマ株式会社, ゲルベジヤパン株式会社, 富士フィルム富山化学株式会社			
伊丹 純 (新松戸中央総合病院)	2018			Alpha-Tau Medial 社	エレクタ株式会社				
	2019			ヘカバイオ株式会社, 株式会社	エレクタ, 伊藤忠商事株式会社			伊藤忠商事株式会社	

				KAY'S JAPAN					
	2020			ヘカバイオ株式会社, Alpha-Tau Medial 社	エレクタ株式会社, 伊藤忠商事株式会社				
稲葉 浩二 (国立がん研究センター中央病院)	2020							伊藤忠商事株式会社	
宇野 隆 (千葉大学医学研究院)	2018				富士製薬工業株式会社, アクキュレイ株式会社, ゲルベジャパン株式会社, 日本電子応用株式会社				
	2019				ゲルベジャパン株式会社				
	2020				ゲルベジャパン株式会社				
大西 洋 (山梨大学医学部)	2018		エイペックスメディカル		小野薬品工業		甲府脳神経外科		
	2019		エイペックスメディカル株式会社	アストラゼネカ株式会社	エイペックスメディカル株式会社	メディネット山梨有限公司, エーザイ株式会社, 第一三共株式会社			メディネット山梨有限公司, エーザイ株式会社, 第一三共株式会社
	2020			アストラゼネカ株式会社	GE ヘルスケア・アジア株式会社, 株式会社浜野エンジニアリング	エーザイ株式会社, アクキュレイ株式会社, ゲルベジャパン株式会社			
大屋 夏生 (熊本大学病院)	2018				エレクタ株式会社				
	2019				エレクタ株式会社, アクキュレイ株式会社, 株式会社日立製作所ヘルスケアビジネスユニット	株式会社フィリップスジャパン			
	2020				アクキュレイ株式会社, 株式会社日立製作所ヘルスケアビジネスユニット				

岡本 裕之 (国立がん研 究センター中 央病院)	2020				伊藤忠商事 株式会社			伊藤忠商事 株式会社
加藤 真吾 (埼玉医科大 学国際医療 センター)	2019					AR アドバ ンステクノ ロジ株式会 社		
角谷 倫之 (東北大学病 院)	2019				アイテム株 式会社			
	2020				アイテム株 式会社			
木村 智樹 (高知大学医 学部)	2018			アストラゼネ カ株式会社				
	2019			アストラゼネ カ株式会社				
	2020			アストラゼネ カ株式会社				
黒田 輝 (東海大学情 報理学部)	2018	バイオビュ ー株式会社			伊藤超音波 株式会社			
	2019	バイオビュ ー株式会社			伊藤超音波 株式会社			
	2020	バイオビュ ー株式会社			株式会社 Alivas			
逆井 達也 (国立がん研 究センター中 央病院)	2020						伊藤忠商事 株式会社	
茂松 直之 (慶應義塾大 学医学部)	2018				日本電子応 用株式会社			
澁谷 景子 (大阪市立大 学大学院)	2019			アストラゼネ カ株式会社				
神宮 啓一 (東北大学大 学院)	2019			株式会社バ リアンメディ カルシステ ムズ				
	2020			株式会社バ リアンメディ カルシステ ムズ		日本電子応 用株式会 社, エレクタ 株式会社		
千葉 貴仁 (国立がん研 究センター中 央病院)	2020						伊藤忠商事 株式会社	
西岡 史絵 (京都第二赤 十字病院)	2020						伊藤忠商事 株式会社	

【参考文献】

- 1) 日本磁気共鳴医学会. 臨床 MRI 安全運用のための指針. Available from:
<https://www.jsmrm.jp/uploads/files/guideline/rinshoMRIunyoshishin20200319.pdf>.
- 2) 日本放射線腫瘍学会 QA 委員会. 強度変調放射線治療における物理・技術的ガイドライン
2011 2011. Available from:
<https://www.jastro.or.jp/customer/guideline/2016/10/IMRT2011.pdf>.

- 3) 日本医学物理学会, 日本高精度放射線外部照射研究会, 日本放射線技術学会, 日本放射線腫瘍学会. 呼吸性移動対策を伴う放射線治療に関するガイドライン 2019. 2019. Available from: <https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/guideline/kokyu2019.pdf>.
- 4) 日本医学物理学会, 日本放射線技術学会, 日本放射線腫瘍学会. 画像誘導放射線治療の臨床施行のためのガイドライン 2019. 2019. Available from: <https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/guideline/igrt2019.pdf>.
- 5) 日本放射線腫瘍学会. 体幹部定位放射線治療ガイドライン. Available from: <https://www.jastro.or.jp/customer/guideline/2016/10/SRT.pdf>.
- 6) 日本放射線腫瘍学会, 日本医学放射線学会, 高精度外部放射線治療研究会. 強度変調放射線治療(IMRT)ガイドライン. 2008. Available from: <https://www.jastro.or.jp/customer/guideline/2016/10/imrt.pdf>.
- 7) Bertholet J, Anastasi G, Noble D, Bel A, van Leeuwen R, Roggen T, et al. Patterns of practice for adaptive and real-time radiation therapy (POP-ART RT) part II: Offline and online plan adaption for interfractional changes. *Radiother Oncol.* 2020;153:88-96.
- 8) Henke LE, Contreras JA, Green OL, Cai B, Kim H, Roach MC, et al. Magnetic Resonance Image-Guided Radiotherapy (MRIgRT): A 4.5-Year Clinical Experience. *Clin Oncol (R Coll Radiol).* 2018;30(11):720-7.
- 9) 稲葉浩二, 井垣浩, 西岡史絵, 岡本裕之, 三浦悠記, 逆井達也, et al. MR 画像誘導放射線治療の初期報告. *臨床放射線.* 2018;63(9):1015-20.
- 10) de Mol van Otterloo SR, Christodouleas JP, Blezer ELA, Akhlat H, Brown K, Choudhury A, et al. The MOMENTUM Study: An International Registry for the Evidence-Based Introduction of MR-Guided Adaptive Therapy. *Front Oncol.* 2020;10:1328.
- 11) Gungor G, Serbez I, Temur B, Gur G, Kayalilar N, Mustafayev TZ, et al. Time Analysis of Online Adaptive Magnetic Resonance-Guided Radiation Therapy Workflow According to Anatomical Sites. *Pract Radiat Oncol.* 2021;11(1):e11-e21.
- 12) Cai B, Li H, Yang D, Rodriguez V, Curcuru A, Wang Y, et al. Performance of a multi leaf collimator system for MR-guided radiation therapy. *Med Phys.* 2017;44(12):6504-14.
- 13) Michael Gach H, Curcuru AN, Wittland EJ, Maraghechi B, Cai B, Mutic S, et al. MRI quality control for low-field MR-IGRT systems: Lessons learned. *J Appl Clin Med Phys.* 2019;20(10):53-66.
- 14) 磁気共鳴画像診断装置－基礎安全及び基本性能. JIS Z 4951.
- 15) 日本画像医療システム工業会. MR 検査室入室前のチェックリスト.
- 16) Malkov VN, Rogers DWO. Sensitive volume effects on Monte Carlo calculated ion chamber response in magnetic fields. *Med Phys.* 2017;44(9):4854-8.
- 17) Meijssing I, Raaymakers BW, Raaijmakers AJ, Kok JG, Hogeweg L, Liu B, et al. Dosimetry for the MRI accelerator: the impact of a magnetic field on the response of a Farmer NE2571 ionization chamber. *Phys Med Biol.* 2009;54(10):2993-3002.
- 18) O'Brien DJ, Roberts DA, Ibbott GS, Sawakuchi GO. Reference dosimetry in magnetic fields: formalism and ionization chamber correction factors. *Med Phys.* 2016;43(8):4915.
- 19) Reynolds M, Fallone BG, Rathee S. Dose response of selected ion chambers in applied homogeneous transverse and longitudinal magnetic fields. *Med Phys.* 2013;40(4):042102.
- 20) Smit K, van Asselen B, Kok JG, Aalbers AH, Lagendijk JJ, Raaymakers BW. Towards reference dosimetry for the MR-linac: magnetic field correction of the ionization chamber reading. *Phys Med Biol.* 2013;58(17):5945-57.
- 21) Spindeldreier CK, Schrenk O, Bakenecker A, Kawrakow I, Burigo L, Karger CP, et al. Radiation dosimetry in magnetic fields with Farmer-type ionization chambers: determination of magnetic field correction factors for different magnetic field strengths and field orientations. *Phys Med Biol.* 2017;62(16):6708-28.

- 22) van Asselen B, Woodings SJ, Hackett SL, van Soest TL, Kok JGM, Raaymakers BW, et al. A formalism for reference dosimetry in photon beams in the presence of a magnetic field. *Phys Med Biol*. 2018;63(12):125008.
- 23) 日本医学物理学会. 基準ビームデータを使用した 放射線治療装置及び放射線治療計画装置の導入に関するガイドライン. 2020. Available from: https://www.jsmp.org/wp-content/uploads/guideline_beamdata.pdf.
- 24) Weygand J, Fuller CD, Ibbott GS, Mohamed AS, Ding Y, Yang J, et al. Spatial Precision in Magnetic Resonance Imaging-Guided Radiation Therapy: The Role of Geometric Distortion. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2016;95(4):1304-16.
- 25) Tijssen RHN, Philippens MEP, Paulson ES, Glitzner M, Chugh B, Wetscherek A, et al. MRI commissioning of 1.5T MR-linac systems – a multi-institutional study. *Radiother Oncol*. 2019;132:114-20.
- 26) 日本放射線腫瘍学会. 放射線治療における非剛体画像レジストレーション利用のためのガイドライン 2018 年版. 2018. Available from: https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/guideline/dir_v3.pdf.
- 27) 厚生労働省. 医療情報システムの安全管理に関するガイドライン 第 5.1 版. 2021. Available from: <https://www.mhlw.go.jp/content/10808000/000730541.pdf>.
- 28) 日本放射線技術学会. 画像情報の確定に関するガイドライン 第 2.1 版. 2014. Available from: https://www.jsrt.or.jp/97mi/content/guideline/kakutei_guideline_ver2.1.pdf.
- 29) American College of Radiology. Magnetic Resonance Imaging Quality Control Manual. 2015.
- 30) Klein EE, Hanley J, Bayouth J, Yin FF, Simon W, Dresser S, et al. Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators. *Med Phys*. 2009;36(9):4197-212.
- 31) Huq MS, Fraass BA, Dunscombe PB, Gibbons JP, Jr., Ibbott GS, Mundt AJ, et al. The report of Task Group 100 of the AAPM: Application of risk analysis methods to radiation therapy quality management. *Med Phys*. 2016;43(7):4209.

別紙1 放射線治療室に持ち込みの注意が必要とされる周辺機器

● 放射線治療実施時

持ち込みできない周辺機器

- 金属類(遮蔽ブロック, 眼の水晶体遮蔽用コンタクトなど)
- 金属成分が含まれる皮膚マーカ用インク

持ち込み時, 確認が必要な周辺機器

- 固定具^注
- ボラス
- マウスピース
- In-vivo 線量計

● 品質管理実施時

持ち込み時, 確認が必要な周辺機器

- 定規^注
- 水準器
- 温度計
- 気圧計
- 電位計
- 信号ケーブル^注
- 電離箱^注
- 多次元検出器^注
- サーベイメータ
- その他の線量計(線量測定用フィルム, ガラス線量計など)
- 水ファントム^注
- 固体ファントム

その他

- 電子カルテ等の端末(モニターも含む)
- ストレッチャー^注
- 車椅子^注
- 点滴台^注

注: 別紙1の作成時に, MRI対応の製品が確認されているもの。これらについての持ち込みは可能である。

初版 2021年10月30日