

平成22・23年度 研究援助課題 最終報告書

研究課題名

(和文) 高精度外部放射線治療の品質保証・品質管理システムの構築

(英文) Establishment of QA/QC systems for Precision External Radiation Therapy

研究代表者 (ふりがな)

岡本 裕之 (おかもと ひろゆき)

所属・職名

国立がん研究センター中央病院 放射線治療科 医学物理士

住所

〒104-0045 東京都中央区築地5-1-1

連絡先

03-3542-2511 (内線 3767), hiokamot@ncc.go.jp

班員 (五十音順)

| | |
|--------|---|
| 大友 結子 | がん研究会有明病院放射線治療部 |
| 岡本 裕之 | 国立がん研究センター中央病院放射線治療科 |
| 角谷 倫之 | 東北大学放射治療科医学物理室 |
| 河内 徹 | 千葉県がんセンター放射線治療部物理室 |
| 木藤 哲史 | がん・感染症センター都立駒込病院放射線物理室 |
| 熊崎 祐 | 埼玉医科大学国際医療センター放射線腫瘍科 |
| 黒岡 将彦 | 神奈川県立がんセンター医療評価安全部放射線治療品質保証室 |
| 黒河 千恵 | 順天堂大学大学院医学研究科臨床腫瘍学 |
| 小島 徹 | 千葉県がんセンター放射線治療部物理室 |
| 佐々木 浩二 | 磐田市立総合病院医療技術部医学物理室 |
| 塩田 泰生 | 静岡県立静岡がんセンター放射線治療科 |
| 橘 英伸 | University of Texas Southwestern Medical Center |
| 辰己 大作 | 大阪市立大学医学部附属病院中央放射線部 |
| 遠山 尚紀 | 千葉県がんセンター放射線治療部物理室 |
| 中村 光宏 | 京都大学大学院医学研究科放射線腫瘍学・画像応用治療学 |
| 橋本 慎平 | がん・感染症センター都立駒込病院放射線物理室 |
| 畑中 星吾 | 聖路加国際病院放射線腫瘍科 |
| 林 直樹 | 藤田保健衛生大学医療科学部放射線学科 |
| 藤田 幸男 | 東北大学大学院医学系研究科 |
| 古谷 智久 | がん・感染症センター都立駒込病院放射線物理室 |
| 宮浦 和徳 | 埼玉医科大学国際医療センター放射線腫瘍科 |
| 宮下 久之 | 東京都健康長寿医療センター |
| 宮部 結城 | 京都大学大学院医学研究科放射線腫瘍学・画像応用治療学 |
| 山田 聖 | 鳥取大学医学部附属病院放射線部 |
| 脇田 明尚 | 国立がん研究センター中央病院放射線治療科 |

研究業績

① 書籍

- 1) 岡本裕之, 黒岡将彦, 宮浦和徳, 脇田明尚, 遠山尚紀, 熊崎祐, 他「仮 高精度放射線治療における精度管理法とビームデータ測定技術」, 中外医学社, 2012年 秋出版予定.

② 学会誌

- 1) 脇田明尚, 橋本慎平, 河内徹, 小島徹, AAPM TG-106 和訳本「仮 医療加速器におけるビームデータコミッショニングの技術と手順」日本医学物理学学会会誌 出版予定 2012年内に出版予定.

③ 学術大会発表

- 1) 岡本裕之「高精度外部放射線治療の品質保証・品質管理システムの構築」, 第101回日本医学物理学術大会, 横浜, 2011年4月
- 2) 古谷智久「リニアックの運用, QAにおけるピットフォール」, 日本放射線腫瘍学会第24回学術大会, 神戸, 2011年11月
- 3) 畑中星吾「MLCの精度管理からみたIMRTのリスクマネジメント」, 日本放射線腫瘍学会第24回学術大会, 神戸, 2011年11月
- 4) 林直樹「画像誘導装置に関するリスク解析」, 日本放射線腫瘍学会第24回学術大会, 神戸, 2011年11月
- 5) 宮下久之「ビームデータ測定におけるエラーとその対策」(優秀演題賞 受賞) 日本放射線腫瘍学会第24回学術大会, 神戸, 2011年11月
- 6) 岡本裕之「TG-142レポートに基づく放射線治療装置の包括的QAプログラムの構築」, 第103回日本医学物理学術大会, 横浜, 2012年4月
- 7) 黒岡将彦「TG-142レポートに基づく強度変調放射線治療の包括的QAプログラムの構築」, 第103回日本医学物理学術大会, 横浜, 2012年4月
- 8) 宮浦和徳「TG-142レポートに基づく画像誘導放射線治療の包括的QAプログラムの構築」, 第103回日本医学物理学術大会, 横浜, 2012年4月
- 9) 脇田明尚「TG-106レポートに基づくビームデータ測定の包括的QAプログラムの構築」, 第103回日本医学物理学術大会, 横浜, 2012年4月

④ がんプロフェッショナル養成プラン (主催: 首都大学東京)

- 1) 2011年2月19日(土) がんプロフェッショナル養成プラン 主催: 首都大学東京, 共催: 本研究班 場所 首都大学東京荒川キャンパス. 以下, プログラムを示す.

| 講師 | 内容 |
|------|-----------------|
| 岡本裕之 | 治療装置のQA/QC |
| 古谷智久 | |
| 畑中星吾 | IMRTのQA/QC |
| 熊崎祐 | |
| 辰己大作 | |
| 黒河千恵 | IGRT・呼吸同期のQA/QC |
| 橋下慎平 | |
| 宮部結城 | |
| 中村光宏 | |

- 2) 2012年3月10日(土) がんプロフェッショナル養成プラン 主催：首都大学東京，共催：本研究班 場所 首都大学東京荒川キャンパス．以下，プログラムを示す．

| 講師 | 内容 |
|---|----------------|
| 岡本裕之 | 研究班の概要 |
| 第I部 実経験に基づく精度管理の必要性を示した事例とリスク解析 | |
| 古谷智久 | 放射線治療装置 |
| 畑中星吾 | 強度変調放射線治療 |
| 林直樹 | 画像誘導放射線治療 |
| 宮下久之 | ビームデータ測定 |
| 第II部 AAPM report Task Group 142に基づいた精度管理法 | |
| 角谷倫之 | 放射線治療装置の精度管理 |
| 山田聖 | 強度変調放射線治療の精度管理 |
| 宮浦和徳 | 画像誘導放射線治療の精度管理 |
| 小島徹 | ビームデータ測定 |

高精度外部放射線治療の品質保証・品質管理システムの構築

研究援助課題 研究代表

国立がん研究センター中央病院 放射線治療科 医学物理士 岡本 裕之

1. はじめに

放射線治療は、90年代前半からコンピュータの発展とともに技術革新が進み、強度変調放射線治療 (IMRT, Intensity Modulated Radiation Therapy), 定位放射線治療 (SRS/SBRT, Stereotactic Radiosurgery, Stereotactic Body Radiation Therapy), 画像誘導放射線治療 (Image Guided Radiation Therapy)を代表とする、高精度な放射線治療が実現可能となった。一方で、放射線治療は、コンピュータ制御の依存度が高まり、プロセスのブラックボックス化・複雑化が生じている。このような高精度放射線治療を安全に遂行するために、精度管理担当者に課せられる責務は非常に大きい。その責務を果たすため、リスクに対する意識、スタッフ間の連携、そして日々刻々と変化する放射線治療に対して柔軟な対応と論理的な思考が求められる。

1994年に、米国医学物理学会 (AAPM, American Association of Physicists in Medicine) から、はじめて包括的な放射線治療装置の精度管理に関するガイドライン、タスクグループ 40 が刊行された¹⁾。しかし、タスクグループ 40 では、IMRT・SRS/SBRT・IGRTなどの新照射技術に対応しておらず、長年これらの新照射技術の精度管理は、施設独自で試行錯誤の状態が続いた。2009年にタスクグループ 142 が刊行され、精度管理項目と許容値が照射技術別に整理され、自施設の照射法に対応した精度管理プログラムが策定可能となった²⁾。ただしTG-142レポートも体系的にまとめたガイドラインであるため、具体的な精度管理法については記載されていない。そのため、品質管理担当者を中心としたスタッフの絶え間ない努力により、各施設試行錯誤の状況の中精度管理法が構築されている。

また、本邦における問題点として、検出器や測定システムが多様化している状況の中、ビームデータ測定技術を体系的にまとめた実用書が少ないことが挙げられる。ビームデータ測定は、放射線治療計画装置の計算精度を決める重要な作業の1つである。2008年に刊行されたビームデータ測定技術に関するガイドライン、AAPMタスクグループ 106³⁾によると、ビームデータの精度は、正しい知識、適切な機器を用いれば、測定者間や測定システム間に依存するものではないと述べられている。しかし、検出器の物理特性を十分に把握せず、機器を誤って取り扱えば、正しいビームデータは取得できない。その後、誤ったビームデータを放射線治療計画装置に登録し、放射線治療計画装置を臨床使用すれば、患者に多大な影響を与える。

このような世界的な動向と国内の問題点に対応すべく、平成22年度に、日本医学物理学会の研究援助を受け、「高精度外部放射線治療の品質保証・品質管理システムの構築」を発足した。本研究は、タスクグループ 142, 106を参考にして、放射線治療装置の精度管理とビームデータにおける測定技術の2つをテーマに、班員が実際に取り組んでいる精度管理法、そして班員が培ったビームデータ測定技術法を収集・整理し、臨床現場で活用される実用書を出版することを目的とした。特に、班員は放射線治療装置の立ち上げ・精度管理・ビームデータ測定の経験を有している医学物理士や放射線治療品質管理士が中心であることから、臨床現場で直面する問題に対する対策や安全な放射線治療を提供するための方策を中心として研究を進めた。

2. 方法

班員 25 人, 18 施設 (Elekta 社, Varian 社, Siemens 社) を照射技術別 (通常照射, IMRT, IGRT) とビームデータ測定技術の 4 つの班に分け, 施設で取り組んでいる精度管理法とこれまでに臨床現場で培ったビームデータ測定技術を収集・整理した. 放射線治療装置の精度管理に関しては, タスクグループ 142 で示されている項目の精査を行い, 項目別に班員から収集した精度管理法から, “効率”と“精度”について検討を行った. また, どの施設でも実施でき, かつ効率的な精度管理法を班員から収集した. またベンダー間で異なる仕様がある場合には, 精度管理法の違いなどにも注目した. さらに, 精度管理用機器を誤って取り扱ってしまう場合には予期せぬ結果を招くものがあり, 班員から正しい精度管理用機器の取り扱いについて収集した. ビームデータ測定に関しては, 測定前の準備からベンダーにビームデータを提出するまでの一連の流れを網羅できるように, その中で必要とされる物理学的な知識やビームデータ測定技術を班員から収集した.

班員が実際に経験した, 精度管理の必要性を示した事例 (エラー) についても照射技術別 (通常照射, IMRT, IGRT) とビームデータ測定技術の 4 つの班で収集した. このようなエラーに関する情報は, 特に本邦では閉鎖的な風土や気風があるため, 限られた機会ではしか共有できない. しかし, このような情報を共有することにより, スタッフ個々のリスクに対する意識改革と, 将来同ジエラーを起こさないための防止策として期待できる. WHO (World Health Organization), IAEA (International Atomic Energy Agency), ICRP (International Commission on Radiological Protection) においても, 世界中で実際に起きた放射線治療事故をまとめており, 放射線治療における品質管理体制の目指すべき方向性が示されている^{4,7)}. 図 1 に本研究の進め方を模式化する.

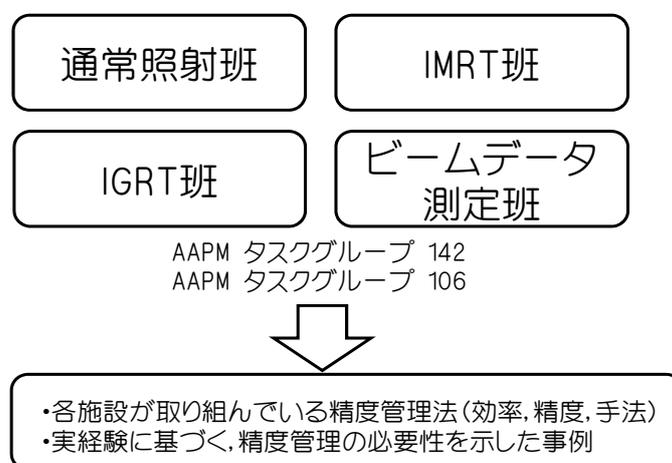


図1. 本研究の方針

3. 結果

精度管理用機器の取り扱い

班員から精度管理用機器の適切な取り扱い方法について収集した. 図2(a)では, 水準器, 図2(b)ではフロントポインタを示している. 水準器については, 物理的な衝撃により, 接地面に傷が付き検出器自体に傾きが生じている可能性がある. したがって使用する前に, 図中に示すように検出器の向きを変え, 同じ結果 (気泡式水準器の場合には, 同じ位置に気泡がくる) が得られるかを確認する. 図2(b)に示されているフロントポインタは, 100 cmの距離を物理的に定義している

器具として各ベンダーが提供している。調整されていれば、レーザの高さや光学距離計の指示値の確認、コリメータ・ガントリの回転中心精度が検証できるなど、非常に有用な精度管理機器である。しかし、物理的な衝撃で容易にフロントポインタが指示するアイソセンタが変位してしまうので注意が必要である。

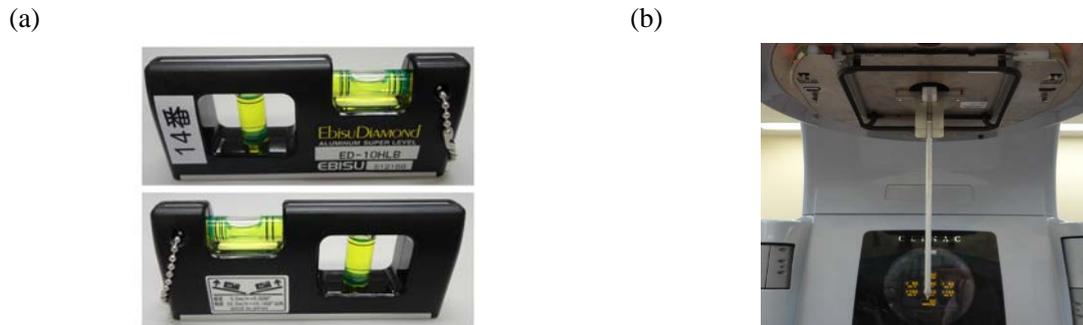


図2. 精度管理用機器の正しい取り扱いの例。(a)気泡式水準器、使用前に検出器の向きを変え、気泡が同じ位置に示すことを確認。(b) フロントポインタ。各ベンダーで取り扱いに違いがある。

精度管理法の評価

タスクグループ142では、精度管理法自体の評価についても言及している。精度管理を行う前に事前に精度管理の検出能を評価することが推奨されており、検出器を用いた場合については、その評価の指標として、 2σ （標準偏差）が許容値以下であることを確認すべきと示されている。これは検出器を用いた精度管理に限ったことではなく、図3に示すように、視覚的評価が伴う精度管理についても、人為的に誤差を伴った条件を再現させ、実施者の検出能を評価する必要がある。図3(a)では、フィルムを用いた光照射野と実照射野の確認であり、人為的にプライマリーコリメータであるJawを2 mm変位させている。図3(b)では、気泡式水準器を用いたガントリの角度表示の検証を示しており、人為的にガントリを1度変位させた場合の気泡の変位を示している。図3(c)では、アイソセンタ位置を検証するために用いられるコリメータ回転中心のスポークショット（スターショット）を示しており、ある角度からのスリットフィールドのみ人為的にフィルムを1 mmと2 mmシフトさせている。得られた像から、異常が検出できるかを評価する。

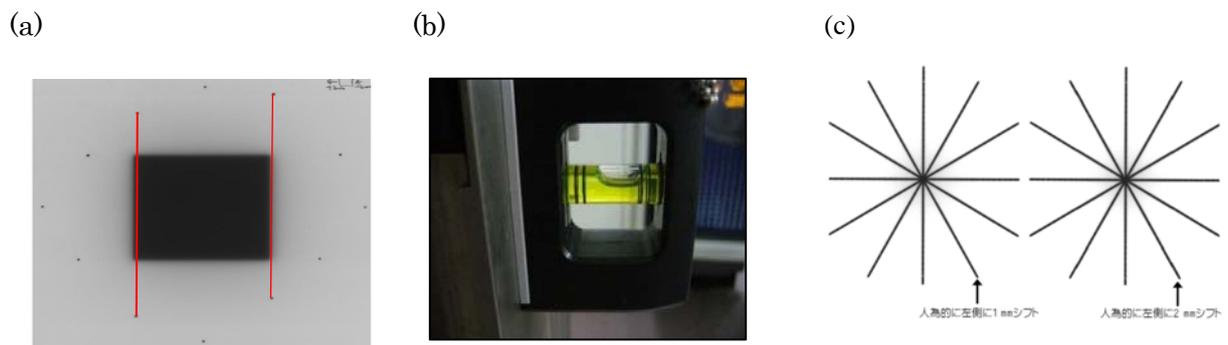


図3. 精度管理法の検出能の評価の例。(a)フィルムを用いた光照射野と実照射野の確認。人為的にX方向のJawを2 mmずらしている。(b)気泡式水準器を用いたガントリの角度表示の検証。ガントリを人為的に1度傾けている。(c)コリメータ回転中心におけるスポークショット。矢印のスリットフィールド照射時に、フィルムを人為的に1 mmと2 mm変位させている。

効率的な精度管理法

放射線治療の精度管理は継続的に実施する必要がある。そのため、実施者は“効率”について検討しなければならない。無論、エラーが検出器できることを第一に考える必要はある。ここでは班員から収集した“効率”を重視した精度管理の例を図4に示す。図4(a)は、壁に示されているレーザの位置に印を置き、その印とレーザとの変位を日常的に確認できる。図4(a)の左図はレーザが変位している場合、右図は一致している場合である。図4(b)は、Wedgeの設置精度の検証を示している。マウントの表面とWedge本体にマーキングし、Wedgeを設置する際に両者の印が一致していることを確認することにより、日常的にWedgeの設置精度を評価することができる。図4(c)は、プロファイルの対称性の評価を示している。2次元検出器を所有していない施設でも、対称点の電荷量の比を取得することによりプロファイルの対称性を評価できる。図4(d)は、イメージングプレートを用いたスポークショットを示している。今日、フィルムレス化の時代の流れにより、自動現像機を所有できない施設が増えてきた。イメージングプレートを用いたスポークショットは、そのような時代にも対応できる精度管理法である。

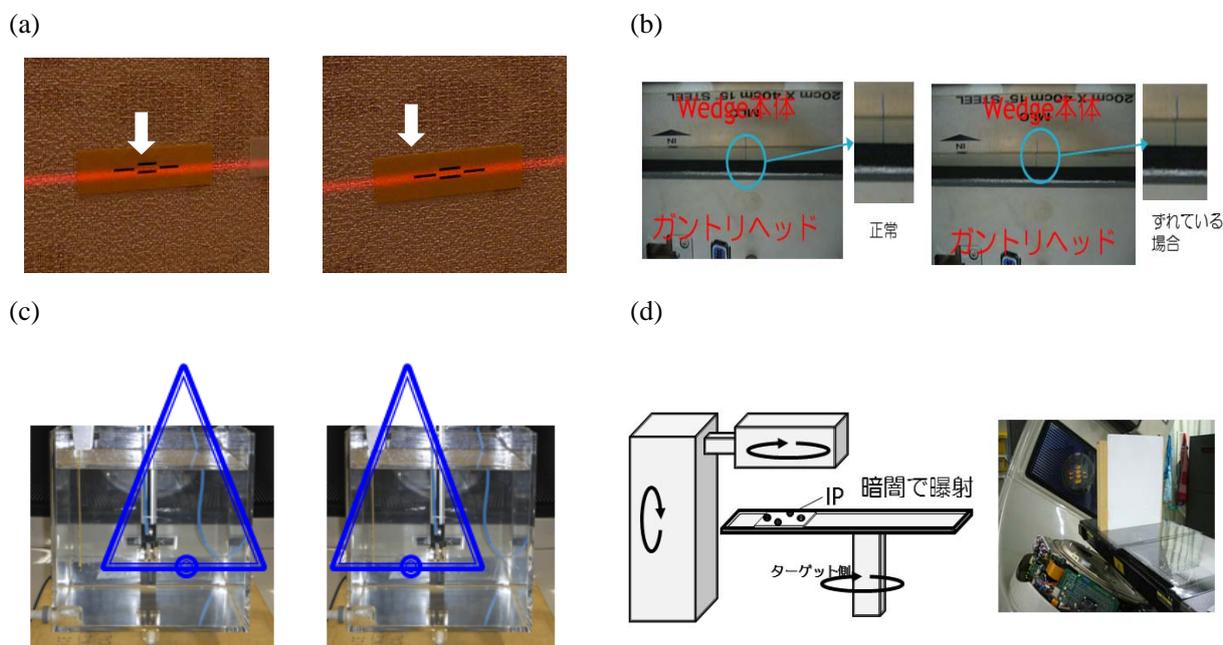


図4. 効率的な精度管理法. (a)壁に示されているレーザの位置に印を置き、その印とレーザとの変位を日常的に確認する。左はずれている場合。(b)Wedgeの設置精度の確認。マウントの表面とWedgeにマーキングし、設置する際に両者の印が一致するかを確認する。(c)プロファイルの対称性の評価。2次元検出器を用いなくても、対照点の電荷量の比を取得することにより評価可能。(d)イメージングプレートを用いたスポークショット。自動現像機を所有していなくても実施可能。

ビームデータ測定技術

班員から、ビームデータ測定前の準備からベンダーに提出するまでの一連の流れにおいて、必要とされる物理学的な知識・測定技術について収集した。表1にビームデータ測定における重要な項目を示す。測定を行う際には、検出器の物理的な特性について把握する必要がある。例えば、電離箱においても有感体積のサイズから見ると、標準型 (0.6 cm³)、ミニ型 (0.1 cm³)、マイク

ロ型 (0.01 cm³) の3つに分けられる。測定目的において使い分ける必要がある。また検出器の種類としては、電離箱、半導体検出器、フィルムなどがあり、それぞれの検出器で異なる物理特性を持つ。これについても、使用前に把握しておかなければならない。ビームデータ測定前の準備で行うべきことは、測定条件の確認、ファイル名の指定、検出器・ファントムの選定、時間の見積もり、測定スケジュールの作成が挙げられる。測定においては、3次元水ファントムのセットアップ法、動作確認、適切なスキャンパラメータについて挙げられた。測定後においては、ビームデータの確認方法と適切なスムージング処理、ビームデータのバックアップ方法、データの管理、報告書の作成について挙げられた。

表1 ビームデータ測定における重要な項目

| |
|--|
| 測定前の準備 |
| ファイル名の指定、ファントム・検出器の選定、測定条件の確認、 時間の見積もり、測定スケジュールの作成 |
| 測定 |
| 3次元水ファントムのセットアップ法と動作確認、適切な人員体制、適切なスキャンパラメータ、 照射条件による適切な検出器の使用 |
| 測定後 |
| ビームデータの確認方法、スムージング処理、データのバックアップ、 データの管理、報告書の作成 |

実経験に基づく精度管理の必要性を示した事例

表2に、班員から収集した放射線治療装置の事例（エラー）の内訳を示す⁸⁾。日常の精度管理を実施して検出したエラー19件と精度管理実施における手技の誤りより発生したエラー11件の2つに分類した。前者には、許容値を超える偶発的なエラー12件、およびベンダーメンテナンス直後の不具合によるエラー7件も含まれていた。具体的には、寝台座標系の予期せぬ誤表示、十字板のずれ、Wedgeの設置精度の劣化などが挙げられた。後者のエラーに関しては、実施者の習練不足が原因と考えられる、精度管理機器の不適切な操作などが挙げられた。この結果は、熟練させる目的という点においても、定期的な精度管理の必要性を明らかにした。精度管理の責任はユーザーにあり、ベンダーが実施する定期点検やメンテナンス内容について把握する必要がある。

表2 放射線治療装置における班員により収集した事例（エラー）⁸⁾

| エラーの内容 | 件数 |
|--------------------------|-----|
| ・日常の精度管理を実施して発見したエラー | 19件 |
| ・許容値を超える偶発的なエラー | 12件 |
| ・メンテナンス直後に発生するエラー | 7件 |
| ・精度管理機器の不適切な使用により発生したエラー | 11件 |

表3に、班員から収集したIMRTにおけるエラーの内訳を示す⁹⁾。エラー情報分析の結果から、MLCに関するエラーは、IMRT導入時が4件となり、dosimetric leaf gapのコミッショニング不足などが挙げられた。日常臨床においては、Jawのキャリブレーションミスやリーフモータ劣化に

における不十分な検証が報告された。メンテナンスや MLCのバージョンアップ（ハードウェア・ソフトウェア）に関しては1件、経時的劣化は4件となった。ほとんどがリーフ駆動系の機器的原因によるものであった。定期的な精度管理だけでなく、メンテナンス直後などのイベント時には通常のスケジュールとは別途で精度管理を実施することが重要であることが示唆される。

表3 IMRTにおける班員により収集した事例（エラー）⁹⁾

| 事例の内容 | 件数 |
|------------------------|-----|
| ・IMRT 導入時 | 4 件 |
| ・日常臨床 | 4 件 |
| ・メンテナンス・修理交換・バージョンアップ後 | 1 件 |
| ・経時的変化 | 2 件 |

表4に、班員から収集したIGRTにおけるエラーの内訳を示す¹⁰⁾。IGRTにおいては多種多様のモダリティがあるため、モダリティ別に分類した。しかし、共通なエラーとしては、照合系座標中心と照射系座標中心の不一致や画像のスケーリングに関するものが含まれていた。また、人為的エラーが原因と考えられる項目として、操作手順に対する認識不足や観察者間の違いによる位置照合ミスに関するものであった。モダリティごとの共通項目や相違項目、またすべての装置における共通項目が明瞭となり、これらのエラーに対応した効率性と安全性を有した包括的な精度管理プログラムの必要性が明らかとなった。

表4 IGRTにおける班員により収集した事例（エラー）¹⁰⁾

| 事例の内容 | 件数 |
|-------------------|-----|
| ・kV-image におけるエラー | 2 件 |
| ・EPID におけるエラー | 1 件 |
| ・CBCT におけるエラー | 5 件 |
| ・On rail CT | 1 件 |
| ・超音波装置 | 3 件 |
| ・その他 | 3 件 |

表5に、ビームデータ測定における収集したエラーを示す¹¹⁾。ビームデータ測定前の確認により発見されたエラーが5件で、線量計の破損、ケーブル接合部での漏電が報告された。検出器の選択ミスなどによって生じたエラーは4件で、少照射野の出力係数やコリメータ散乱係数などの特殊な照射条件下で、実施者の不十分な知識により生じた。3次元水ファントムの操作方法などによって生じたエラーは12件で、小照射野測定における軸ずれ、ケーブル照射による線量プロファイルの非対称化、リファレンス線量計の設置ミスなどの失敗例が挙げられた。ノンスキャンデータに関しては、出力係数を取得する際の検出器の選択や測定方法、基準とする照射野などのエラーが報告された。測定データの確認・管理の際に生じたエラーは5件で、解析、データ処理の誤りなどが主だった。これらの結果は、単純な機器の操作ミスと、測定方法の理解不足によるものに大きく分類することができた。操作ミスに関しては、ビームデータ測定前の機器使用法の習熟および事前の測定計画立案の重要性が示された。一方で、測定方法の理解不足に対しては、前述のとおり、測定に関する知識を有するスタッフの必要性が示された。これらのエラー報告の解

析と TG-106 による技術的資料を組み合わせることで、より臨床現場で使用しやすいプログラムを構築することが可能であると考えられる。

表5 ビームデータ測定における班員により収集した事例（エラー）¹¹⁾

| 事例の内容 | 件数 |
|-----------------------------|------|
| ・ビームデータ測定前の確認により発見されたエラー | 5 件 |
| ・検出器の選択ミスなどによって生じたエラー | 4 件 |
| ・3次元水ファントムの操作方法などによって生じたエラー | 12 件 |
| ・測定データの確認・管理の際に生じたエラー | 5 件 |

4. 結論

TG-142レポートにも示されているように、複雑化している放射線治療を安全に遂行するためには、効率や照射目的なども考慮して、施設の条件に見合った継続可能な精度管理プログラムを構築する必要がある。本研究では、班員の多くが臨床現場で放射線治療の精度管理を主に従事しているため、現場で実際に起きていること・他施設でも共有すべき有用な情報・ベンダー間での精度管理法の違い・そして効率的な精度管理法を収集できた。ビームデータ測定に関しても、これまで班員により培った測定技術が収集でき、測定の際のピットフォールを整理することができた。

また本研究では、班員が実際に経験した事例（エラー）を照射別に収集した。得られたエラーからは、精度管理機器を誤って取り扱った事例や機械的な原因により生じた事例など、多くの原因から誘発した事例が得られた。これらの情報を多施設が共有することにより、将来同じエラーを未然に防止することができると考える。今後も、高精度放射線治療を代表として高度な知識と技術が求められる放射線治療を安全に遂行するためには、施設で蓄積している知見や技術を共有していく必要がある。

本研究の成果は、精度管理を行う上で、多くの施設で共有すべき情報が含まれていた。これまで日本医学物理学会・日本放射線腫瘍学会の学術大会やがんプロフェッショナルセミナーを通して、臨床現場にフィードバックを図った。本研究の成果をより広域に展開すべく、高精度放射線治療の精度管理法をテーマにした解説書を今年の秋に中外学社より出版する予定である「仮 高精度放射線治療における精度管理法とビームデータ測定技術」¹²⁾。特にこの解説書は、臨床現場で活用されることを目標に内容の構成などを十分に検討した。またメーカーの協力を得て、本邦で市販されている全ての精度管理用機器を写真で掲載した。さらに本研究で参考としたガイドライン TG-142 と TG-106 の和訳本についても出版することが決定した^{13,14)}。これらの成果物が、各施設における安全で高精度な放射線治療を患者へ提供するための一助となることを切に願う。

5. 結語

TG-142レポートにも示されているように、複雑化している放射線治療を安全に遂行するためには、効率や照射目的なども考慮して、自施設の環境に見合った精度管理プログラムの構築が必要である。本研究で得られた成果は、精度管理を行う上で、多くの施設で共有すべき情報である。今年の秋に出版する解説書は、自施設の精度管理プログラムの策定のための参考資料として広く活用されるだろう。

参考文献

- 1) Kutcher GJ, “Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40, Med. Phys. 1994; 21: 581–618.
- 2) AAPM Task Group No. 142. Quality assurance of medical accelerators, Med. Phys. 2009; 36: 4197-4212.
- 3) Das IJ, Cheng CW, Watts RJ, et al. Accelerator beam data commissioning equipment and procedures: Report of the TG-106 of the Therapy Physics Committee of the AAPM. Med Phys. 2008; 35: 4186-4213.
- 4) World Health Organization. Radiotherapy Risk Profile: technical manual. Geneva: WHO; 2009.
- 5) International atomic energy agency: Safety Reports Series No. 17 -lessons learned from Accidental exposure in radiotherapy-: IAEA VIENNA; 2000.
- 6) International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 86. Prevention of accidental exposures to patients undergoing radiation therapy. Ann ICRP 2000; 30: 1-86.
- 7) International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 112. Preventing accidental exposures from new external beam radiation therapy technologies. Ann ICRP 2009; 39: 1-86.
- 8) 岡本裕之, 古谷智久, 遠山尚紀, 他 : TG-142レポートに基づく放射線治療装置の包括的QAプログラムの構築, Japanese Journal of Medical Physics. 2012; 32: 173.
- 9) 黒岡将彦, 畑中省吾, 辰己大作, 他 : TG-142レポートに基づく強度変調放射線治療の包括的QAプログラムの構築, Japanese Journal of Medical Physics. 2012; 32: 174.
- 10) 宮浦和徳, 林直樹, 大友結子, 他 : TG-142レポートに基づく画像誘導放射線治療の包括的QAプログラムの構築, Japanese Journal of Medical Physics. 2012; 32: 175.
- 11) 脇田明尚, 宮下久之, 小島徹, 他 : TG-106レポートに基づくビームデータ測定の包括的プログラムの構築, Japanese Journal of Medical Physics. 2012; 32: 177.
- 12) 岡本裕之, 黒岡将彦, 宮浦和徳, 脇田明尚, 遠山尚紀, 熊崎祐, 他「仮 高精度放射線治療における精度管理法とビームデータ測定技術」, 中外医学社, 2012年 秋出版予定.
- 13) 黒岡将彦, 熊崎祐, 角谷倫之, AAPM TG-142和訳本「医療用加速器の品質保証」 がん研究開発費 伊丹班 (23-A-13) 2012年内に出版予定.
- 14) 脇田明尚, 橋本慎平, 河内徹, 小島徹, AAPM TG-106 和訳本「仮 医療加速器におけるビームデータコミッショニングの技術と手順」日本医学物理学学会誌 出版予定 2012年内に出版予定.