

**強度変調放射線治療における
線量検証の標準化に向けた調査研究
(A survey towards standardization of
dosimetric verification in
intensity-modulated radiation therapy)**

日本医学物理学会 平成 24 年度研究援助課題 研究報告書

要 約

本研究の目的は、IMRT 実施施設における QA の実態をアンケート調査により把握し、IMRT QA の標準化に向けた基礎情報を提示することである。アンケートは「IMRT に関する臨床状況」、「治療計画装置・治療装置・ファントム・CT 撮影」、「吸収線量検証」、「線量分布検証」、「フルエンス分布検証」、「IMRT QA 結果の判定基準」、「フリーコメント」の 7 項目から構成した。IMRT を実施している 129 施設(有効回答率: 76.8%)から回答をいただき、集計した。

100 施設(77.5%)が IMRT QA の実施担当者を 3 人以上確保できていたが、品質管理を専ら担当する人数は 94 施設(72.9%)で 1 人以下であり、多くの施設で IMRT QA は他の業務と兼務しながら実施されていることがわかった。約 85%以上の施設で、Superposition 法相当以上の線量計算アルゴリズムが使用されていることが分かった。IMRT 照射法は、いずれの部位においても Dynamic MLC が約半数を占めていた。次いで Segmental IMRT, VMAT, Tomotherapy であった。吸収線量検証の全門評価はどの部位でもほとんどの施設で実施されていたが、各門評価は 60%程度の施設でしか実施されていなかった。線量分布検証に関して、各部位において全門評価は 90%以上、各門評価は 50%程度の施設で実施されていた。検証ツールはガフクロミックフィルムが主流であった。線量分布評価判定には、疾患部位を問わず 90%以上の施設がガンマ解析を、80%以上の施設が線量分布の視覚的評価を行っていた。ガンマ解析の判定基準は(線量差/DTA)=(3%/3mm)、パス率 90%以上としている施設が最多であった。フルエンス検証は 28 施設(21.7%)で実施されており、その評価は主にガンマ解析であった。QA 結果の判定基準としては、文献、学会推奨値等により設定しているが最も多く、次いで施設独自、他施設を参考に決められることが多かった。判定基準の根拠は蓄積した QA 結果を基に施設独自の基準を設定することが望まれるが、施設独自の判断基準を設けている施設は 60 施設(46.5%)にとどまった。これは、IMRT を始めて間もない施設は症例数が蓄積されておらず、施設独自の基準を設けることができないことが原因であると考えられる。また、122 施設(94.6%)が何らかの情報を参考にして判断基準を設定していることがわかった。IMRT QA 結果判定基準の逸脱原因としては、測定位置の不備が最も多く、次いで人為的ミス、測定機器の不具合であった。

本調査結果は IMRT QA がどのように行われているかを把握し、QA の標準化を目指す上で有用であると考えられる。

日本医学物理学会 平成 24 年度研究援助課題

「強度変調放射線治療における線量検証の標準化に向けた調査研究」

研究代表者	中村 光宏	京都大学
共同研究者	門前 一	京都大学
	佐藤 清香	京都大学
	宮部 結城	京都大学
	石原 佳知	京都大学
	椋本 宜学	京都大学
	秋元 麻未	京都大学
	小野 智博	京都大学
	伊良皆 拓	京都大学
	高宮 大義	京都大学
	宇都宮 悟	新潟大学
	椎木 健裕	山口大学

強度変調放射線治療における線量検証の標準化に向けた調査研究
(A survey towards standardization of dosimetric verification
in intensity-modulated radiation therapy)

目 次

まえがき	5
謝 辞	6
背 景	7
方 法	8
結 果	
1. IMRT に関する臨床状況	9
2. 治療計画装置・治療装置・ファントム・CT 撮影	36
3. 吸収線量検証	65
4. 線量分布検証	82
5. フルエンス分布検証	104
6. IMRT QA 結果の判定基準	108
7. フリーコメント集	121
付録 アンケート	付録

まえがき

本書は日本医学物理学会 平成 24 年度研究援助課題「強度変調放射線治療における線量検証の標準化に向けた調査研究」の報告書であり、その内容は IMRT 実施施設にアンケートを配布し、回答を集計したものである。アンケートに関しては付録を参照いただきたい。回答の中で、特に好ましくない回答に対しては、IMRT 物理 QA ガイドライン専門小委員会(日本放射線腫瘍学会 QA 委員会)より公開された「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」の記載を参考にしながら、注意喚起や警鐘を含む考察とさせていただいた。なお、フリーコメントの中には回答施設における対応法も記載されているが、当研究グループとして推奨している内容ではないので、ご注意いただきたい。

今後、IMRT を開始しようとしている施設や既に開始しているが他施設の状況を知りたいと思われる施設の一助となれば幸いである。

謝 辞

本活動に御理解，御協力を賜りました皆様には厚く御礼申し上げます。
本研究は日本医学物理学会 平成 24 年度課題研究助成を受けたものです。

背 景

IMRT は、放射線治療分野に飛躍的な進歩をもたらした革新的治療技術である。本邦では、2006 年 6 月に先進医療として採択され、その実績に基づき 2008 年 4 月から「前立腺、頭頸部、脳」に限定して保険収載された。さらに、同年 12 月にはこれら 3 部位以外の固形癌についても先進医療として認められ、2010 年 4 月からは保険収載されることとなった。2010 年に日本放射線腫瘍学会によって実施された全国放射線治療施設の定期構造調査[1]によると、IMRT 実施施設数は 136 施設であり、2007 年の定期構造調査と比較して 2.3 倍であった。また、IMRT 治療症例数も 2799 例から 6356 例とこちらも 2.3 倍となっており、今後も IMRT 実施数が増加すると予想される。

IMRT では、投与線量の不確かさを増大する因子が非 IMRT と比べて多いため、計画線量と投与線量には許容できない不一致が生じる場合がある。よって、国際的に全ての IMRT で QA が必要であるという見解が支持されている[2]。Nelms らが実施した米国 139 施設を対象としたアンケート調査によると、各施設の QA 方法や判定基準が大きく異なるだけでなく、施設によっては QA 判定に関する明確な基準が無い場合もあることが明らかとなった[3]。近年、本邦においても IMRT に関する講習会やガイドライン、参考書が充実しつつある。しかし、研究代表者が本活動に先駆けて国内 25 施設を対象にしたアンケート調査では、Nelms らの調査と同様の結果を得た。

安定した放射線治療の質を患者に提供するためには、IMRT QA の標準化が重要となる。そこで本活動では、IMRT 実施施設における IMRT QA の実態をアンケート調査により把握し、IMRT QA の標準化に向けた基礎情報を提示することを目的とした。

[1] 全国放射線治療施設の 2010 年定期構造調査報告 (第 2 報)。

http://www.jastro.or.jp/cmsdesigner/dlfile.php?entryname=aboutus_child&entryid=00038&fileid=000000003&/ARR2.pdf

[2] Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group, INTENSITY-MODULATED RADIOTHERAPY: CURRENT STATUS AND ISSUES OF INTEREST. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 51; 880-914, 2001.

[3] Nelms, et al. A survey on planar IMRT QA analysis. J Appl Clin Med Phys, 8; 76-90, 2007.

方 法

IMRT を実施している 168 施設に対して、メールにてアンケート(付録)を配布した。アンケートの大項目は次の7項目である;「IMRTに関する臨床状況」、「治療計画装置・治療装置・ファントム・CT 撮影」、「吸収線量検証」、「線量分布検証」、「フルエンス分布検証」、「IMRT QA 結果の判定基準」、「フリーコメント」。

129 施設(有効回答率: 76.8%)から回答をいただいた。下図に回答施設の分布を示す(図 1)。日本白地図内の数値は各都道府県の回答施設数である。



図 1 本アンケートの回答施設分布.

結 果

1. IMRT に関する臨床状況**1-1 IMRT を実施している施設数と治療部位**

図 1-1 は IMRT 実施施設の治療部位の内訳である。アンケートの回答があった 129 施設のうち、前立腺 IMRT を行っている施設が 125 施設(96.9%)を占めた。その他の治療部位としては頭頸部(64.3%)、脳腫瘍(53.5%)の順で多く、これら三部位以外の治療を行っている施設も全体の半数以上の 66 施設(51.2%)に達した。国内のほとんどの IMRT 実施施設で前立腺 IMRT が実施されているが、前立腺以外への IMRT の適応もかなり進んでいる事が分かる。

前立腺、頭頸部、脳腫瘍以外の IMRT の適用部位としては、骨盤、椎体、婦人科系腫瘍、肛門、中皮腫、肺、膀胱、胆道、肝臓、食道、副腎、縦隔、直腸、膵臓などがあつた。

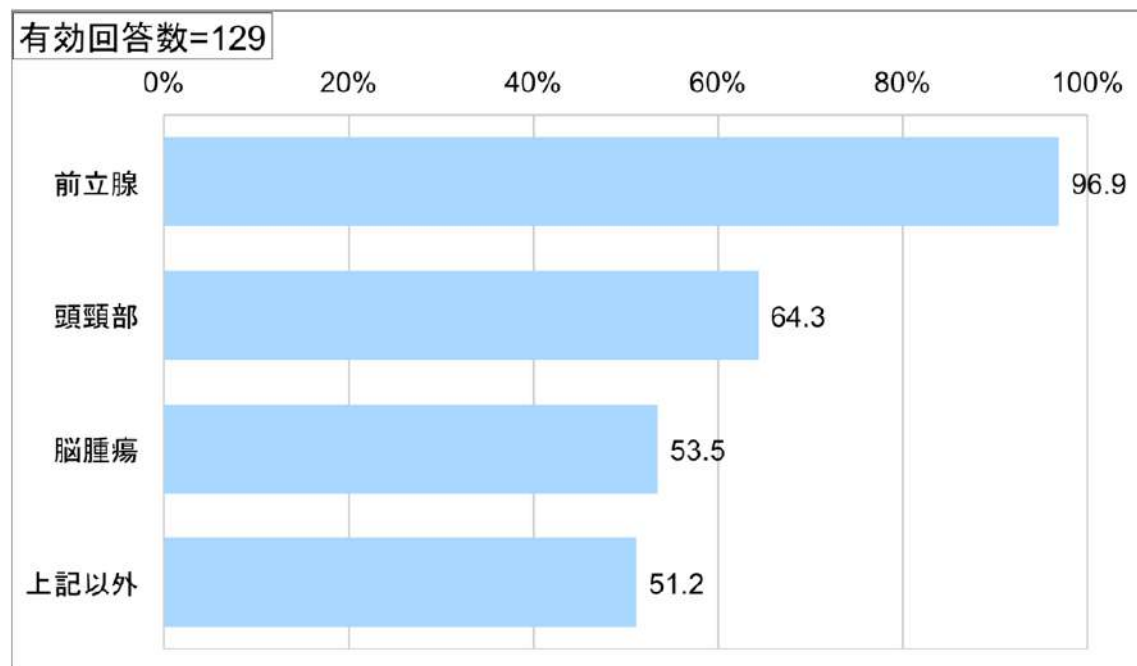


図 1-1 IMRT 実施施設の治療部位.

1-2 IMRT の開始年と実施件数

図 1-2 は前立腺 IMRT の開始年と施設ごとの実施件数の内訳である。前立腺 IMRT は 2000 年の国内開始から 2006 年頃までは年間 1 から 5 施設の開始にとどまっていたが、2007 年から急激に増え、以降は常に年間 10 施設以上の開始施設を保ち今日に至っている。前立腺 IMRT のこれまでの 1 年当たりの実施件数は中央値で 10 件(範囲, 0.3-171.4 件)であった。また、前立腺 IMRT の実施件数は 100 件以上が 45 施設であった。100 件以上の実施件数がある施設は未だ全体の 3 分の 1 程度にとどまっているが、IMRT を開始した施設数が IMRT の保険収載が始まった 2010 年以降に多いことを考慮すると、今後は急速に増えていくことが予想される。

図 1-3, 図 1-4 および図 1-5 は、それぞれ頭頸部 IMRT, 脳腫瘍 IMRT およびその他の部位の IMRT の開始年と施設ごとの実施件数の内訳である。頭頸部, 脳腫瘍およびその他の部位の IMRT の開始年は、前立腺 IMRT よりやや遅れる傾向があり、年間 10 件以上の施設で開始されるのはいずれも 2010 年前後からであった。頭頸部, 脳腫瘍およびその他の部位の IMRT のこれまでの 1 年当たりの実施件数は中央値でそれぞれ 2.1 件(範囲, 0.1-68.5 件), 1.1 件(範囲, 0.1-114.0 件)および 1.8 件(範囲, 0.1-80.8 件)であった。頭頸部 IMRT では実施件数が 20 件未満の施設数が全体の半数を超えた。また、脳腫瘍 IMRT では 20 件未満の施設が全体のほぼ 3 分の 2 であった。その他の部位の IMRT では 20 件未満の実施施設は全体の約 60% であった。頭頸部, 脳腫瘍およびその他の部位の IMRT では、実施件数が前立腺 IMRT に比べて未だ少ないレベルにとどまっている事が分かる。

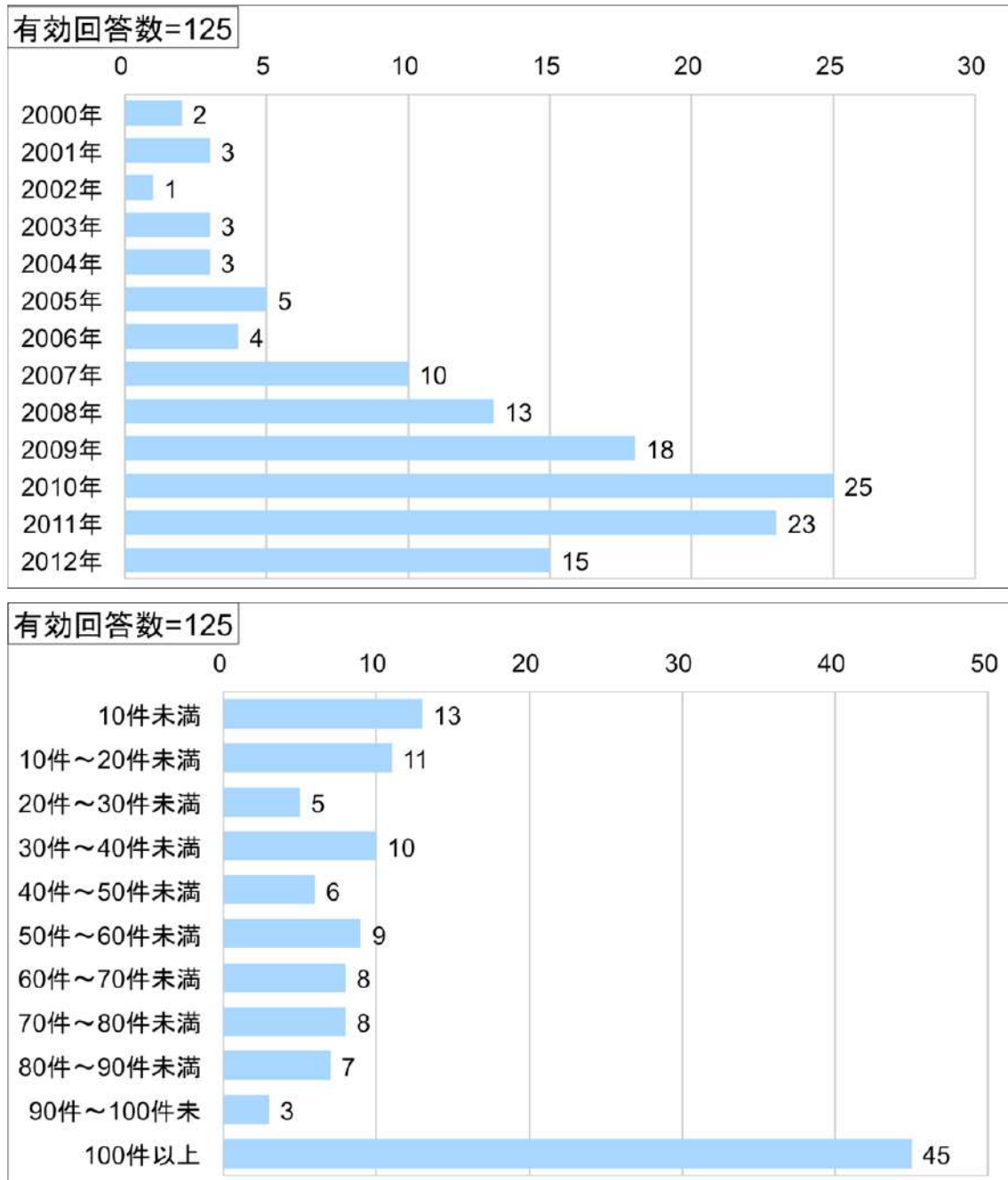


図 1-2 前立腺 IMRT の開始年別の施設数(上)と実施件数別の施設数(下).

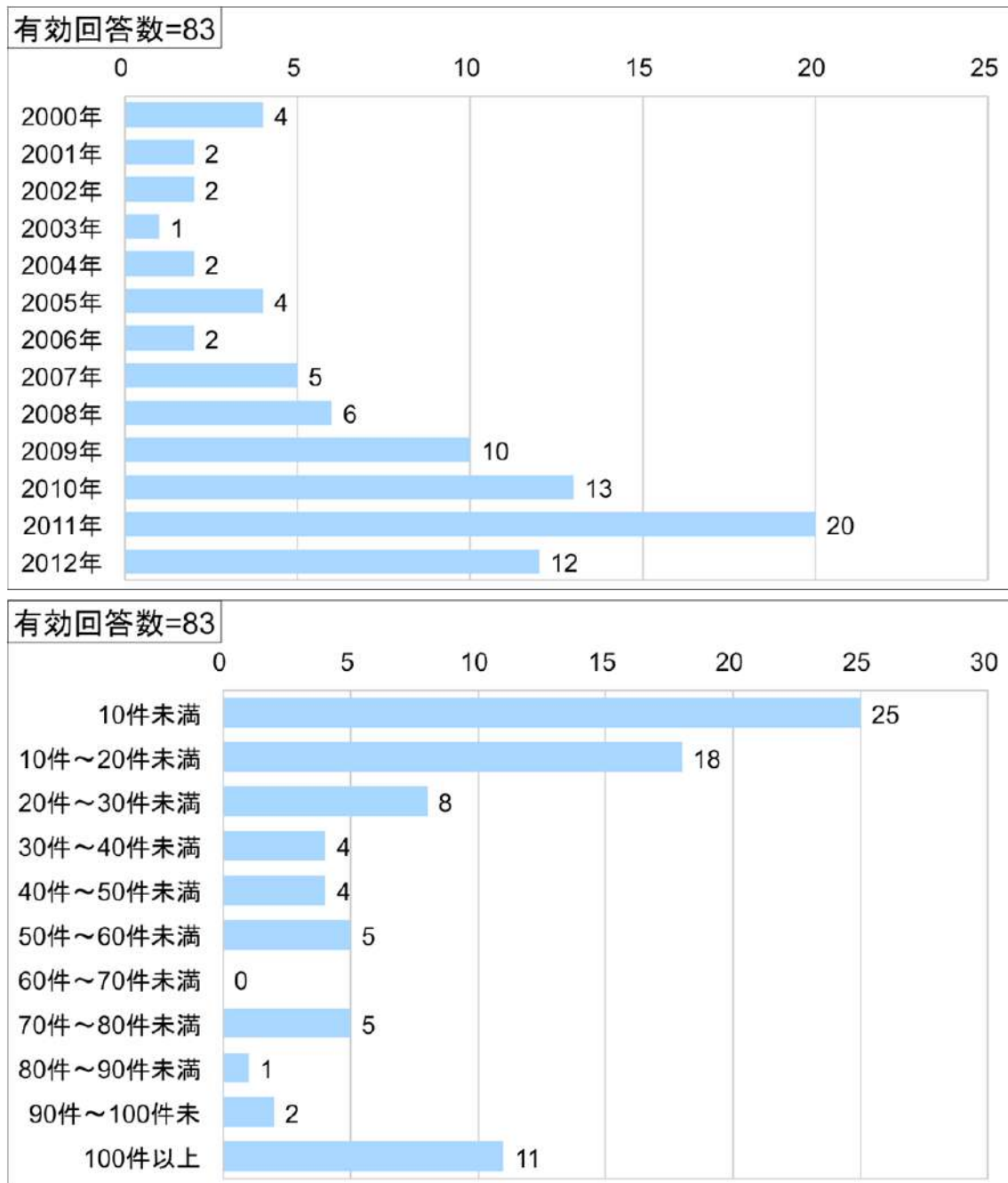


図 1-3 頭頸部 IMRT の開始年別の施設数(上)と実施件数別の施設数(下).

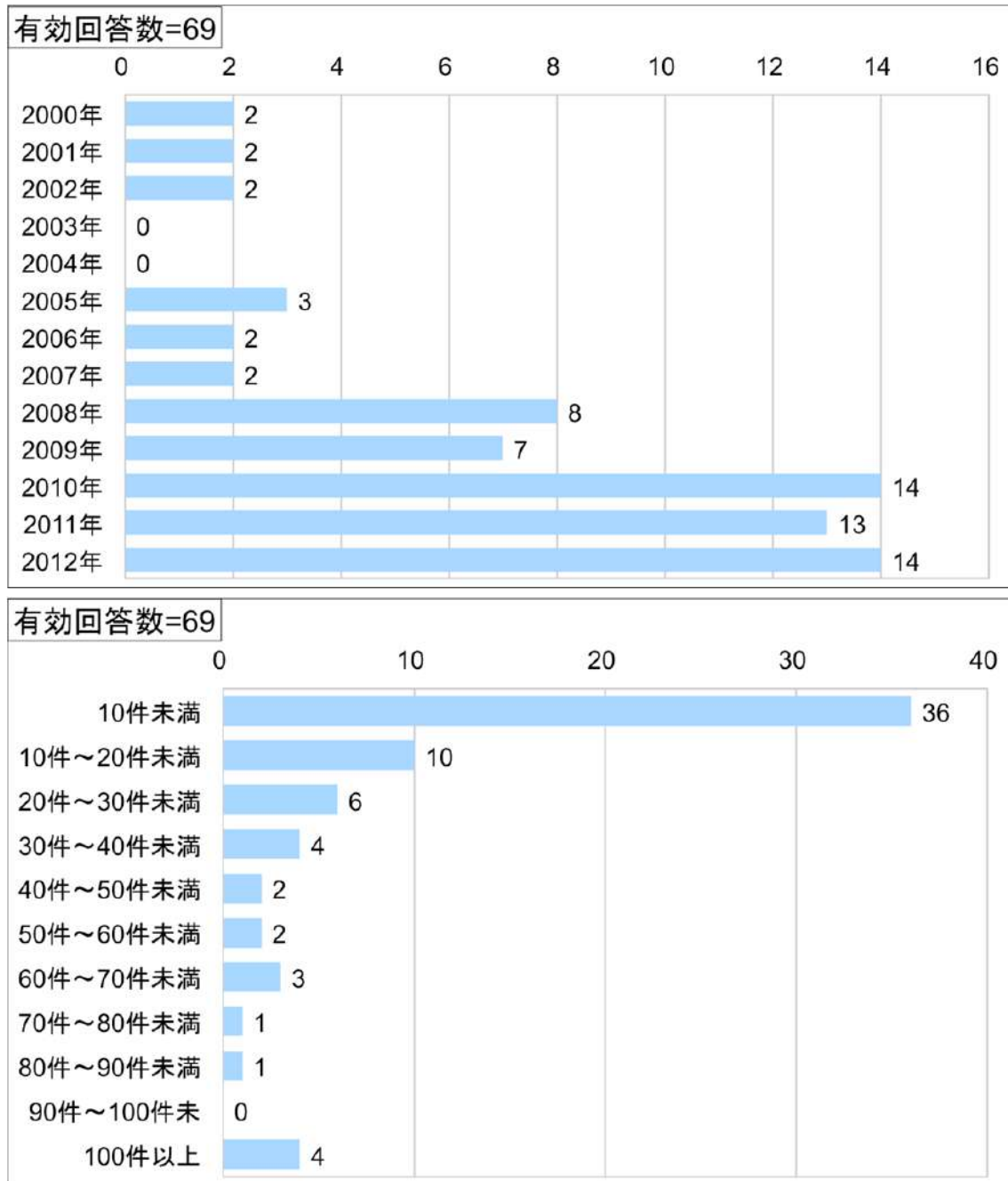


図 1-4 脳腫瘍 IMRT の開始年別の施設数(上)と実施件数別の施設数(下).

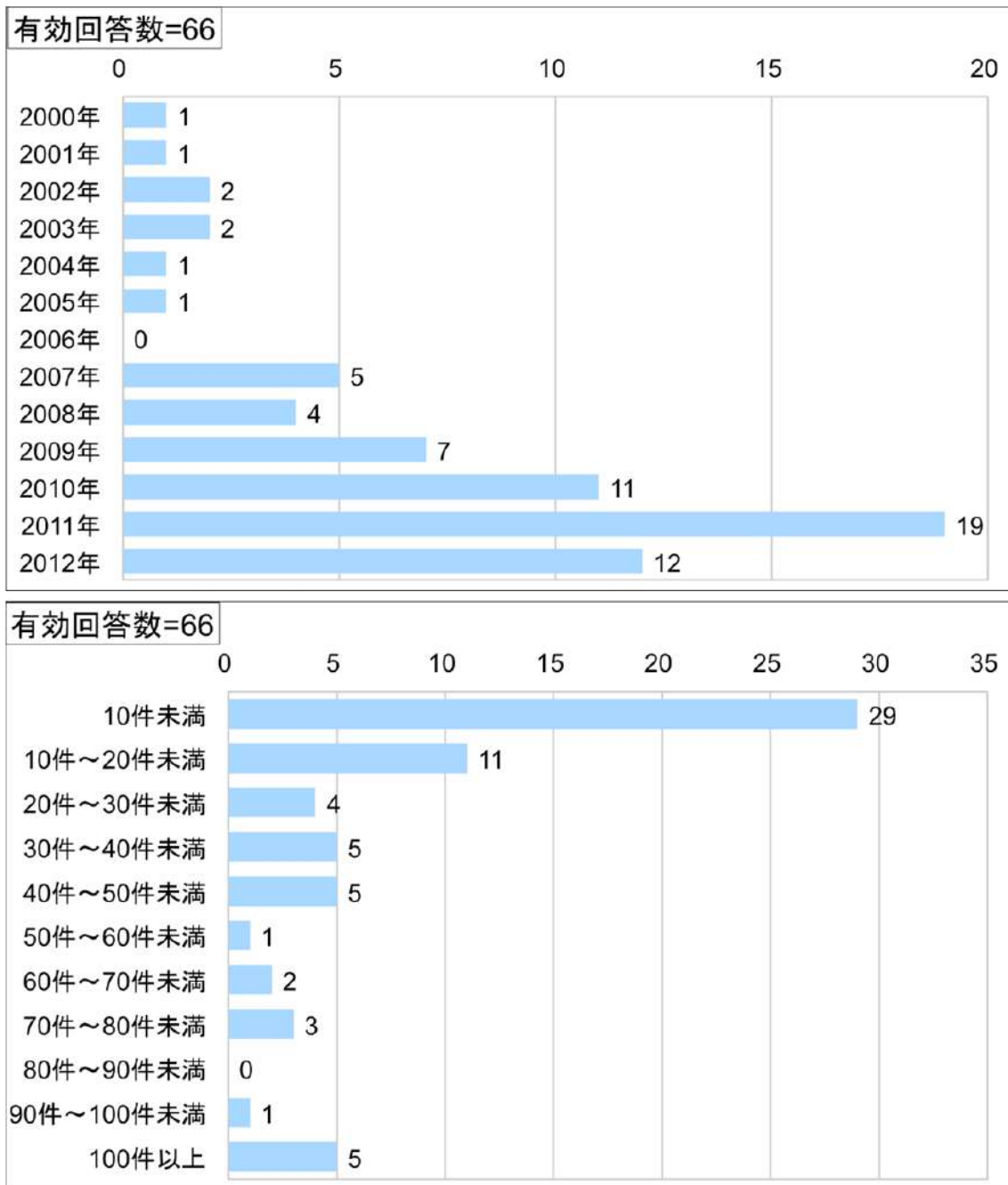


図 1-5 その他の部位の IMRT の開始年別の施設数(上)と実施件数別の施設数(下).

1-3 IMRT での呼吸性移動対策 [複数選択可能項目]

肺がん, 食道がん, 胃がん, 肝がん, 胆道がん, 膵がん, 腎がん, 副腎がんのいずれかの部位に IMRT を実施している施設に, 実施している呼吸性移動対策について質問し, 図 1-6 の結果を得た(図中の「無回答」は上記の部位の IMRT を実施していない施設である). 呼吸性移動対策を実施していると回答した施設数は 42 施設(全体の 32.6%)であった. その内訳として最も多いものは腹部圧迫(19 施設), 次いで息止め(10 施設), 迎撃(3 施設), 上記以外(6 施設)であった. また, 上記の治療部位では呼吸移動の少ない症例に対してのみ IMRT を実施していると回答した施設が 2 施設あった. 回答があった施設の中でも「特に対策を講じていない」と回答した施設数は 16 施設であった. 無回答の施設は呼吸性移動対策が行われていない, あるいは呼吸性移動の少ない症例にのみ IMRT を実施しているものと推測される.

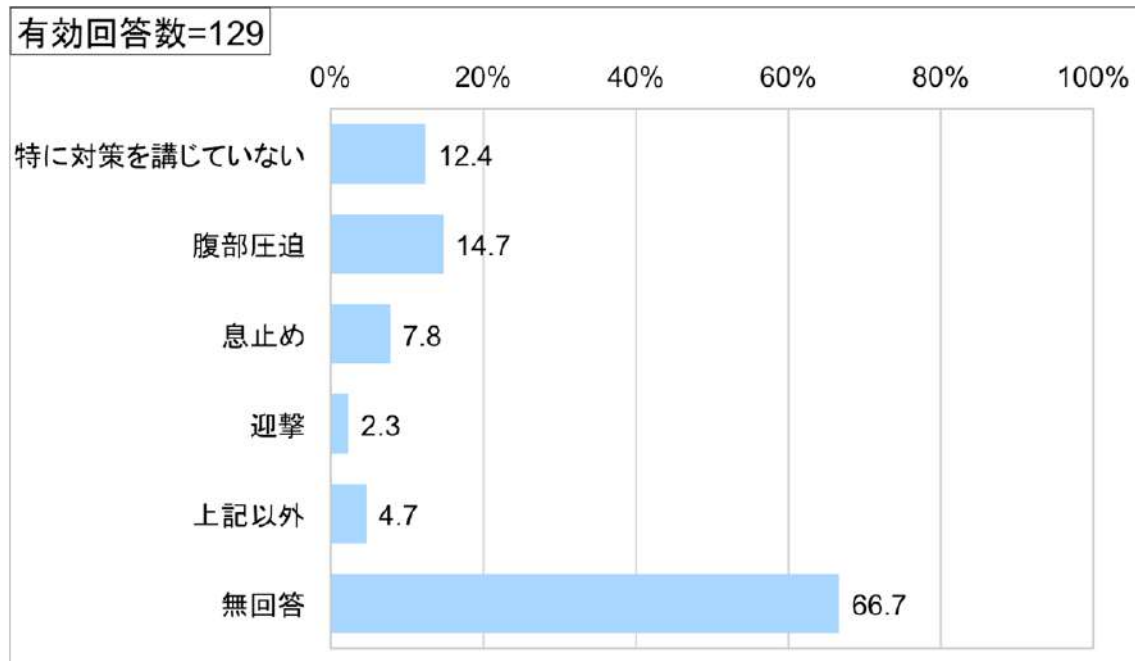


図 1-6 IMRT と併用している呼吸性移動対策.

1-4 IMRT QA 実施担当者数, 品質管理を専ら担当している人数

図 1-7 に IMRT QA の実施担当者数の回答結果を示す。6 人以上の割合が最も多く全体の 25.6%を占め、次いで 3 人の 23.3%であった。IMRT QA の実施担当者を 3 人以上確保できている施設数は全体の 77.5%を占め、多くの施設である程度の QA の実施担当者数の確保は達成されていると見ることができる。また、QA 実施担当者数と前立腺 IMRT の実施件数との相関を調べると、例えば前立腺 IMRT を 100 件以上実施している 45 施設のうち、半数近い 21 施設で IMRT QA 実施担当者が 6 人以上と答えていた。前立腺以外の部位ではこの傾向がより顕著になり、頭頸部 IMRT を 100 件以上実施した 11 施設中 10 施設が、脳腫瘍 IMRT を 100 件以上実施した 4 施設中 3 施設が、その他の部位の IMRT を 100 件以上実施した 5 施設中 4 施設がそれぞれ IMRT QA 実施担当者が 6 人以上と答えていた。IMRT 実施件数が多い施設では IMRT QA 担当者が多くなるという傾向が見られた。

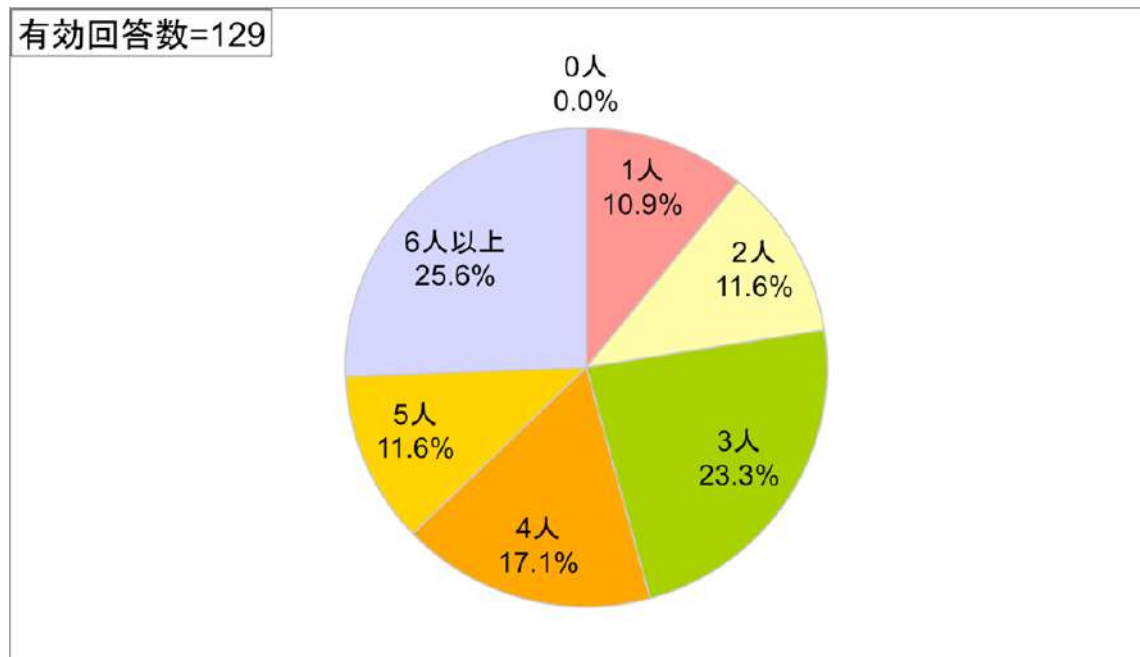


図 1-7 IMRT QA 実施担当者数.

図 1-8 は品質管理を専ら担当している人数の内訳を示す。全体の 72.9%の施設が 1 人以下と答えており、品質管理を専ら担当する人数は非常に少ないことが分かる。この傾向は前立腺 IMRT 実施件数の比較的多い施設だけで見ても同様で、例えば前立腺 IMRT を 100 件以上実施している 45 施設に限っても品質管理を専ら担当する人数が 0 人または 1 人の施設が 24 施設と過半数であった。前立腺以外の部位でも同様の結果が得られており、頭頸部 IMRT を 100 件以上実施した 11 施設中 6 施設が、脳腫瘍 IMRT を 100 件以上実施した 4 施設中 2 施設が、その他の部

位の IMRT を 100 件以上実施した 5 施設中 2 施設がそれぞれ品質管理を専ら担当する人数が 0 人または 1 人と答えていた。様々な治療部位で多くの IMRT を実施した実績のある施設であっても品質管理を専ら担当する人数は少ないことが分かる。

これらの結果から、前述の「IMRT QA の実施担当者数」に計上されていた人数のうち大半は他の業務との兼任(診療放射線技師が多いと思われる)であることが示唆される。医学物理士や品質管理士など、品質管理を専ら行う職種の資格保有者は急速に増えている(医学物理士認定者は 2012 年時点で 729 人、品質管理士は 958 人、それぞれ医学物理士認定機構、放射線治療品質管理機構の HP より)が、IMRT の品質管理を専ら担当している人数は今回のアンケートの単純集計では全国で 174 名に過ぎず、普及がかなり遅れていることが推測される。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 では「放射線治療の品質管理業務に専任(もしくは専従)する常勤の技術者(医学物理士もしくは放射線治療品質管理士など)を 1 名配置することを推奨する」としており[1]、早急な人員体制の整備が望まれる。

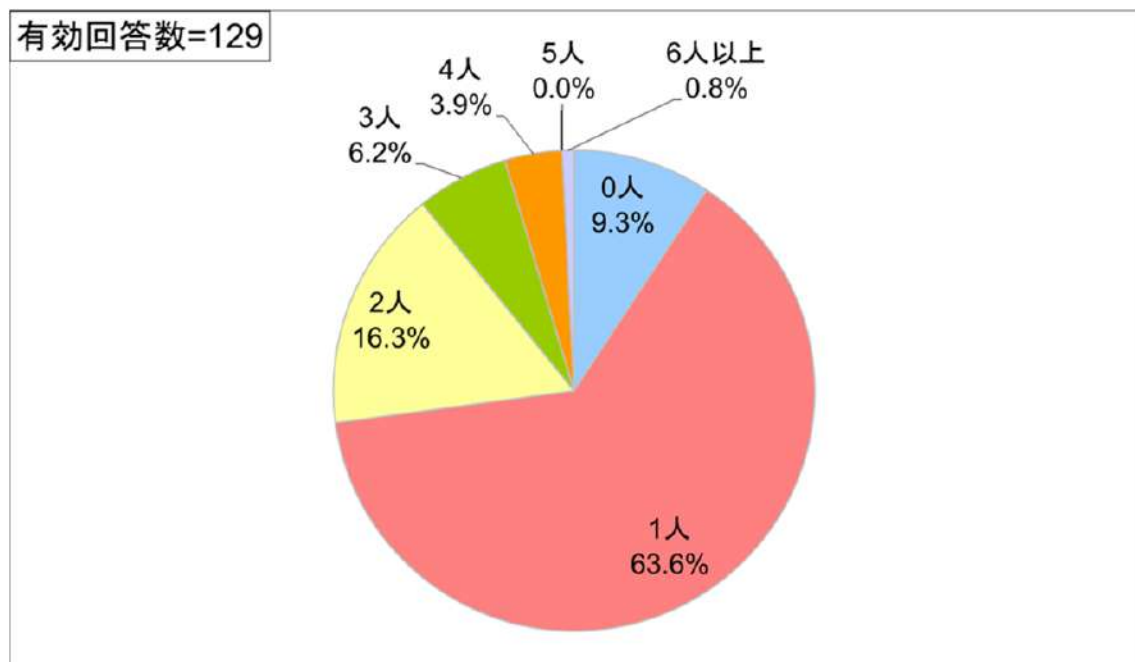


図 1-8 品質管理を専ら担当している人数.

1-5 IMRT 実施に要する日数

前

立腺、頭頸部、脳腫瘍、その他の部位の IMRT の治療計画に要する日数、QA に要する日数、治療計画用 CT 撮影日から照射開始までの日数の内訳を図 1-9、図 1-10、図 1-11、図 1-12 にそれぞれ示す。前立腺 IMRT では治療計画に要する日数(中央値)は 2.5 日(範囲、0.05-14 日)であった。前立腺以外の部位の IMRT では治療計画に要

する日数が前立腺に比べてやや長くなる傾向があり、頭頸部では 3.5 日(範囲, 1-10.5 日), 脳腫瘍では 2.5 日(範囲, 0.05-10.5 日), その他の部位で 3 日(範囲, 0.2-20 日)であった。特に複雑な頭頸部 IMRT の治療計画により多くの日数が費やされていることが分かる。

QA に要する日数(中央値)は、前立腺 IMRT では 2 日(範囲, 0.5-10 日), 頭頸部 IMRT では 2 日(範囲, 1-8.5 日), 脳腫瘍 IMRT では 2 日(範囲, 0.5-10 日), その他の部位では 2 日(範囲, 1-10 日)であった。QA に要する日数は治療部位によらずほぼ同じであることが分かる。

治療計画用 CT 撮影日から照射開始までの日数(中央値)は、前立腺 IMRT で 14 日(範囲, 2-28 日), 頭頸部 IMRT で 10 日(範囲, 2-21 日), 脳腫瘍 IMRT で 10 日(範囲, 2-21 日), その他の部位で 10 日(範囲, 2-30 日)であり、前立腺 IMRT では他の部位に比べて治療開始までの日数が長く設定されているという結果であった。この結果の理由としては、頭頸部は前立腺に比べて速やかな治療開始が求められる場合が多い、前立腺は照射開始までのスケジュールが余裕をもって立てられている事が多い、などが考えられる。

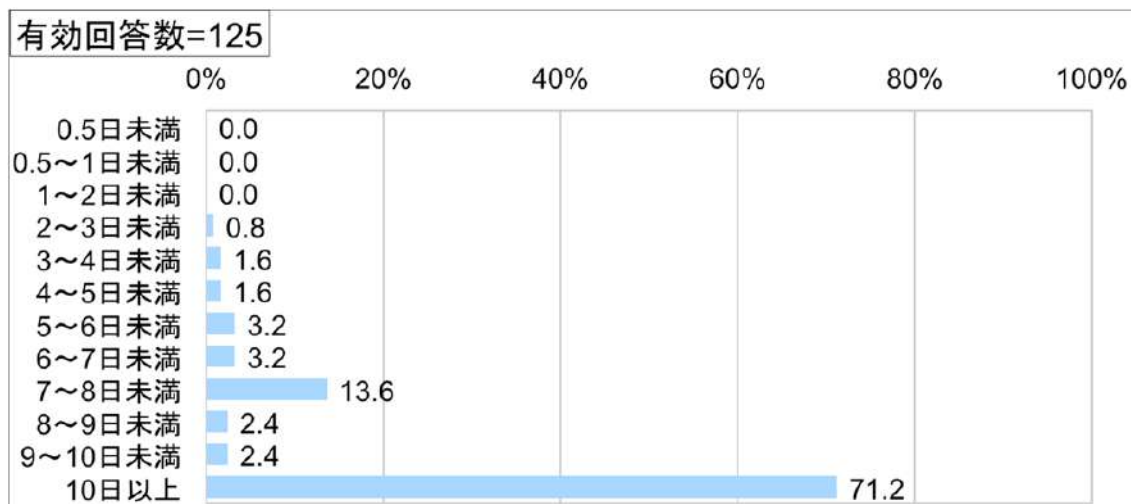
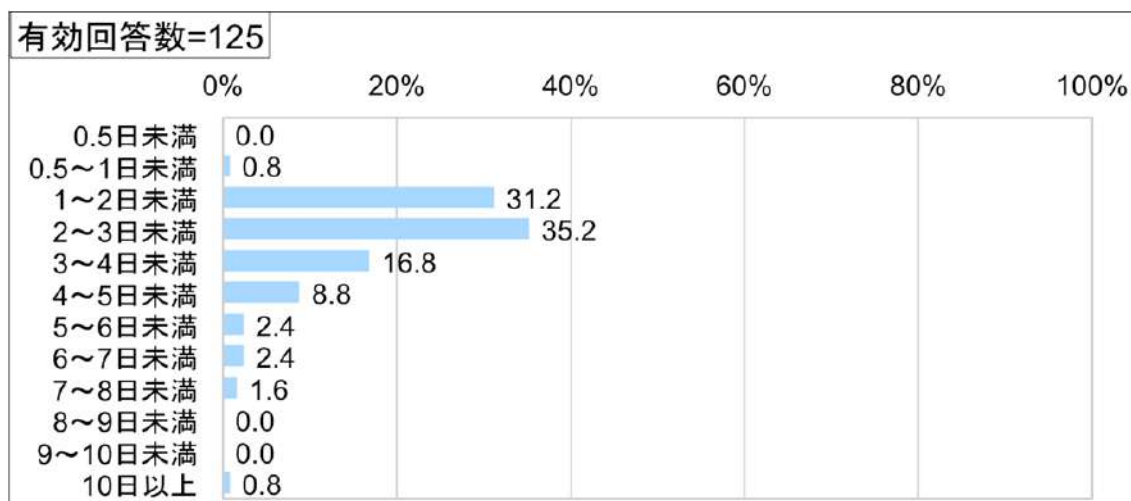
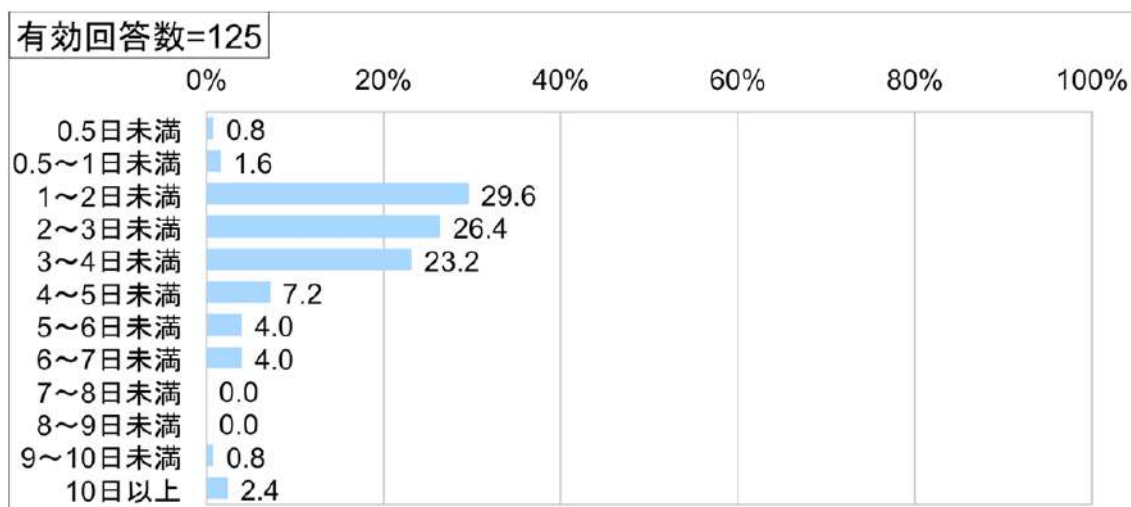


図 1-9 前立腺 IMRT 実施施設の治療計画に要する日数(上), QA に要する日数(中央), 治療計画用 CT 撮影日から照射開始までの日数(下).

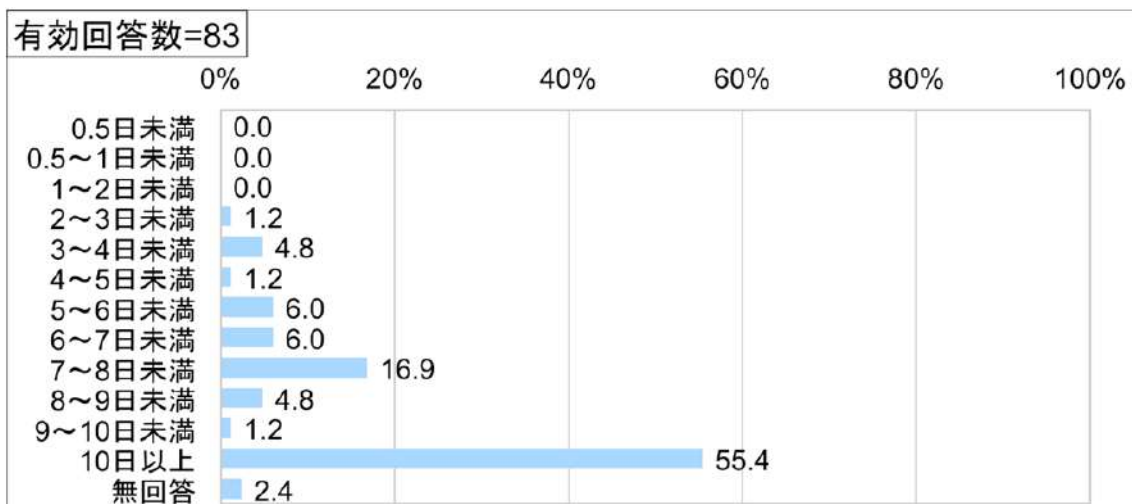
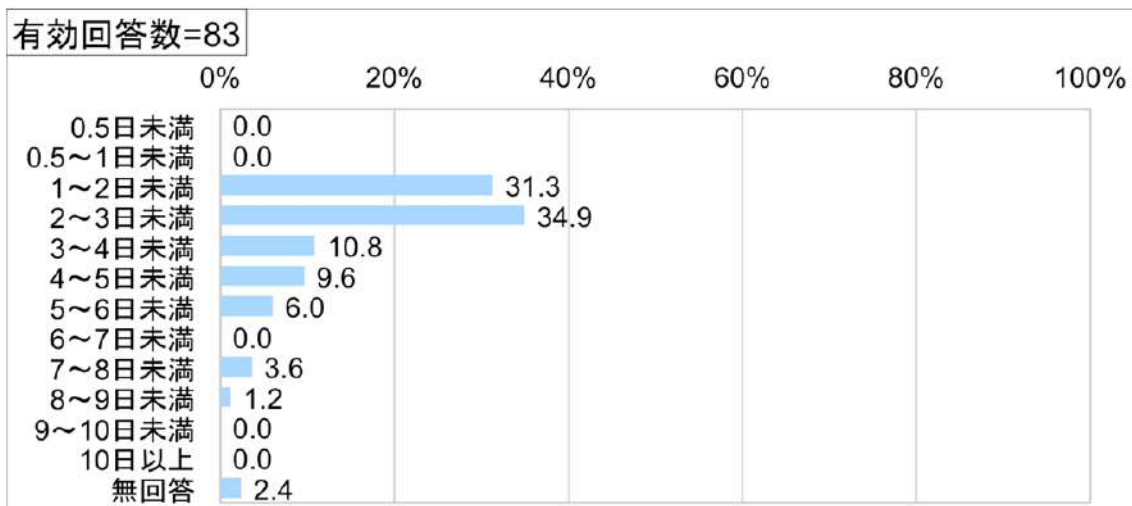
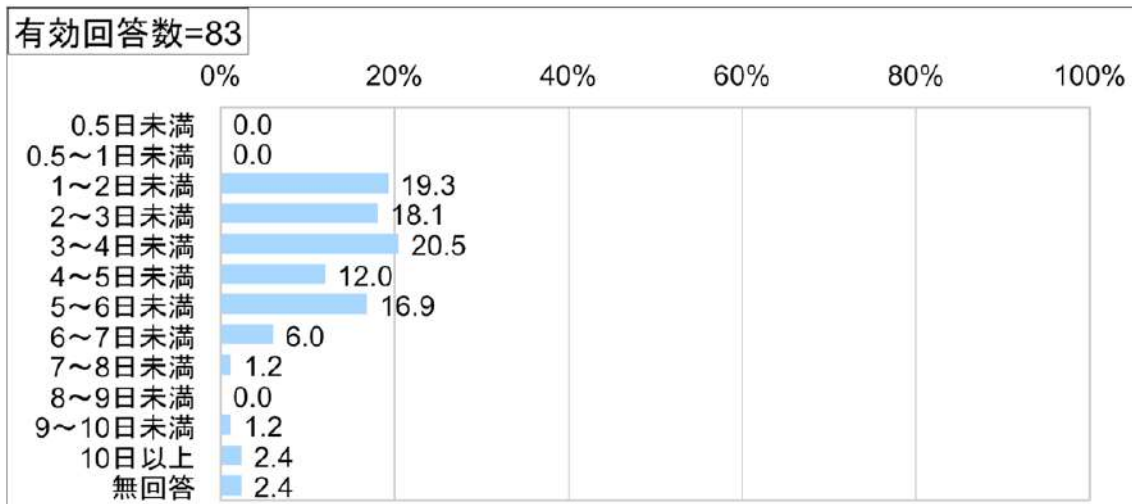


図 1-10 頭頸部 IMRT 実施施設の治療計画に要する日数(上), QAに要する日数(中央), 治療計画用 CT 撮影日から照射開始までの日数(下).

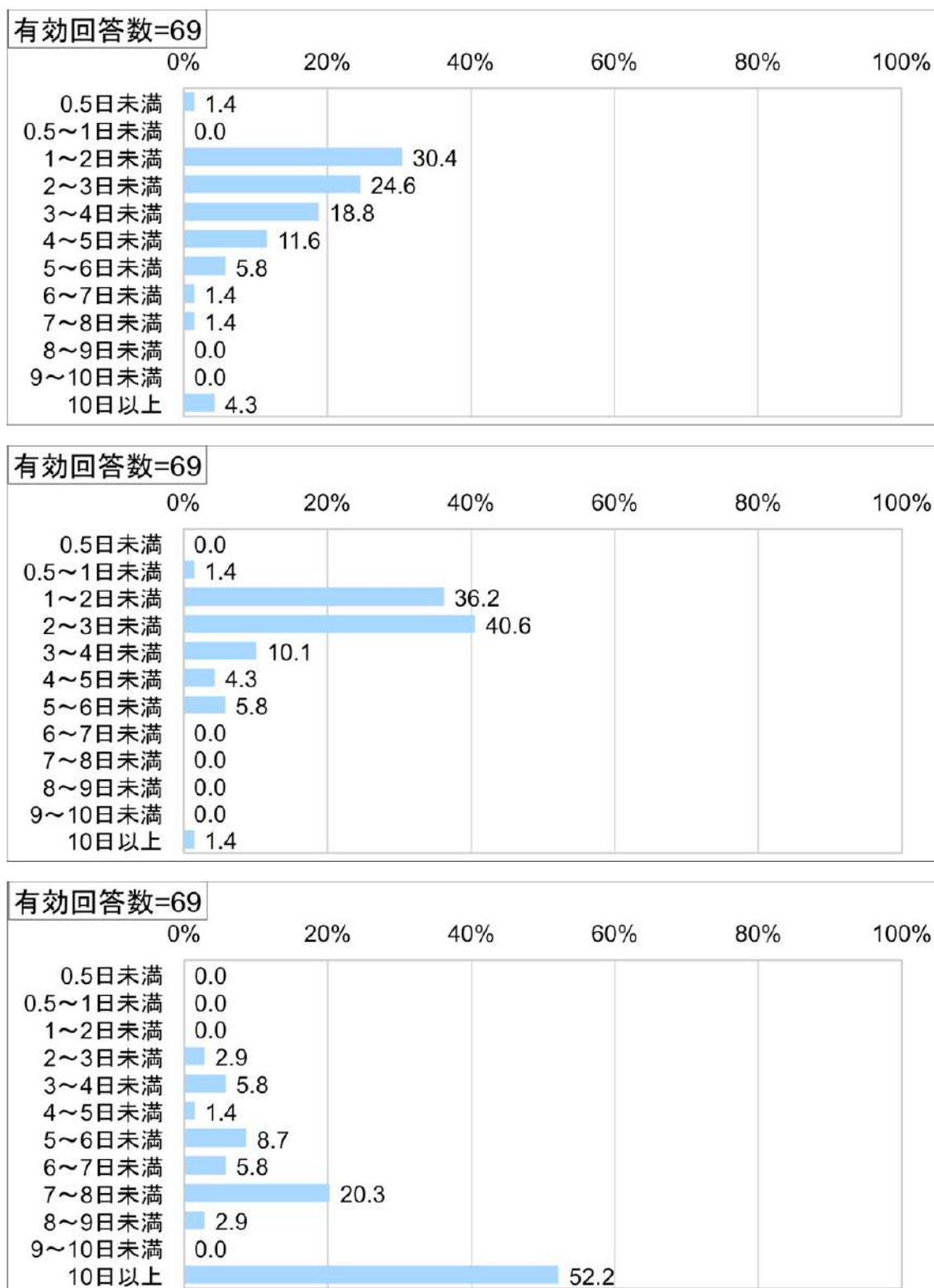


図 1-11 脳腫瘍 IMRT 実施施設の治療計画に要する日数(上), QAに要する日数(中央), 治療計画用 CT 撮影日から照射開始までの日数(下).

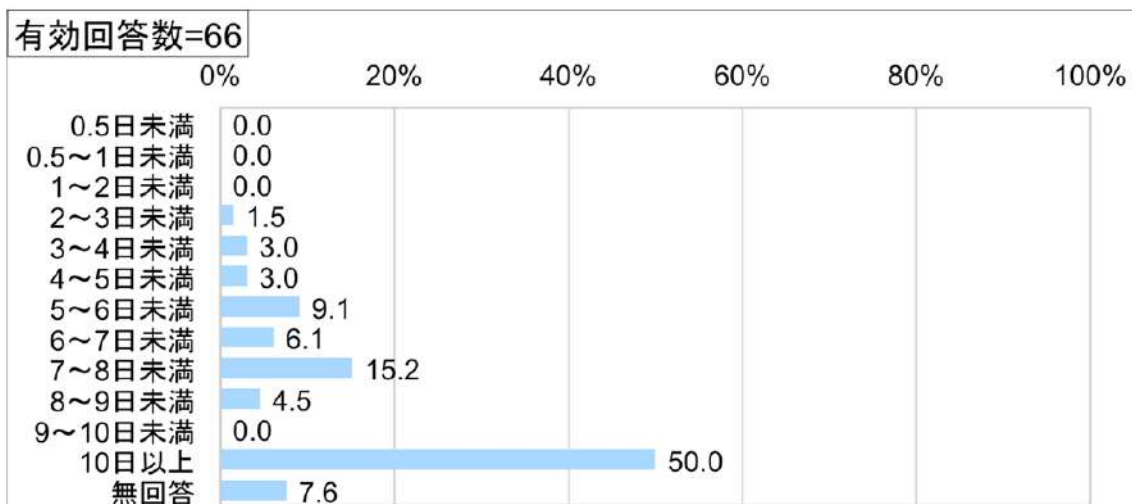
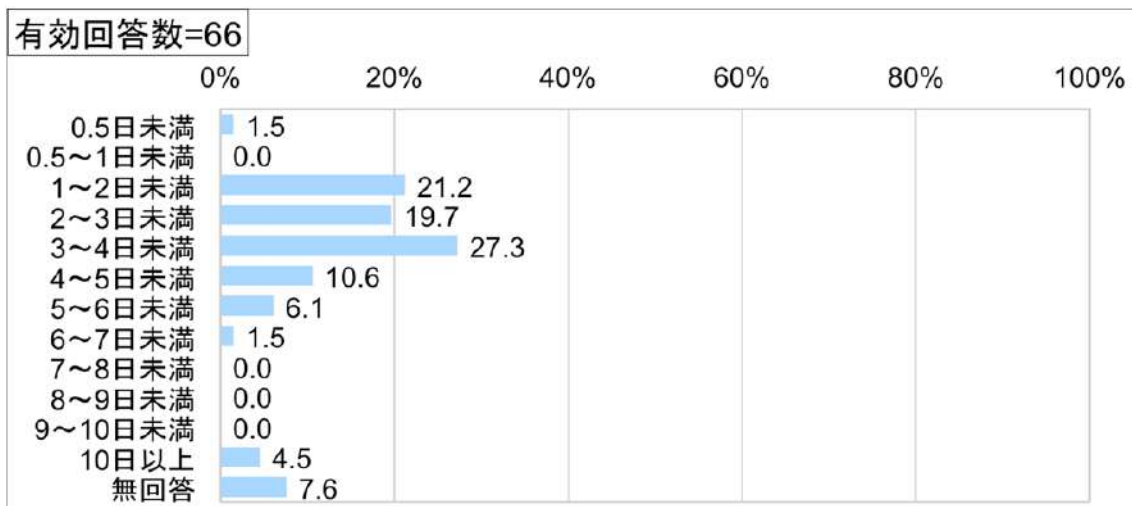
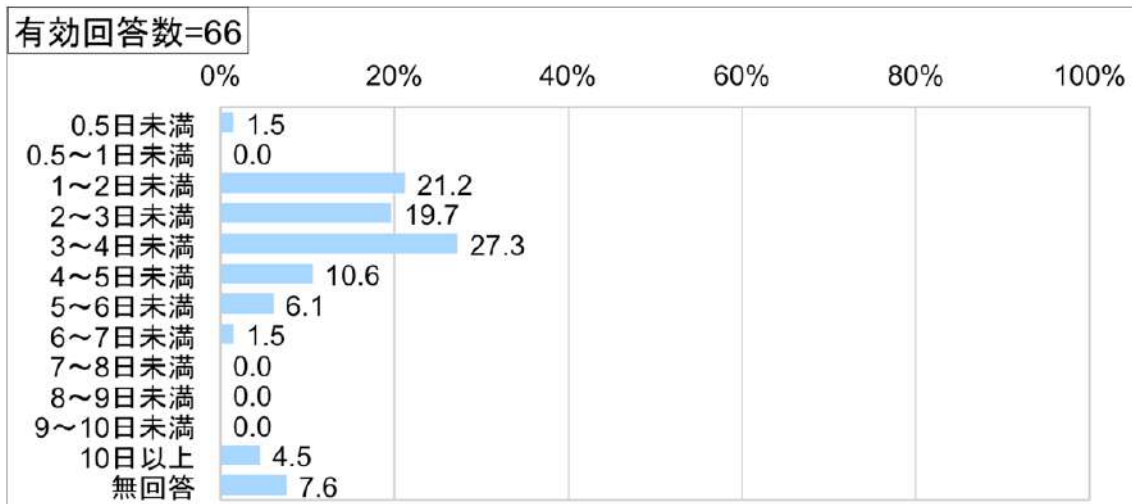
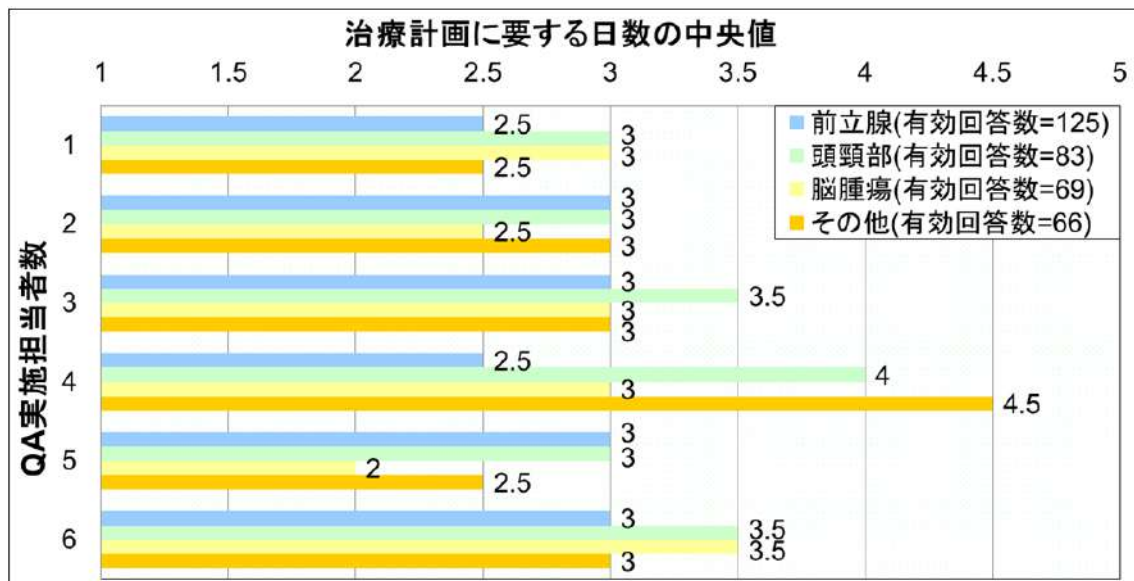


図 1-12 その他の部位の IMRT 実施施設の治療計画に要する日数(上), QA に要する日数(中央), 治療計画用 CT 撮影日から照射開始までの日数(下).

次に施設の QA 実施担当者数もしくは品質管理を専ら担当している人数と IMRT 実施に要する日数(中央値)との関係性について述べる。図 1-13 に QA 実施担当者数と治療計画に要する日数の中央値(上), QA に要する日数の中央値(中央), 治療計画用 CT 撮影日から照射開始までの日数の中央値(下)との関係をそれぞれ示す。QA に要する日数(中央)に注目すると, QA 実施担当者が 1 名から 4 名までは QA 実施担当者数が増えるにしたがって QA に要する日数が増え, QA 実施担当者が 5 名以上になると逆に QA に要する日数が減っていくことが分かる。この理由の一つとして, QA 実施担当者が 1 名から 4 名の施設では QA の仕事量に対して担当者数が不足しているために QA に要する日数を削らざるを得ない状況になっている可能性がある。一方, QA 実施担当者が 5 名以上になると担当者数に応じて QA に要する日数が削減できる状況に転じるからだと考えられる。品質管理を専ら担当している人数と IMRT 実施に要する日数(中央値)との関係性(図 1-14)は図 1-13 と同様の傾向であった。



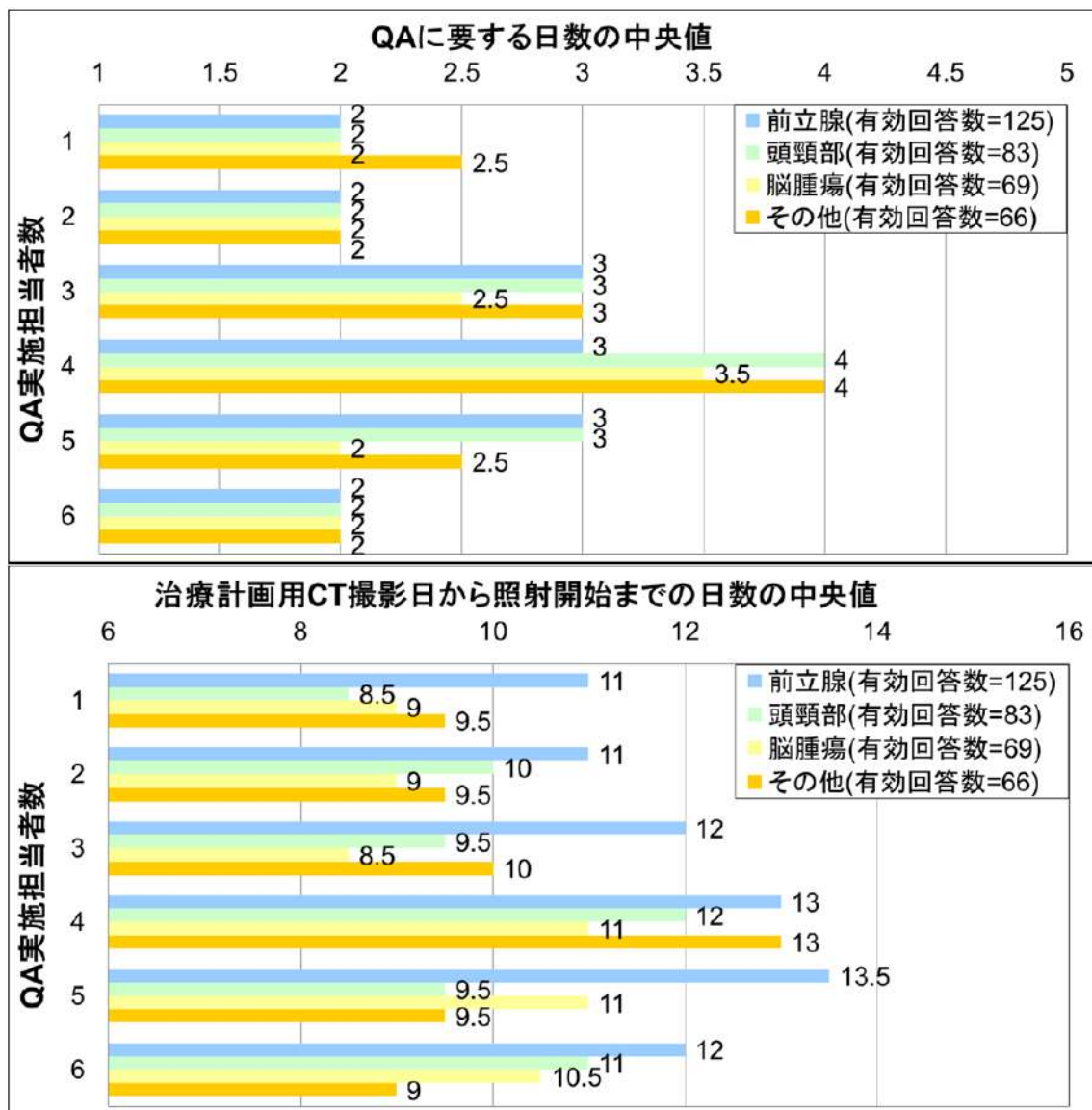
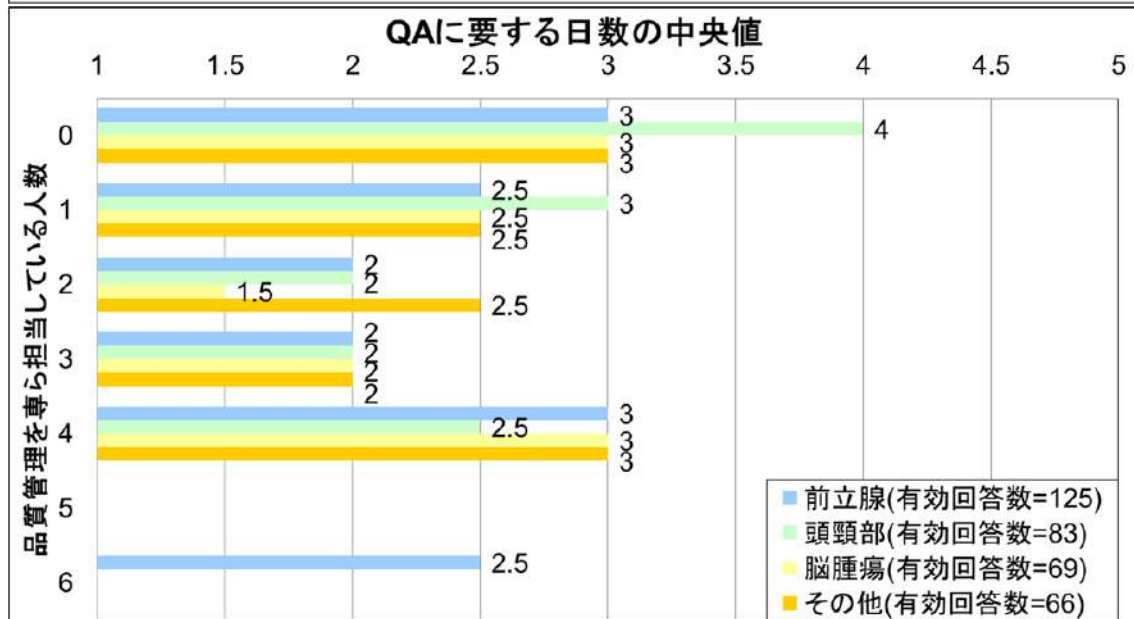
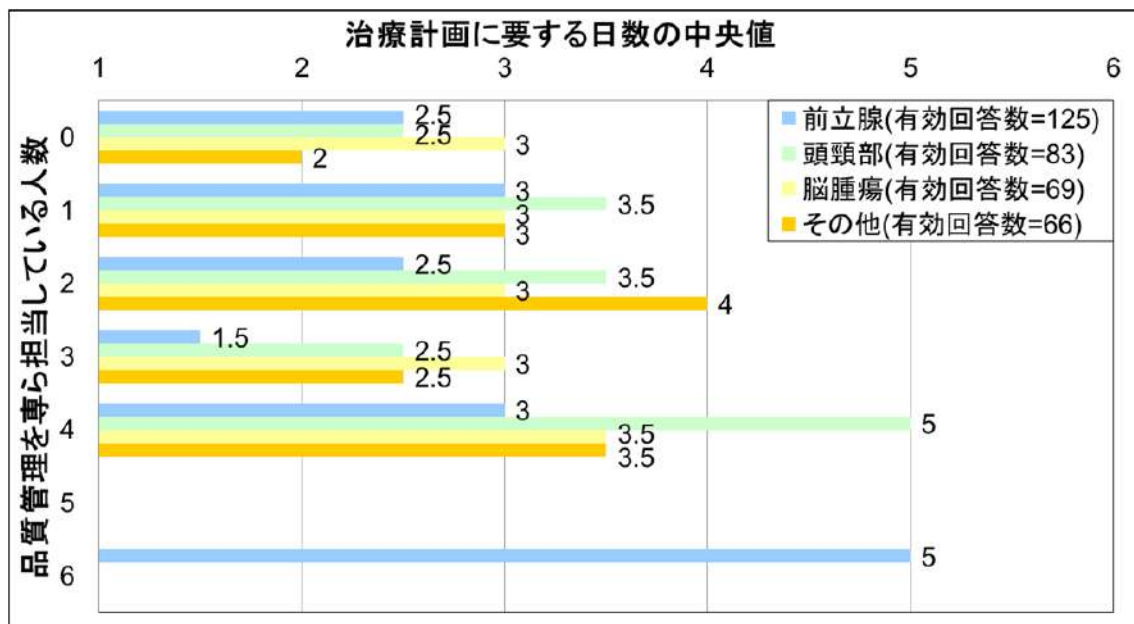


図 1-13 QA 実施担当者数と治療計画に要する日数の中央値の関係(上), QA 実施担当者数と QA に要する日数の中央値との関係(中央), QA 実施担当者数と治療計画用 CT 撮影日から照射開始までの日数の中央値との関係(下). グラフ中で QA 実施担当者が 6 人の項目は 6 人以上を意味する.



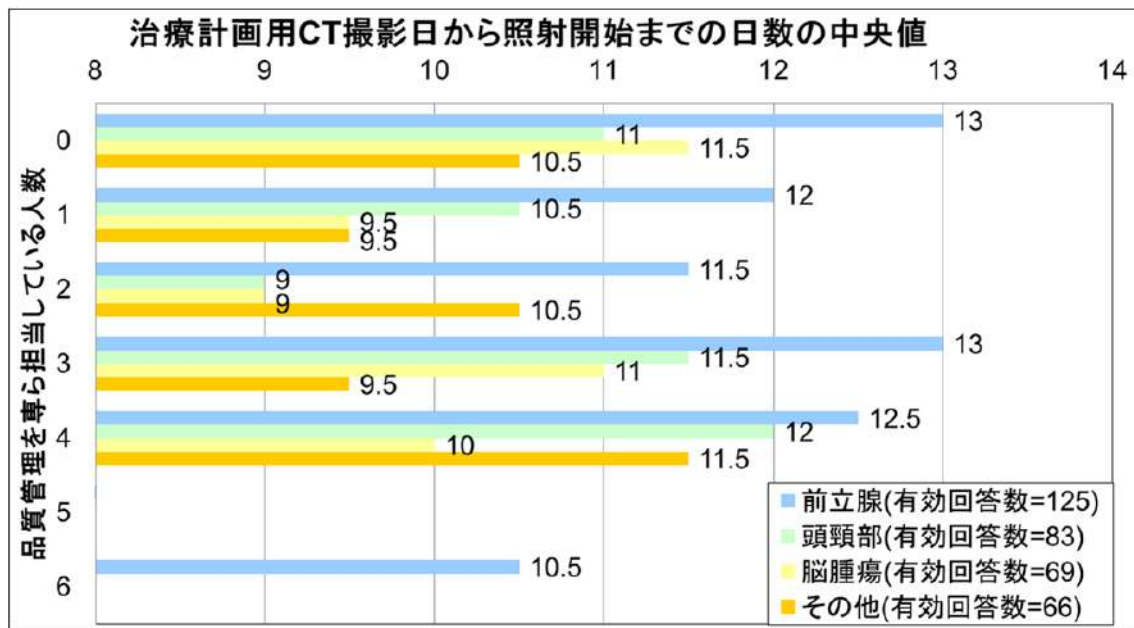


図1-14 品質管理を専ら担当している人数と治療計画に要する日数の中央値の関係(上), 品質管理を専ら担当している人数とQAに要する日数の中央値との関係(中央), 品質管理を専ら担当している人数と治療計画用CT撮影日から照射開始までの日数の中央値との関係(下). グラフ中で品質管理を専ら担当している人数が6人の項目は6人以上を意味する.

次に施設の品質管理を専ら担当している人数とIMRT 開始年度とこれまでの実施件数から算出した 1 年間当たりの IMRT 平均実施件数との相関について述べる(図 1-15). 前立腺の場合に注目すると, 品質管理を専ら担当している人数が 1 名から 3 名までは品質管理を専ら担当している人数が増えるにしたがって 1 年間あたりの平均実施件数が増え, 人員の増加が IMRT 件数の増加に寄与していることが分かる. 他の部位については強い相関は無い.

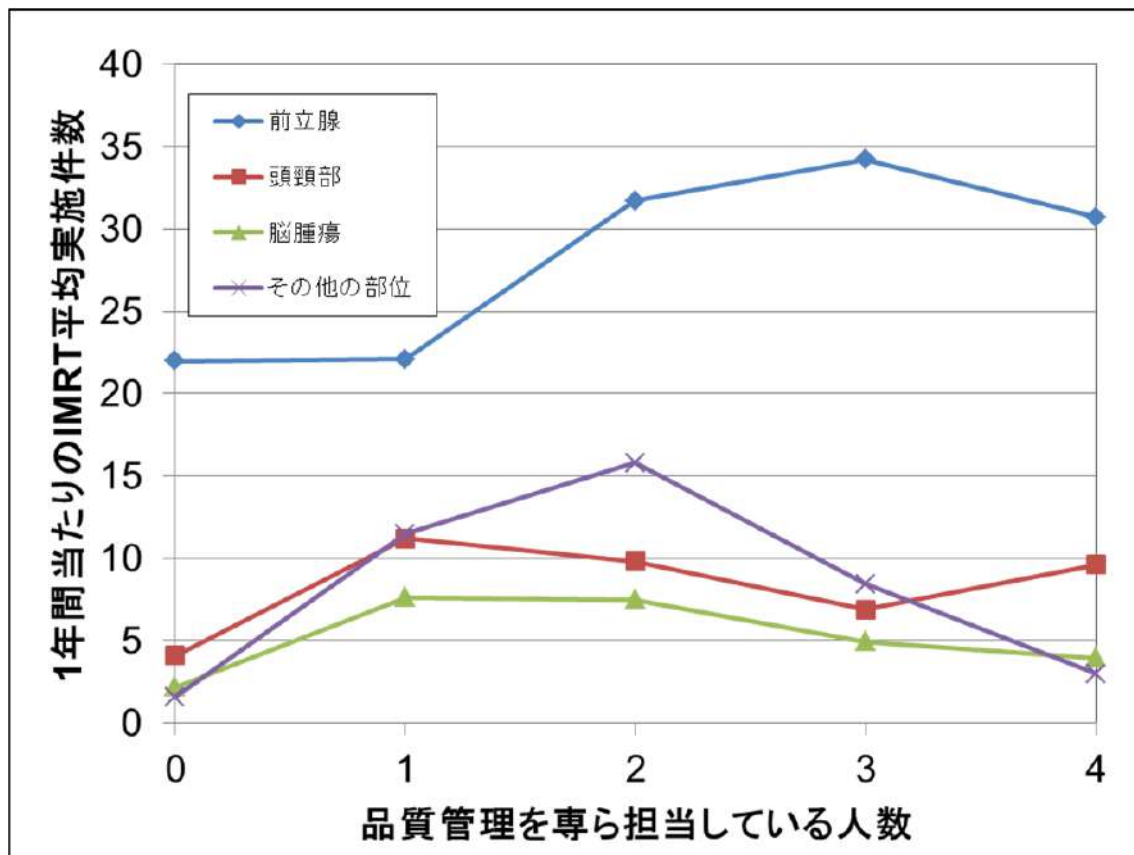


図 1-15 品質管理を専ら担当している人数と 1 年当たりの IMRT 平均実施数の関係.

1-6 IMRT QA 完了から照射開始の時期について [複数選択可能項目]

IMRT QA の状況によって照射開始日がどのような影響を受けるかについての回答(複数回答可)の内訳を図 1-16 に示す。IMRT QA が完了する日によって照射開始日を変更しているか否かについては、116 施設で照射開始日までに QA が完了しても当初の予定通り照射が開始されると回答した。また、照射開始予定日までに QA が完了しなかった場合の対応としては、55 施設が IMRT QA が完了するまで照射開始を延期し、10 施設が非 IMRT にて照射を開始し IMRT QA 完了後に IMRT に切り替え、12 施設が IMRT QA が完了していなくとも IMRT で治療を開始し治療期間中に再治療計画や再 QA を行うと回答した。また、多次元半導体検出器などで簡易的な検証を実施し許容内の値であれば治療を開始して、フィルム検証など残りの検証項目を治療開始後に実施すると記載した施設が 2 施設あった。施設によって様々な方針が採用されている事が伺えるが、IMRT QA が完了するまでは治療開始をしないという方針が最も多くの施設でとられていることが分かった。フリーコメントとして「全例照射開始日までに完了しているので完了しなかった場合どうするかは未定」とした施設と、「必ず照射開始日までに QA を完了させる」と記載した施設があった。

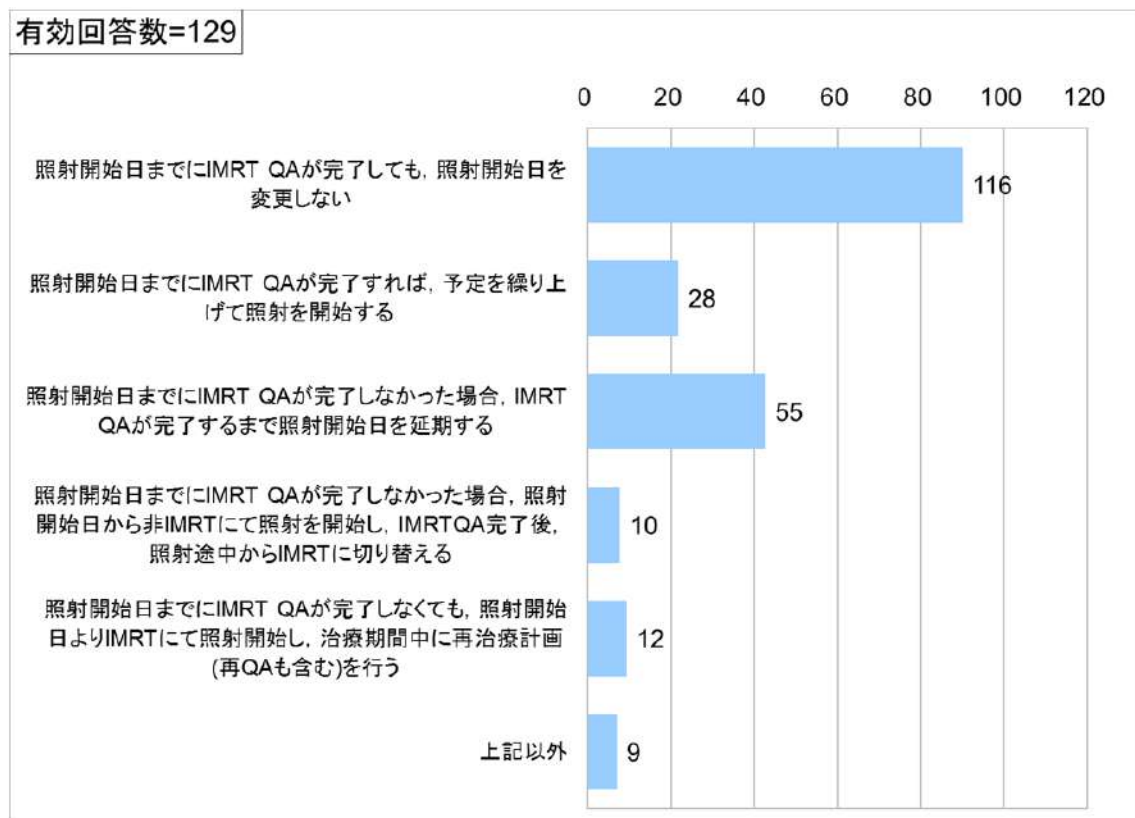


図 1-16 IMRT QA 完了と照射開始時期の関係。

1-7 IMRT QA 項目の変更について

前立腺 IMRT における QA 項目の変更についての回答結果を図 1-17 に示す。QA 項目としては吸収線量検証と線量分布検証のそれぞれについて全体の 94.4%および 96.8%の施設が実施している一方で、フルエンス検証の実施率は全体の 24.8%にとどまっていた。QA 項目の変更については、吸収線量検証では半数を超える 52.8%の施設が変更したことがないと答えた一方で、線量分布検証では 58.4%が変更したことがあると答えた。線量分布検証では、QA 項目の変更が比較的多く行われていることが分かる。この傾向は頭頸部 IMRT、脳腫瘍 IMRT、その他の部位の IMRT でも同様であった(図 1-18, 図 1-19, 図 1-20)。線量分布検証は検証項目、検証機器、評価項目のそれぞれが吸収線量検証に比べて多様であることが背景にあると考えられる。また、QA 項目の変更は大多数が簡略化(合理化)であり、QA 項目の詳細化を行った施設はいずれの項目でも全体の 5%以下であった。

IMRT 実施件数と QA 項目の変更との関係を見ると、実施件数が 10 件未満の施設で線量分布検証の項目を変更した、あるいは予定している施設数は前立腺 IMRT では 3 施設のみ(項目不変は 10 施設)であるのに対して、頭頸部 IMRT では 12 施設(項目不変は 12 施設)、脳腫瘍 IMRT では 22 施設(項目不変は 11 施設)、その他の部位では 21 施設(項目不変は 6 施設)であった。いずれも変更内容は QA 項目の簡略化であった。前立腺以外の IMRT では比較的治療件数が少ない段階で QA 項目の簡略化が検討されていることが分かる。この理由としては、前立腺 IMRT である程度の治療件数を経験した後に前立腺以外の部位への IMRT を開始する施設が多いためと考えられる。

QA 項目を簡略化した理由として、データが蓄積され傾向をつかんだ事(あるいはそれに類する理由)を挙げた施設が最も多かった。次に、2 次元検出器や 3 次元検出器など新しい測定機器の導入を理由として挙げる施設が多かった。また、フルエンス検証に関しては固定多門 IMRT から強度変調回転放射線治療(Volumetric Modulated Arc Therapy: VMAT)への移行に伴い廃止したと回答した施設があった。症例数の増加による検証作業の負担増または作業効率化の必要性を省略の理由として挙げる施設もあった。1 施設のみ QA 項目の詳細化を行っており、その理由として治療計画装置の変更に伴いビームの強度変調の方法が変更されたため測定点を増やしたと回答していた。

QA 項目変更の内容として、吸収線量検証の簡略化では各門検証を取りやめて全門検証のみにしたと回答した施設が最も多かった。また、例えば以前は高線量域と低線量域の両方について測定していたがアイソセンタのみに変更したなど、測定点の絞り込みを行った施設も多かった。電離箱を 0.6 cm^3 と 0.01 cm^3 の 2 種類での線量測定から 0.6 cm^3 のみの測定に切り換えた施設と、測定回数を減らした施設がそれぞれ 1 施設ずつあった。線量分布検証の簡略化では、2 次元検出器や 3 次元

検出器の導入に伴いフィルム検証を廃止または簡略化した施設が最も多かった。フィルム検証で Axial 面の検証を省略するなど、検証面の絞り込みも多くの施設で行われていた。具体的には sagittal 面を残し coronal 面と axial 面を省略する施設が多い傾向があった。

上記のように、QA 項目の簡略化が様々な形で行われていたが、例えば吸収線量検証の全門検証だけでは誤差要因の特定が困難であるなど、それぞれの項目に利点と欠点があることが指摘されている[2]。QA 項目の簡略化はその影響を詳細に検討した上で慎重に行うべきであることを付記したい。

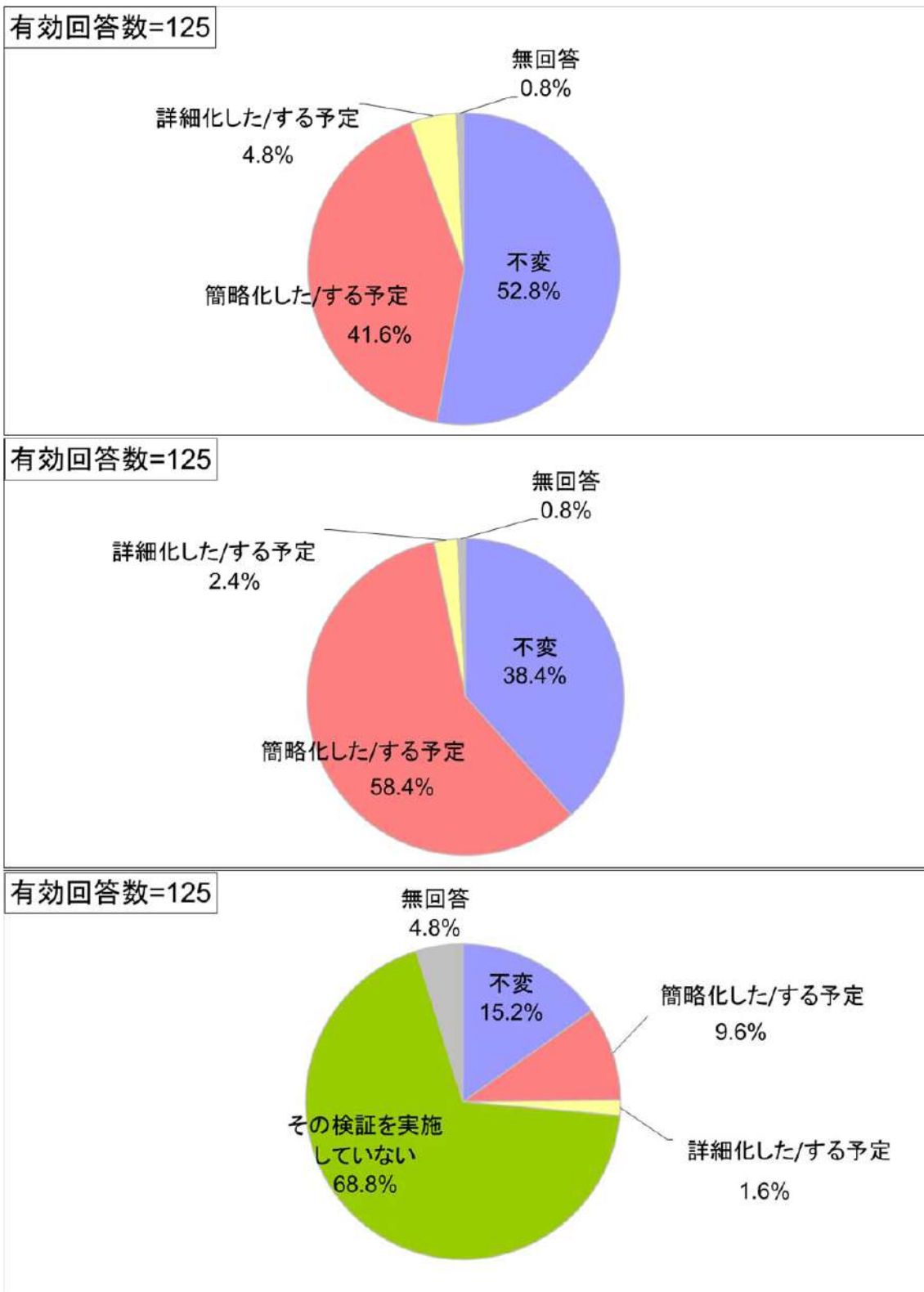


図 1-17 前立腺 IMRT における QA 項目の変更(上:吸収線量検証, 中央:線量分布検証, 下:フルエンス分布検証).

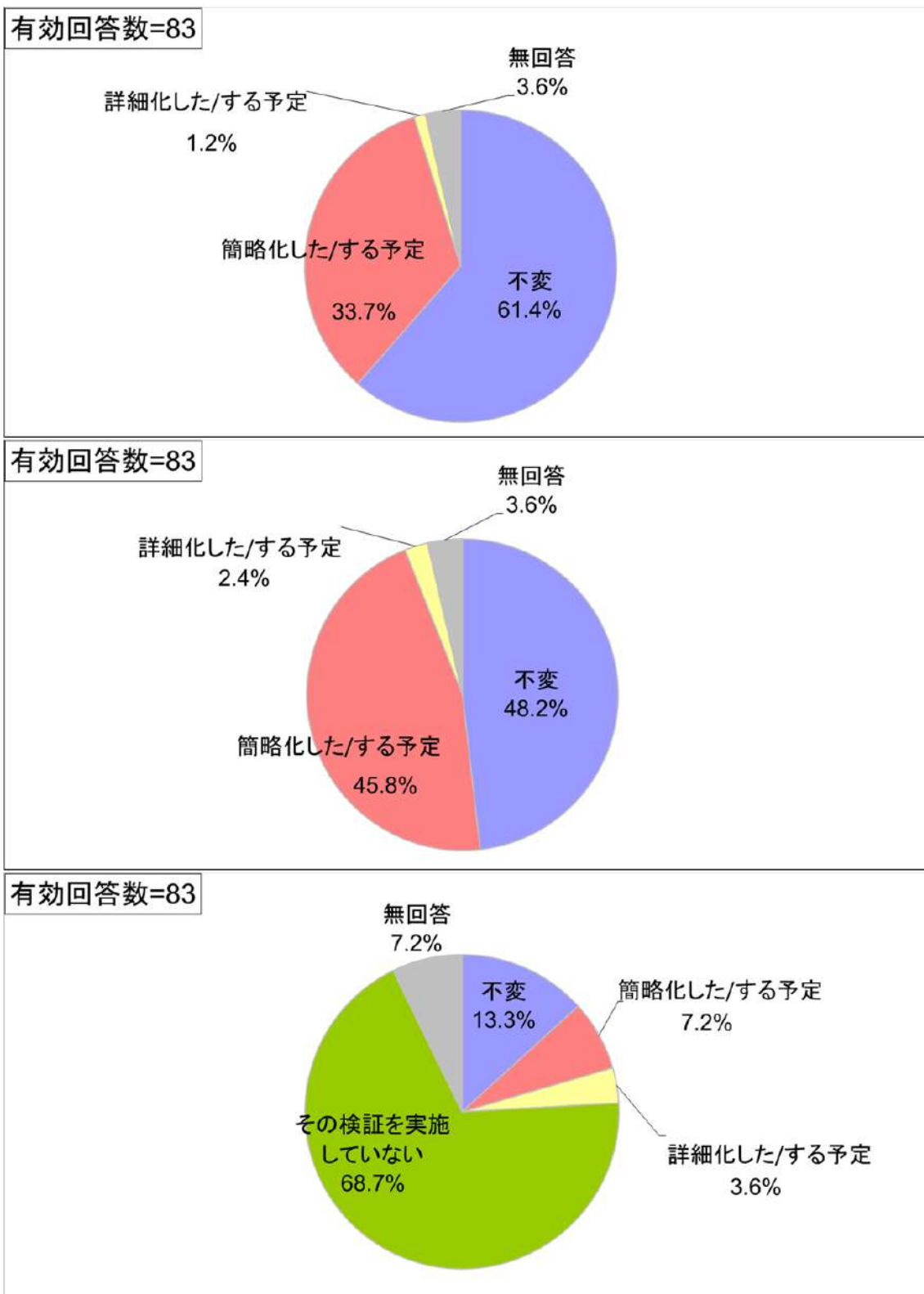


図 1-18 頭頸部 IMRT における QA 項目の変更(上:吸収線量検証, 中央:線量分布検証, 下:フルエンス分布検証).

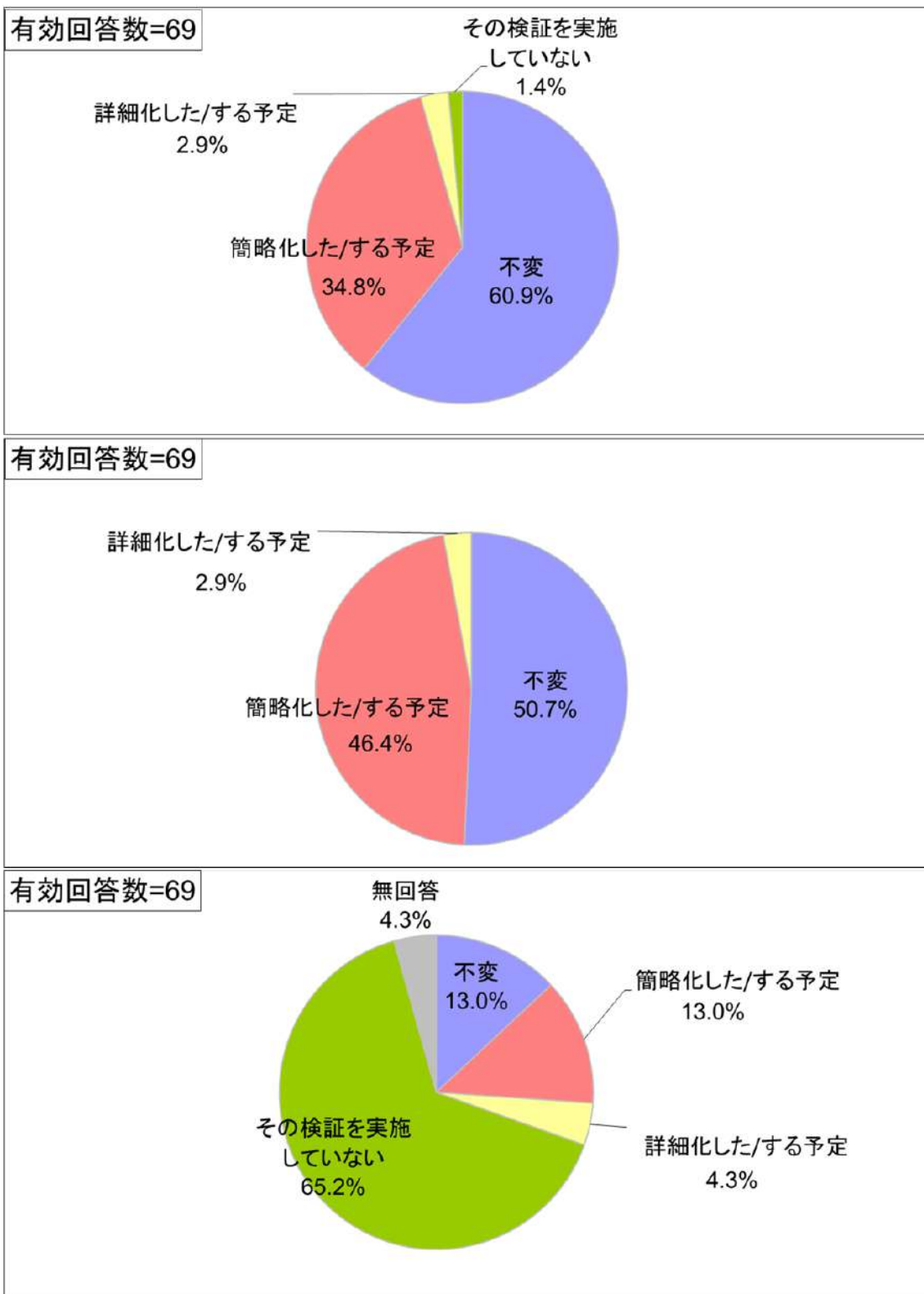


図 1-19 脳腫瘍 IMRT における QA 項目の変更(上:吸収線量検証, 中央:線量分布検証, 下:フルエンス分布検証).

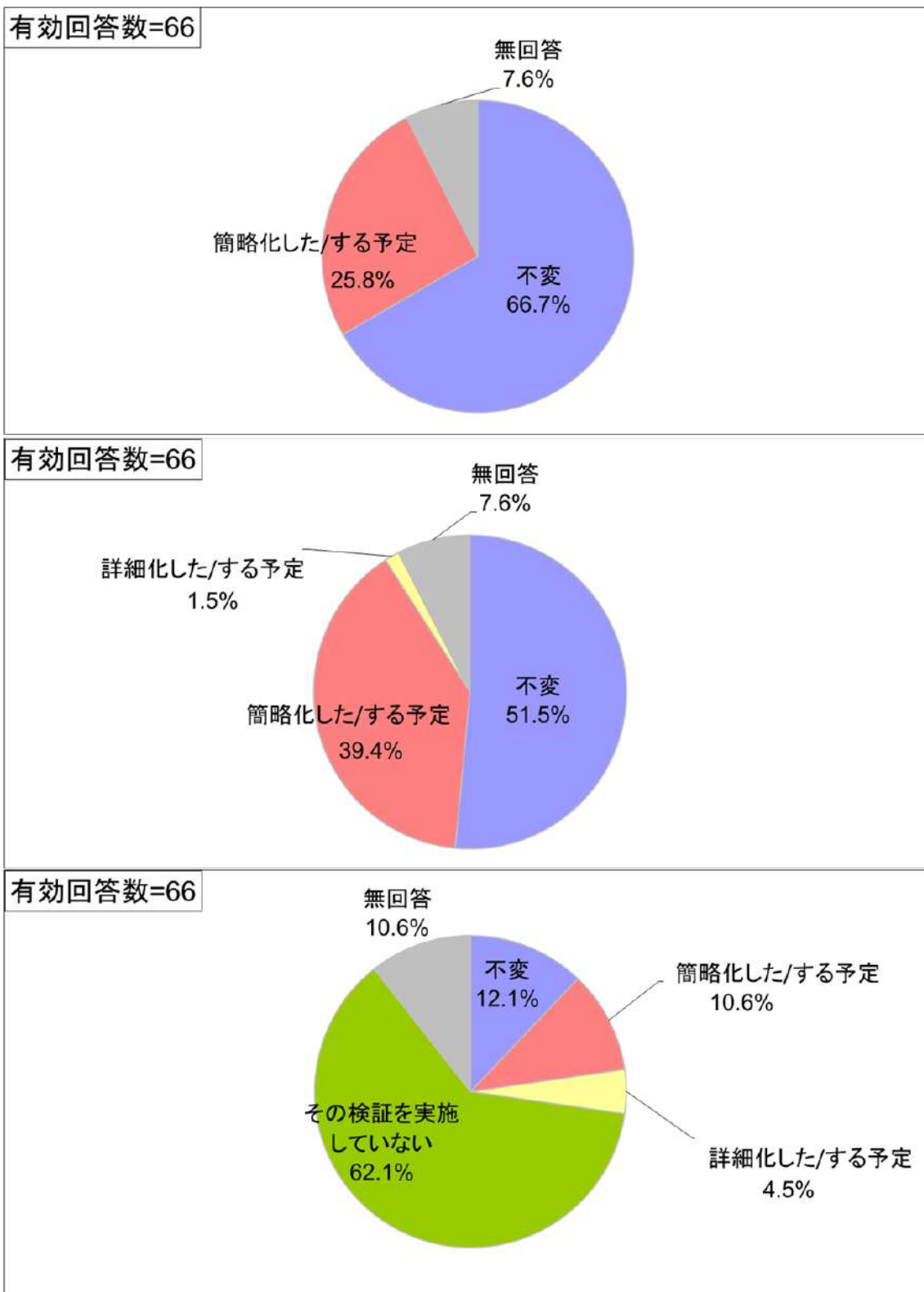


図 1-20 その他の部位の IMRT における QA 項目の変更(上:吸収線量検証, 中央:線量分布検証, 下:フルエンス分布検証).

[参考文献]

- [1] 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, IMRT 物理 QA ガイドライン専門小委員会(日本放射線腫瘍学会 QA 委員会)
- [2] 強度変調放射線治療の線量検証法 : 日本医学物理学会 2008-2009 年度研究援助課題「強度変調放射線治療における吸収線量測定法の標準化に関する研究」研究報告書, 日本医学物理学会 [編](医学物理 = Japanese journal of medical physics : 日本医学物理学会機関誌, vol. 30 supplement no. 6), 日本医学物理学会, 2010.12

2. 治療計画装置・治療装置・ファントム・CT 撮影

2-1 IMRT で使用している治療装置, 治療計画装置, 線量計算アルゴリズム, 最小MLC 幅, IMRT 照射法

2-1-1 治療装置

IMRT で使用している治療装置について, 図 2-1-1-1~4 に示す. 治療装置は, iX が最も多く, 次いでEX, Novalis Tx, Synergy といった装置が多く用いられていた.

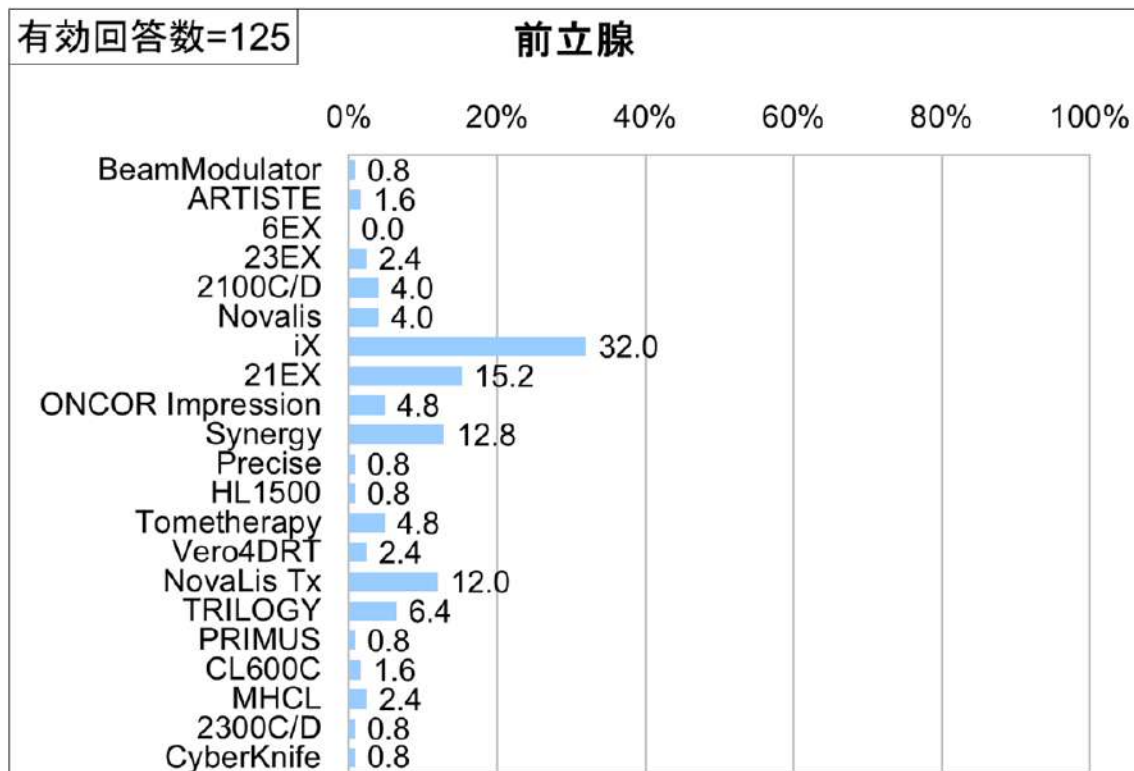


図 2-1-1-1 前立腺 IMRT で使用している治療装置.

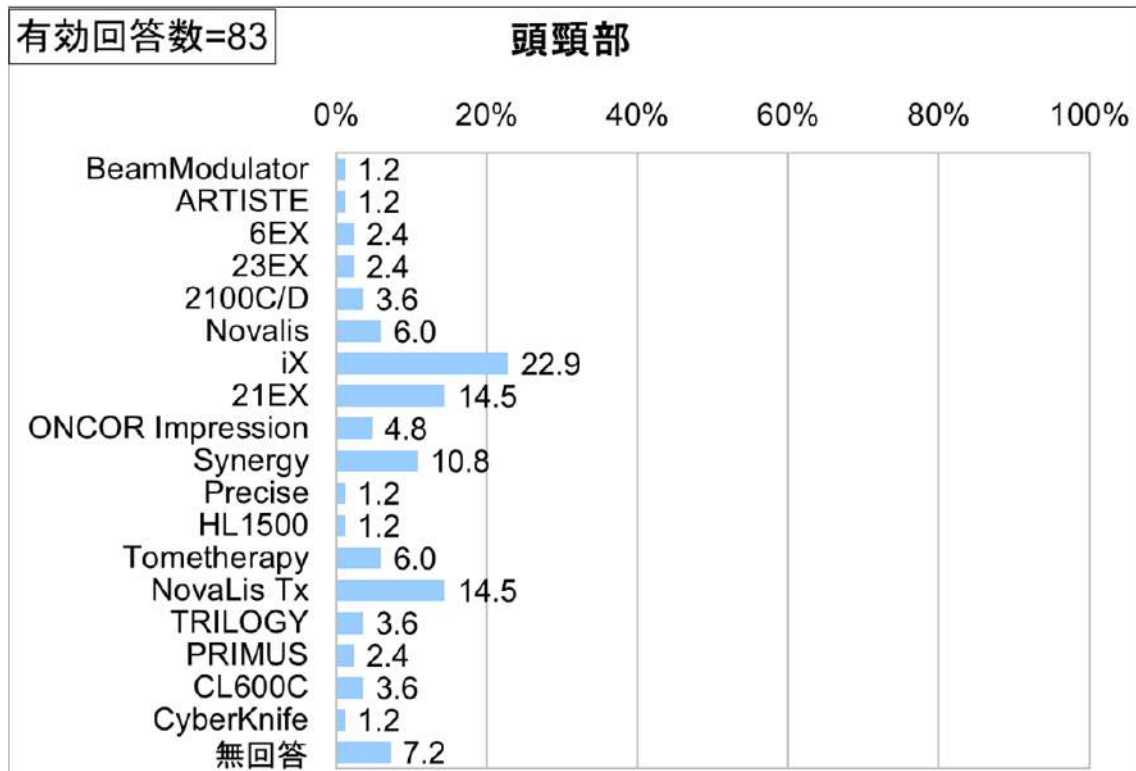


図 2-1-1-2 頭頸部 IMRT で使用している治療装置.

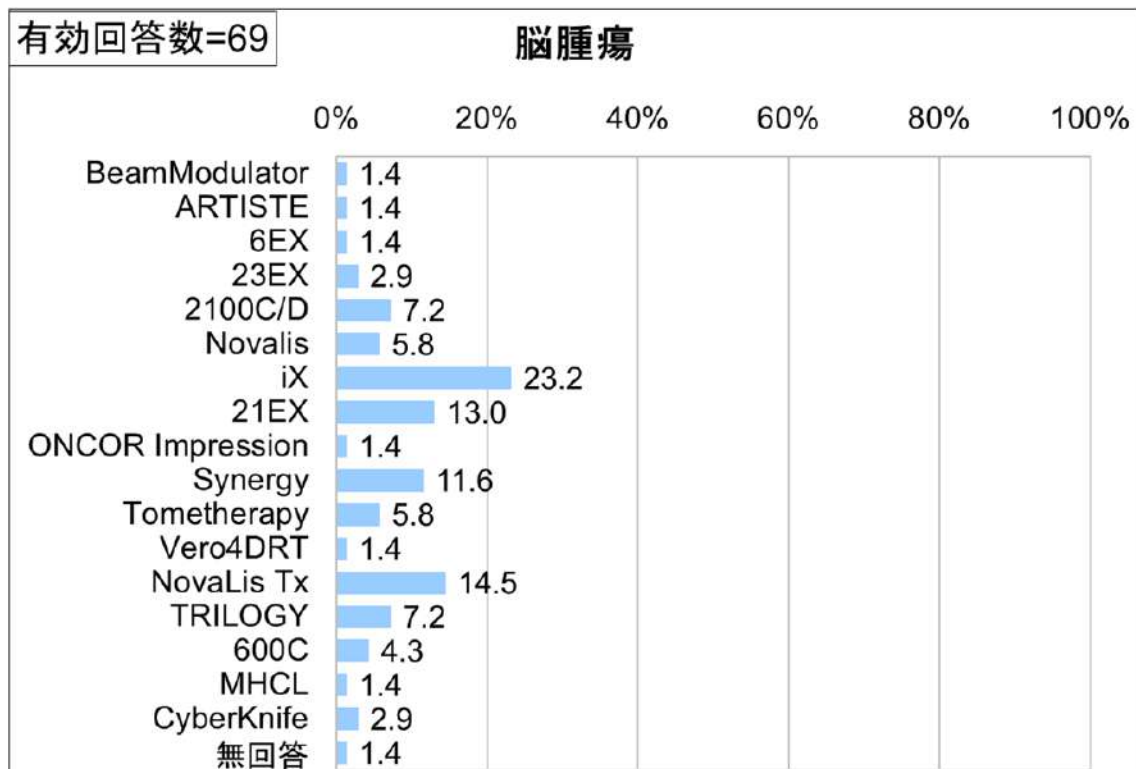


図 2-1-1-3 脳腫瘍 IMRT で使用している治療装置.

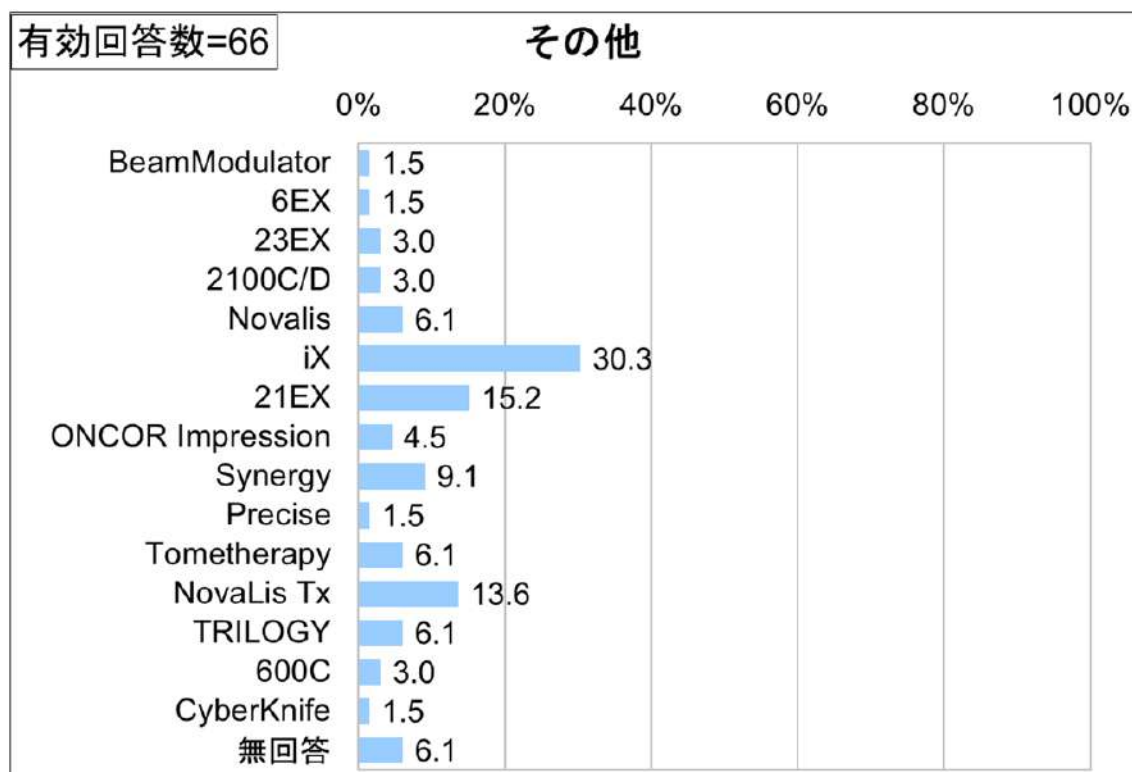


図 2-1-1-4 その他の部位の IMRT で使用している治療装置.

2-1-2 治療計画装置

治療計画装置は、50%以上の施設で Eclipse が使用されており、次いで Pinnacle(約 20%), iPlan(約 10%), XiO(約 10%)が並ぶ結果となった。

2-1-3 線量計算アルゴリズム

約 85%以上の施設で、Superposition 法相当以上の線量計算精度の高いアルゴリズムが使用されていることが分かった。

2-1-4 最小 MLC 幅

いずれの部位においても 5 mm 以上 6 mm 未満が 45%以上と最も多く、次いで 2 mm 以上 3 mm 未満(約 20%)となった。部位による傾向の違いは特に見られなかった。

2-1-5 IMRT 照射方法

いずれの部位においても Dynamic MLC が約半数を占めていた。次いで Segmental IMRT(約 20%), VMAT や Tomotherapy などの回転系照射方法(約 20%)の順となった。部位による差は特に見られなかった。「IMRT に使用している治療装置」や「治療計画装置」の傾向と同様に、施設の持つシステム・設備に依存するところが大きいことが分かった。

2-2 IMRT 臨床プランおよび QA プランで採用している線量計算グリッドサイズ

2-2-1 IMRT 臨床プランおよび QA プランで採用している線量計算グリッドサイズ

図 2-2-1-1~4 は、IMRT の臨床プランおよび QA プランで採用している線量計算グリッドサイズの部位別の結果である。QA プランについては、吸収線量検証と線量分布検証について、それぞれ全門評価と各門評価の計算グリッドサイズの割合を示した。

IMRT 臨床プラン作成時の計算グリッドサイズは、いずれの部位においても、2 mm 以上 3 mm 未満を採用している施設が最も多く、80%以上であった。また、QA プランの線量計算時の計算グリッドサイズも臨床プランと同様に、2 mm 以上 3 mm 未満を採用している施設が最も多かった。対象部位による相違、QA プランの全門評価・各門評価による相違、絶対線量・線量分布による計算グリッドサイズの傾向の相違は特に見られなかった。

少ない割合ではあるが、5 mm 以上の計算グリッドサイズを使用している施設も見受けられた。大きな計算グリッドで線量計算を実施すると、線量分布の勾配が大きい領域で線量計算精度が低下する。よって、IMRT の治療計画では 2 mm 程度の小さな計算グリッドの使用を推奨する [1]。

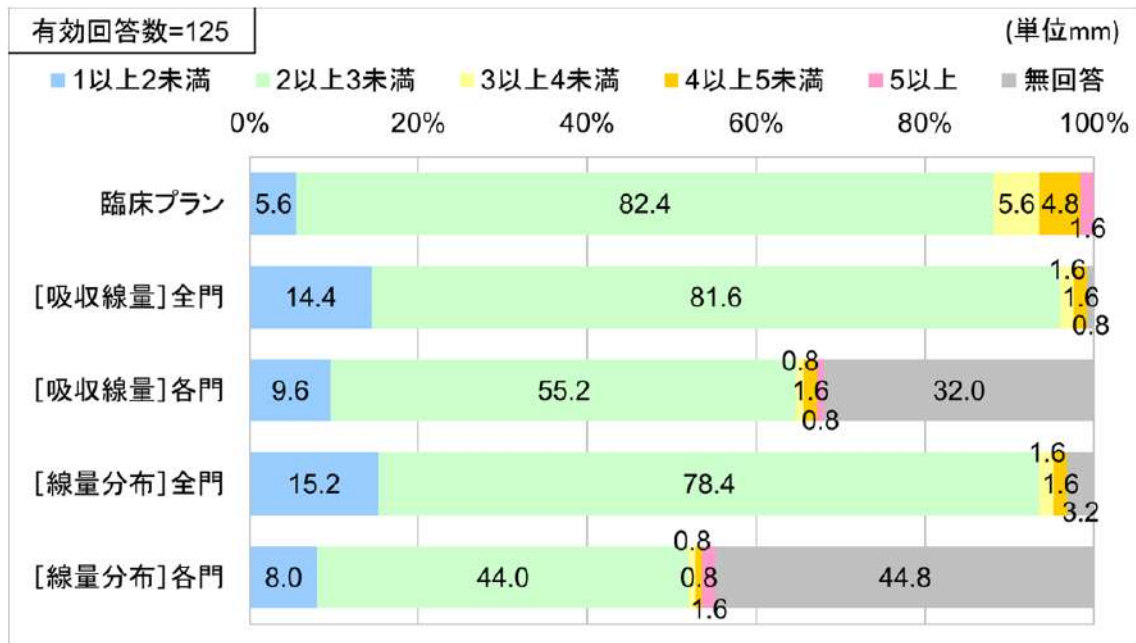


図 2-2-1-1 前立腺 IMRT の臨床プランおよび QA プランで採用している線量計算グリッドサイズ。



図 2-2-1-2 頭頸部 IMRT の臨床プランおよび QA プランで採用している線量計算グリッドサイズ。

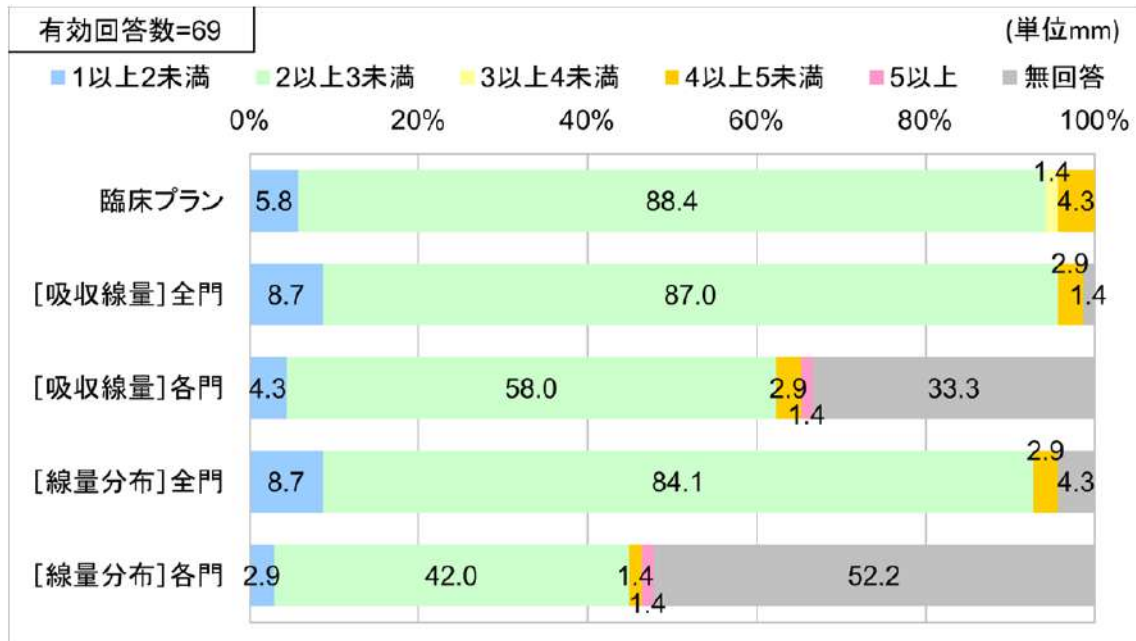


図 2-2-1-3 脳腫瘍 IMRT の臨床プランおよび QA プランで採用している線量計算グリッドサイズ.

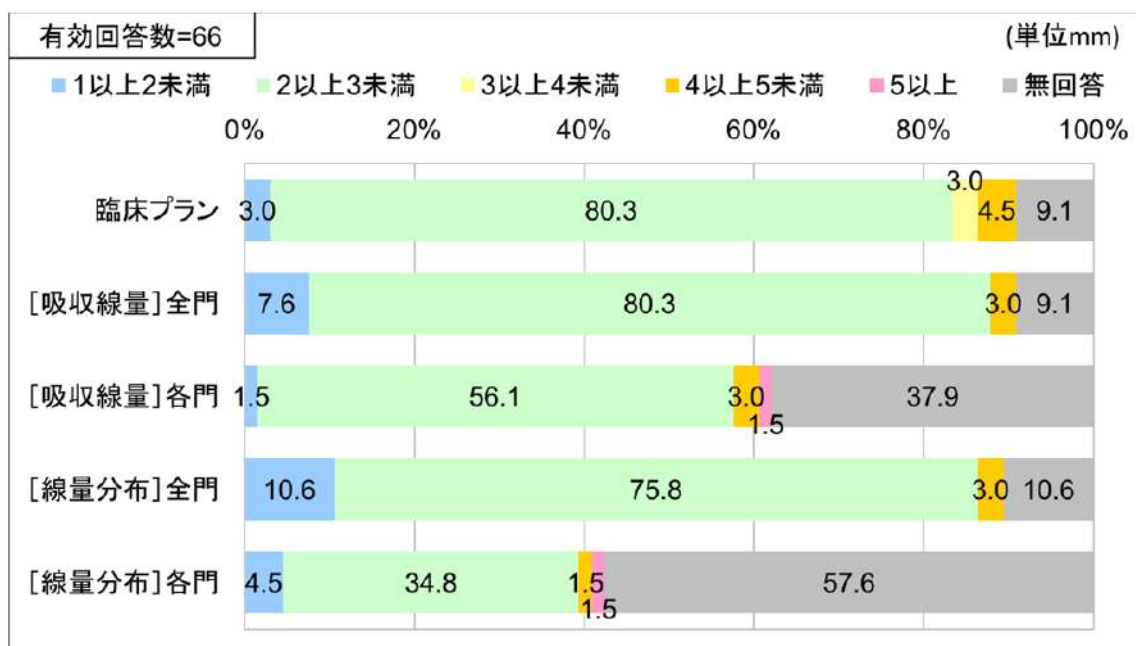


図 2-2-1-4 その他の部位の IMRT の臨床プランおよび QA プランで採用している線量計算グリッドサイズ.

2-2-2 IMRT 臨床プランと QA プランでの線量計算グリッドサイズの一致度

図 2-2-2-1~4 は、IMRT の臨床プランと QA プランで線量計算グリッドサイズを同一にしているかどうかを解析した結果である。全門評価ではどの部位においても約 80%，各門評価でその他の部位の IMRT を除いて約 45%が「臨床プランと同じ線量計算グリッドサイズ」との回答であった。「臨床プランと異なる線量計算グリッドサイズ」の数には各門検証自体を実施していない件数(図 2-2-1 で「無回答」と回答した件数)が含まれているため、図 2-2-1-1~4 の「無回答」の割合を考慮すれば、検証を実施している多くの施設が、臨床プランと QA プランの計算グリッドサイズを同一にしているということが推測される。ただし、図 2-2-1-1~4 の結果において、吸収線量、線量分布の全門評価について、1 mm 以上 2 mm 未満の計算グリッドを採用している割合が臨床プランと比較してやや多く、QA プランを臨床プランよりも計算グリッドを細かくして計算している施設もあった。対象部位による相違は特に見られなかった。

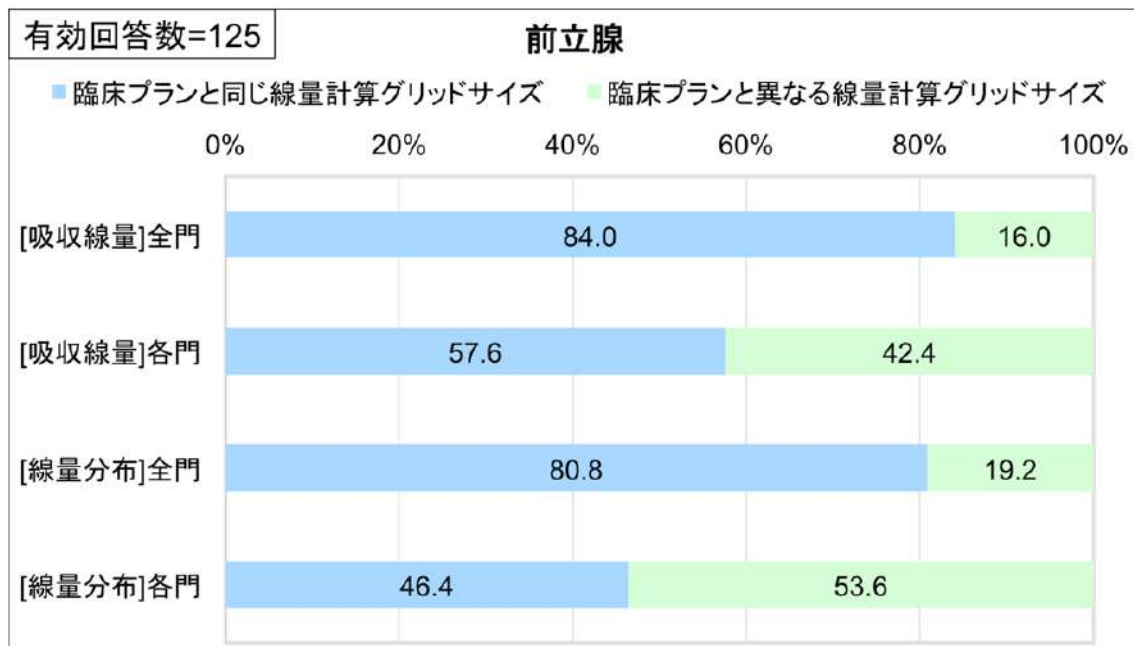


図 2-2-2-1 前立腺 IMRT の臨床プランと QA プランの線量計算グリッドサイズの一致。

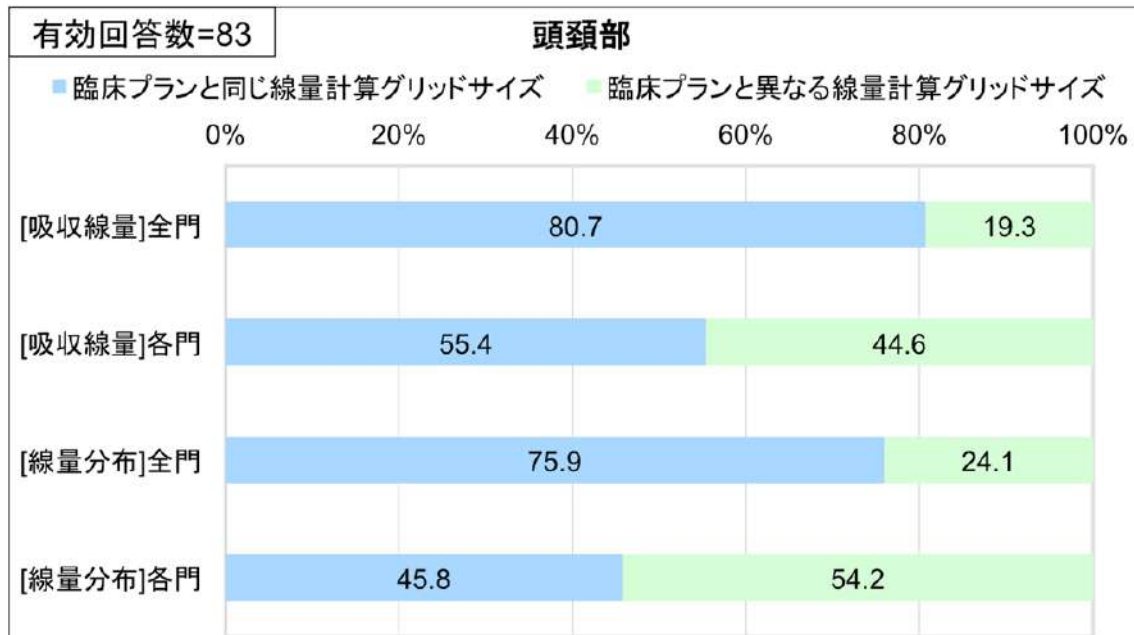


図 2-2-2-2 頭頸部 IMRT の臨床プランと QA プランの線量計算グリッドサイズの一致.

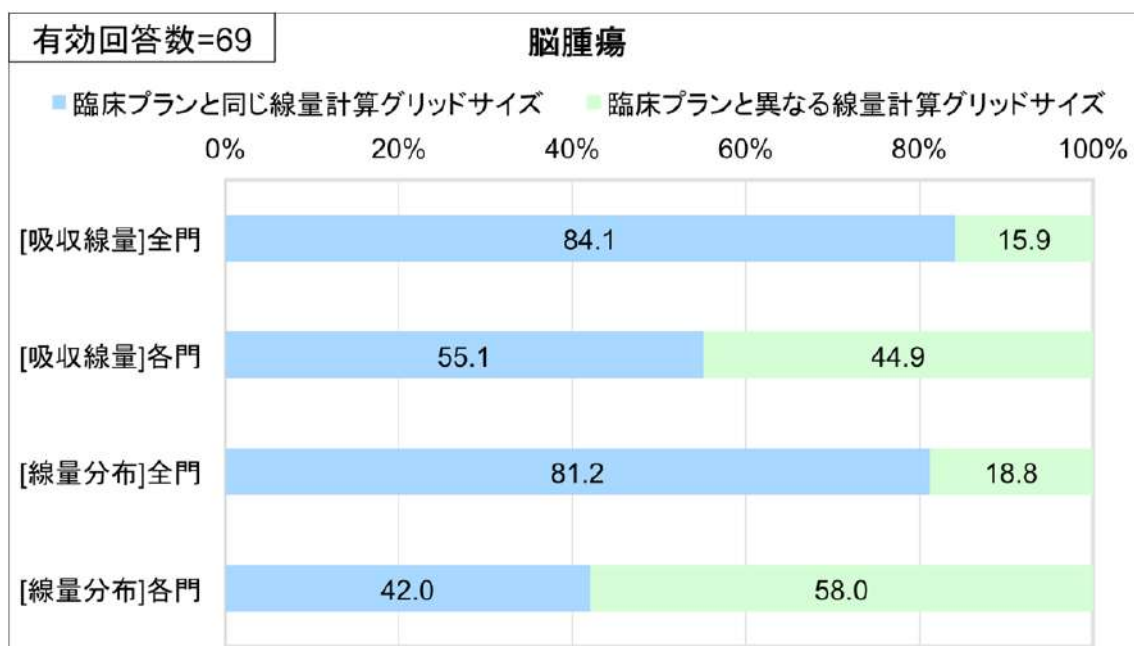


図 2-2-2-3 脳腫瘍 IMRT の臨床プランと QA プランの線量計算グリッドサイズの一致.

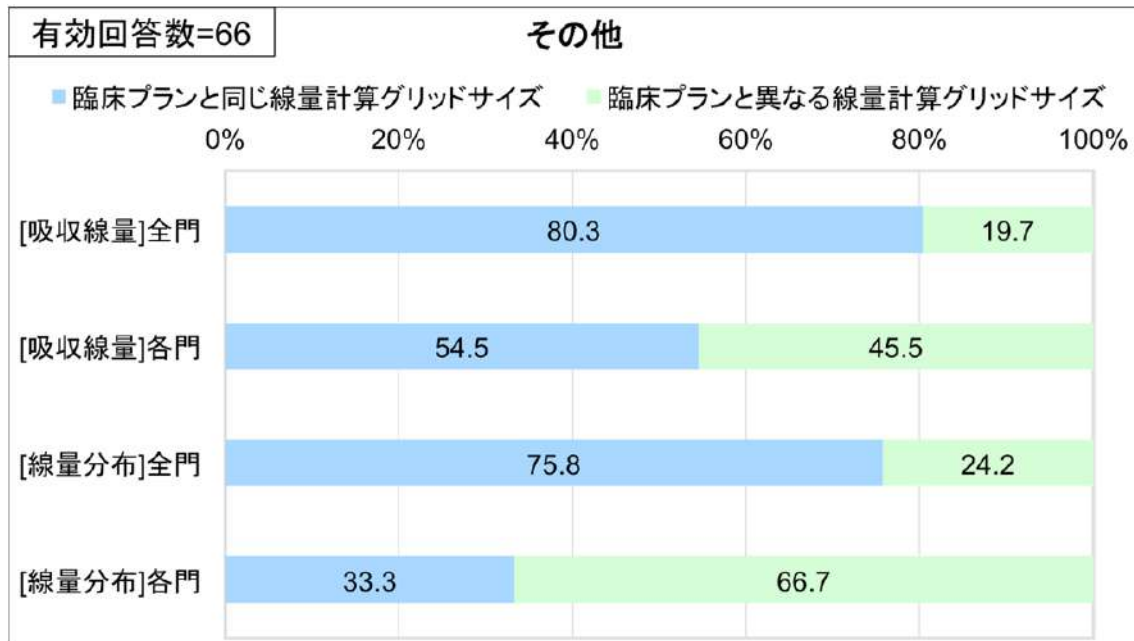


図 2-2-2-4 その他の部位の IMRT の臨床プランと QA プランの線量計算グリッドサイズの一致.

2-3 IMRT 臨床プランおよび QA プランで採用している CT 画像のスライス厚

2-3-1 IMRT 臨床プランおよび QA プランで採用している CT 画像のスライス厚

図 2-3-1-1~4 は, IMRT の臨床プランおよび QA プランで採用している CT 画像のスライス厚の部位別の結果である. QA プランについては, 吸収線量検証と線量分布検証について, それぞれ全門評価と各門評価の CT 画像のスライス厚の割合を示した.

IMRT 臨床プランの線量計算に使用する CT 画像のスライス厚は, いずれの部位においても, 2 mm 以上 3 mm 未満が最も多かった. 次に 1 mm 以上 2 mm 未満であった. また, QA プランで使用する CT 画像のスライス厚も臨床プランと同様の傾向で, 2 mm 以上 3 mm 未満が最も多く, 次に 1 mm 以上 2 mm 未満であった. 「無回答」には, 「その検証を実施していない場合」も含まれる. 対象部位による傾向の相違は特に見られなかった.

少ない割合ではあるが, 5 mm 以上の CT スライス厚を使用している施設も見受けられた. CT スライス厚が厚いと, 頭尾方向の分解能が悪くなり, 輪郭描出や照合の不正確さを招く. また, 頭尾方向のマージンサイズがスライス厚に依存する治療計画装置もあり, 線量分布にも影響を及ぼす. したがって, 3 mm 以下の薄いスライス厚を設定することを推奨する [1].



図 2-3-1-1 前立腺 IMRT の臨床プランおよび QA プランで採用している CT 画像のスライス厚.

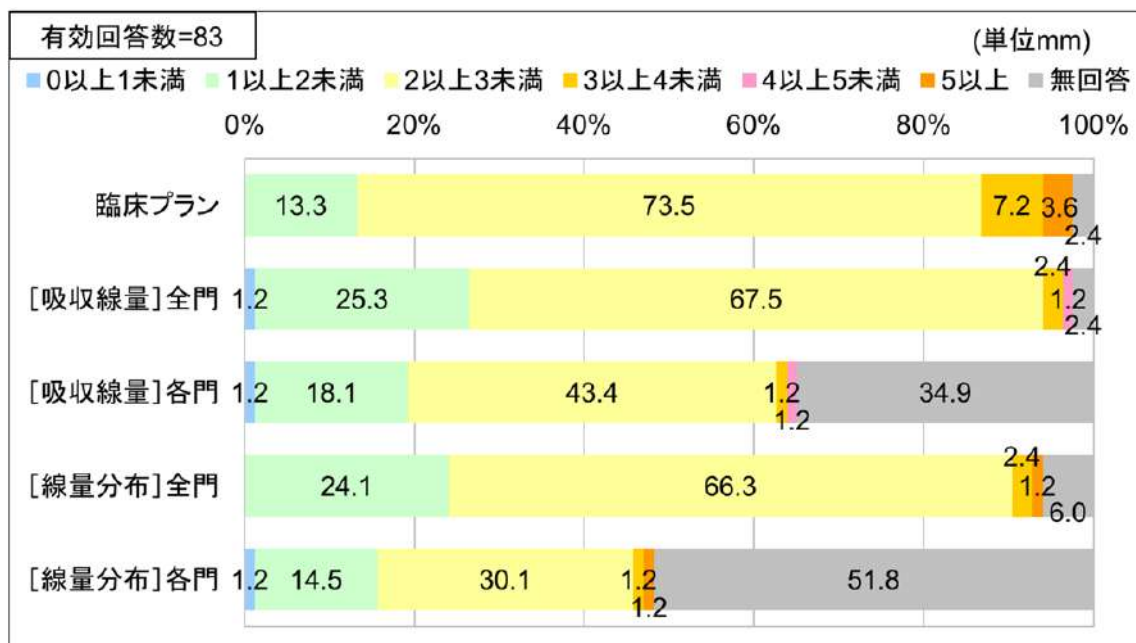


図 2-3-1-2 頭頸部 IMRT の臨床プランおよび QA プランで採用している CT 画像のスライス厚.

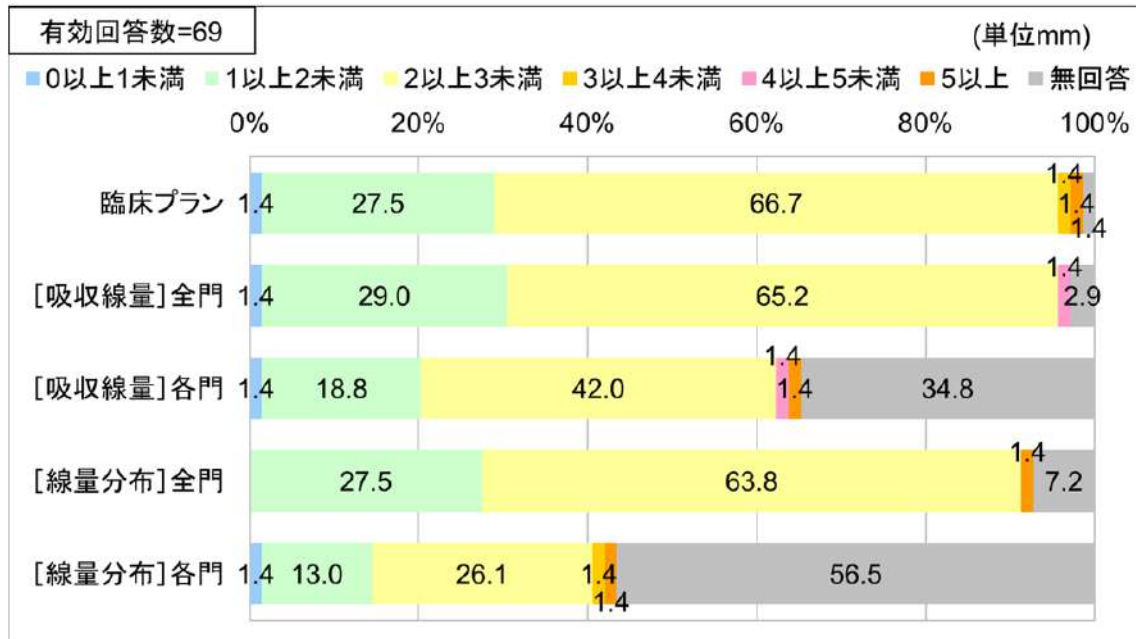


図 2-3-1-3 脳腫瘍 IMRT の臨床プランおよび QA プランで採用している CT 画像のスライス厚.



図 2-3-1-4 その他の部位の IMRT の臨床プランおよび QA プランで採用している CT 画像のスライス厚.

2-3-2 IMRT 臨床プランと QA プランでの CT 画像のスライス厚の一致度

図 2-3-2-1~4 は、IMRT の臨床プランと QA プランで CT 画像のスライス厚を同一にしているかどうかを解析した結果である。どの部位においても、全門検証では 50~60%程度、各門検証では 30~40%程度が「臨床プランと同じ CT スライス厚」との回答であった。「臨床プランと異なる CT スライス厚」の数には各門検証自体を実施していない件数(図 2-3-1-1~4 で「無回答」と回答した件数)が含まれているため、図 2-3-1~4 の「無回答」の割合を考慮すれば、検証を実施している多くの施設が、臨床プランと QA プランの CT スライス厚を同一にしているということが推測された。対象部位による傾向の相違は特に見られなかった。

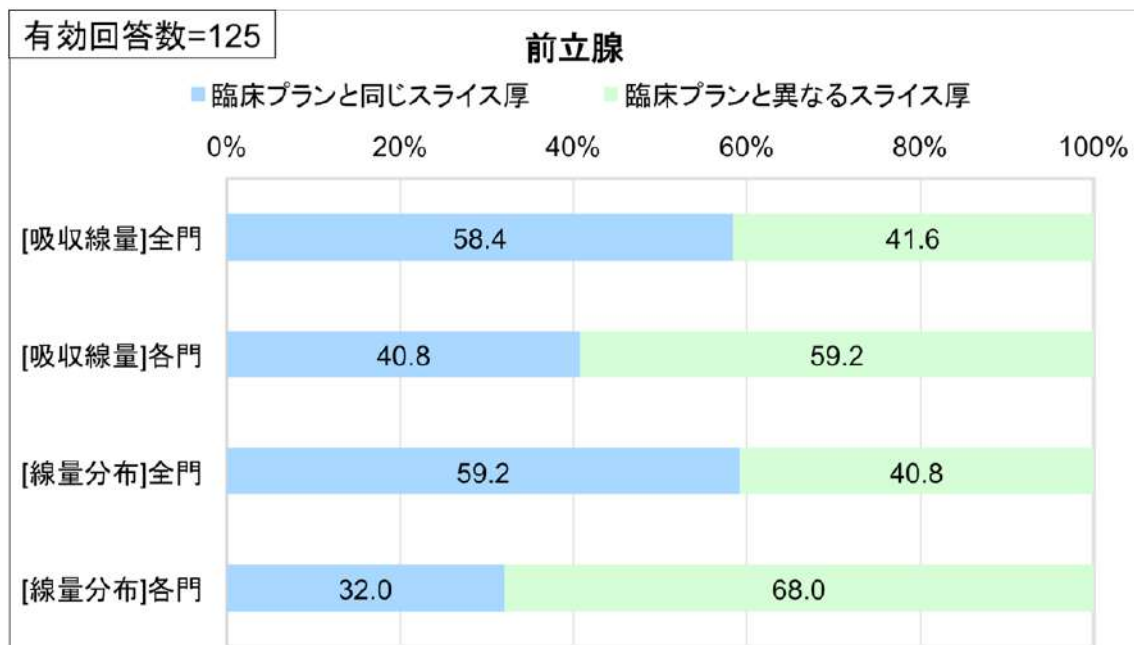


図 2-3-2-1 前立腺 IMRT の臨床プランと QA プランの CT 画像スライス厚の一致。

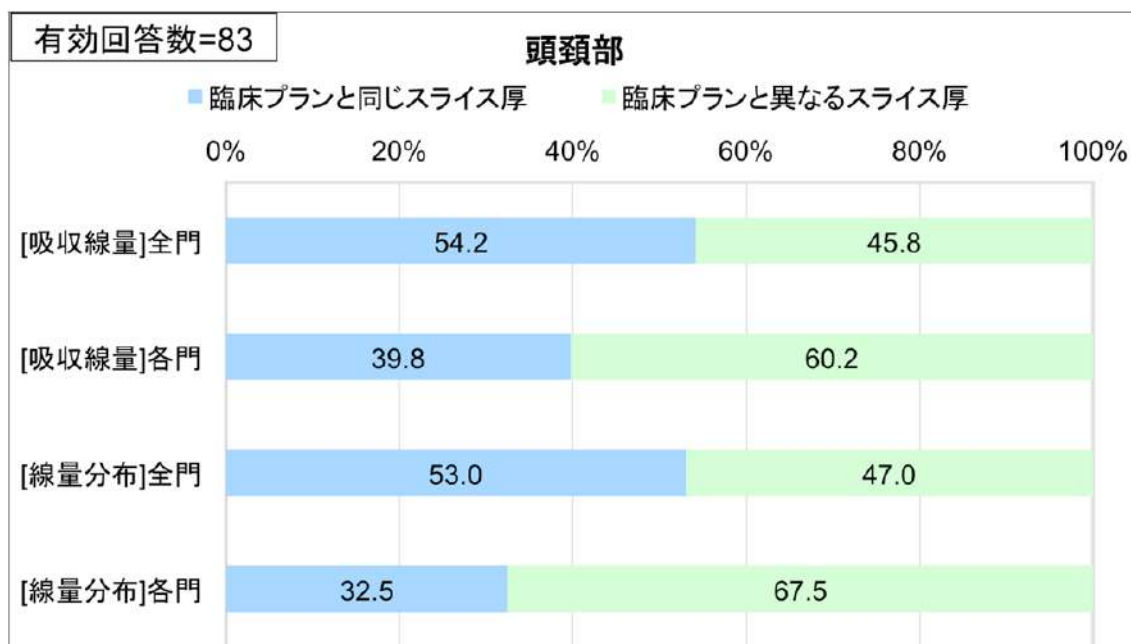


図 2-3-2-2 頭頸部 IMRT の臨床プランと QA プランの CT 画像スライス厚の一致.

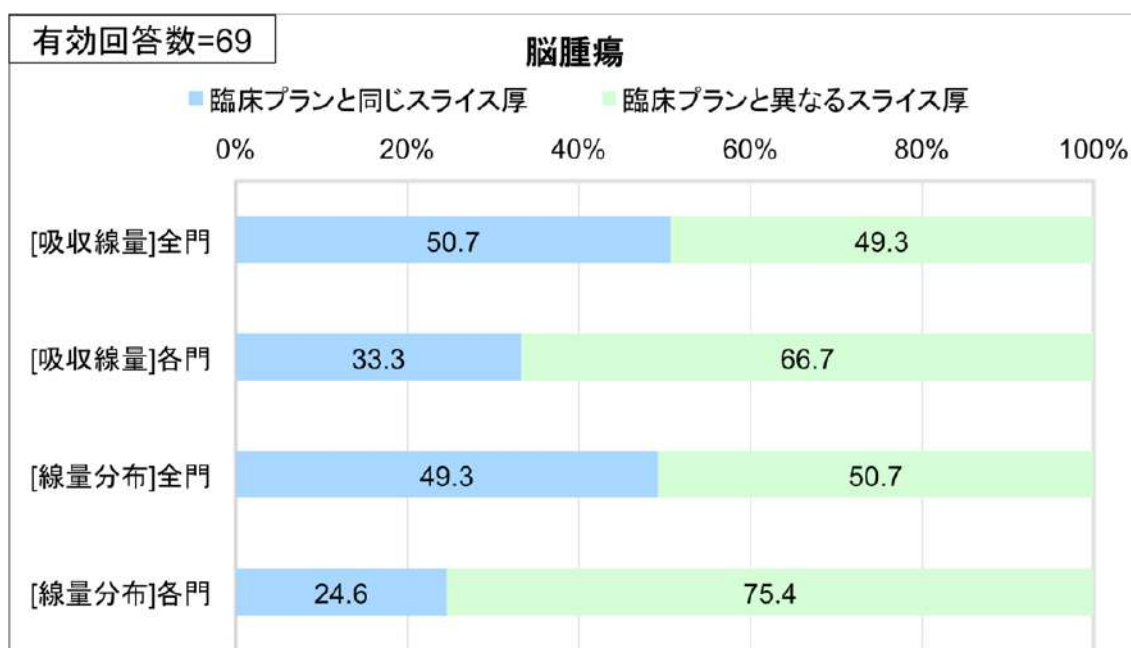


図 2-3-2-3 脳腫瘍 IMRT の臨床プランと QA プランの CT 画像スライス厚の一致.

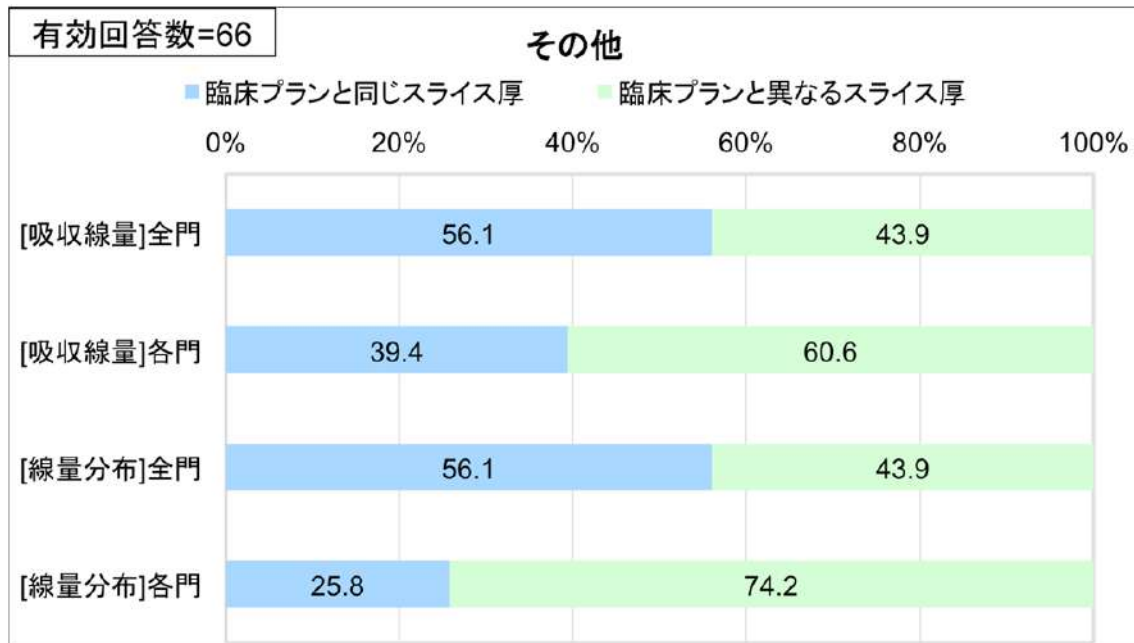


図 2-3-2-4 その他の部位の IMRT の臨床プランと QA プランの CT 画像スライス厚の一致.

2-4 IMRT QA に使用しているファントム [複数選択可能項目]

図 2-4-1~4 は, IMRT QA に使用しているファントムの部位別の結果である. IMRT の QA に使用しているファントムは, 吸収線量検証(各門評価, 全門評価), 線量分布検証(各門評価, 全門評価)のいずれにおいても, 水ファントムを使用している施設は少なく, 水等価平板ファントムを使用している施設が比較的多かった. また, 「上記以外」との回答も多く, 具体的に使用しているファントムについては, l'mRT ファントム(IBA Dosimetry 社), RT-3000(アールテック社), QUASAR アクリル円柱ファントム(MODUS MEDICAL DEVICES 社), Φ20cm 球, コルク+模擬腫瘍の肺がん用ファントムなどのほか, MapCHECK(Sun Nulear 社), MatriXX(IBA Dosimetry 社), Delta4(ScandiDos 社), ArcCHECK(Sun Nulear 社)などの回答があった. 吸収線量の各門評価, 線量分布の各門評価を行っていない割合はいずれも 30%を超えており, 特に線量分布の各門評価は実施していない割合が 50%近くに上った. 対象部位による傾向の相違は特に見られなかった.

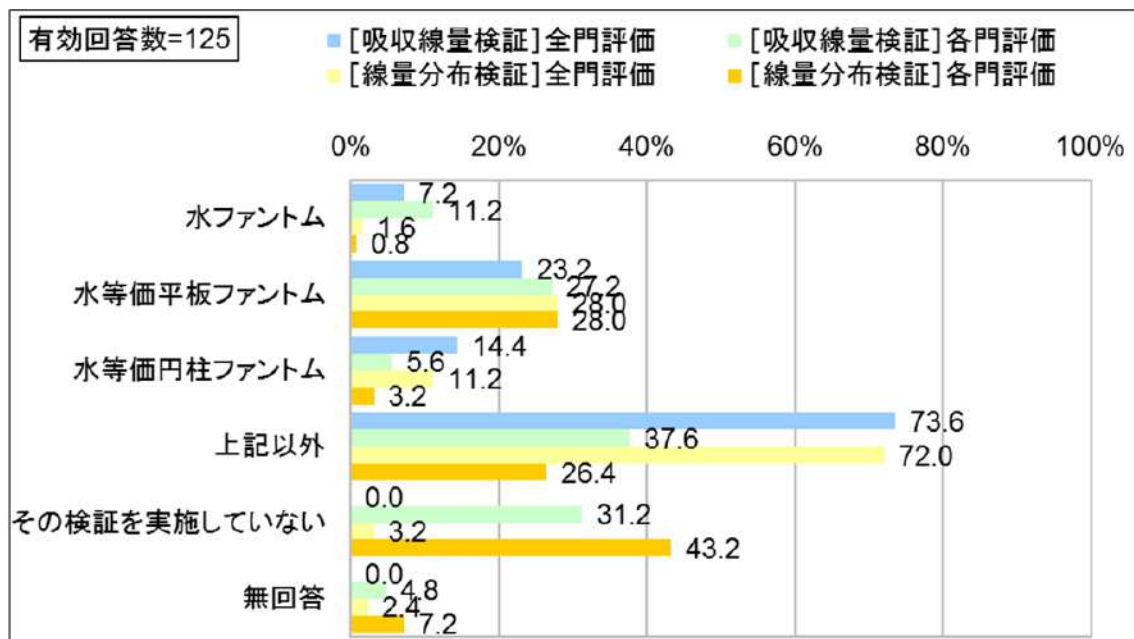


図 2-4-1 前立腺 IMRT の QA に使用しているファントム.

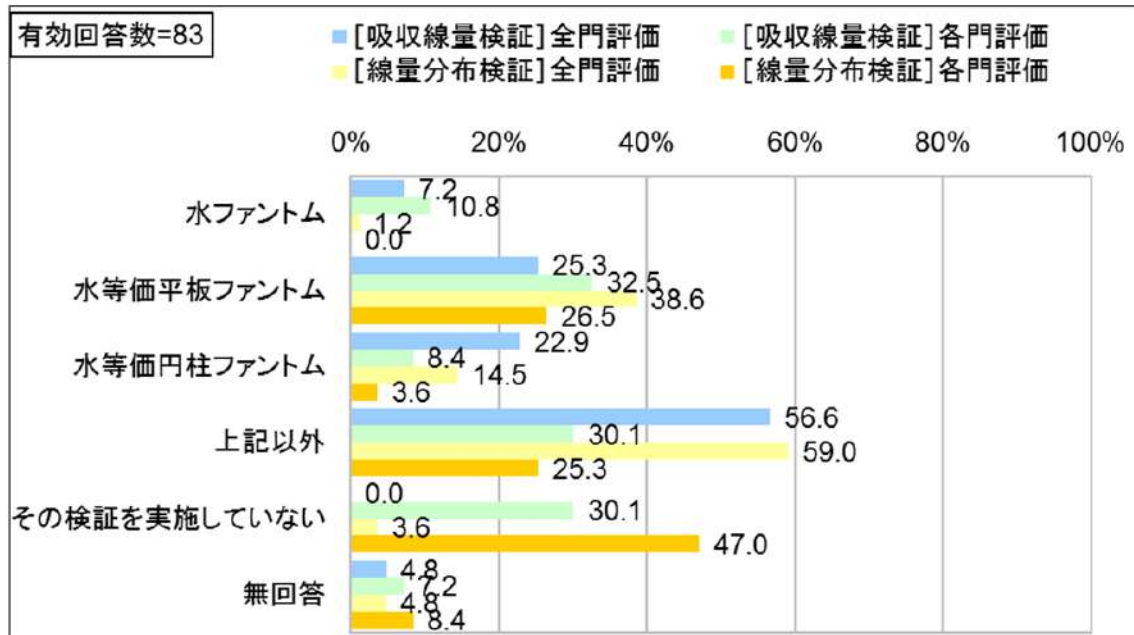


図 2-4-2 頭頸部 IMRT の QA に使用しているファントム.

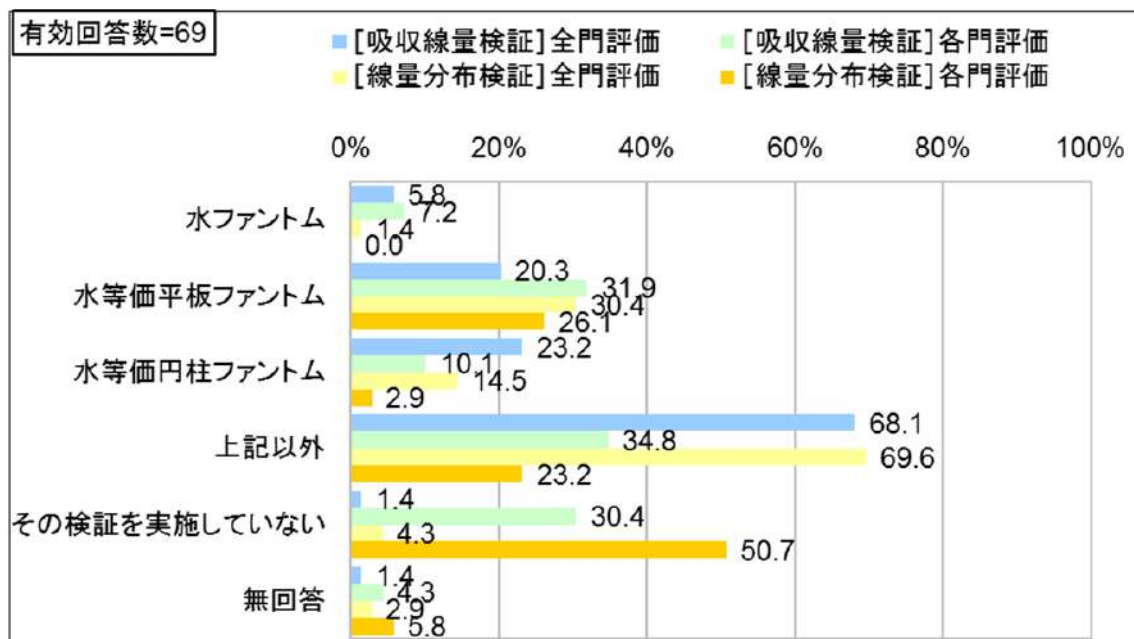


図 2-4-3 脳腫瘍 IMRT の QA に使用しているファントム.

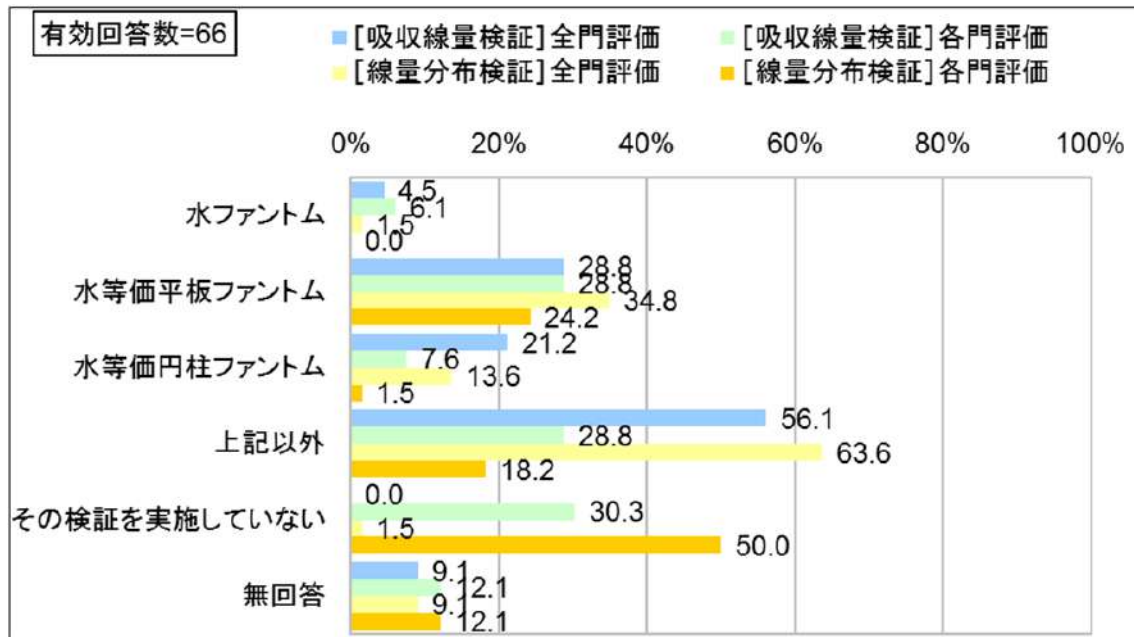


図 2-4-4 その他の部位の IMRT の QA に使用しているファントム。

2-5 IMRT QA に使用しているファントム画像の取得方法 [複数選択可能項目]

図 2-5-1~4 は、IMRT QA に使用しているファントム画像の取得方法の部位別の結果である。IMRT の QA に使用するファントム画像の取得方法については、吸収線量測定、線量分布測定のいずれにおいても、「ファントムを治療計画用 CT で撮影」が最も多く、吸収線量測定、線量分布測定の全門評価では 85%以上であった。「治療計画装置上で仮想的に作成」を選択したのは 10%程度であった。前述までの設問と同様で、吸収線量、線量分布の各門評価を実施していない割合が 30~50%程度見られた。対象部位による傾向の相違は特に見られなかった。

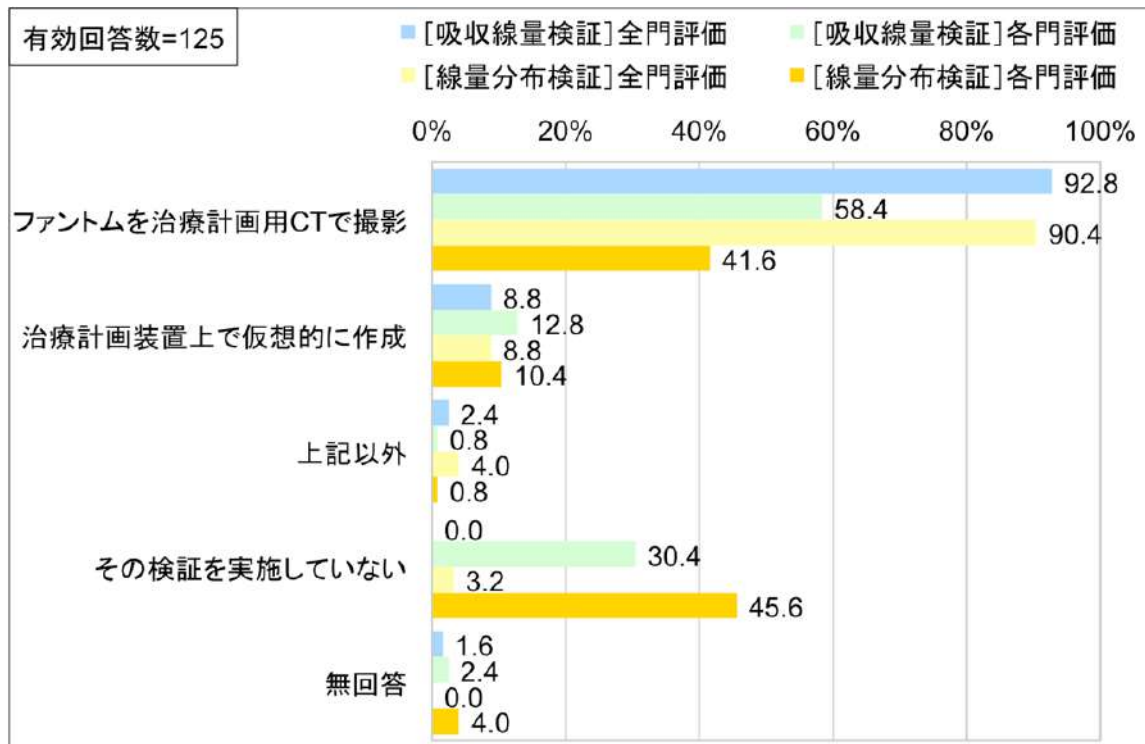


図 2-5-1 前立腺 IMRT の QA に使用しているファントム画像の取得方法.

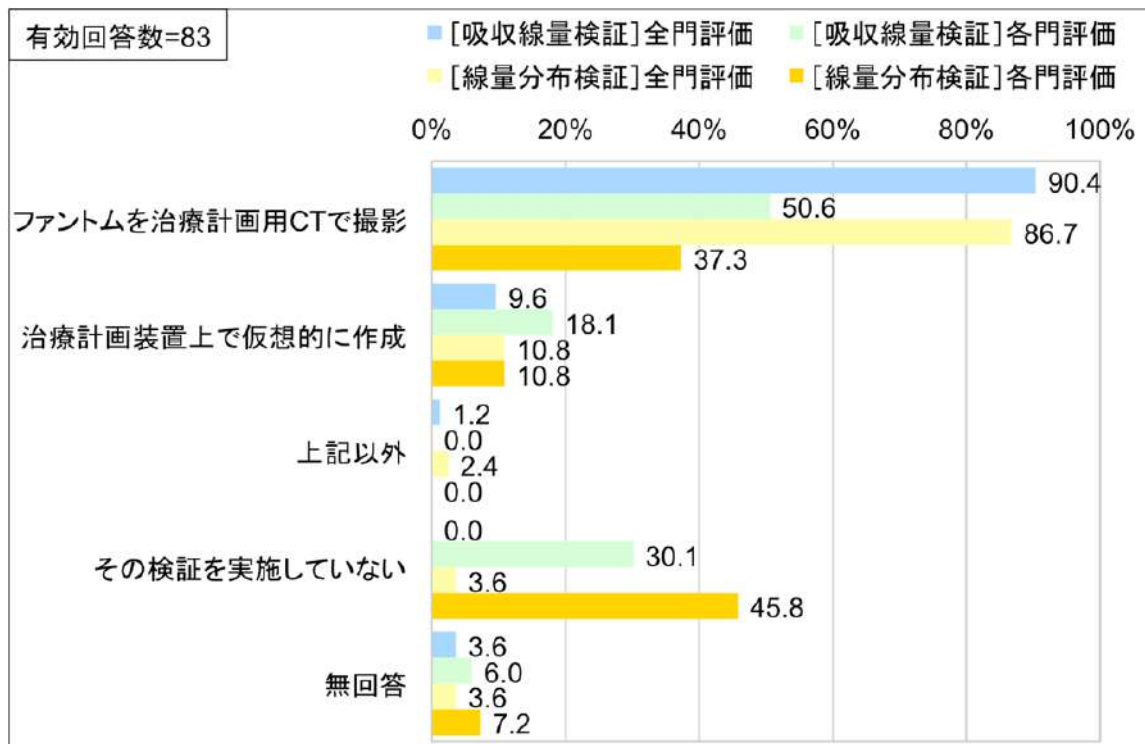


図 2-5-2 頭頸部 IMRT の QA に使用しているファントム画像の取得方法.

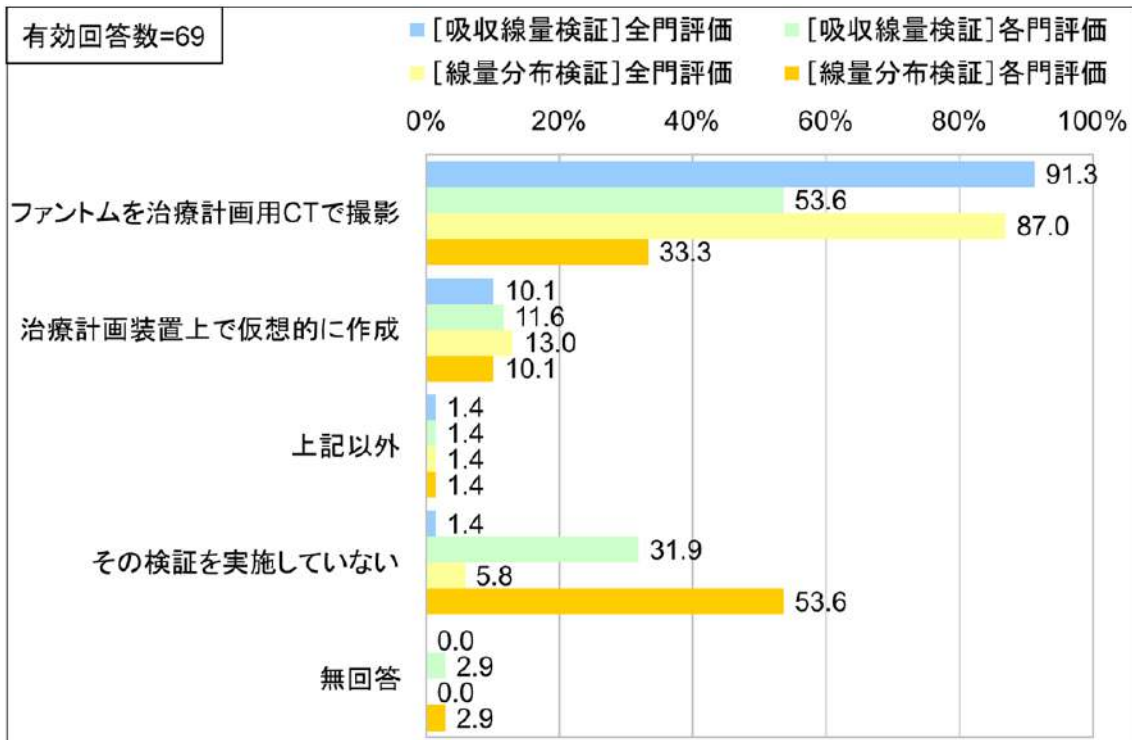


図 2-5-3 脳腫瘍 IMRT の QA に使用しているファントム画像の取得方法.

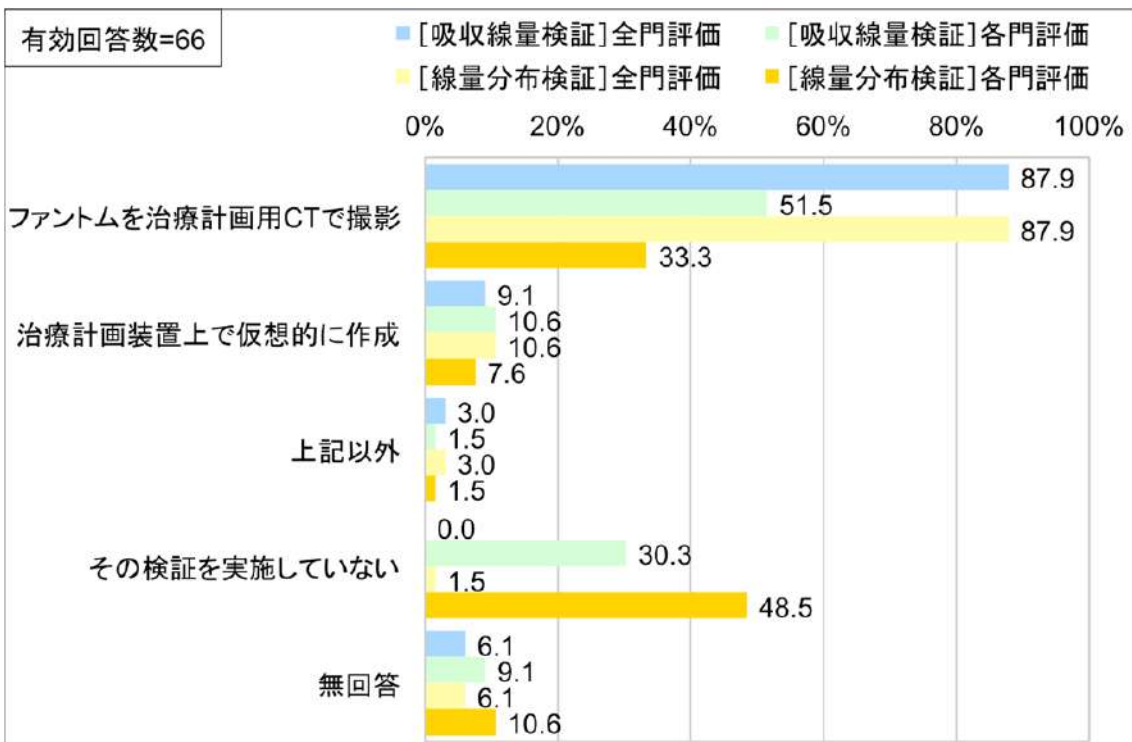


図 2-5-4 その他の部位の IMRT の QA に使用しているファントム画像の取得方法.

2-6 IMRT QA 用ファントム CT 画像の CT 値もしくは相対電子濃度の置換

IMRT の QA に使用しているファントムの CT 画像の CT 値-相対電子濃度について、CT 値もしくは相対電子濃度の変換を行っている施設の割合は、吸収線量の全門評価では約 50%，吸収線量の各門評価、線量分布の全門評価では約 35%，線量分布の各門評価では約 15~20%であった。CT 値もしくは相対電子濃度を変換する場合、変換方法(例: ①CT 値-相対電子濃度曲線から水に相当する値を抽出した, ②物質の組成から計算した電子濃度の理論値を用いて CT 値-相対電子濃度曲線から内挿した, 等)についても再確認いただきたい。約半数以上の施設では、撮影した CT 画像の CT 値もしくは相対電子濃度を置換せずにそのままの線量計算用のファントムデータとして使用していることが分かった。

図 2-6-1~4 は、IMRT QA 用ファントムの CT 画像の置換で、CT 値を変換する場合において、それぞれ変換する数値についての回答を部位別に示したものである。CT 値を変換する場合は主に 0 HU への変換が多かった。また、相対電子濃度を変換する場合は、70%以上の施設で相対電子濃度を水相当にしていると回答していた。この結果から、固定値への変換をしている施設のほとんどが「水に置き換える」という選択を行っていることが予想された。水以外の数値に置換している場合、ファントムの平均値などを使用していることも予想される。各施設で使用しているファントムが異なるため、0 HU 以外への置換に関してはばらつきが生じたと考えられる。

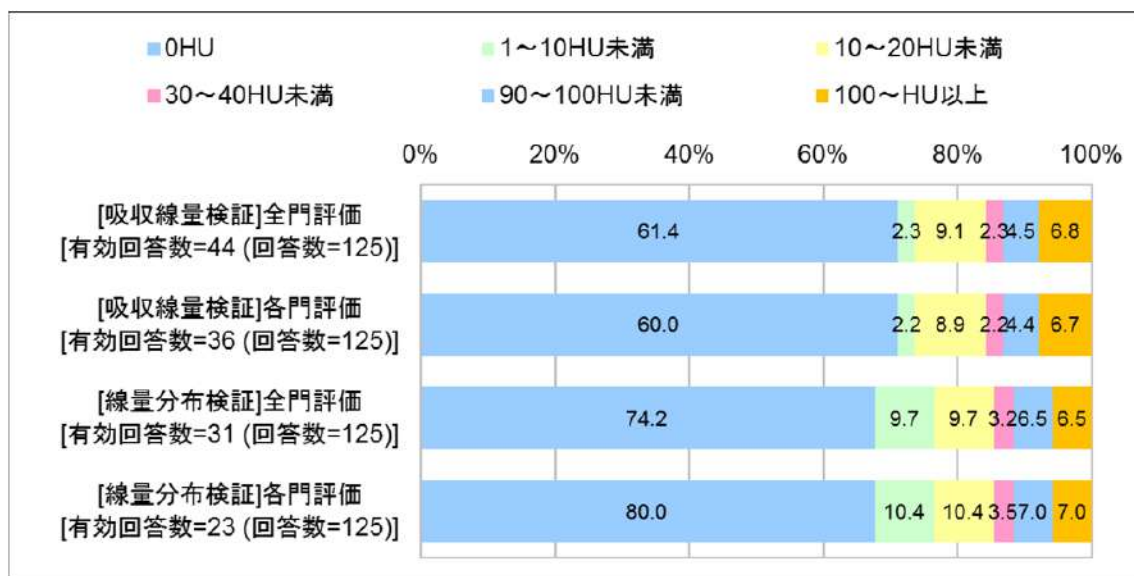


図 2-6-1 前立腺 IMRT における QA ファントムの CT 値の変換数値。

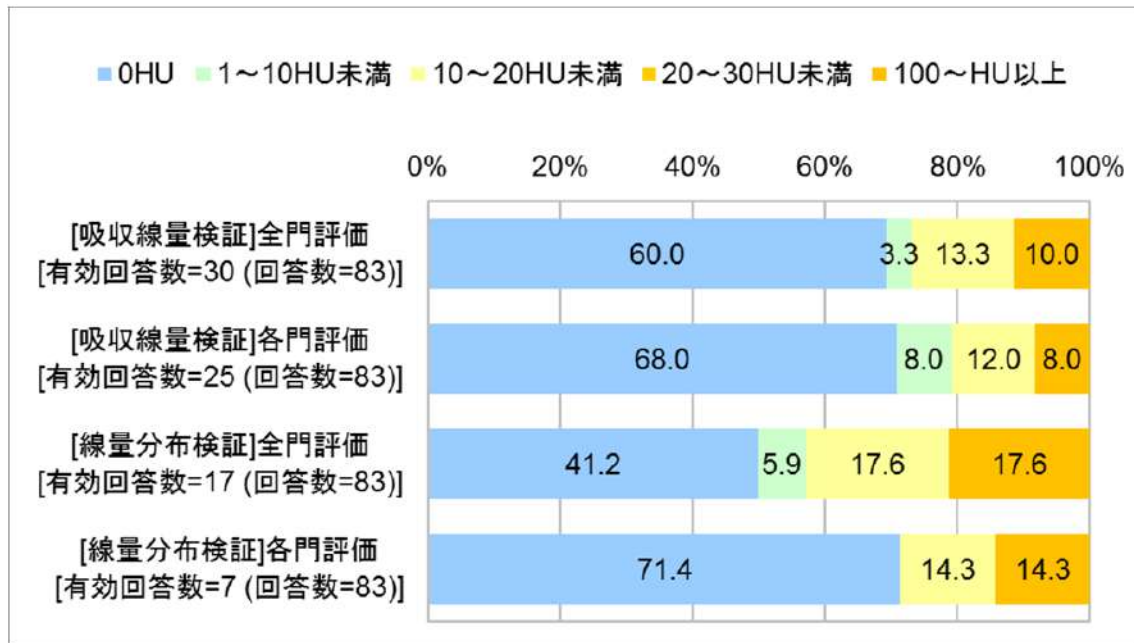


図 2-6-2 頭頸部 IMRT における QA ファントムの CT 値の変換数値.

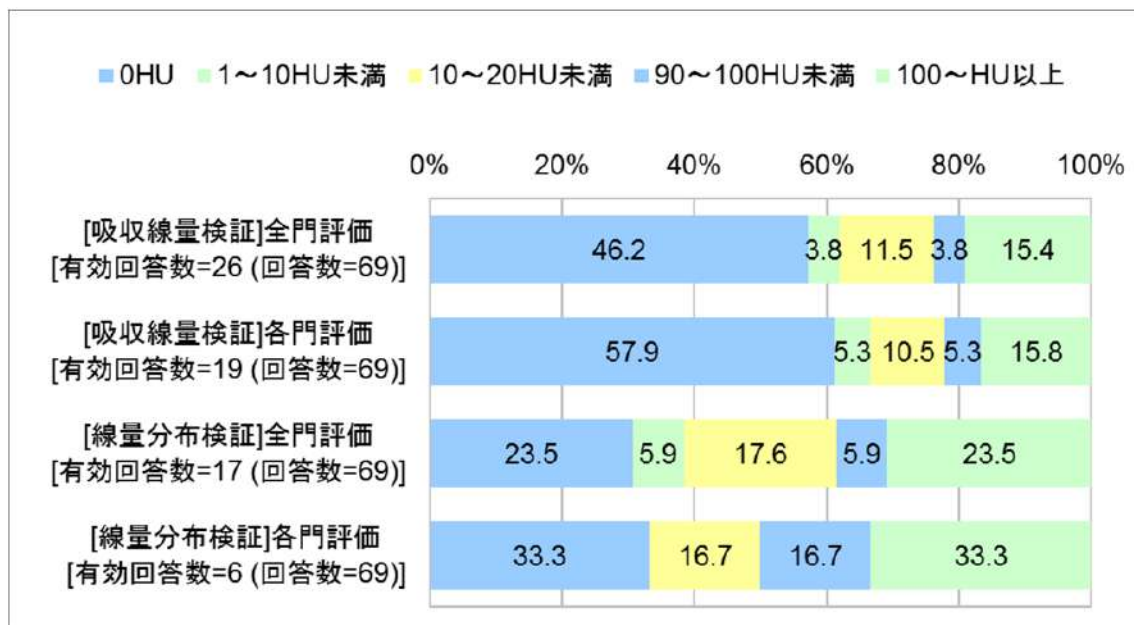


図 2-6-3 脳腫瘍 IMRT における QA ファントムの CT 値の変換数値.

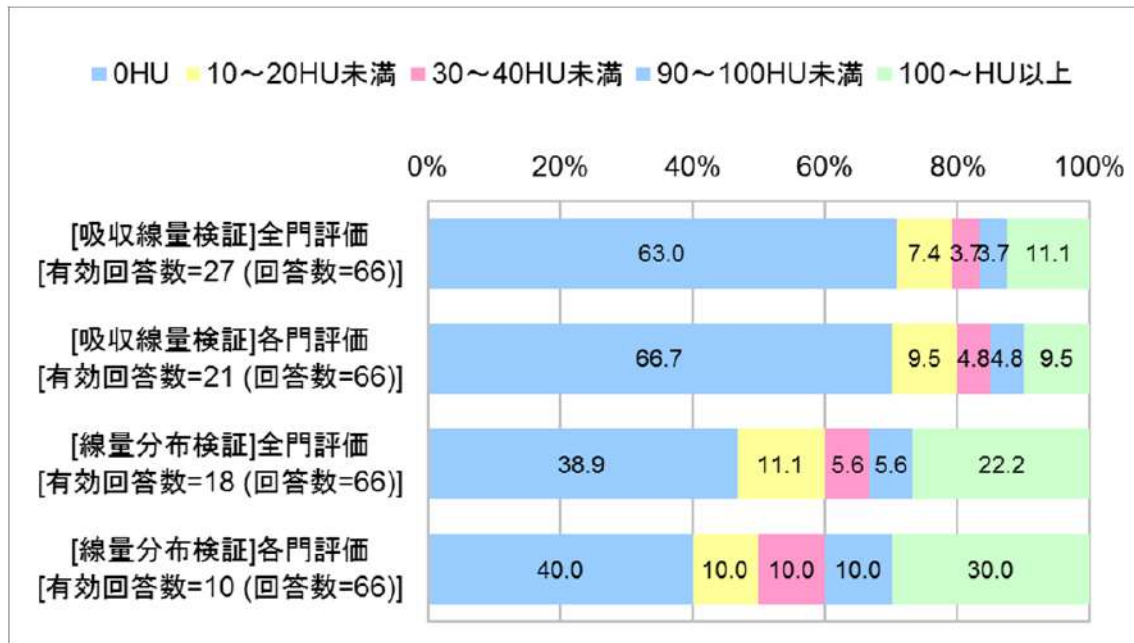


図 2-6-4 その他の部位の IMRT における QA ファントムの CT 値の変換数値.

2-7 IMRT QA 用ファントムに関する補正係数

IMRT QA 用ファントムに関する補正係数を図 2-7 に示す。ファントムに対する補正係数を使用している施設が 51.1%、ファントム補正係数も使用していない施設が 46.5%であり、約半数は補正係数を使用していないことが分かる。また、使用しているファントムに対する補正係数の内訳としては、「フルエンススケールリング係数のみ」が最も多く、「深さスケールリング係数のみ」という施設の割合は少なかった。理論的には、深さスケールリング係数を決定しなければフルエンススケールリング係数は求まらない。しかし、フルエンススケールリング係数のみを考慮していると回答した施設は、文献などの参考値を用いている、あるいは、深さスケールリングをせずに、水に対する測定値の比などから補正していると推測される。

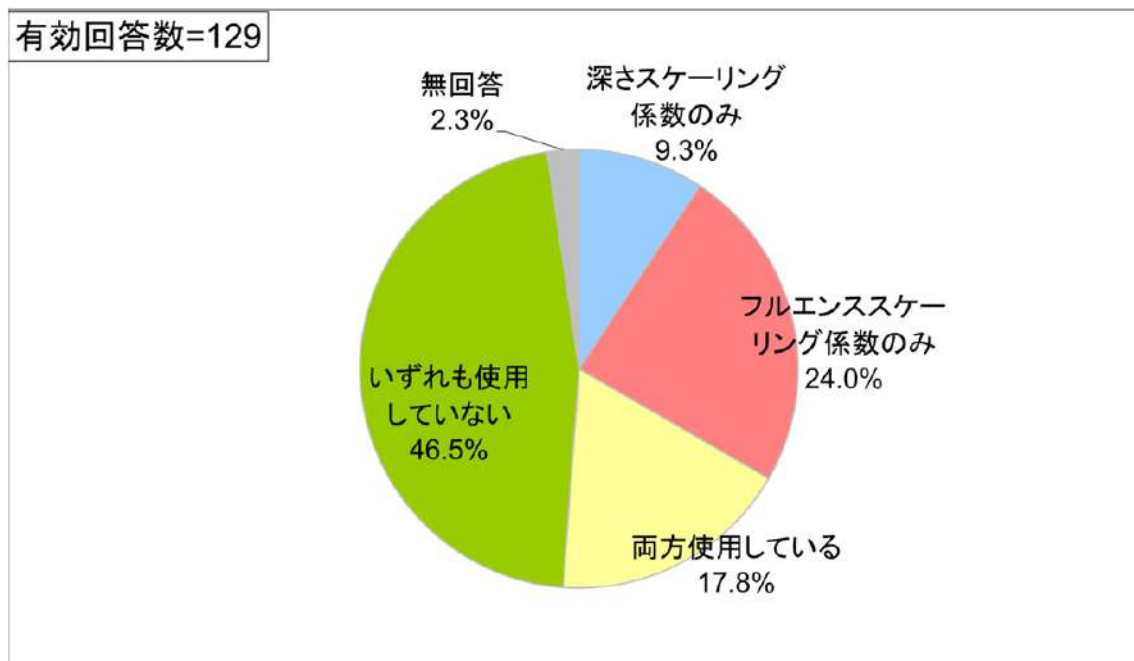


図 2-7 IMRT QA 用ファントムに関する補正係数。

2-8 IMRT QA プランの線量計算および測定時に考慮している線量補正

2-8-1 線量補正項目 [複数選択可能項目]

IMRT QA プランの線量計算および測定時に考慮している線量補正項目について、図 2-8-1-1~4 に示す。カウチ吸収補正、固定具吸収補正については、全門検証では吸収線量検証、線量分布検証共に比較的多く実施されていたが、各門検証の実施割合は少なかった。各門検証ではカウチや固定具の吸収を考慮する必要がないビーム角度を使用して検証が行われているためと考えられる。たとえば、各門検証の QA プラン作成時に各ビームのガントリー角度を 0 度に設定して計算し、臨床プランの

作成時点で最初からカウチや固定具の補正が必要ない角度を選択するなどの工夫が行われているものと推測される。また、出力補正(DMU)については、吸収線量検証(全門評価、各門評価)は比較的多く実施されていたが、線量分布検証(全門評価、各門評価)は実施割合が少なかった。線量分布検証は絶対線量ではなく、線量分布の形状を相対線量として比較することが多いためと考えられる。また、「上記以外」を選択した中で、考慮している補正内容の自由回答では、「プラン作成時点でカウチや固定具の補正が必要ない角度を選択する」などプランのビーム配置を工夫して補正が不要となるようにしている施設や、「前立腺と RapidArc のプランのみ補正を考慮する」や「臨床プランでは固定具があるので止め具の補正を考慮するが QA プランでは固定具が無いので考慮しない」のように補正する場合としない場合を分けている、などの回答があった。対象部位による傾向の相違は特に見られなかった。

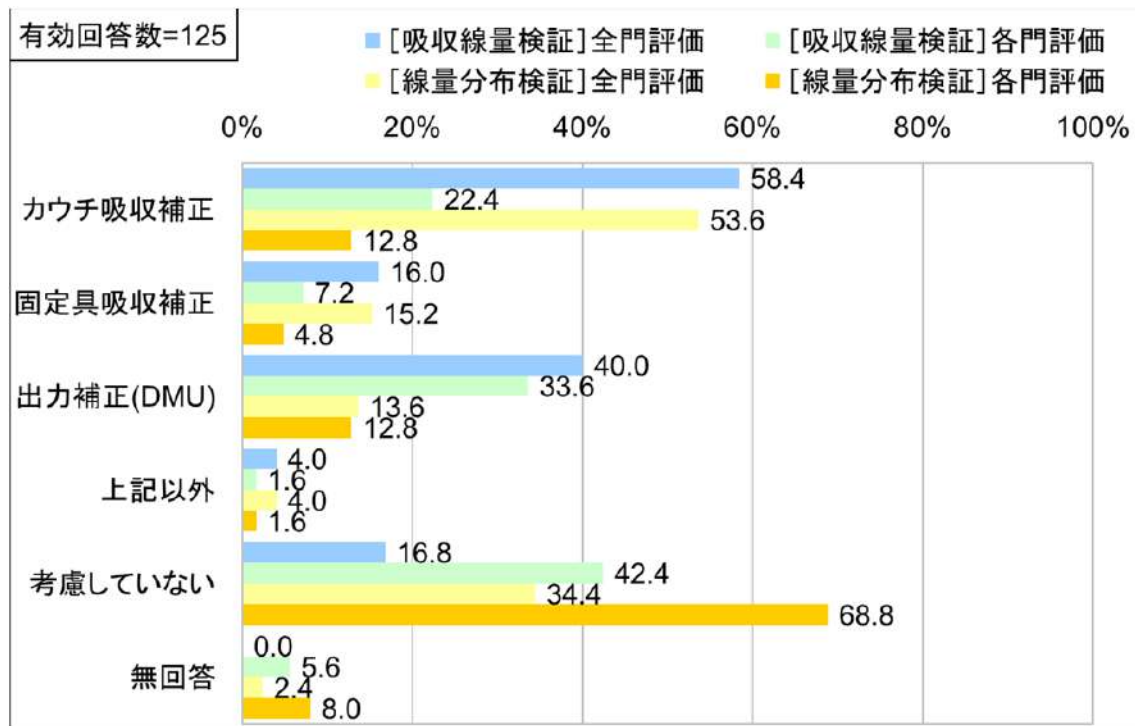


図 2-8-1-1 前立腺 IMRT の QA プランの線量計算および測定時に考慮している線量補正項目。

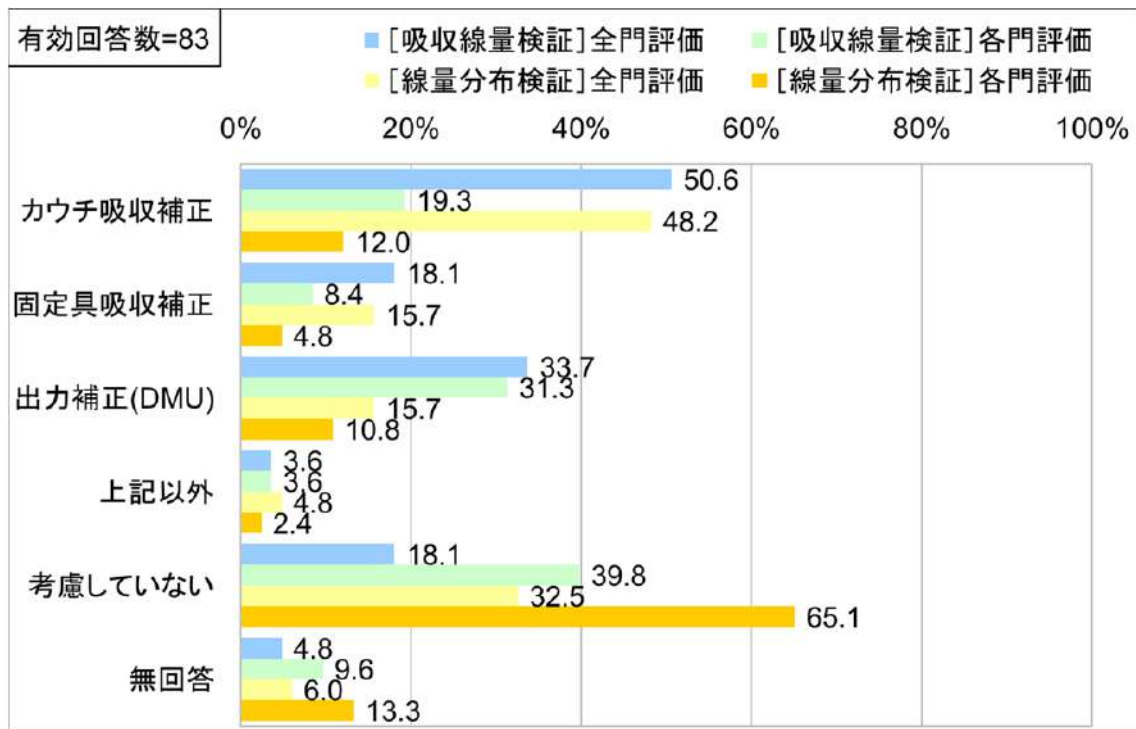


図 2-8-1-2 頭頸部 IMRT の QA プランの線量計算および測定時に考慮している線量補正項目.

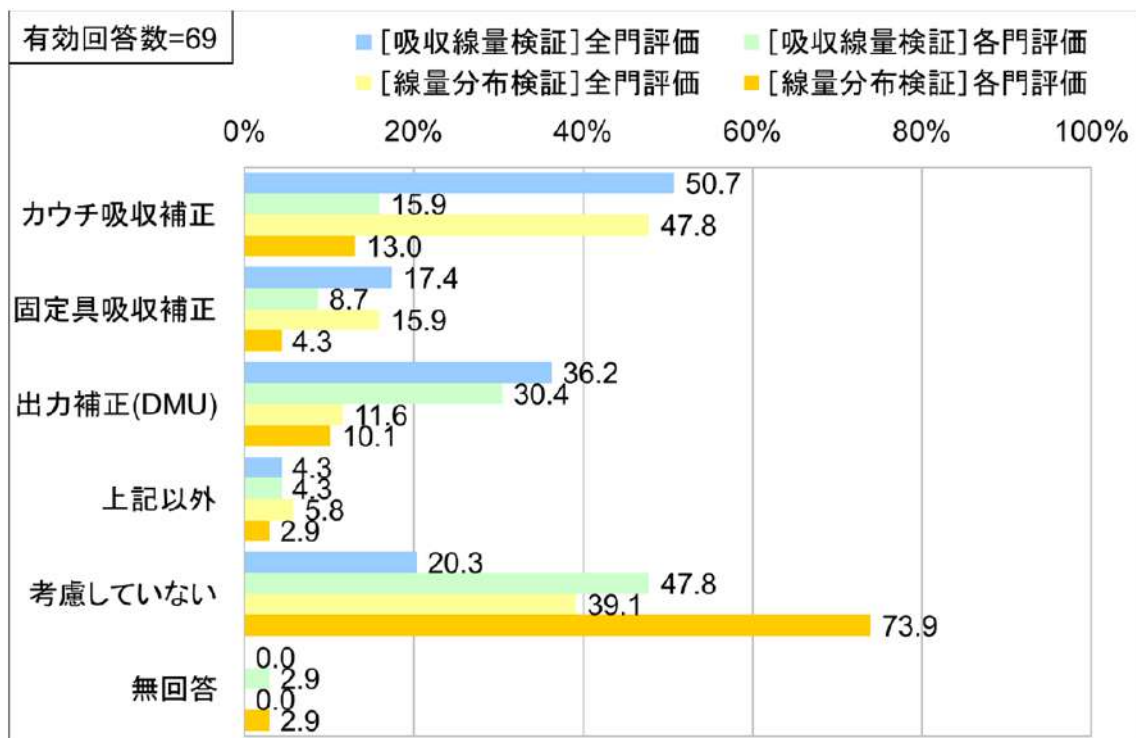


図 2-8-1-3 脳腫瘍 IMRT の QA プランの線量計算および測定時に考慮している線量

補正項目.

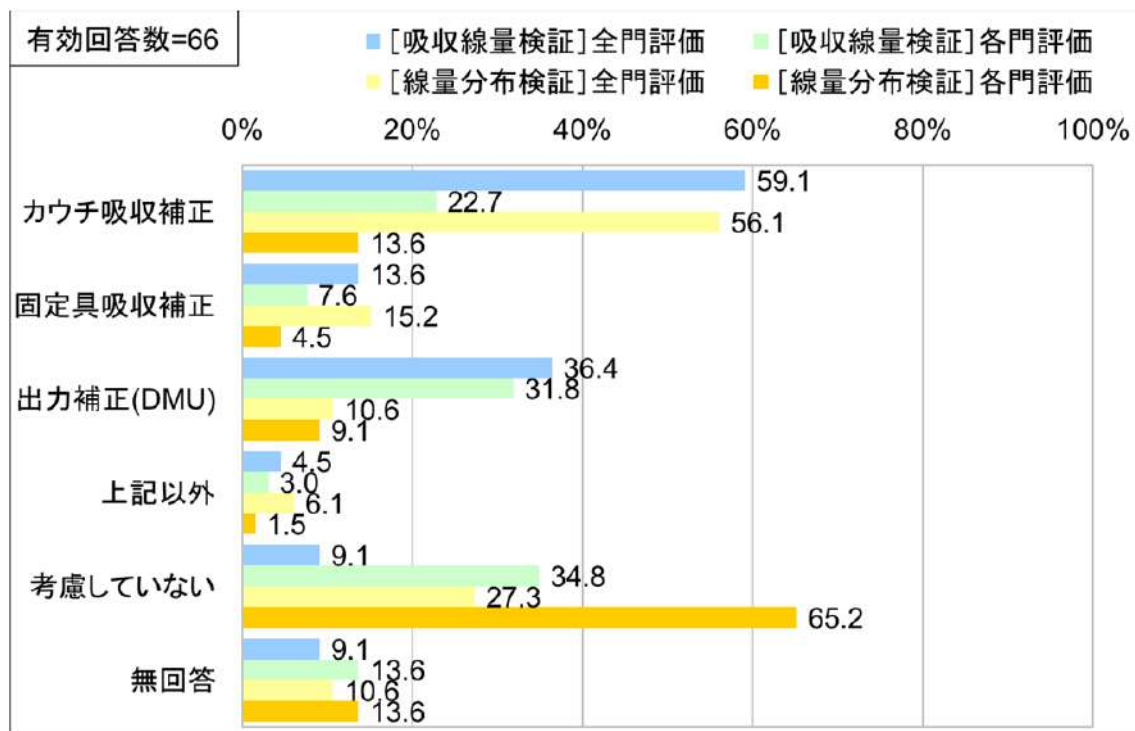


図 2-8-1-4 その他の部位の IMRT の QA プランの線量計算および測定時に考慮している線量補正項目.

2-8-2 各補正項目の補正方法 [複数選択可能項目]

前述の 2-8-1 で述べた各線量補正項目について、どのような方法で補正を行っているかを示したものが図 2-8-2-1~4 である。各検証項目(吸収線量の全門評価・各門評価、線量分布の全門評価・各門評価)毎に、いずれかの補正項目を実施していると回答した施設数に対して各補正方法の割合を示した。

カウチ吸収補正、固定具吸収補正については、吸収線量の全門評価・各門評価、線量分布の全門評価・各門評価のいずれにおいても、「治療計画装置上で計算に含める」方法を採用している割合が最も高かった。出力補正(DMU)については「その都度測定して算出」が多かった。その他の補正方法については吸収線量の各門評価は「その都度測定して算出」が多く、吸収線量の全門評価と線量分布の全門評価は「治療計画装置上で計算に含める」が多かった。線量分布の各門評価は「治療計画装置上で計算に含める」と「その都度測定して算出」が同程度であった。(ただし、その他の補正方法については、吸収線量の各門評価、線量分布の各門評価は“実施している”と回答した件数が少なかったため、各補正方法に示された割合の解釈には注意が必要である。)

補正方法についての具体的な方法のコメントでは、設問 2-8 と同様に「プラン

作成時点でカウチや固定具の補正が必要ない角度を選択する」などプラン自体の工夫や、「測定値を参考にしてカウチや固定具の CT 値を調整する」など、治療計画装置上で計算に反映させるデータ数値を調整するなどの工夫を行っている施設もあった。

臨床プランや QA プランでカウチや固定具による吸収の影響があるビーム角度を使用する場合には、治療計画作成の時点で何らかの補正を加えて実施することが望ましいと考えられる。

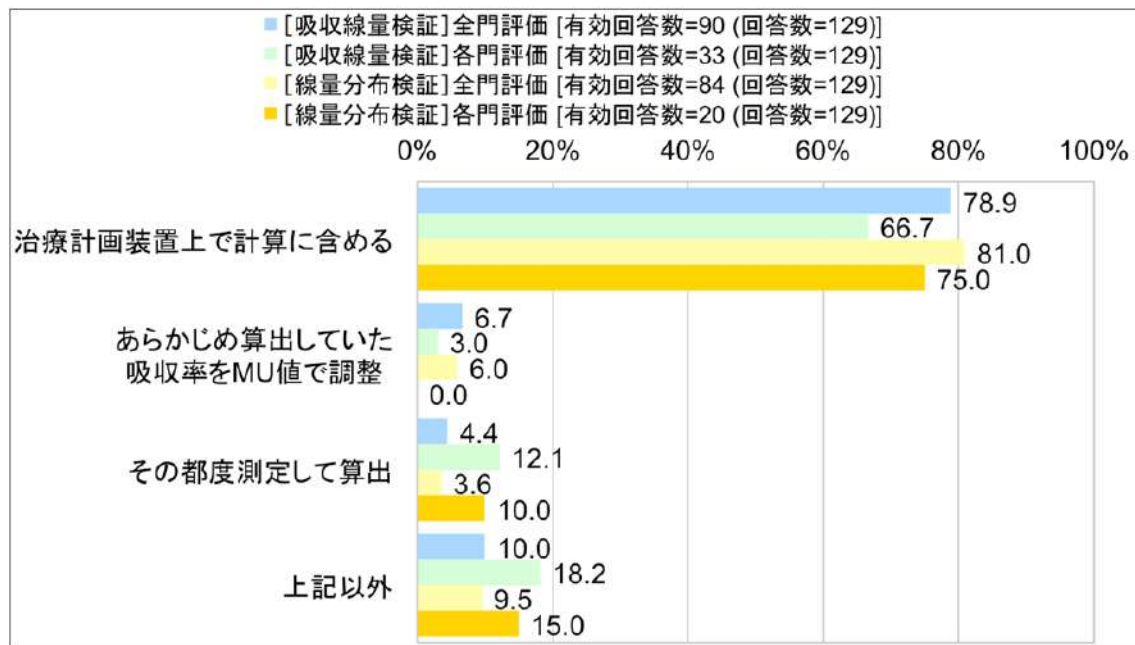


図 2-8-2-1 カウチ吸収補正の方法.

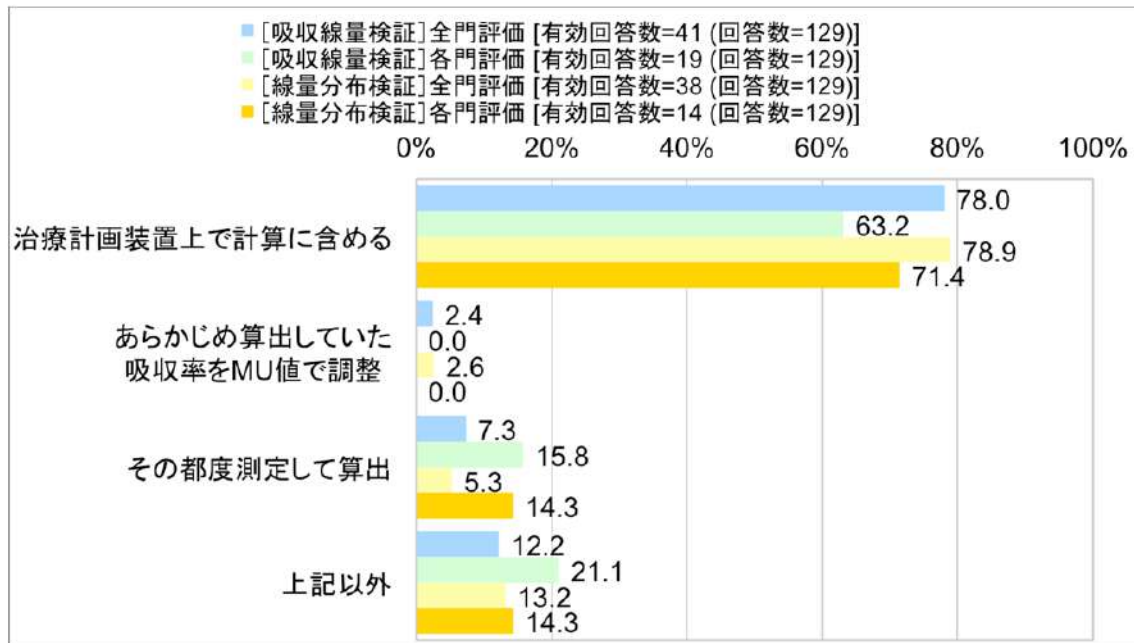


図 2-8-2-2 固定具吸収補正の方法.

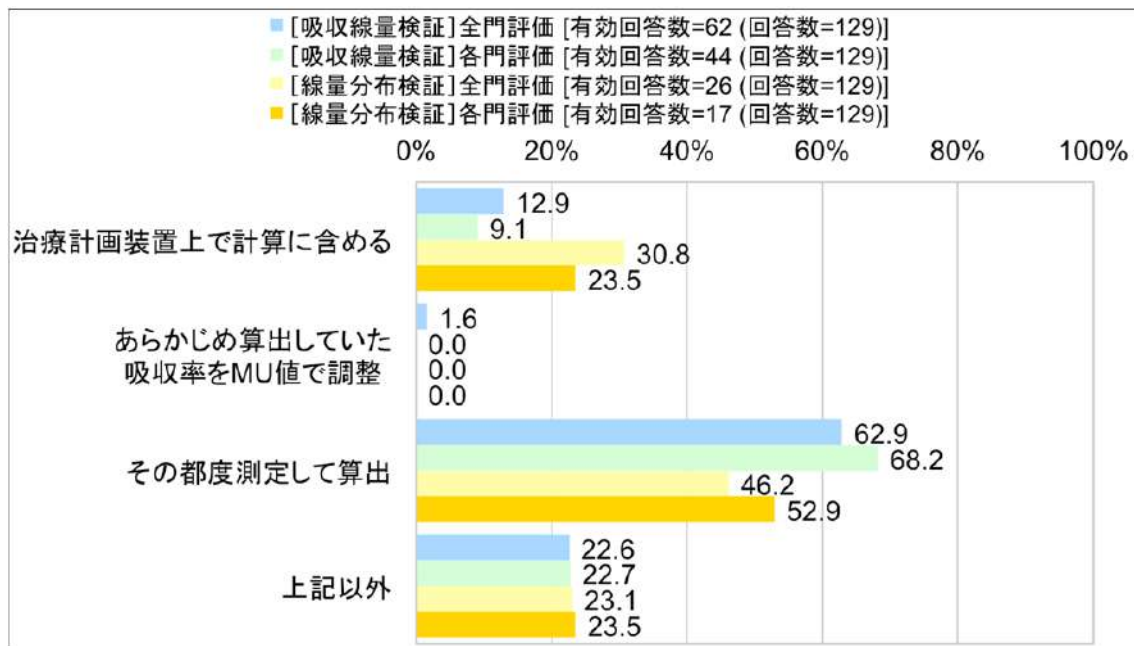


図 2-8-2-3 出力補正(DMU)の方法.

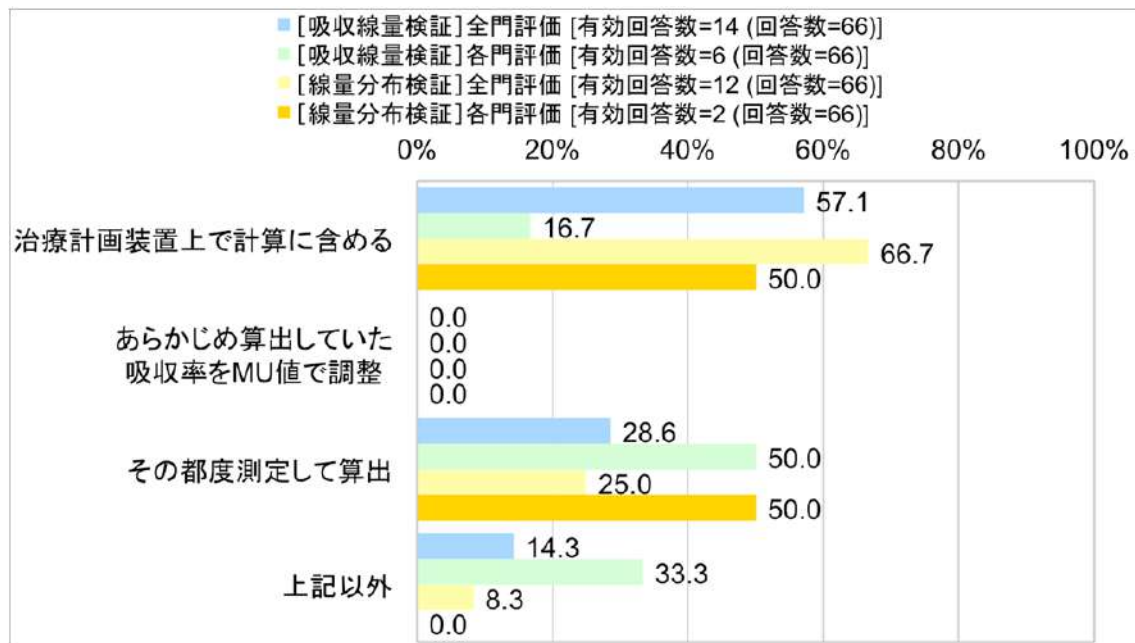


図 2-8-2-4 その他の補正の方法.

[参考文献]

- [1] 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 IMRT 物理 QA ガイドライン専門小委員会(日本放射線腫瘍学会 QA 委員会)

3. 吸収線量検証

3-1 吸収線量検証の実施状況

図 3-1-1~4 に、前立腺、頭頸部、脳腫瘍、その他の部位の IMRT における吸収線量検証実施の割合を示す。吸収線量検証は全ての施設で実施されていた。ただし、全門評価はどの部位でもほとんどの施設で実施されていたが、各門評価は 60% 程度の施設でしか実施されていなかった。その理由として、評価そのものの省略や VMAT など各門評価自体が不可能な場合も含まれていると推測される。いずれの部位でも同じような傾向が見られた。

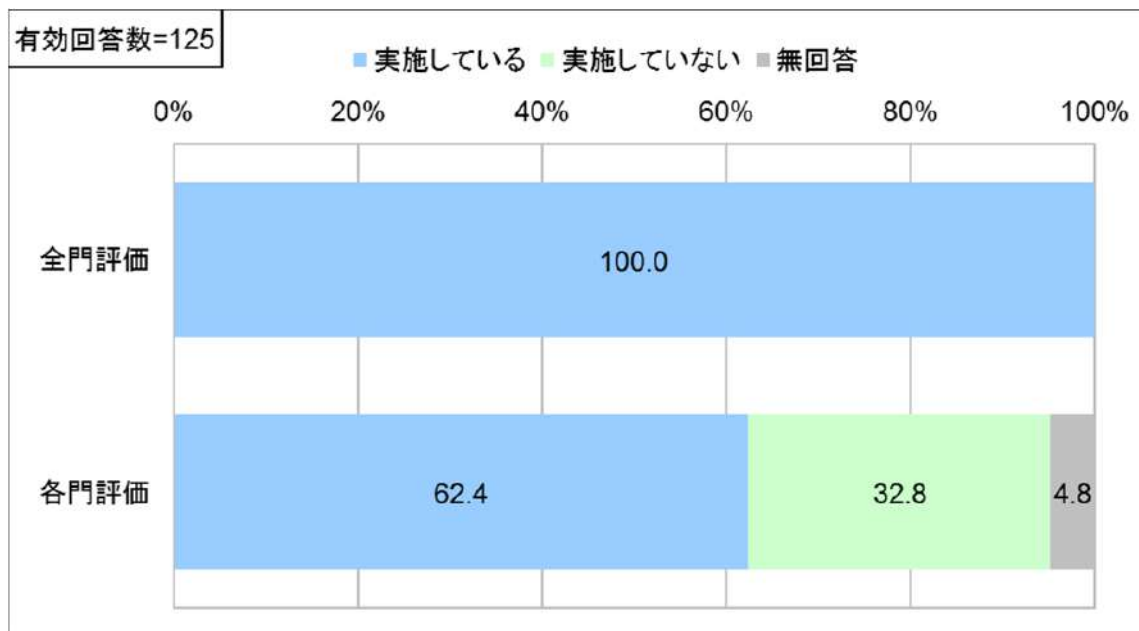


図 3-1-1 前立腺 IMRT における吸収線量検証の実施施設の割合。

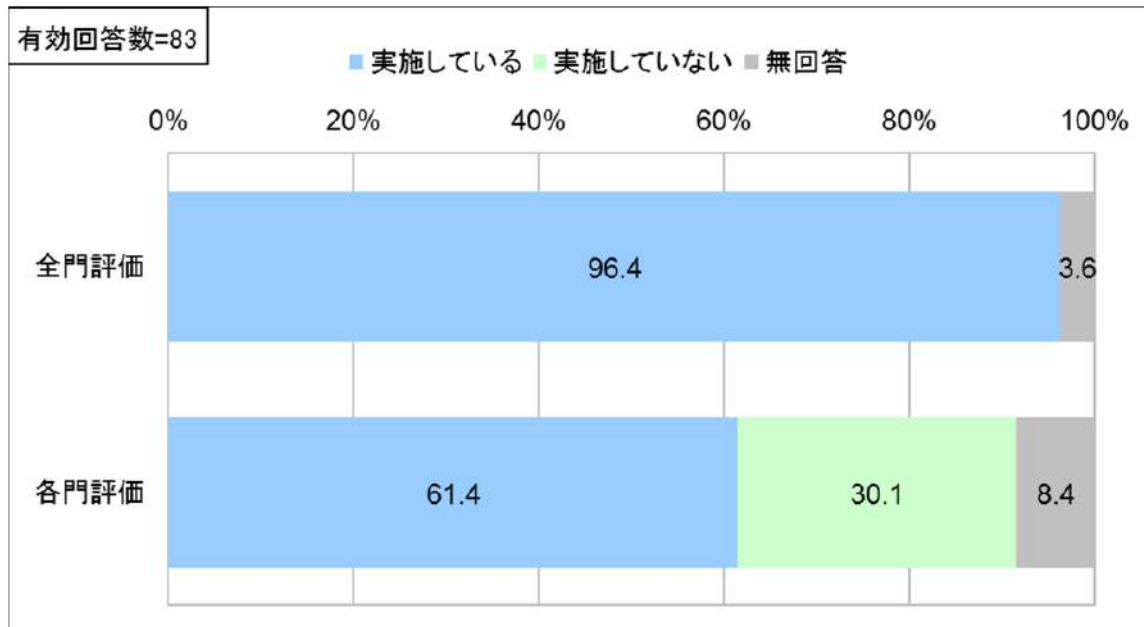


図 3-1-2 頭頸部 IMRT における吸収線量検証の実施施設の割合。

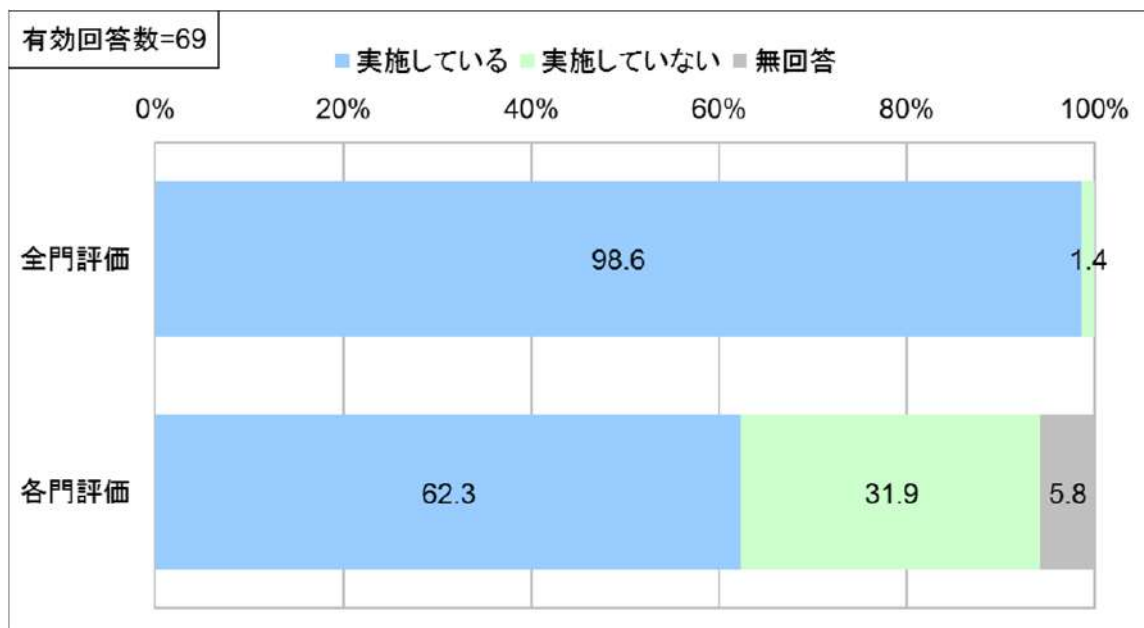


図 3-1-3 脳腫瘍 IMRT における吸収線量検証の実施施設の割合。

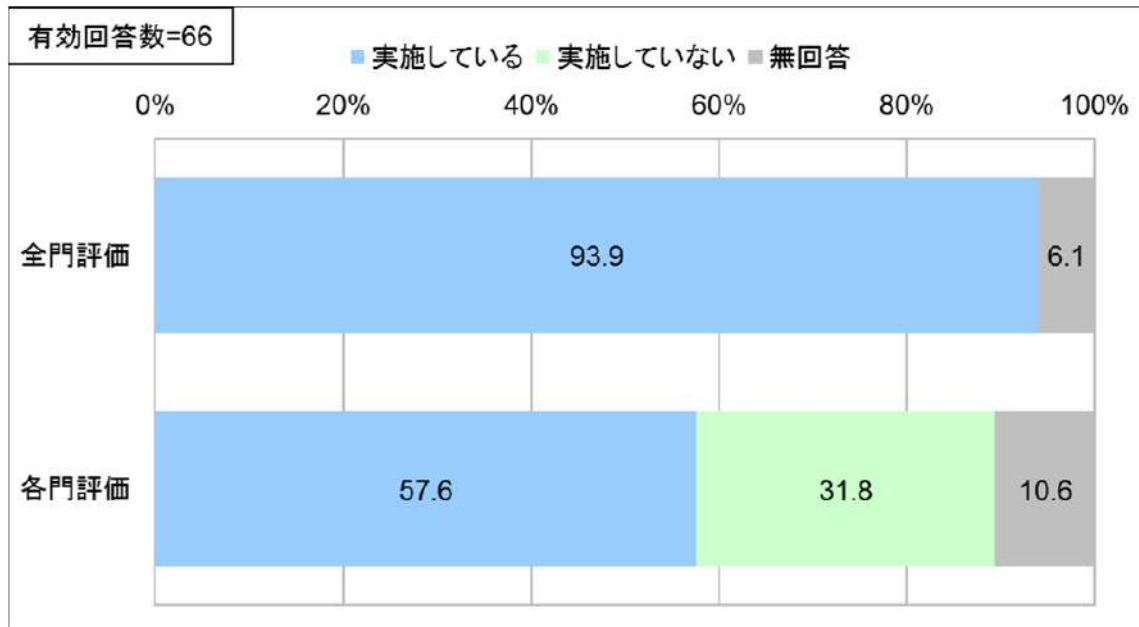
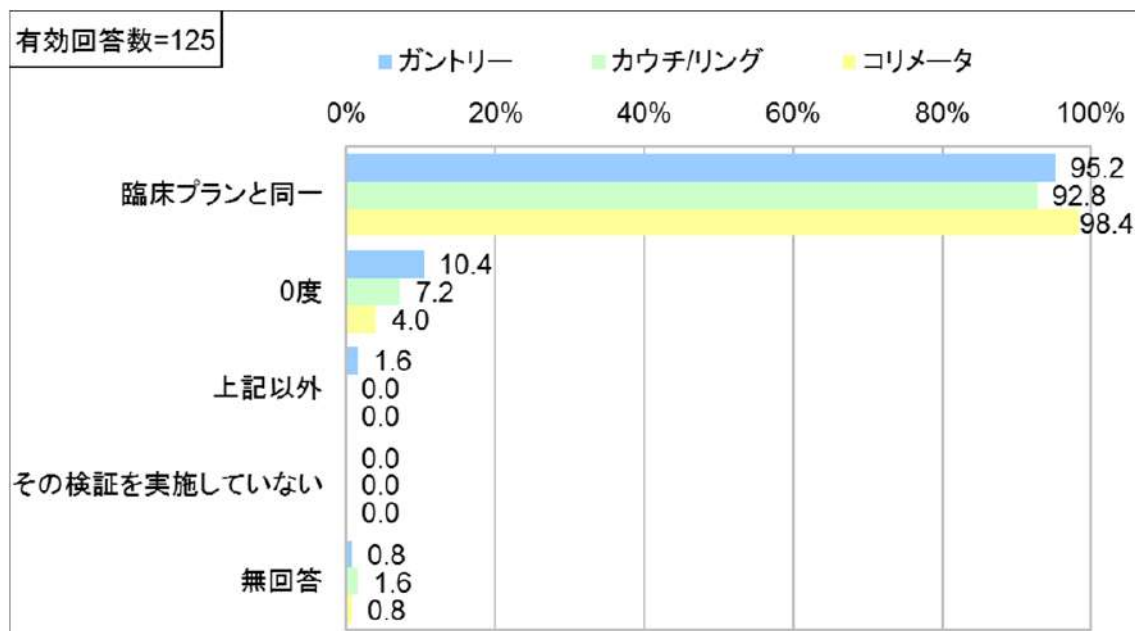


図 3-1-4 その他の部位の IMRT における吸収線量検証の実施施設の割合。

3-2 ビームの照射角度 [複数選択可能項目]

図 3-2-1~4 に、前立腺、頭頸部、脳腫瘍、その他の部位の IMRT における照射条件設定に関するデータを示す。照射条件(ガントリー、カウチ/リング(Vero4DRT の場合)、コリメータ角度)に関しては、全門評価では 80%以上の施設で臨床プランと同一条件で測定を実施していた。一方、各門評価では、ガントリー角度は 50%程度、カウチ/リング角度は 40%程度、コリメータ角度は 30%程度の施設で 0 度に変更して測定を実施していた。これらはどの部位でも同様の傾向が見られた。また、カウチの下からのビームは対向ビームに変更して測定している施設(1 施設)もあった。

(a) 全門評価



(b) 各門評価

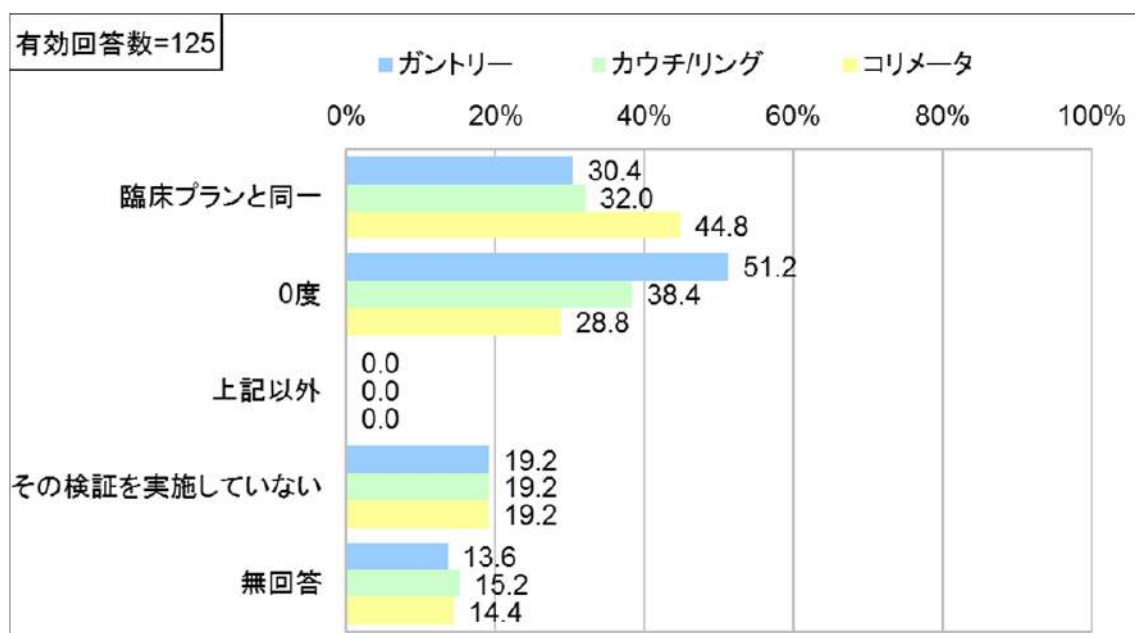
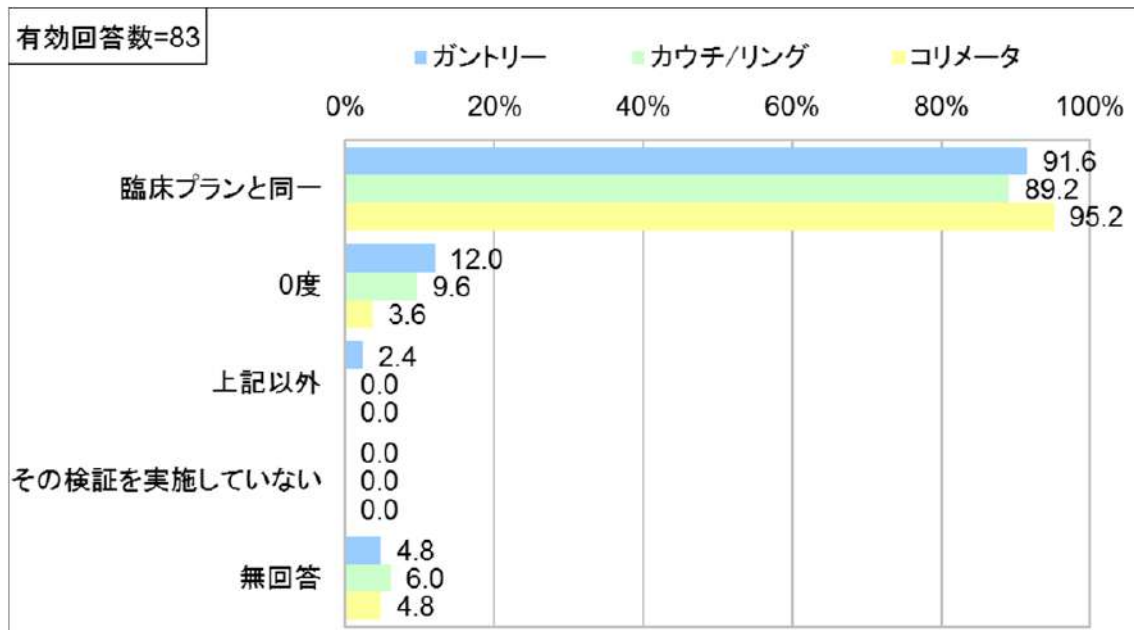


図 3-2-1 前立腺 IMRT における照射条件設定.

(a) 全門評価



(b) 各門評価

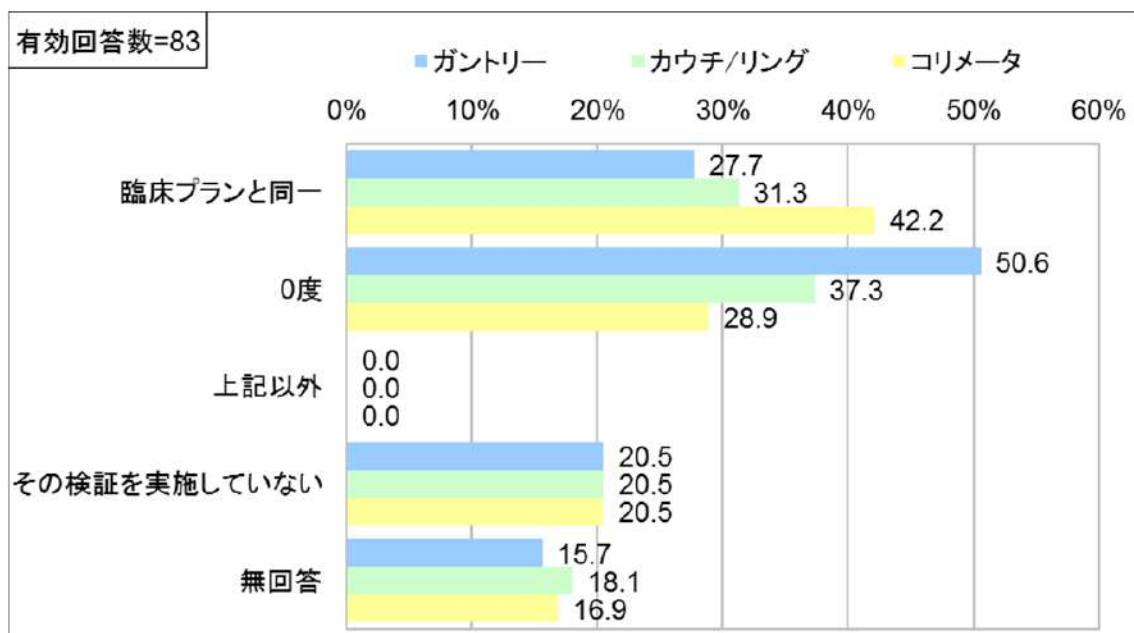
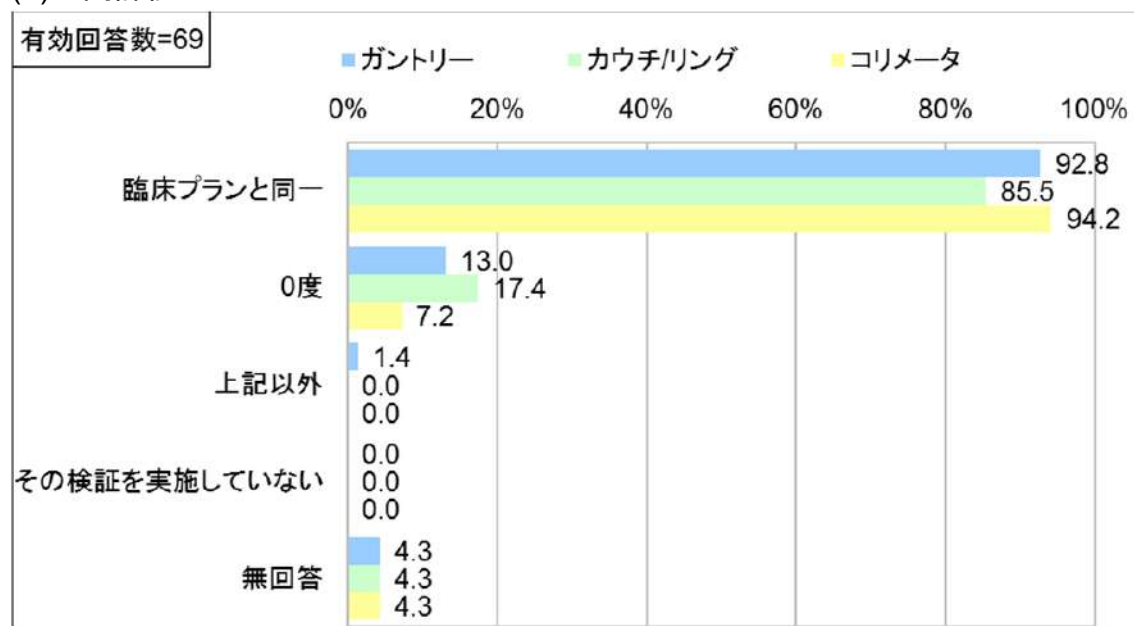


図 3-2-2 頭頸部 IMRT における照射条件設定.

(a)全門評価



(b)各門評価

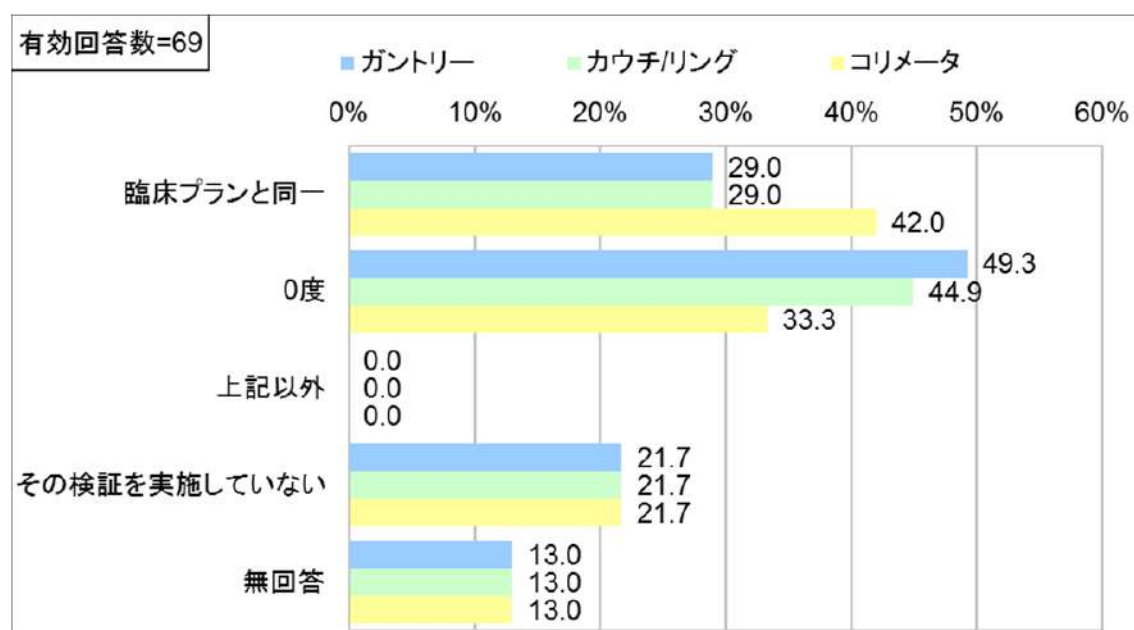
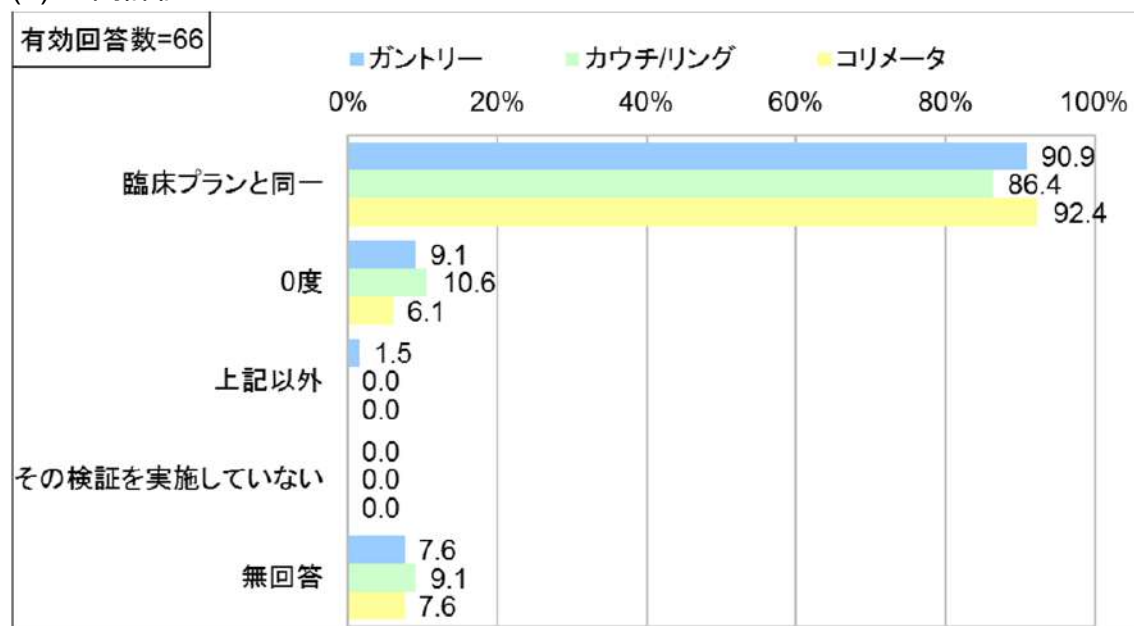


図 3-2-3 脳腫瘍 IMRT における照射条件設定.

(a) 全門評価



(b) 各門評価

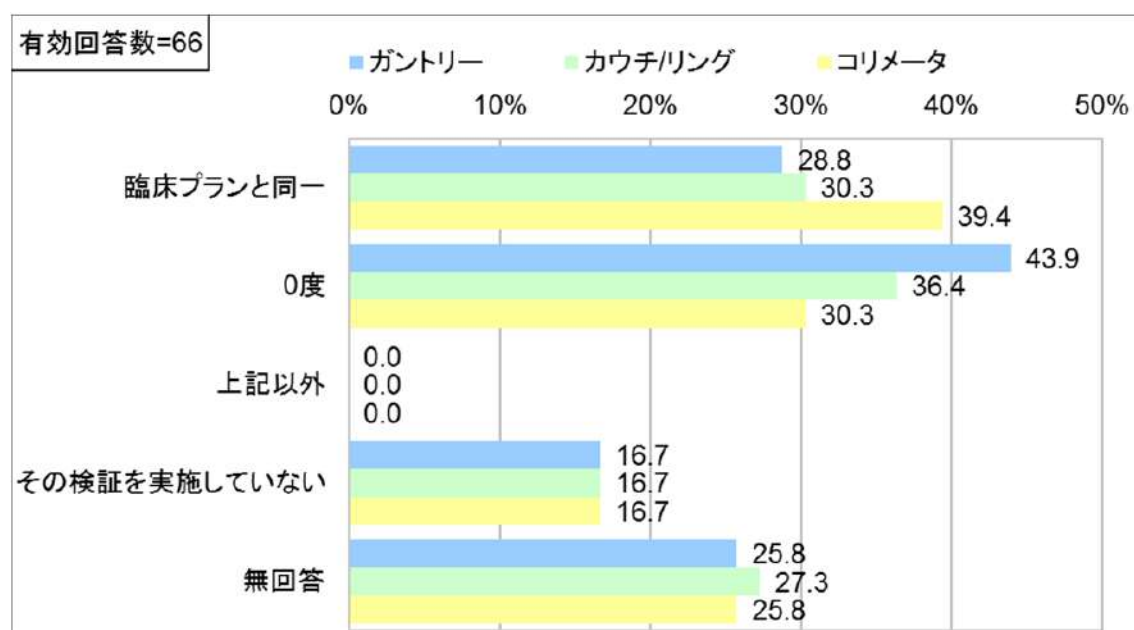


図 3-2-4 その他の部位の IMRT における照射条件設定.

3-3 吸収線量検証で使用している検出器 [複数選択可能項目]

図 3-3-1~4 に、前立腺、頭頸部、脳腫瘍、その他の部位の IMRT における吸収線量検証で使用されている線量計に関するデータを示す。吸収線量測定で使用している検出器は、各施設様々ではあるが、前立腺 IMRT では全門評価、各門評価ともにファーマ形(約 0.6 cm³)電離箱を使用している施設が最も多いのに対して、前立腺以外の部位ではミニ型、マイクロ型電離箱の使用頻度がファーマ形と同程度の割合となり、前立腺 IMRT よりもミニ型、マイクロ型電離箱の使用頻度が高い結果となった。前立腺 IMRT と比較して照射野が小さい、線量分布が複雑であるなどの理由からファーマ形での吸収線量測定が困難な場合があるためと考えられる。また、多次元検出器を用いた全門評価は各部位の IMRT 実施施設の 20%程度、各門評価は 30%程度となっており、多次元検出器を用いた各検出素子位置における吸収線量検証の普及が進んでいることが分かる。多次元検出器では各門評価の方が全門評価より実施割合が高かった。

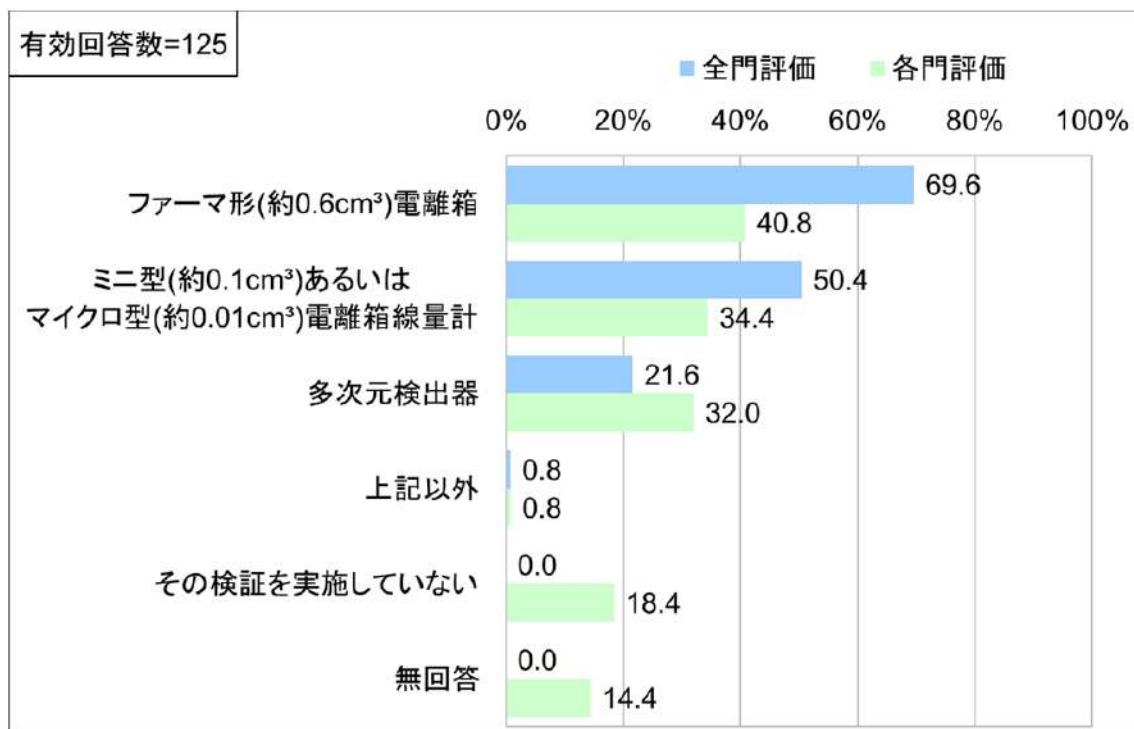


図 3-3-1 前立腺 IMRT において使用されている線量計.

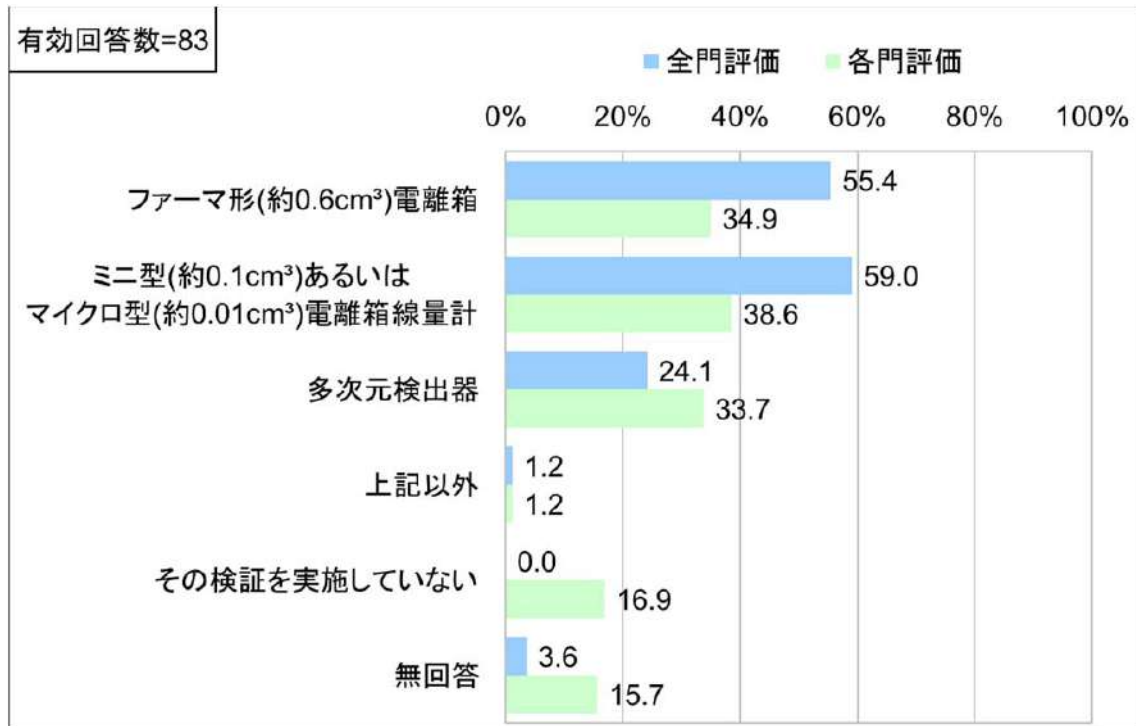


図 3-3-2 頭頸部 IMRT において使用されている線量計.

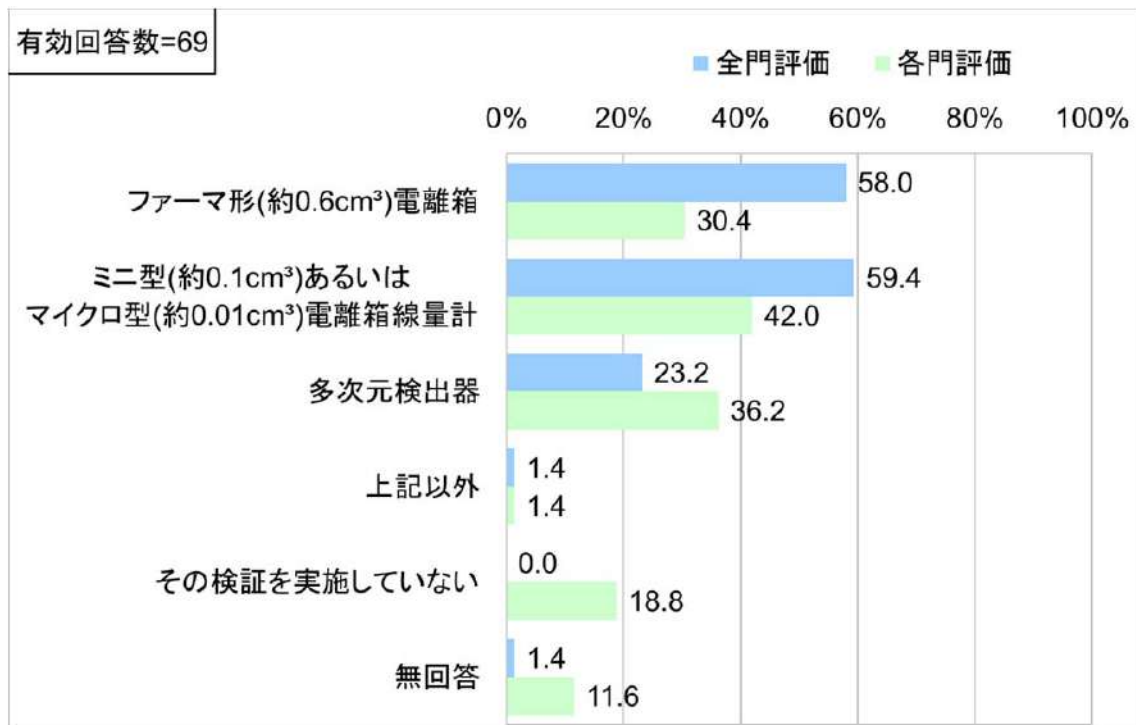


図 3-3-3 脳腫瘍 IMRT において使用されている線量計.

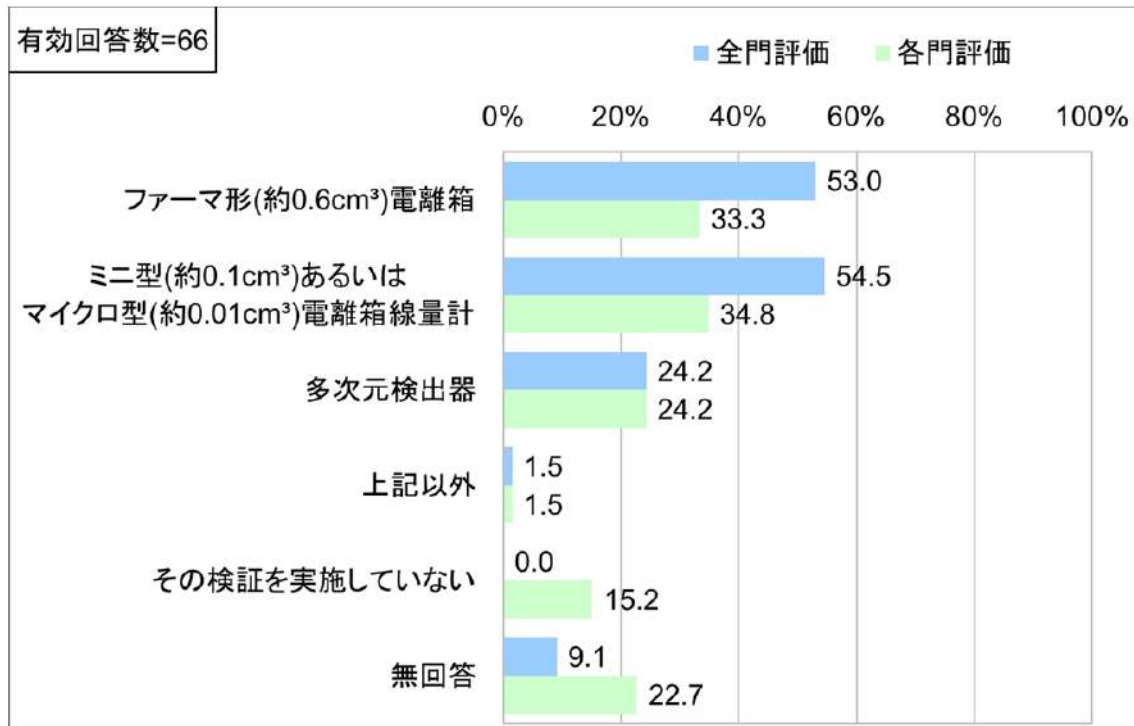


図 3-3-4 その他の部位の IMRT において使用されている線量計.

また, 使用している検出器としてはファーマ形ではほとんどの施設が PTW 社のファーマ形電離箱(PTW 30013, 30010, 30006)を使用していた. また, ミニ型, マイクロ型では, IBA 社の CC01(有感体積:0.01 cm³), CC13(有感体積:0.13 cm³), PTW 社の 31014(有感体積:0.015 cm³), 31016(有感体積:0.015 cm³)がよく使用されていた. 多次元検出器については, MapCHECK や MapCHECK2 を使用している施設が多く, 次いで Delta4 がよく使用されていた. 上記以外の線量計としては ArcCHECK を使用している施設があった.

3-4 計画線量の算出法 [複数選択可能項目]

図 3-4-1~3 に, 各検出器における計画線量の算出法に関するデータを示す. 計画線量の算出法に関しては, ファーマ形電離箱ではほとんどの施設が検出器の体積を考慮した平均線量を使用しており, 点線量を使用している施設は 10 施設のみであった. 一方, ミニ型あるいはマイクロ型電離箱では平均線量を用いている施設と点線量を用いている施設の割合が平均線量:点線量 = 3:4 程度であった. 多次元検出器では使用している施設のほとんどが各検出器位置の点線量を使用していた.

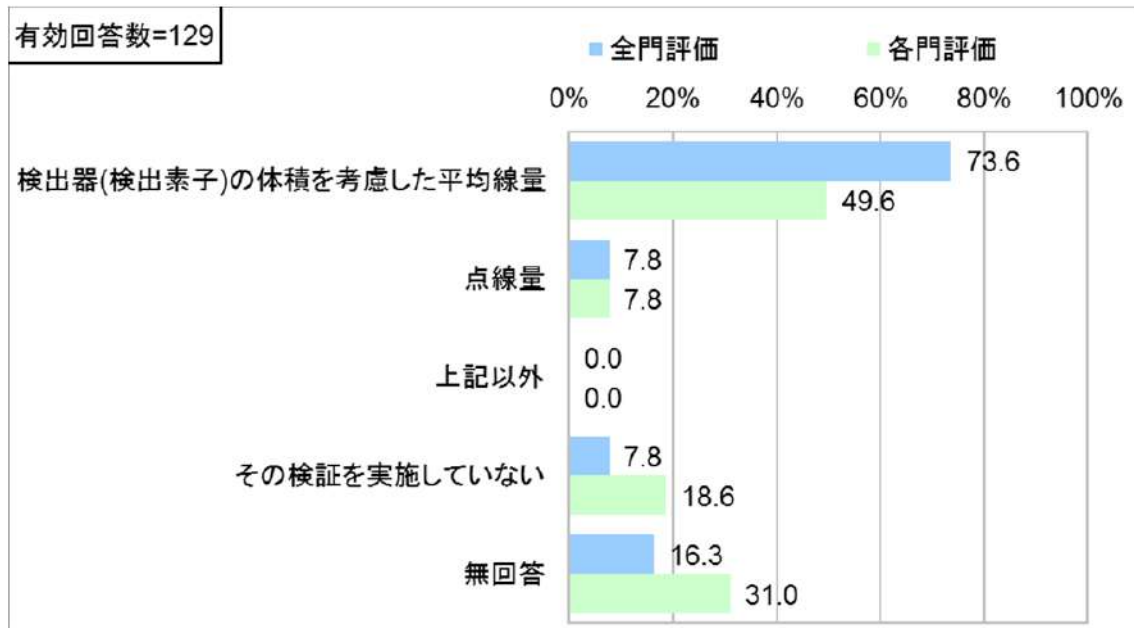


図 3-4-1 ファーマ形電離箱における計画線量の算出方法.

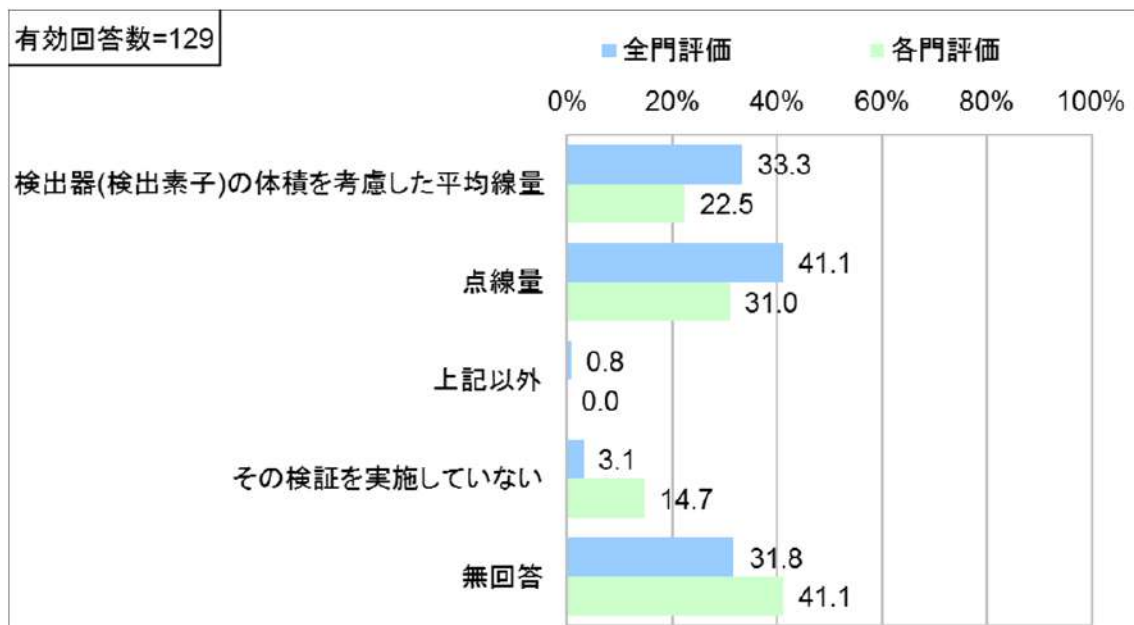


図 3-4-2 ミニ型またはマイクロ型電離箱における計画線量の算出方法.

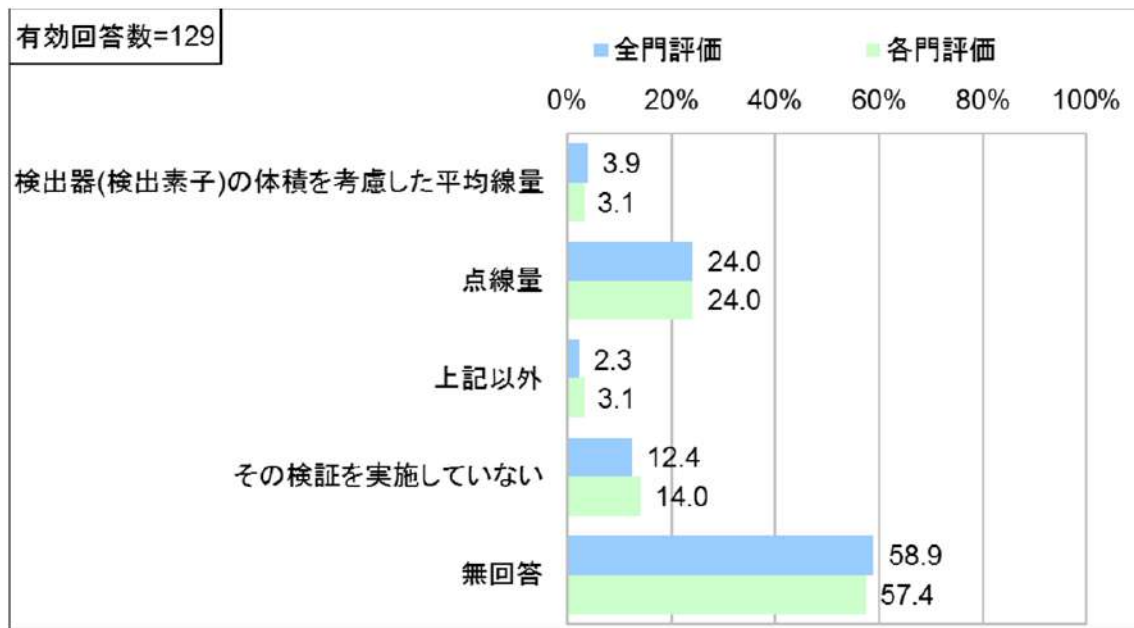


図 3-4-3 多次元検出器における計画線量の算出方法.

3-5 電離箱の測定位置 [複数選択可能項目]

図 3-5-1~4 に, 前立腺, 頭頸部, 脳腫瘍, その他の部位の IMRT における線量測定位置に関するデータを示す. どの部位, 検出器においても, 吸収線量測定点はアイソセンタや高線量かつ緩勾配な位置で測定されていることが多かった. 急勾配な位置での吸収線量測定を行っている施設は少なく, 誤差が出やすく, 線量評価が困難なためと考えられる. また, 前立腺はアイソセンタでの線量測定が多くなっているが, 前立腺以外の部位では高線量かつ緩勾配な位置での測定が多くなっている. これは前立腺 IMRT ではアイソセンタの線量勾配が比較的緩やかであるのに対して, その他の部位の IMRT ではアイソセンタでは線量勾配が急峻で測定が難しいためと考えられる.

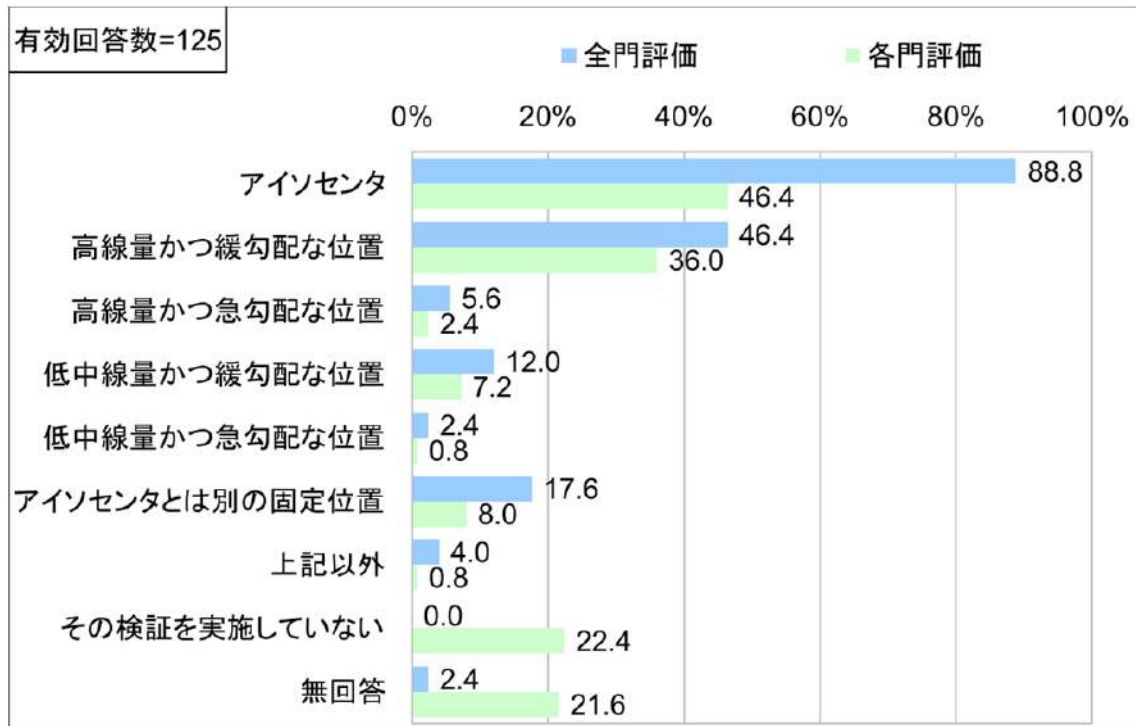


図 3-5-1 前立腺 IMRT における線量測定位置(電離箱).

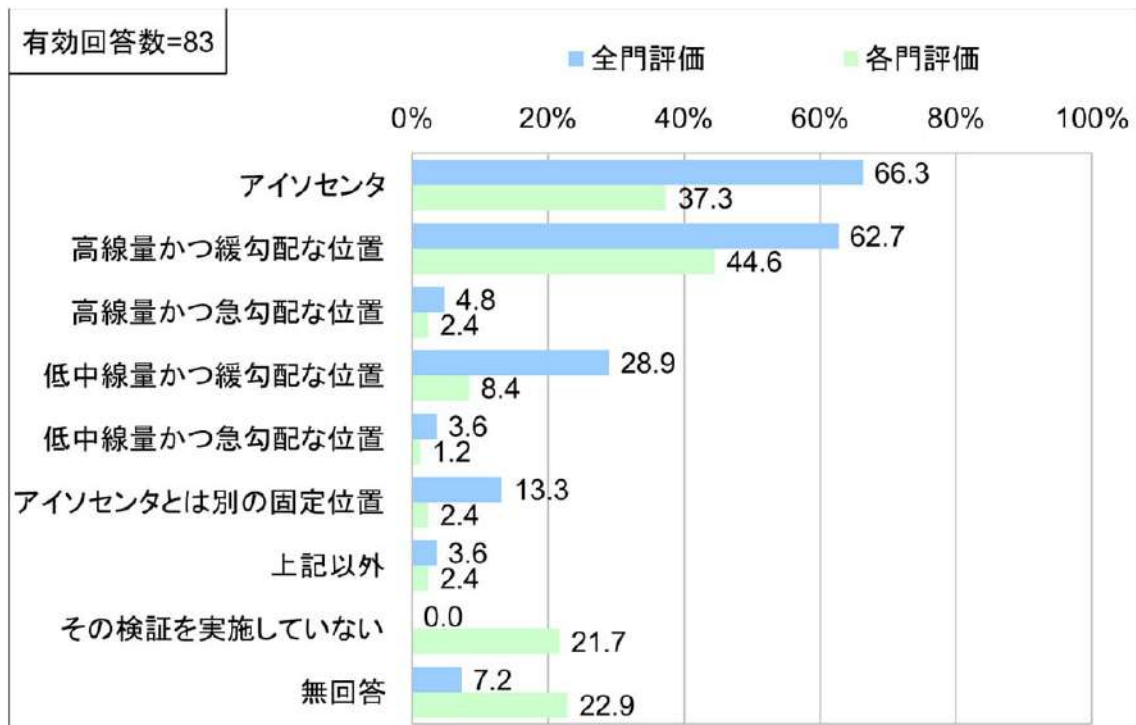


図 3-5-2 頭頸部 IMRT における線量測定位置(電離箱).

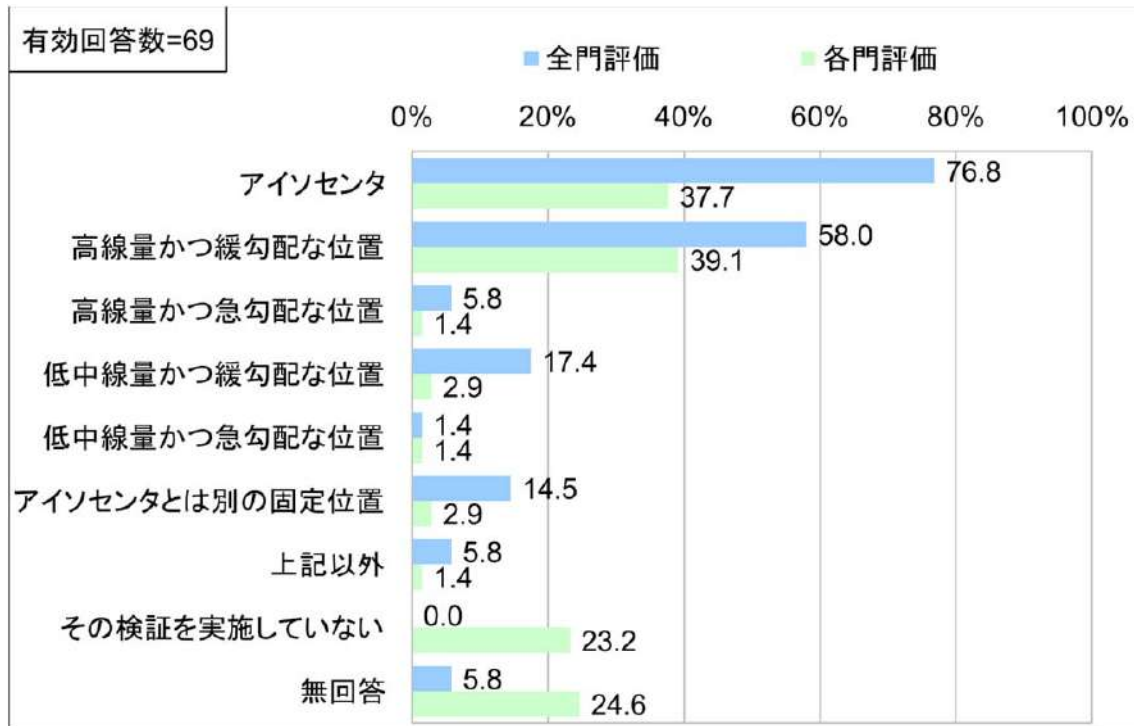


図 3-5-3 脳腫瘍 IMRT における線量測定位置(電離箱).

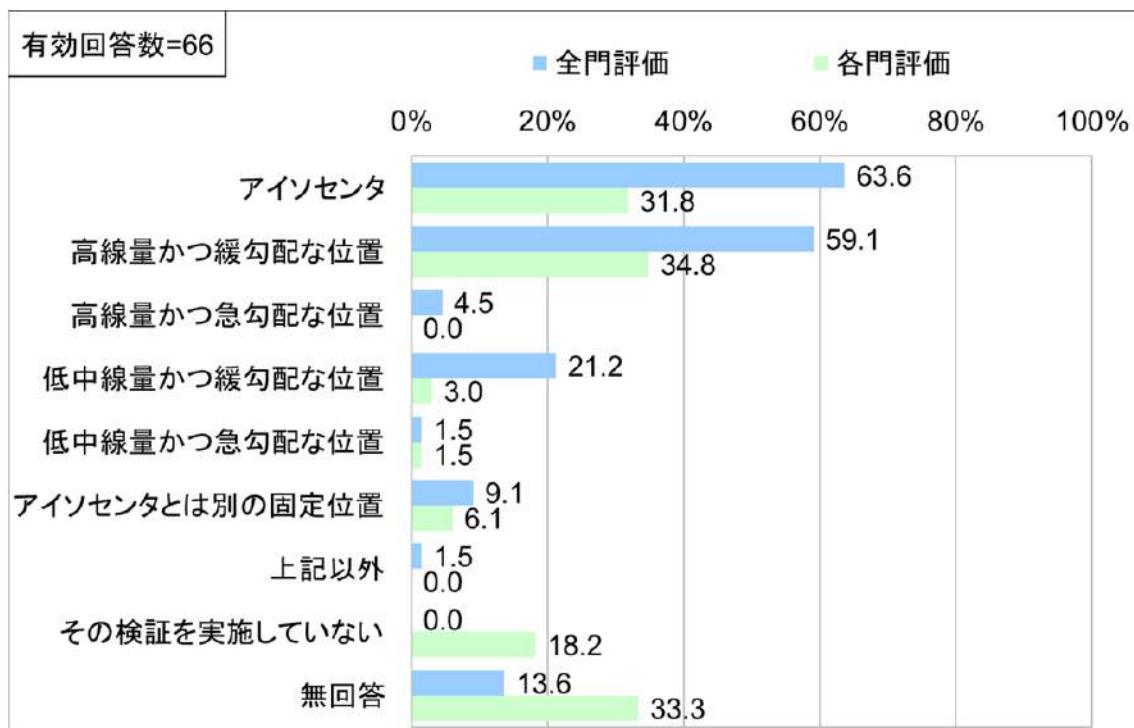


図 3-5-4 その他の部位の IMRT における線量測定位置(電離箱).

3-6 測定箇所

図 3-6-1~4 に、前立腺、頭頸部、脳腫瘍、その他の部位の IMRT における線量測定箇所の数に関するデータを示す。測定箇所の数に関する設問では、あまり傾向は見られず、各施設様々であった。しかし、前立腺 IMRT の全門評価は半数の施設で 1 箇所のみとなっており、簡略化されている施設が多かった。一方、頭頸部やその他の部位の IMRT では 3 箇所以上の回答が最も多く、多くの施設で複数個所での測定が実施されていた。また、各門評価では門毎に測定箇所を設定している施設が多く見られた。これは門毎に線量分布が異なり、共通に測定点を設定することが難しいことが原因と考えられる。

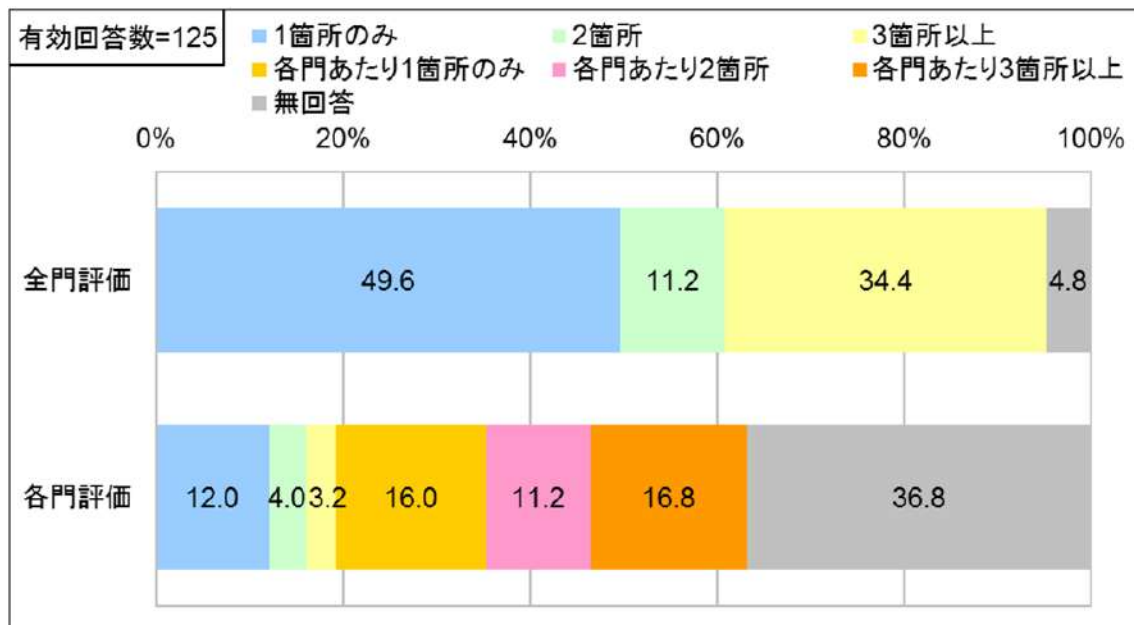


図 3-6-1 前立腺 IMRT における線量測定箇所の数。

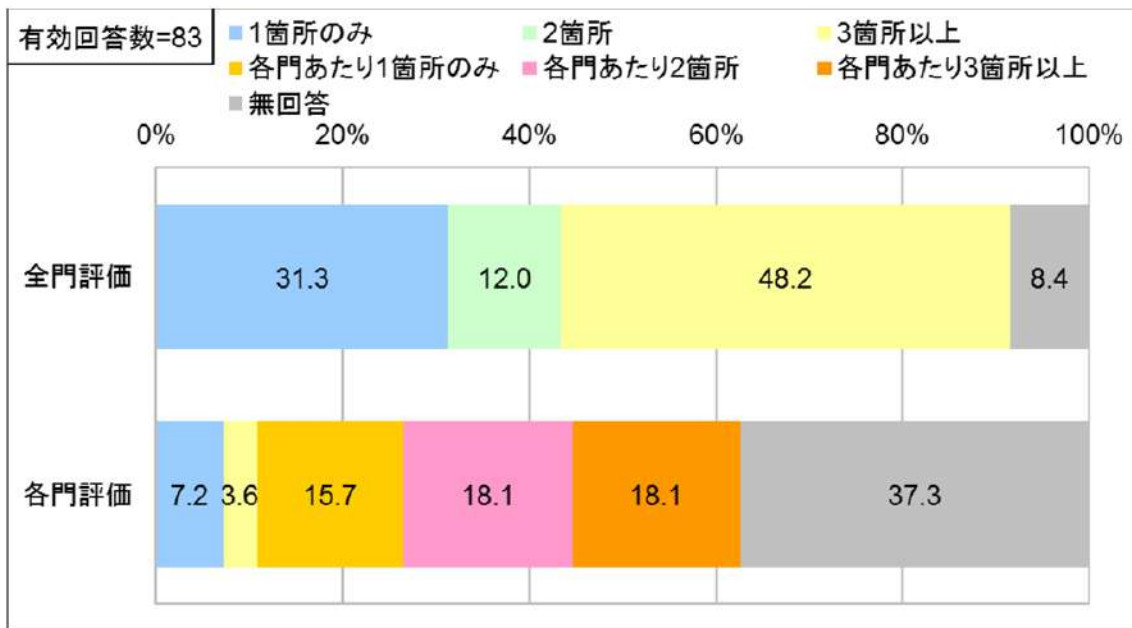


図 3-6-2 頭頸部 IMRT における線量測定箇所の数.

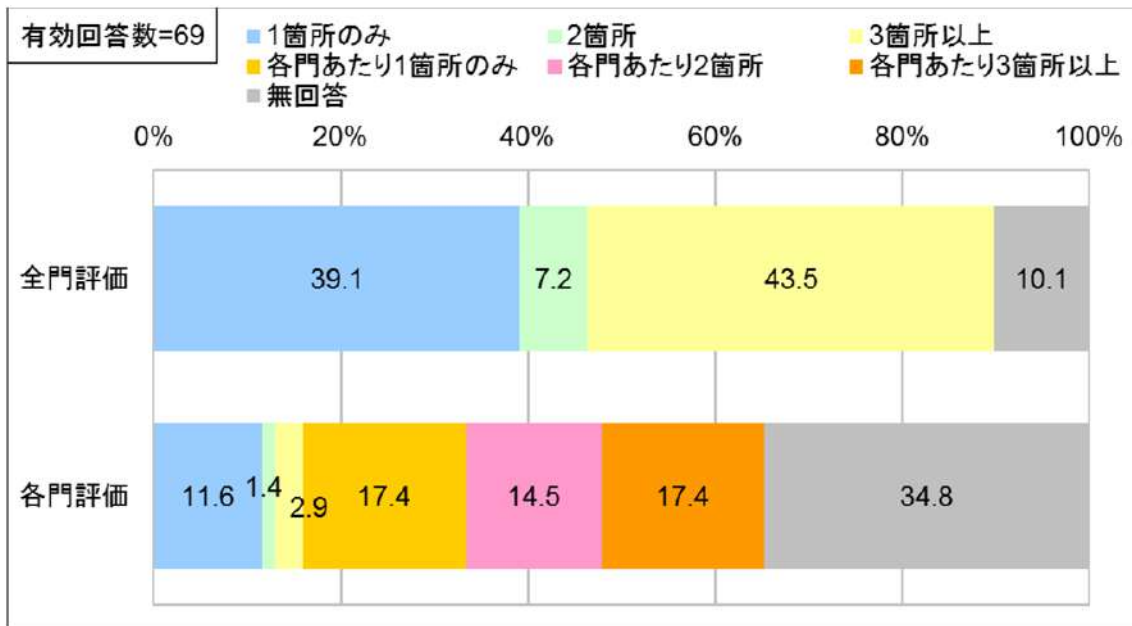


図 3-6-3 脳腫瘍 IMRT における線量測定箇所の数.

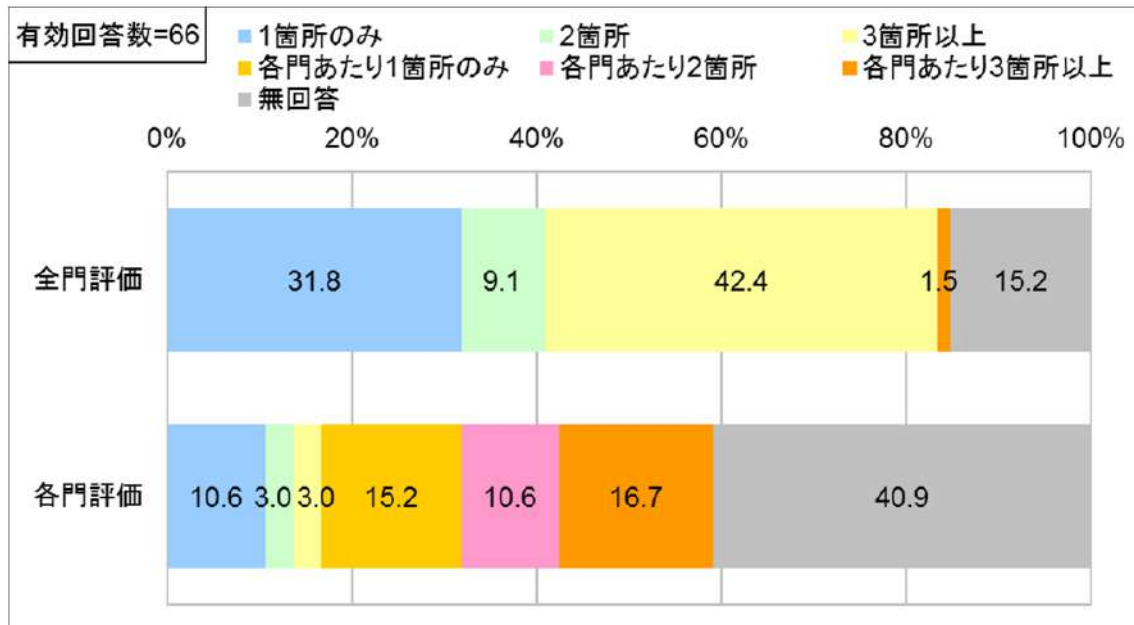


図 3-6-4 その他の部位の IMRT における線量測定箇所の数.

3-7 吸収線量検証における判定基準値

許容, 介入レベルに関しては, 全門評価ではどの部位でも許容レベル, 介入レベルを区別せずに $\pm 3\%$ と設定している施設は 85%以上であり, 次いで許容レベル $\pm 3\%$ かつ介入レベル $\pm 5\%$ と設定している施設が 50%以上であった. 一方, 各門評価ではどの部位でも許容レベル, 介入レベルを区別せずに $\pm 3\%$ または $\pm 5\%$ と設定している施設が 80%以上であり, 次いで許容レベル $\pm 3\%$ /介入レベル $\pm 5\%$ と設定している施設が多かった. 許容レベル, 介入レベルともに明確なエビデンスはなく, 各施設において自施設のデータを参考に独自の判定基準を設定することが求められるが, 自施設のデータから統計解析を行い許容/介入レベルを設定している施設は前立腺 IMRT にて 1 施設のみであった. また, その他として OAR 付近の線量勾配が急峻な領域での吸収線量測定時は, 有感体積内の最大線量と最小線量の範囲内に測定線量が入っていれば許容するという施設もあった.

4. 線量分布検証

4-1 線量分布検証の実施状況

線量分布検証については 129 施設全てが実施していた。

図 4-1-1~4 に全門評価, 各門評価の実施状況を示す。各部位において全門評価は 90%以上, 各門評価は 50%程度の施設で実施されていた。なお全門評価未実施の施設は各門での評価を行っていた。

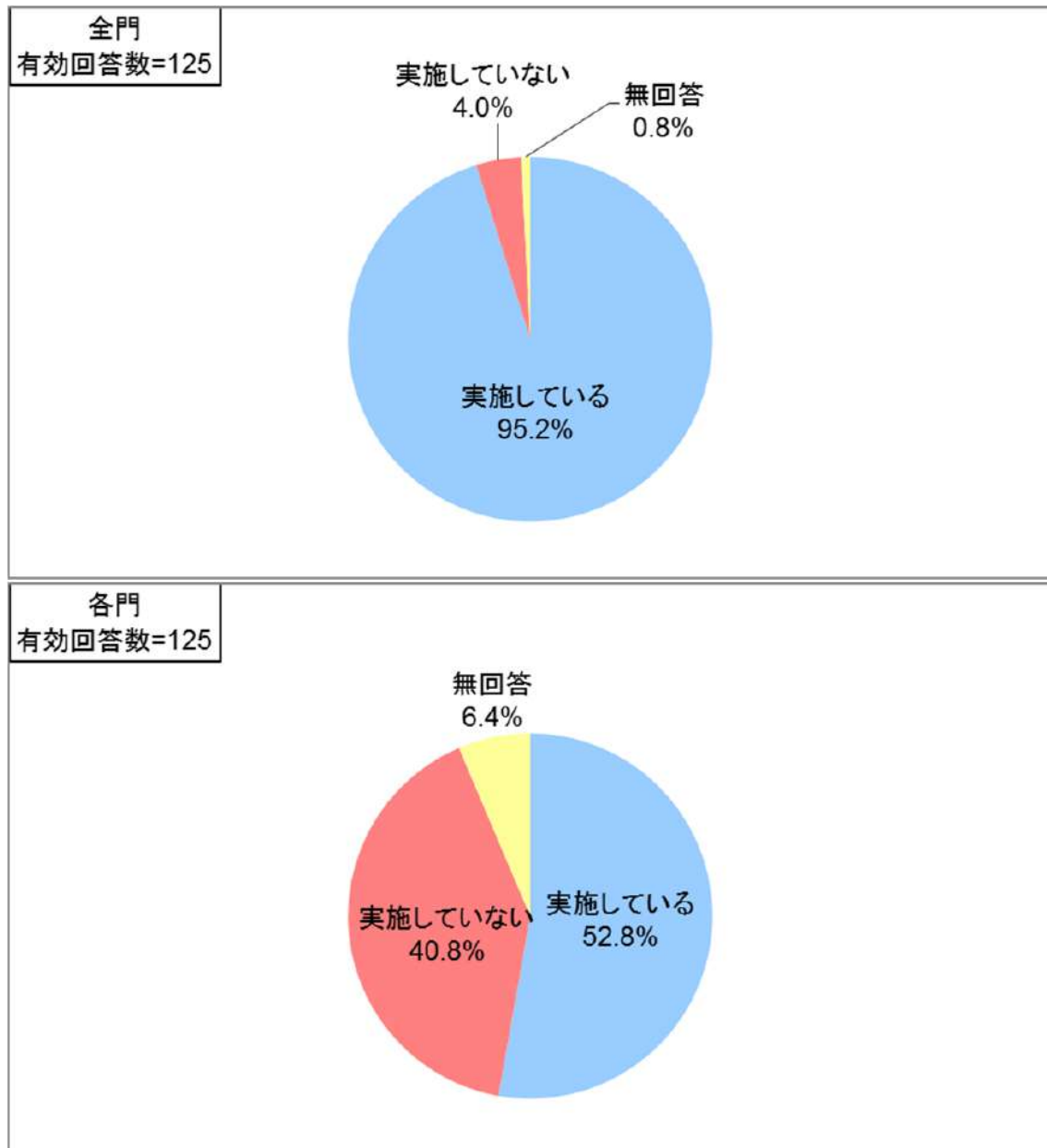


図 4-1-1 前立腺 IMRT における全門・各門評価の実施数。

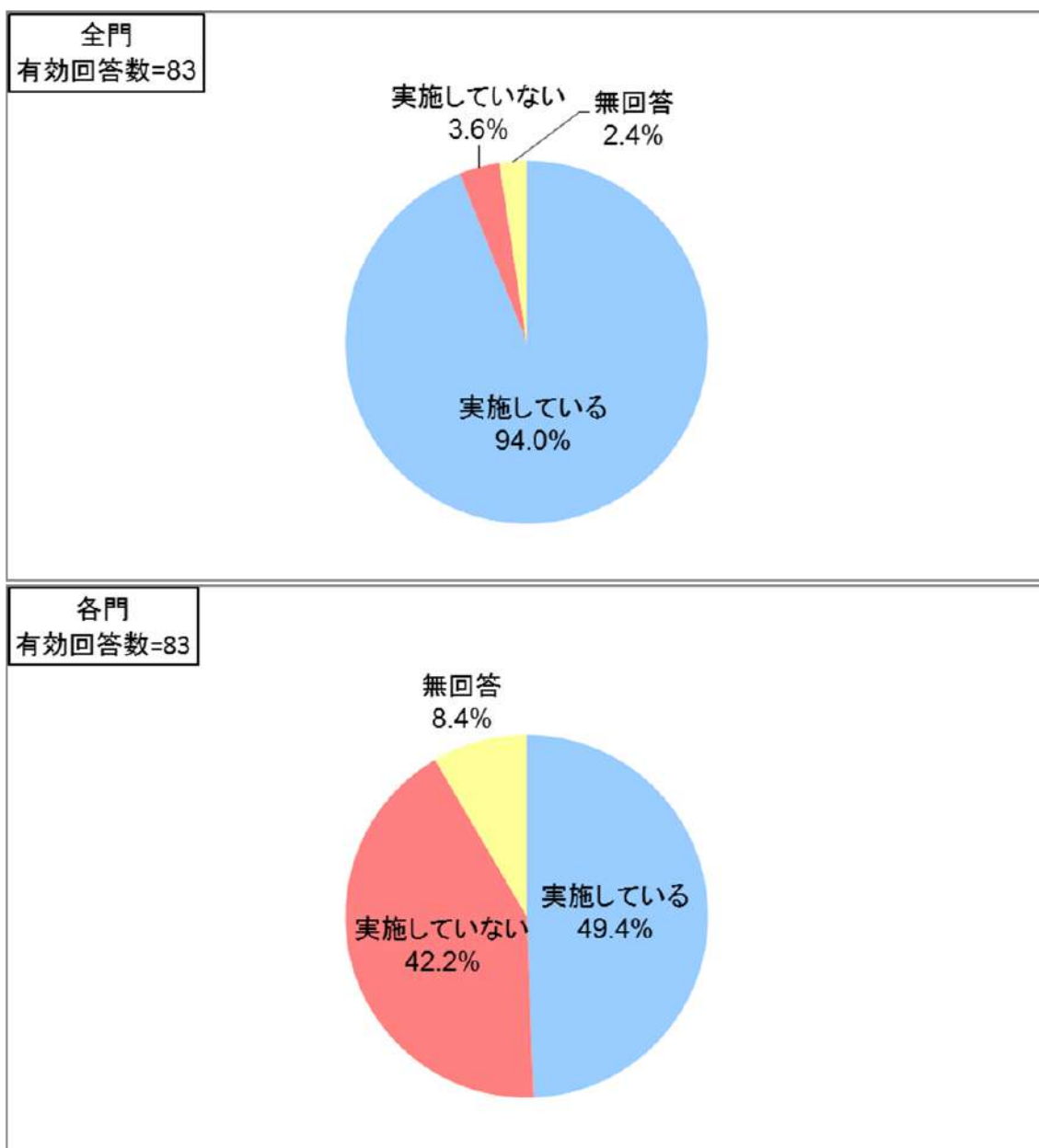


図 4-1-2 頭頸部 IMRT における全門・各門評価の実施数.

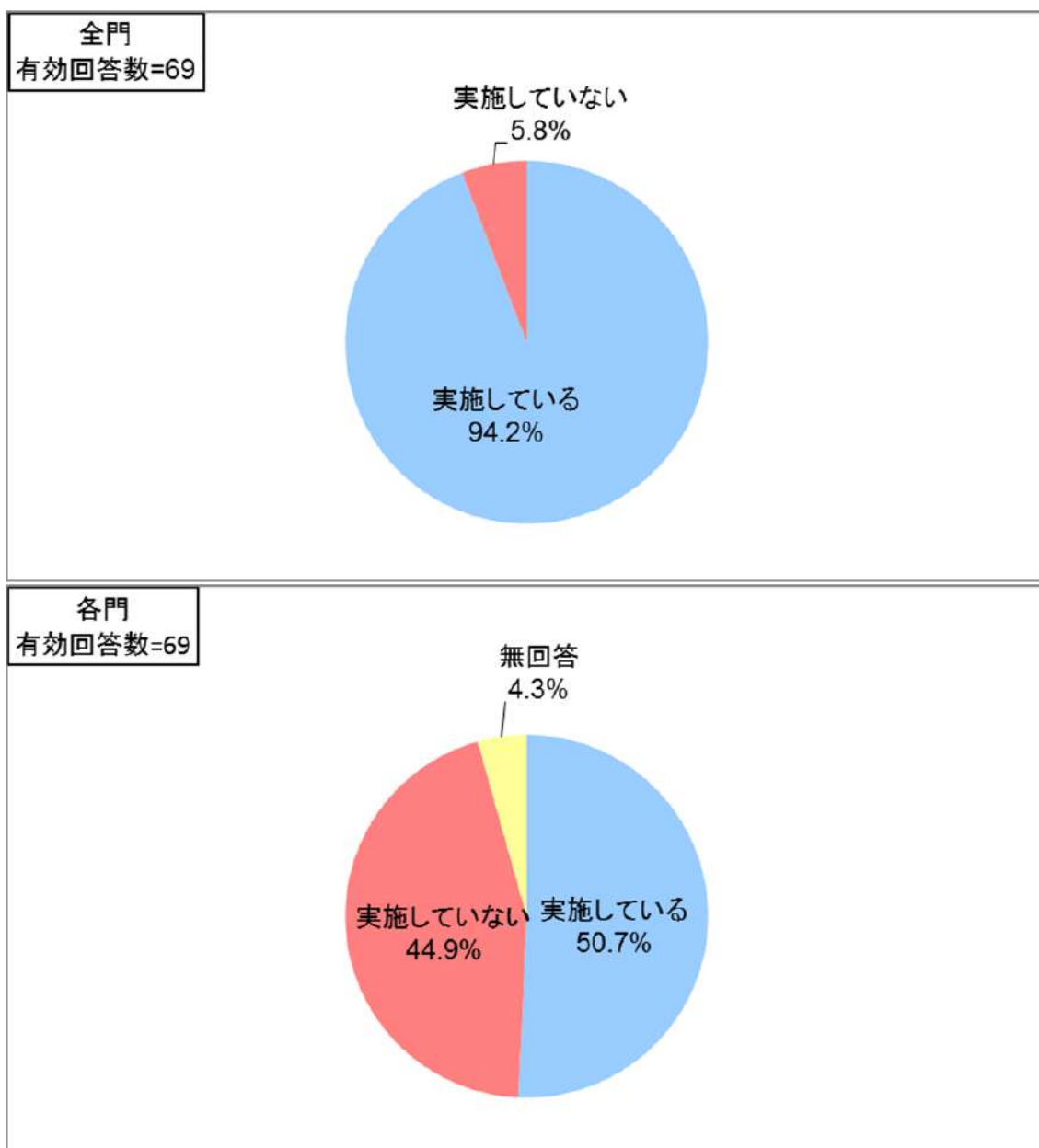


図 4-1-3 脳腫瘍 IMRT における全門・各門評価の実施数.

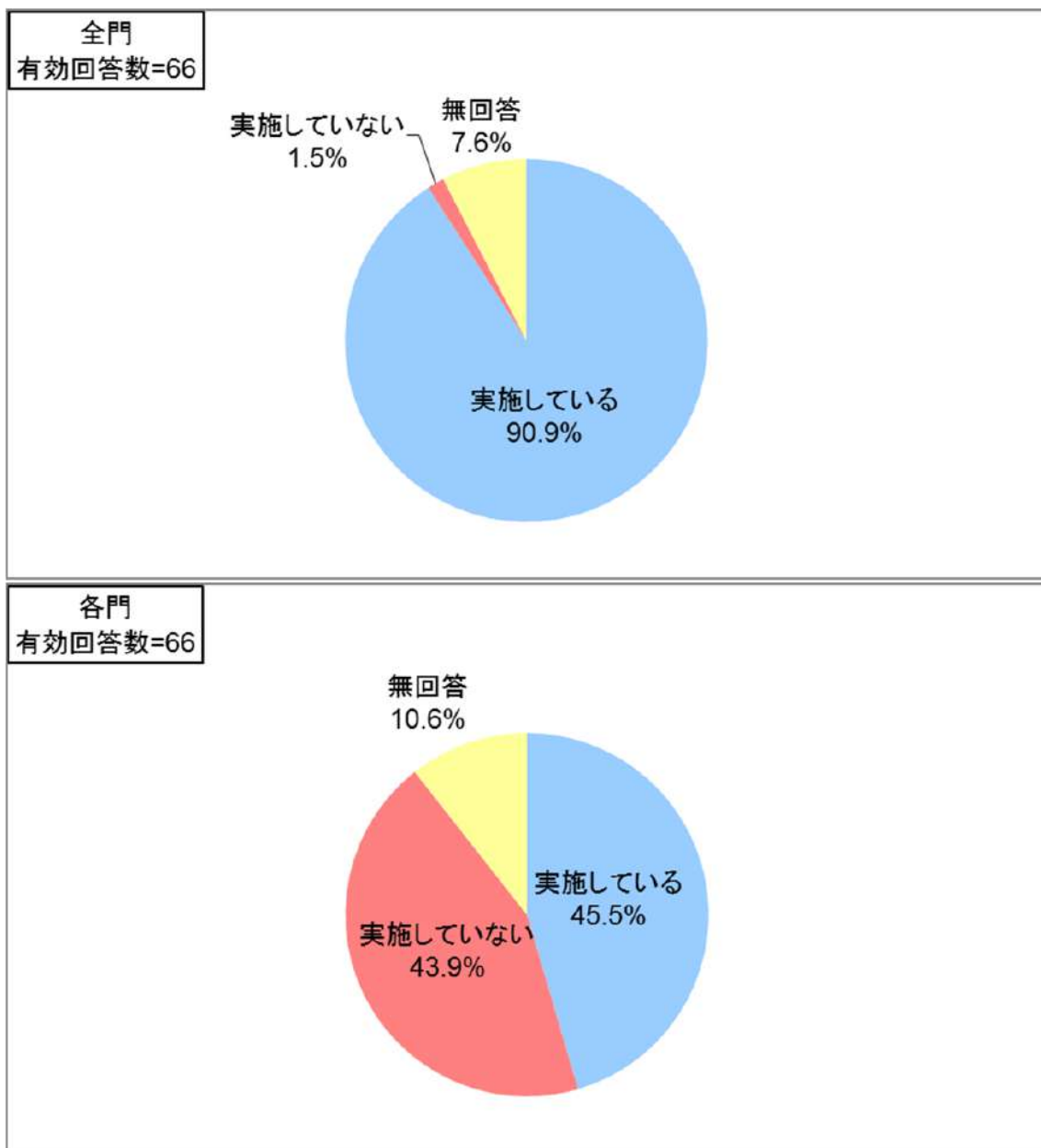


図 4-1-4 その他の部位の IMRT における全門・各門評価の実施数.

4-2 全門の評価面

線量分布の全門評価における評価面の集計結果を図 4-2-1~4 に示す。各部位ともアイソセンタ面みの評価が最も多かった。ただしその割合は部位により異なり、頭頸部では他部位に比べ多様な面で評価されていることが分かる。

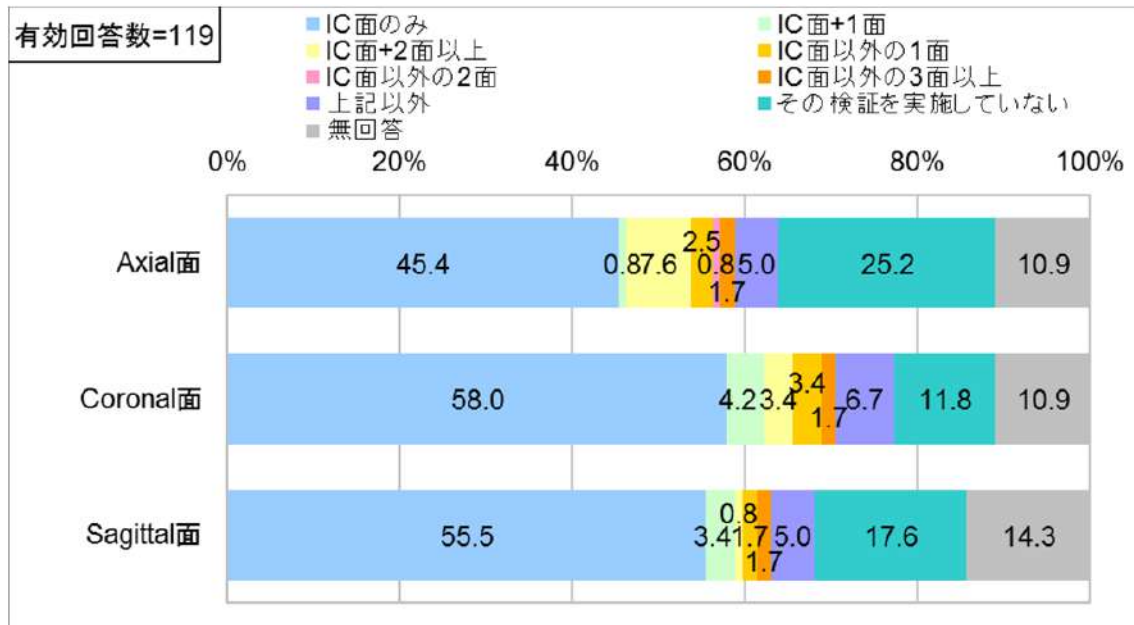


図 4-2-1 前立腺 IMRT における全門の評価面. IC はアイソセンタを意味する.

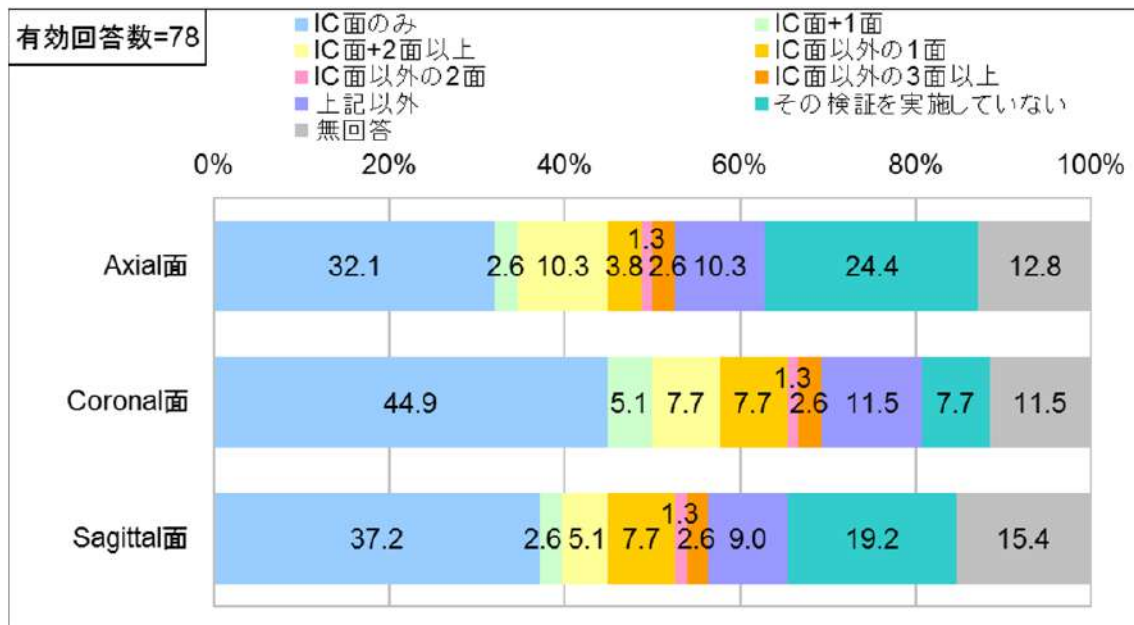


図 4-2-2 頭頸部 IMRT における全門の評価面. IC はアイソセンタを意味する.

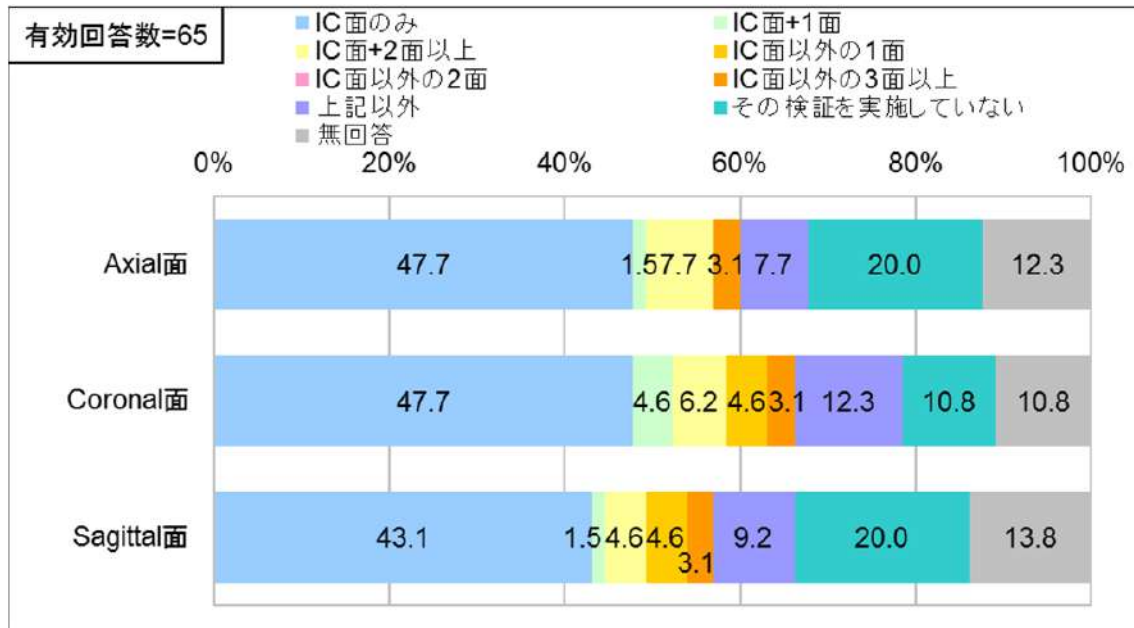


図 4-2-3 脳腫瘍 IMRT における全門の評価面. IC はアイソセンタを意味する.

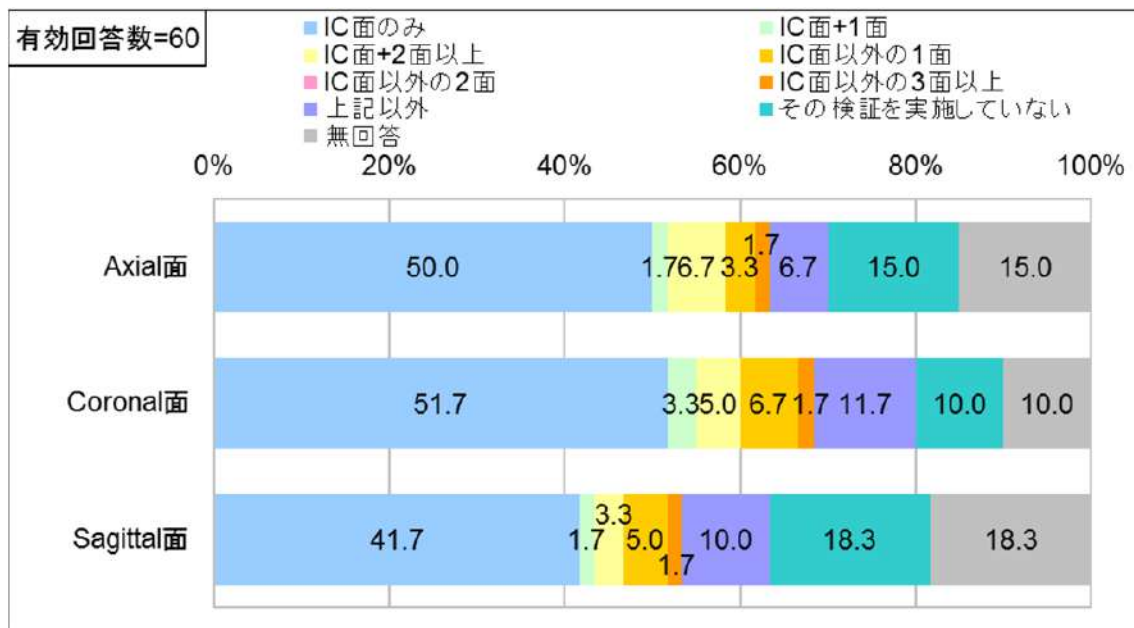


図 4-2-4 その他の部位の IMRT における全門の評価面. IC はアイソセンタを意味する.

4-3 線量分布測定で使用している検出器 [複数選択可能項目]

図 4-3-1~3 に集計結果を示す。治療部位に関わらず乾式フィルムを用いる施設が多く、EBT3, EBT2 が約 80%を占めていた。現在は EBT2 を使用しているが、後々 EBT3 に切り替えていくという回答も多くみられた。湿式フィルムを使用している施設(約 40%)では、EDR2 を使用している施設が 90%であった。多次元検出器は MapCHECK を用いている施設(約 50%)が最も多かったが、フィルムとは異なり内訳は多様であった。

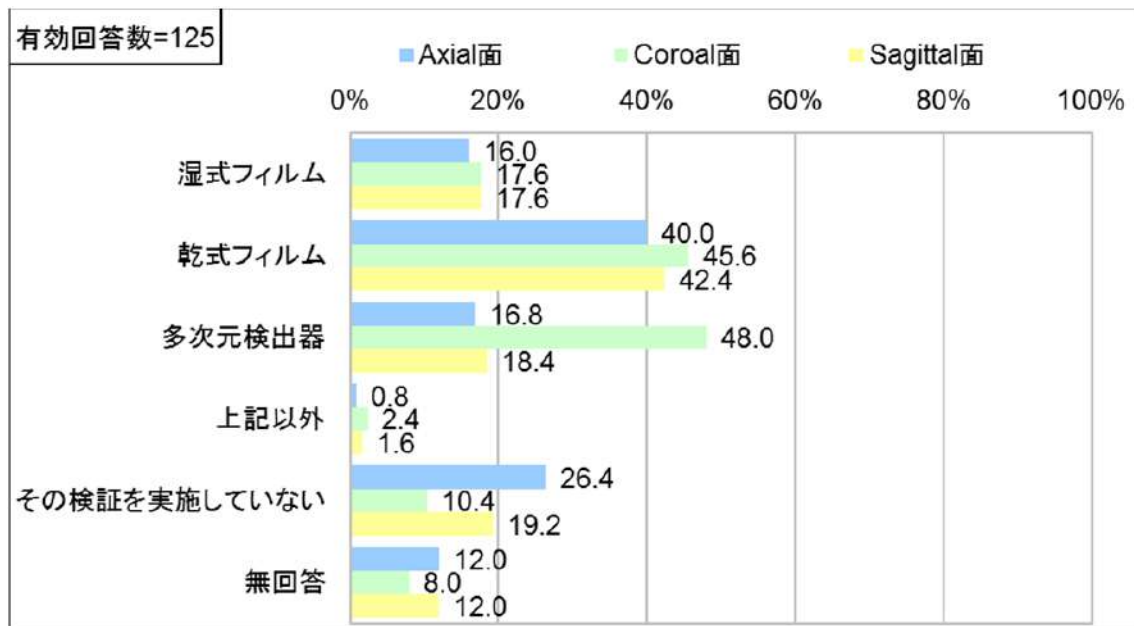


図 4-3-1 前立腺 IMRT における検出器の使用割合。

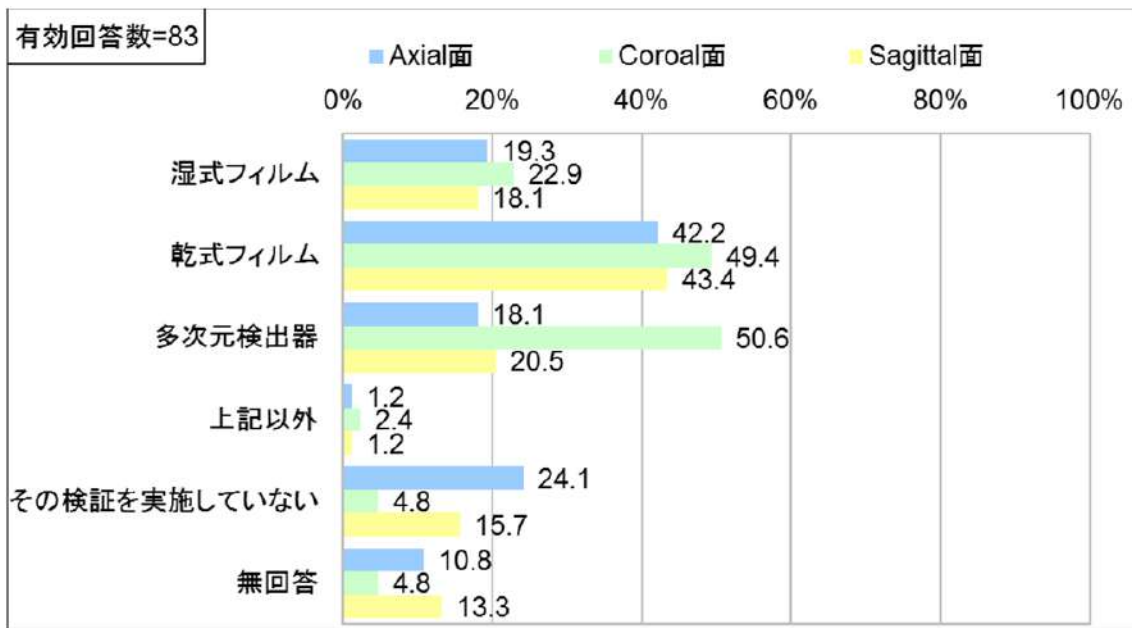


図 4-3-2 頭頸部 IMRT における検出器の使用割合.

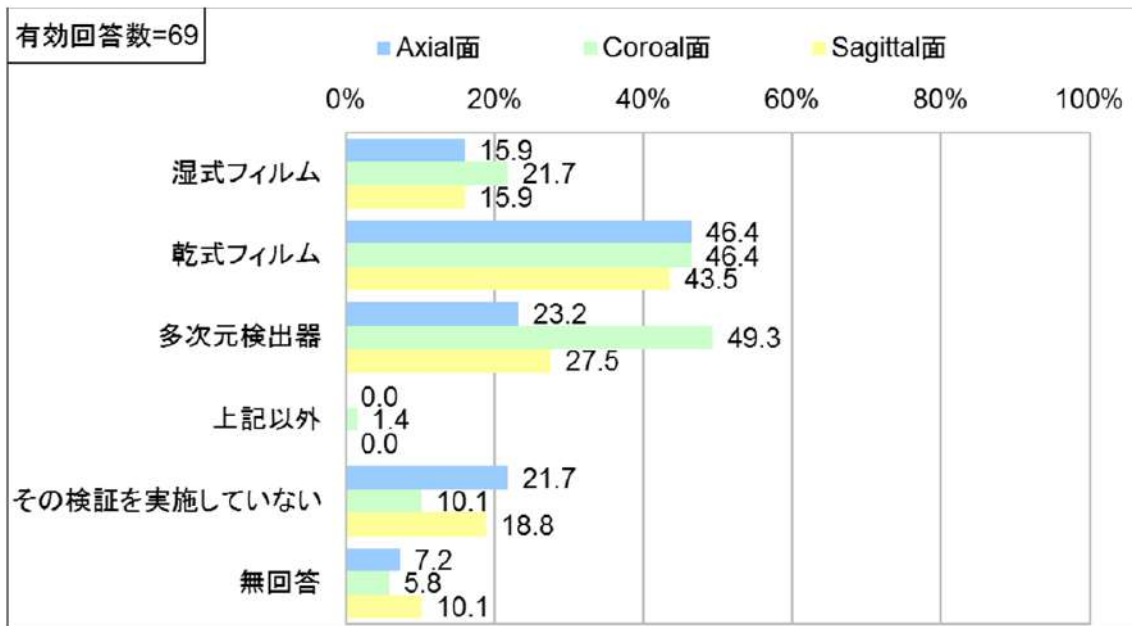


図 4-3-3 脳腫瘍 IMRT における検出器の使用割合.

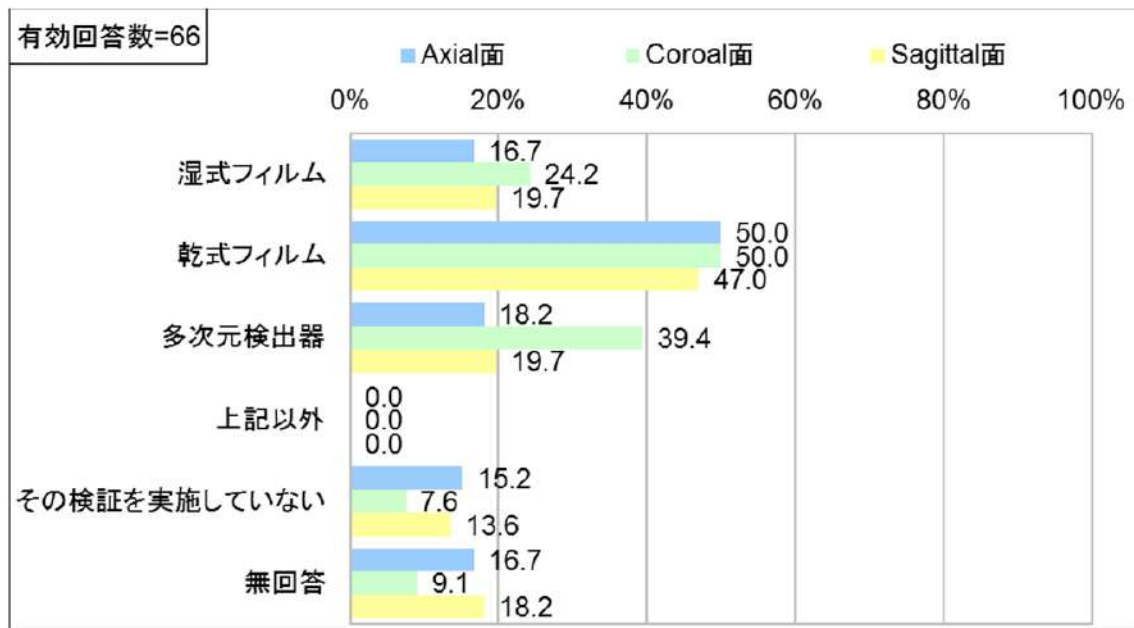


図 4-3-4 その他の部位の IMRT における検出器の使用割合.

4-4 線量分布解析に使用している解析ソフトウェア

図 4-4-1~3 に集計結果を示す. フィルムの測定では, 湿式フィルム, 乾式フィルムともに DD-system(アールテック社)を利用している施設が最も多かった. 多次元検出器付属のソフトウェアを利用している施設や自作ソフトウェアを利用している施設もあった. 多次元検出器の測定では大部分の施設で付属の解析ソフトウェアが利用されていた.

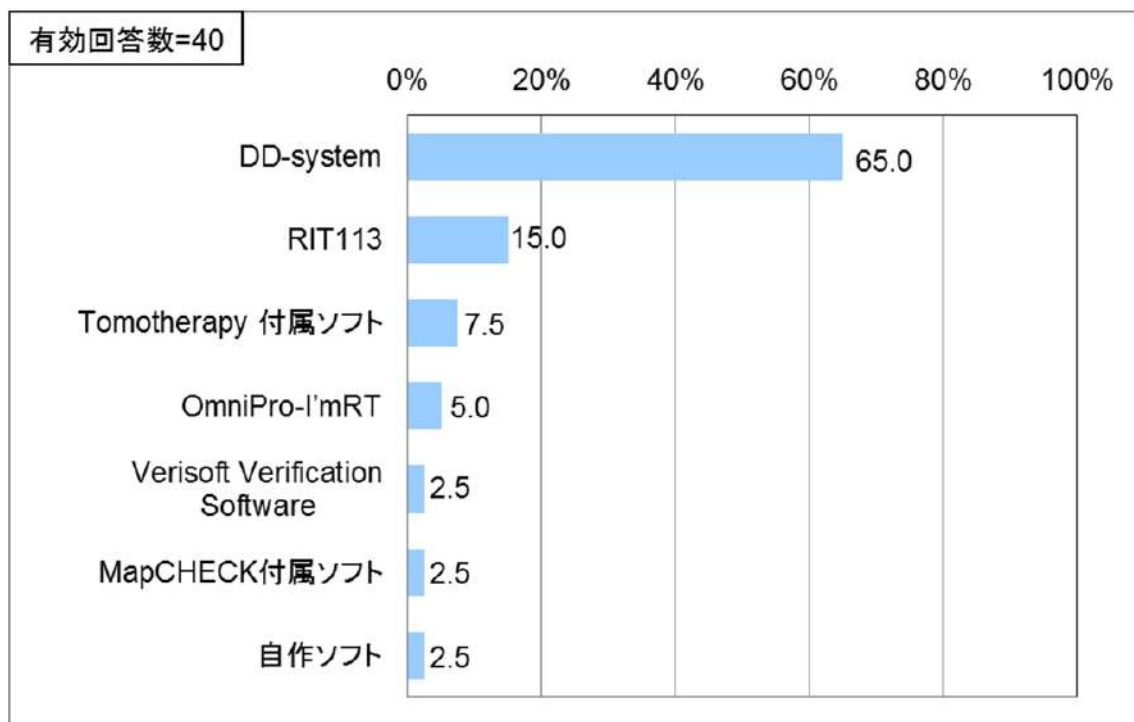


図 4-4-1 湿式フィルムにおける解析ソフトウェア.

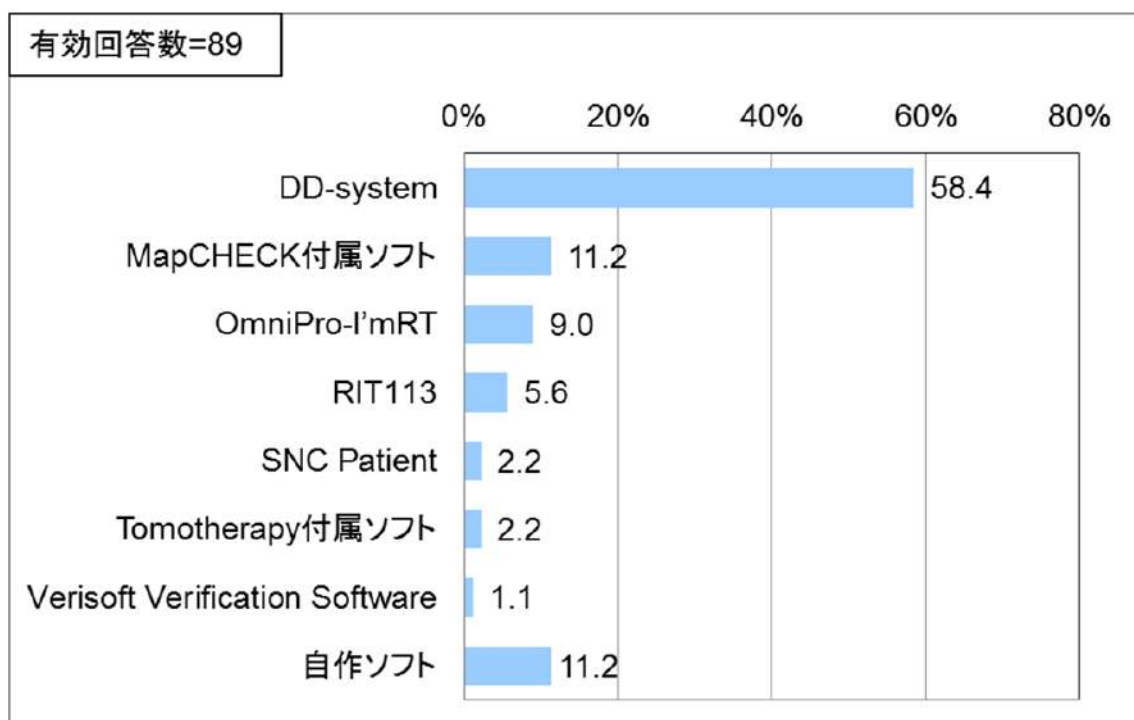


図 4-4-2 乾式フィルムにおける解析ソフトウェア.

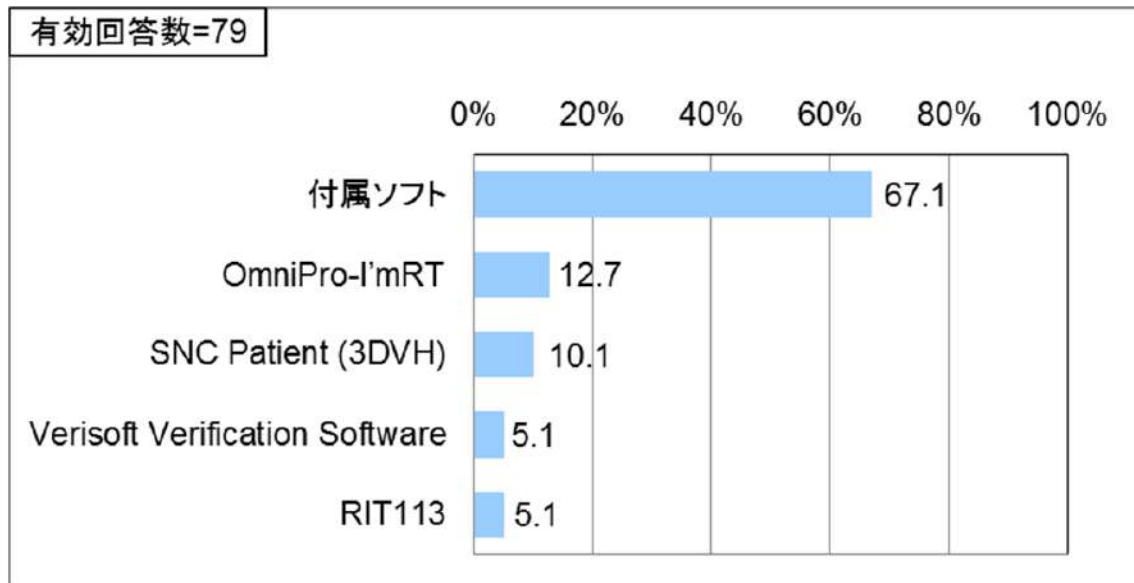


図 4-4-3 多次元検出器における解析ソフトウェア。

4-5 線量-フィルム濃度曲線の更新頻度 [複数選択可能項目]

図 4-5 に集計結果を示す。『(3)ロット番号が変更した時』に線量 - フィルム濃度曲線を更新する施設が最も多く、続いて『(4)新しい箱を開封した時』、『(1)QA 毎』という順になった。項目(4)『新しい箱を開封する前、もしくはロット番号が変更する前であっても、一定期間を超えた時点』では3ヶ月を超えた時点で更新する施設は7施設(12施設中)であり、項目(5)『一定期間までに1回』では12ヶ月までに1回更新する施設は2施設(6施設中)であった。

上記以外の自由回答の記載内容を下記に示す。

- ・線量-濃度曲線が合わない時
- ・検証結果が悪くなってきた時
- ・現像液, 定着液を交換した時
- ・検証結果が合わない場合で, 自現機に問題があると判断した時

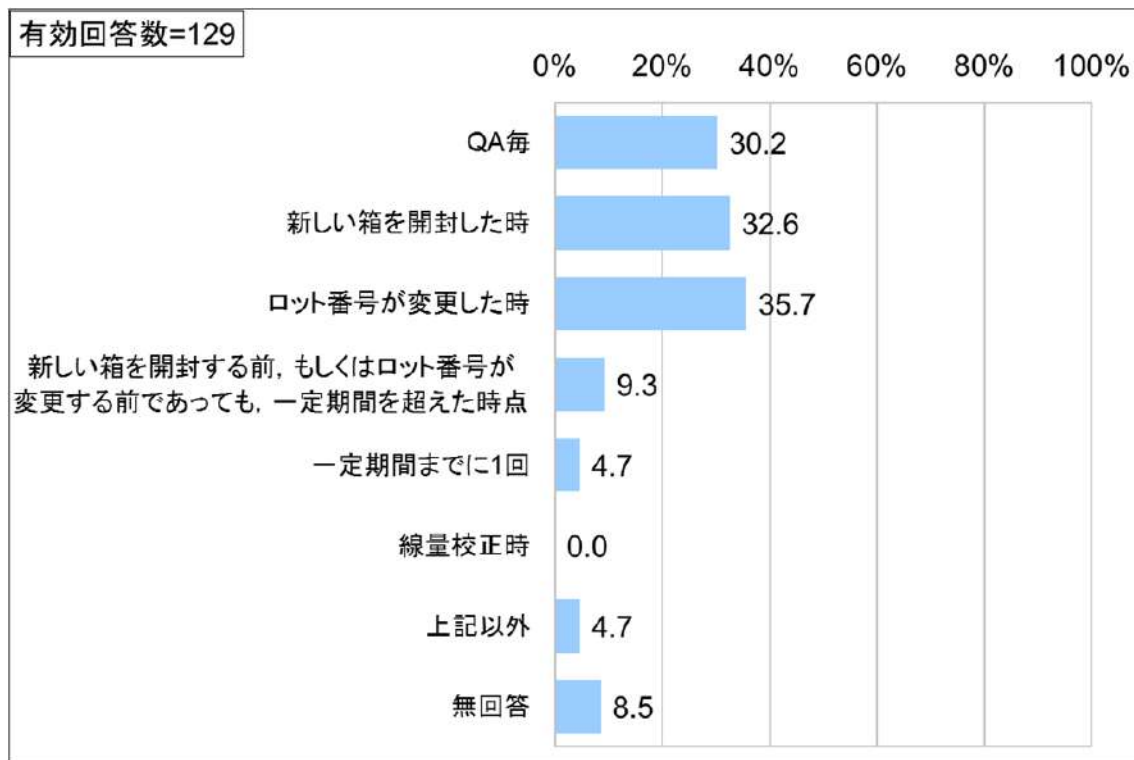


図 4-5 線量-濃度曲線の更新頻度.

4-6 多次元検出器のキャリブレーションの更新頻度 [複数選択可能項目]

図 4-6-1 に集計結果を示す. 多次元検出器のキャリブレーションの更新頻度は, 期間を決めて更新を行う施設が最も多かった. 図 4-6-2 に項目(2)『定期的』の結果を示す. 期間は 12 か月に 1 回が最も多く, 6 ヶ月以上の期間で更新する施設が大半であった. 上記以外の自由回答の記載内容を下記に示す.

- ・検出器アプリ担当者と相談して決定(約 1~2 年毎)
- ・水との校正後
- ・水槽との比較で 2 日以上, 線量誤差が 0.5%を超えた場合
- ・10x10 cm² オープン field 測定時 1%を超えた線量誤差があった場合
- ・照射前に 10x10 cm², 100 MU を照射し, キャリブレーションの値との差が大きい場合
- ・不定期, 必要時
- ・検出器の感度が明らかに 2%落ちた場合

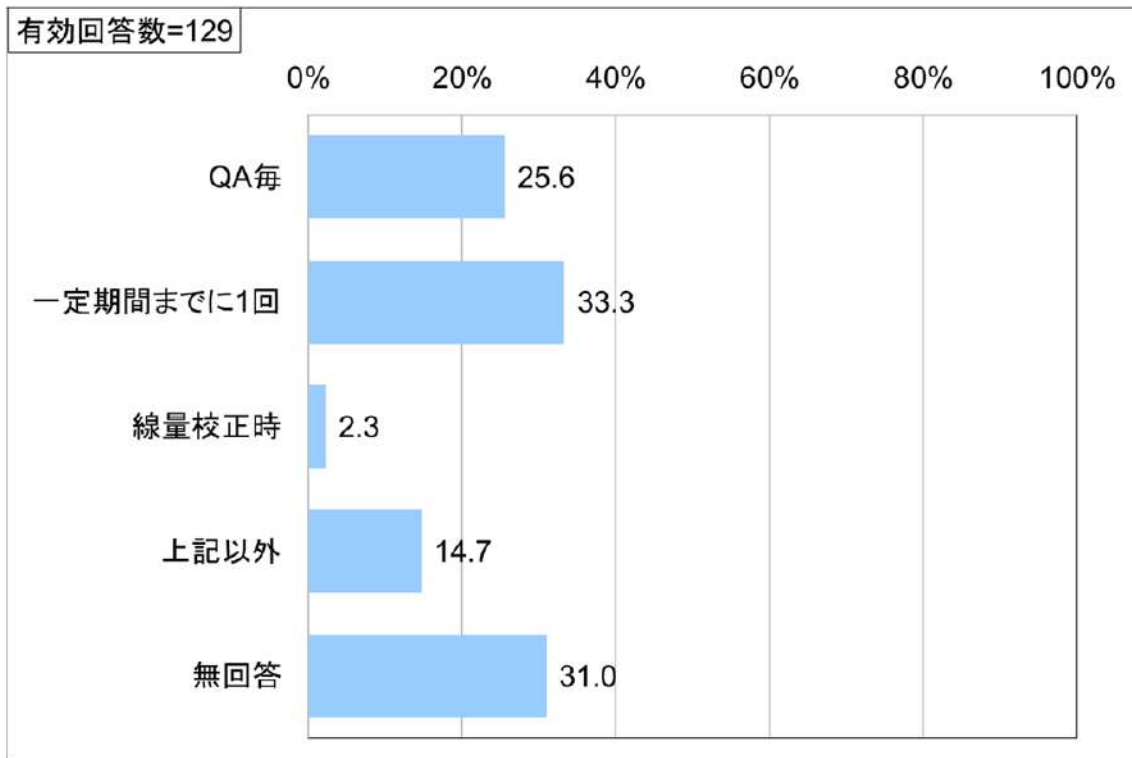


図 4-6-1 キャリブレーションの更新頻度.

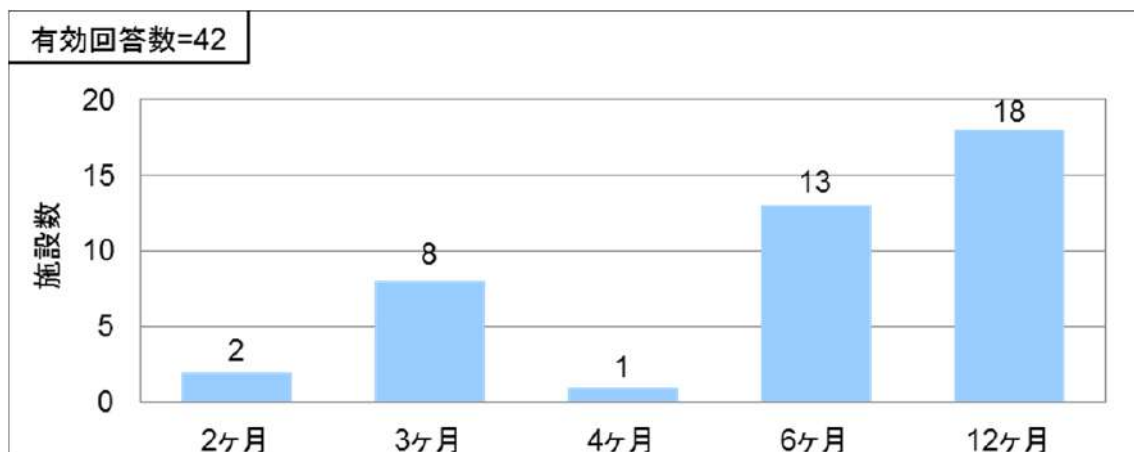


図 4-6-2 項目(2)「一定期間までに1回」の期間.

4-7 治療計画時の線量分布と測定された線量分布の合わせ込み [複数選択可能項目]

図 4-7-1~4 に集計結果を示す。湿式フィルム、乾式フィルムでは線量分布同士を手動で合わせ込む手法が最も多く使用されていた。ただし、この手法は評価が主観的となるため推奨されない。次いで目印から導き出された点もしくは目印同士を基に合わせ込む手法が多かった。この手法は客観的な評価が可能であり、日本放射線腫瘍学会(JASTRO)による強度変調放射線治療における物理・技術ガイドライン 2011 では推奨されている [1]。多次元検出器では目印から導き出された点もしくは目印同士を基に合わせ込む手法が最も多かったが、これは多次元検出器の多くはアイソセンタにセットアップするのみで他に微調整する必要がないことが反映されているためと考えられる。

上記以外の自由回答では“合わせ込みは行わない”、“解析ソフトのオート機能を用いる”というコメントが多数あった。

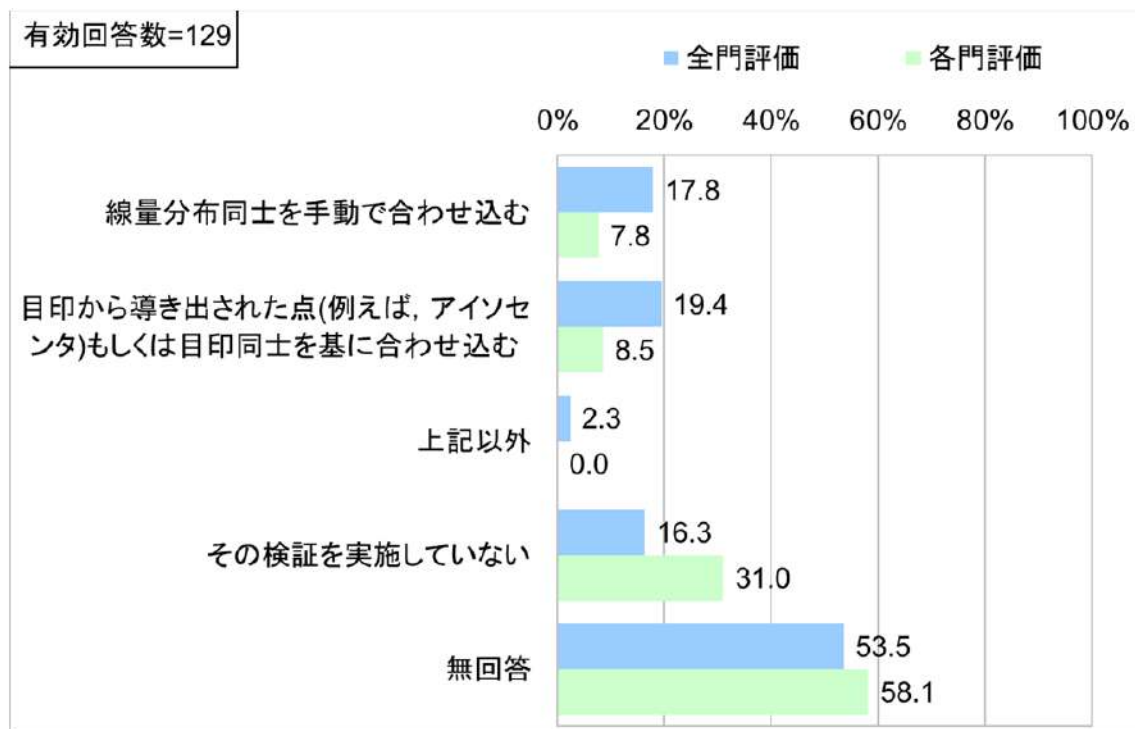


図 4-7-1 湿式フィルムにおける線量分布の合わせ方。

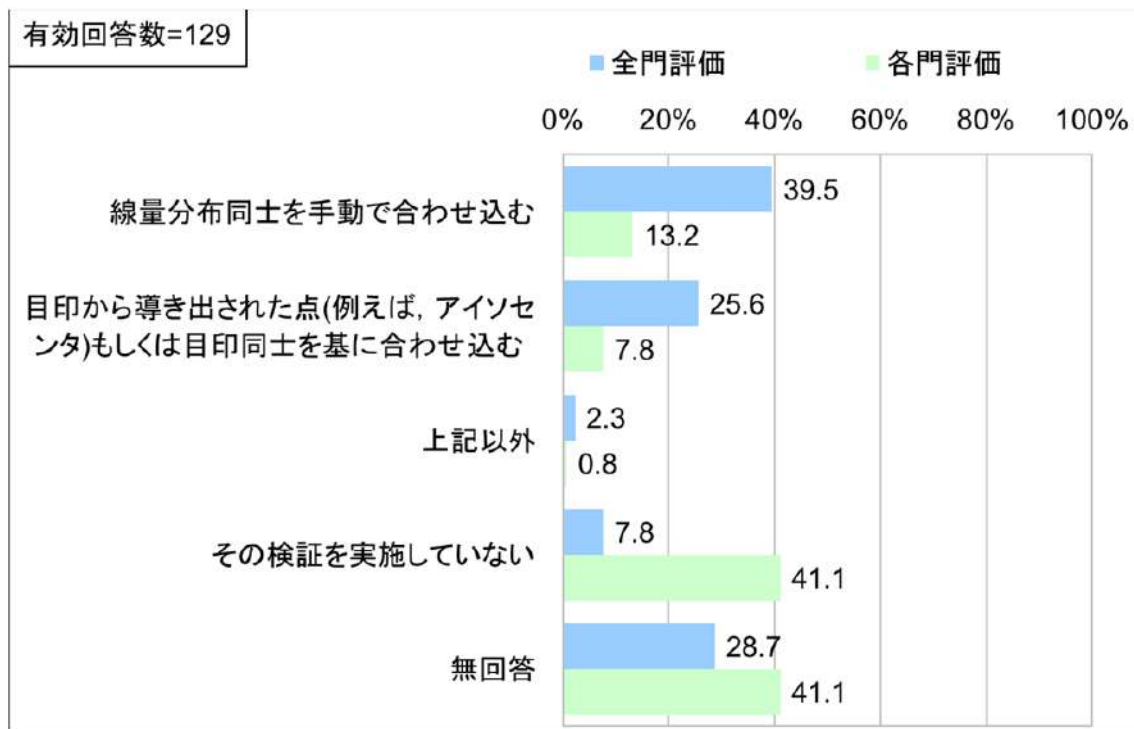


図 4-7-2 乾式フィルムにおける線量分布の合わせ方.

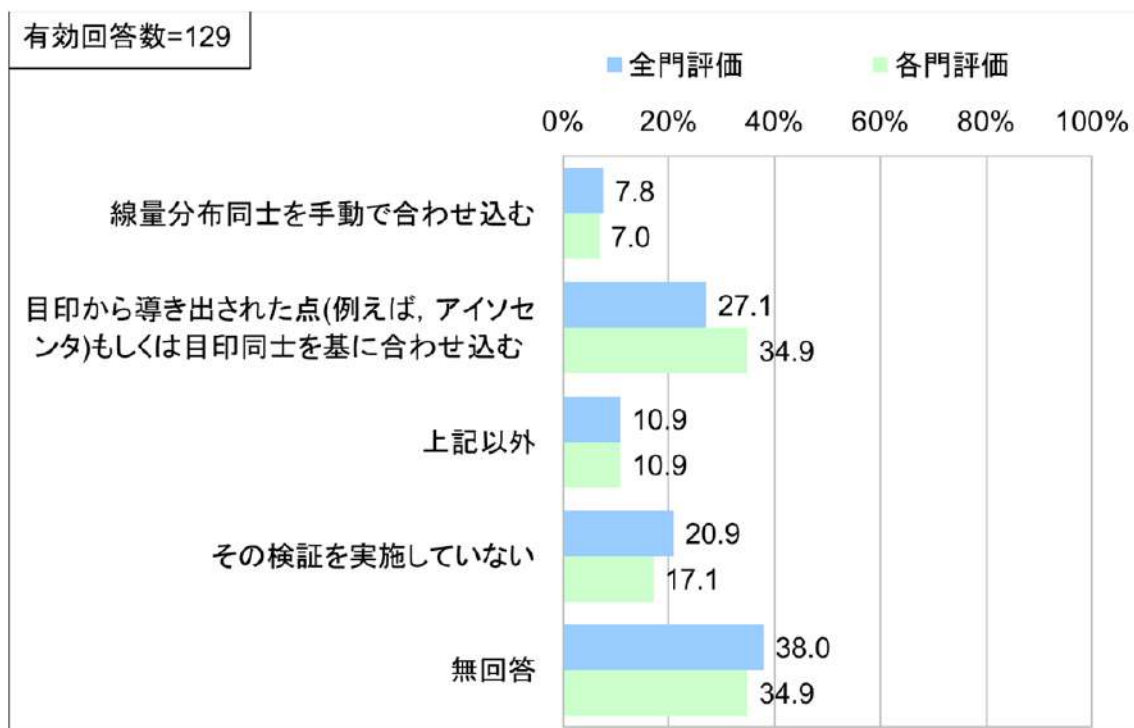


図 4-7-3 多次元検出器における線量分布の合わせ方.

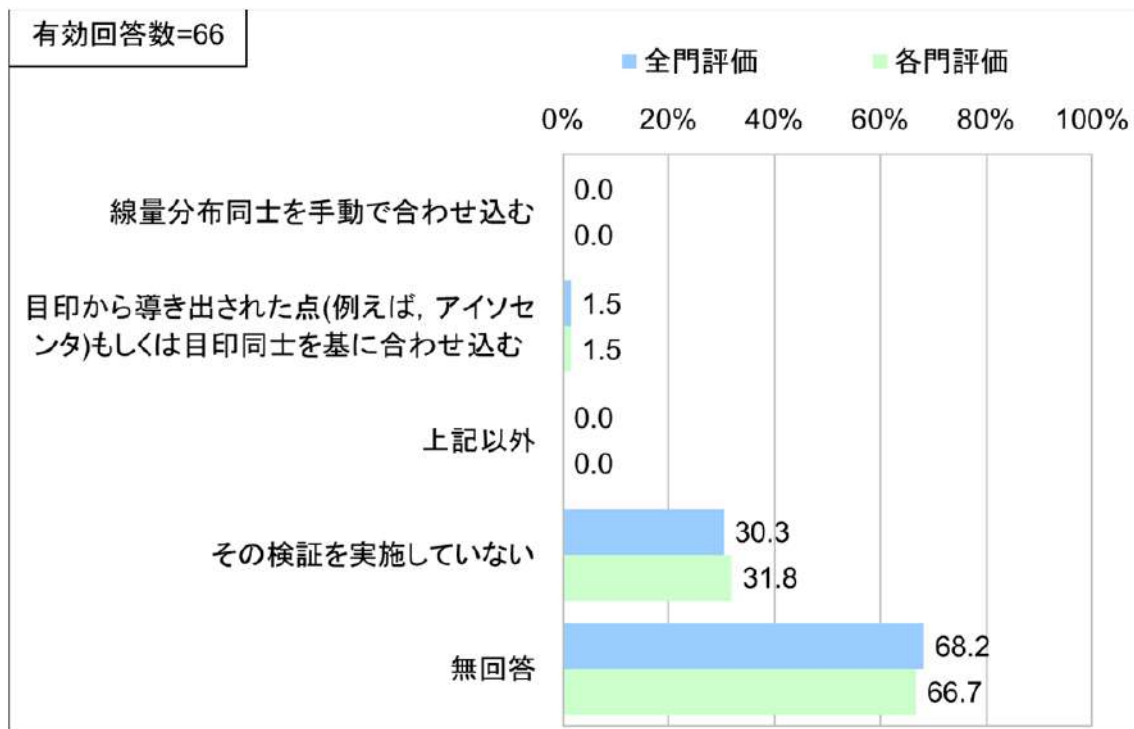


図 4-7-4 その他検出器における線量分布の合わせ方.

4-8 線量分布の正規化 [複数選択可能項目]

図 4-8-1~4 に集計結果を示す. 湿式フィルム, 乾式フィルムにおいては最大線量, アイソセンタ線量, 任意の線量域, などいずれかの線量で正規化を行う施設が多かった. 一方, 多次元検出器では正規化を行わない施設が多数であったが, これは線量分布を正規化せず Gy 表示で比較する方法を採用している施設が多いためと考えられる. 上記以外の自由回答では“合わせ込みは行わない”, “解析ソフトのオート機能を用いる”というコメントが多数あった. その他の記載内容を下記に示す.

- ・PTV 内部に該当する高線量で緩勾配な部分
- ・処方線量
- ・電離箱での評価位置で ROI を設定しその中の平均で正規化

フィルムを用いて線量分布を正規化する際, 選択した任意の点の線量は特性曲線をもとに線量応答を変換した数値であり, 絶対線量ではない. 絶対線量を基準として正規化を行うために「電離箱で測定した線量」を使用する施設もあるが, 全体の割合として少数である. どの点で正規化を行うかで検証の結果に大きく影響するため, 評価点の決定には十分注意が必要である.

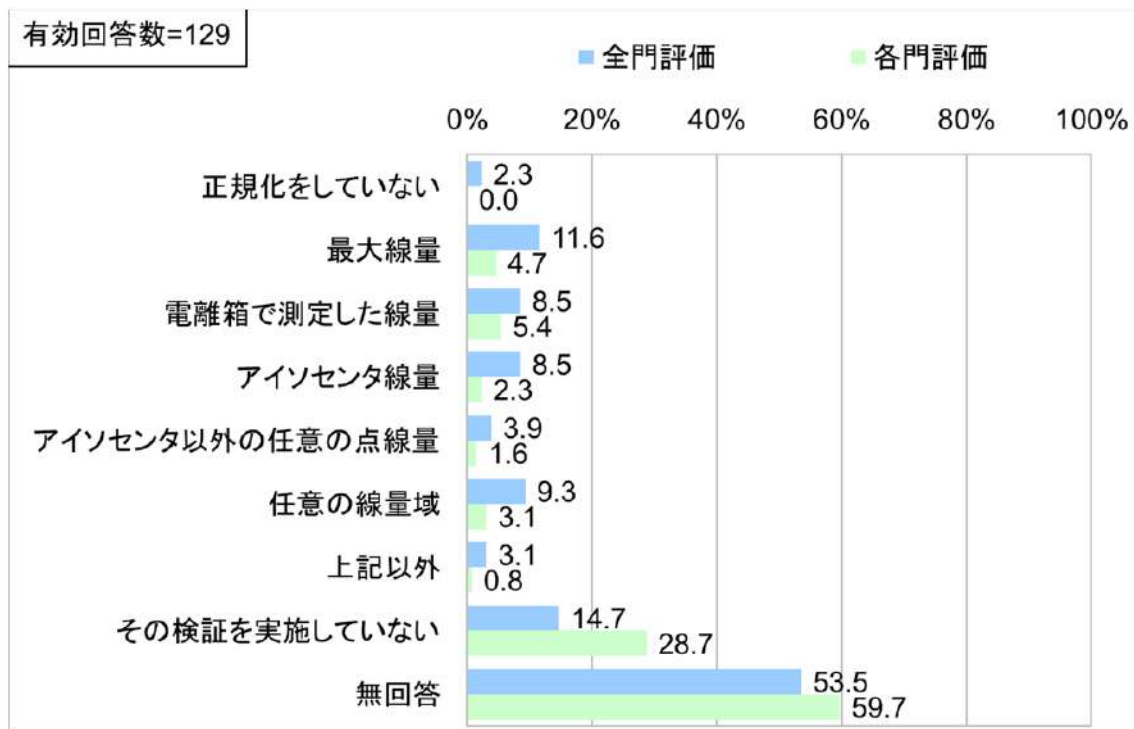


図 4-8-1 湿式フィルムにおける線量分布の正規化.

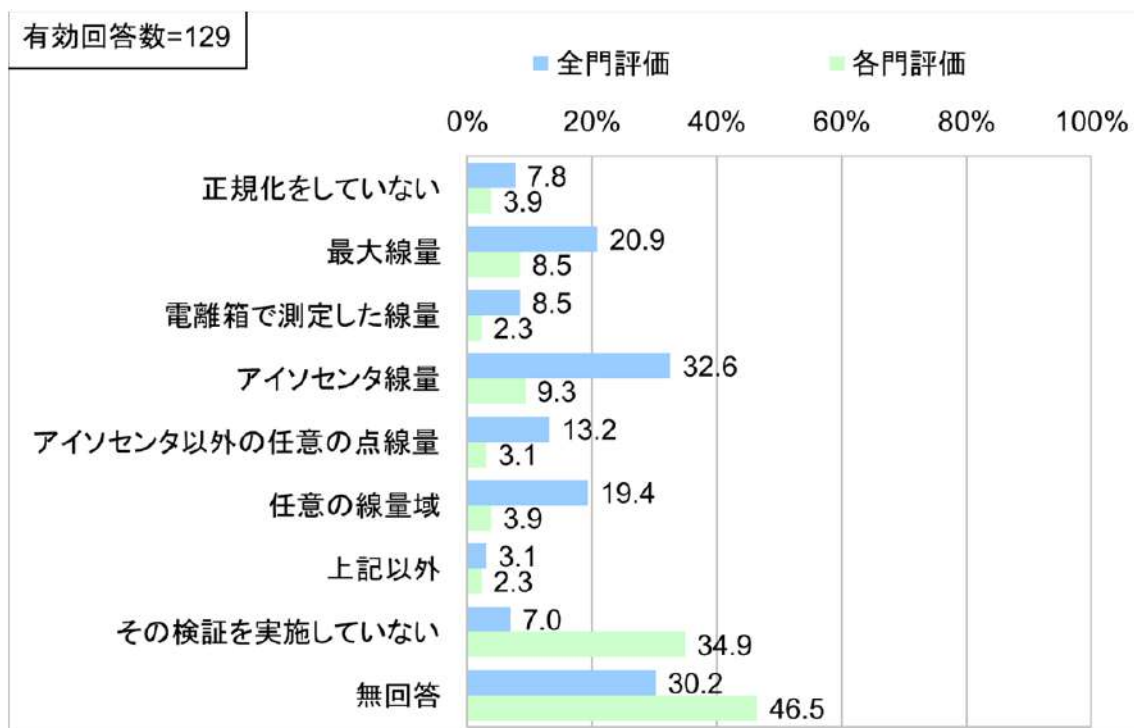


図 4-8-2 乾式フィルムにおける線量分布の正規化.

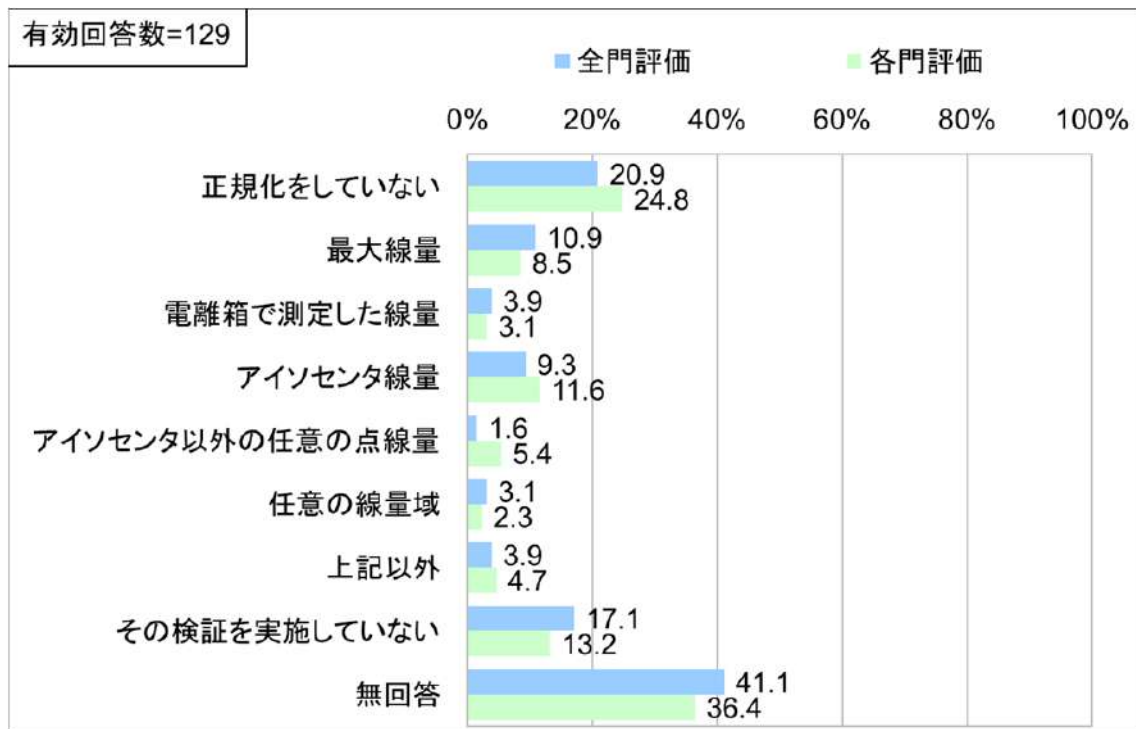


図 4-8-3 多次元検出器における線量分布の正規化.

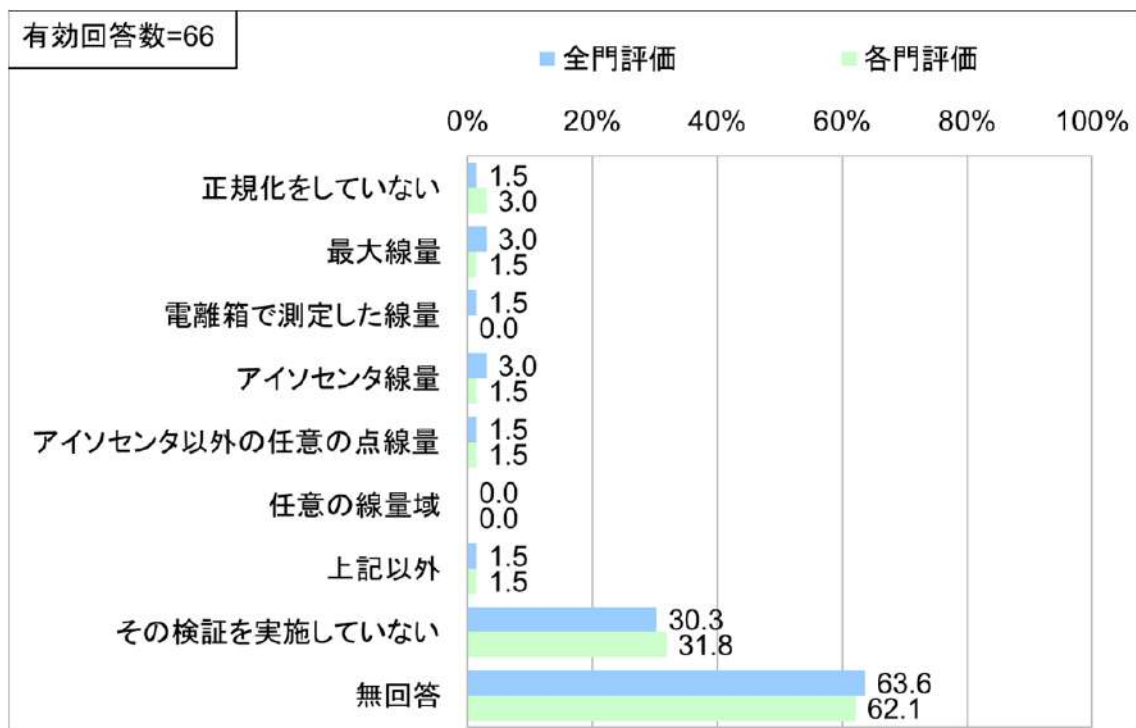


図 4-8-4 その他検出器における線量分布の正規化.

4-9 線量分布解析で対象としている線量の閾値

図 4-9-1~4 に集計結果を示す。全門評価では線量閾値を 50%以上としている施設が最も多かった。しかし、50%を閾値とすると、リスク臓器への線量分布を評価できない場合もある。また、線量閾値が高い場合、dose-difference やガンマ解析などでは、パス率を過大評価する可能性があるため注意が必要である。各門評価については頭頸部、脳腫瘍、その他の部位の IMRT において 10%以上 20%未満に線量の閾値を設定している施設が最も多かった。複数の検出器を利用する場合、検出器ごとに線量の閾値を変えているという施設もみられた。

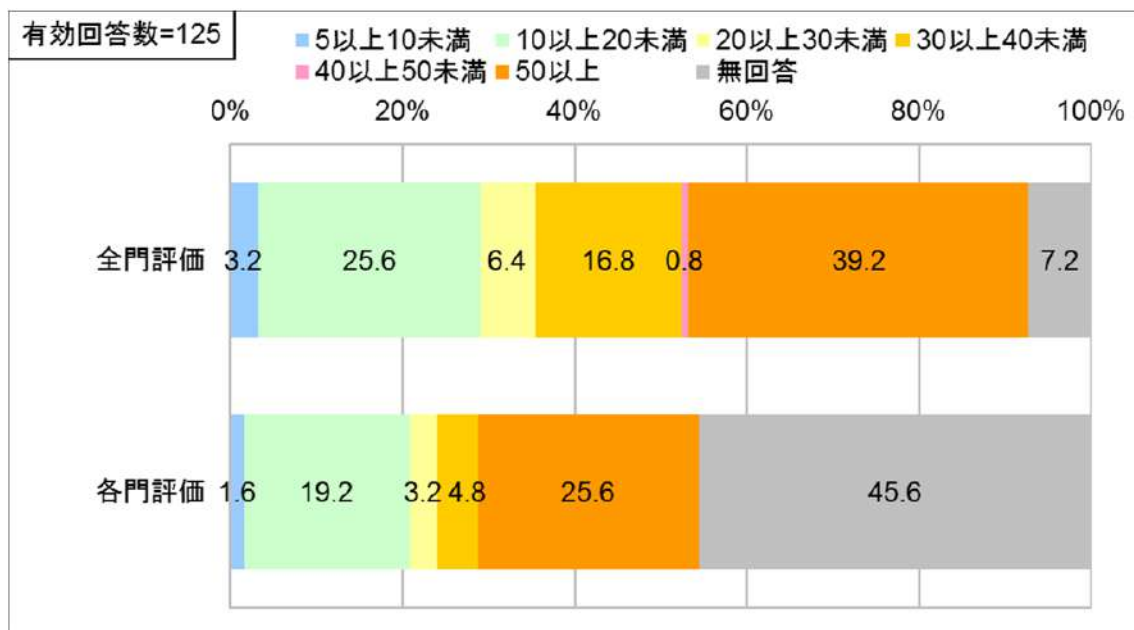


図 4-9-1 前立腺 IMRT における解析対象線量閾値。

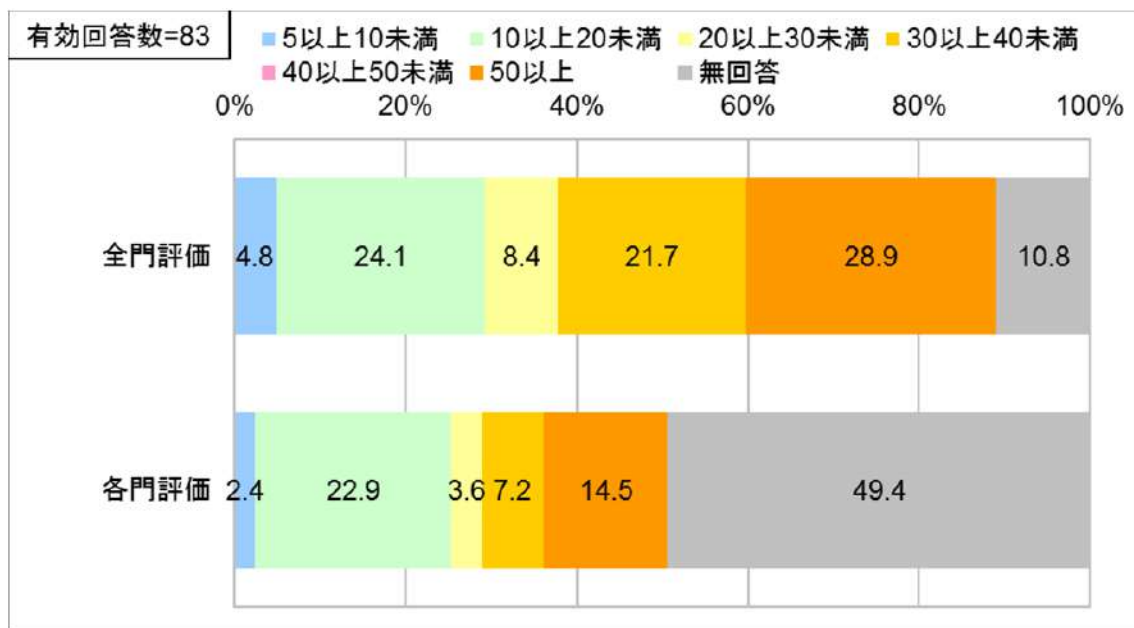


図 4-9-2 頭頸部 IMRT における解析対象線量閾値.

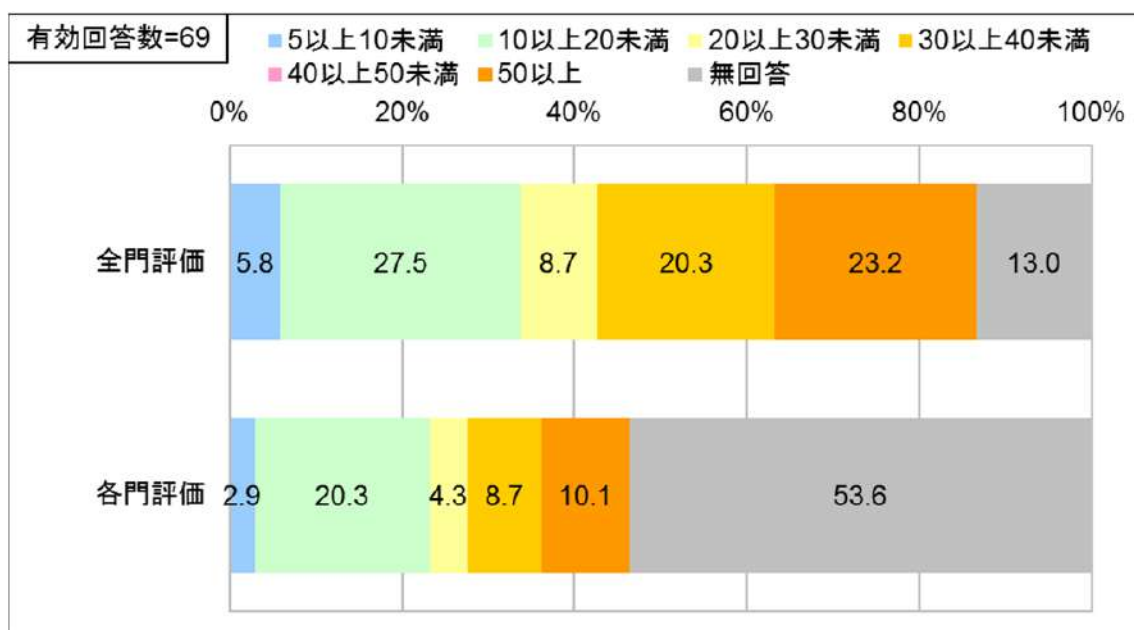


図 4-9-3 脳腫瘍 IMRT における解析対象線量閾値.

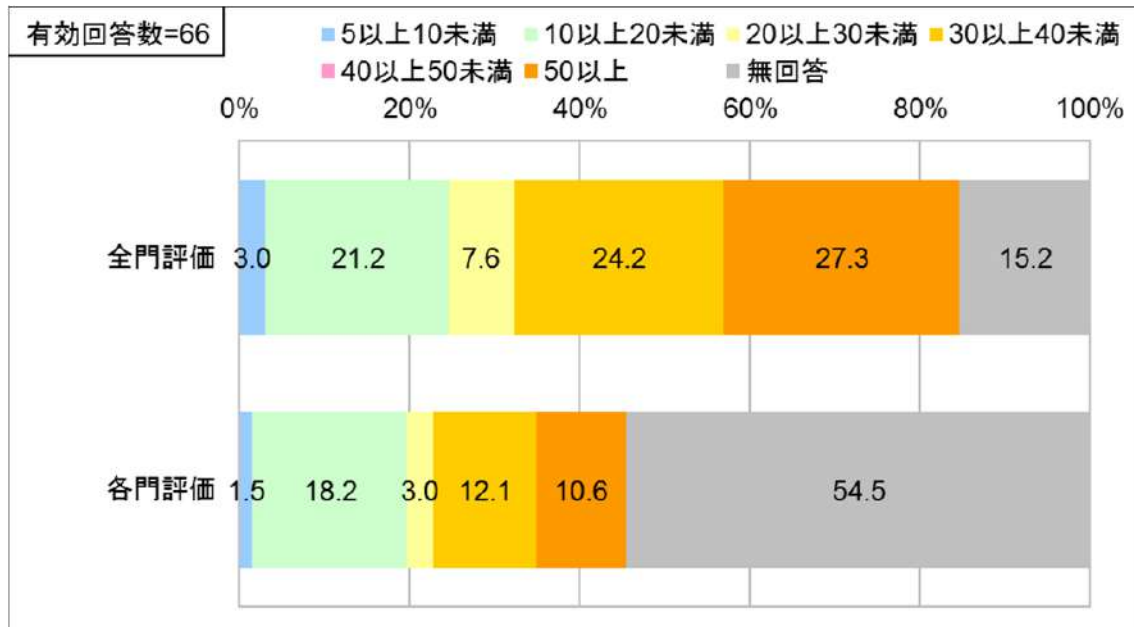


図 4-9-4 その他の部位の IMRT における解析対象線量閾値。

4-10 線量分布評価判定 [複数選択可能項目]

線量分布評価判定には、疾患部位を問わず 90%以上の施設がガンマ解析を、80%以上の施設が線量分布の視覚的評価を行っていた。線量分布(プロファイル)の視覚的評価、Dose-difference、Distance-to-agreement、ガンマ解析以外の評価判定を下記に示す。

- ・Surface base distance
- ・線量域ごとにおけるピクセル線量のヒストグラム解析における中央値の差の評価
- ・Van Dyk[2]の解析(線量勾配、線量域による分類解析)
- ・Isodose ラインの重ね合わせ
- ・Error analysis (DD-system)

線量分布評価判定ではパス率の扱いに注意しなければならない。線量分布検証の目的の一つは、リスク臓器の線量低減を確認することである。例えば 3%/3 mm の判定基準を設け、90%以上のパス率が得られたとしても、標的とリスク臓器が近接する領域では 2 mm 以下の位置ずれが許容できない場合もありうる。パス率は判定基準の一つとして有効ではあるが、そもそも標的とリスク臓器を含む断面を検証

しているか、どのような場所に誤差が生じているか、等にも着目した検証を行うことを強く推奨する。

4-10-1 Dose difference

許容レベルでは各部位とも判定基準:3%, パス率 90%以上としている施設が大半であった。介入レベルでは各部位とも様々な判定基準, パス率が利用されていた。許容/介入レベルの区別をしていない施設では様々な判定基準, パス率が利用されていたが各部位とも判定基準:3%, パス率:90%以上としている施設が大半であった。

4-10-2 Distance to agreement

許容レベルでは各部位とも判定基準:3 mm, パス率 90%以上としている施設が大半であった。介入レベルでは各部位とも様々な判定基準, パス率が利用されていた。許容/介入レベルの区別をしていない施設では様々な判定基準, パス率が利用されていたが各部位とも判定基準:2 mm, パス率:90%以上としている施設が大半であった。

4-10-3 ガンマ解析

許容レベル, 介入レベル, 許容/介入レベルの区別をしていない施設, いずれにおいても各部位とも判定基準:3%/3 mm, パス率 90%以上としている施設が大半であった。IMRT のコミッショニングに焦点を置いた AAPM TG-119 では, 最大線量の 10%以上の線量域を対象にガンマ解析の絶対線量比較で判定基準:3%/3 mm を用いた場合の action level としてパス率 88-90%を示しているが[3], 許容レベル, 介入レベルともに明確なエビデンスはない。各施設において過去プラン等を参照しつつ独自の判定基準を設定することが求められる。

[参考文献]

- [1] 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 IMRT 物理 QA ガイドライン専門小委員会(日本放射線腫瘍学会 QA 委員会)
- [2] van D.J. et al., 1993. Commissioning and quality assurance of treatment planning computers. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 26, 261-273.
- [3] Gary A.E. et al., 2009. IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119. Med. Phys. 36, 5359-5373.

5. フルエンス分布検証

5-1 フルエンス分布検証の実施状況

全 129 施設のうち、28 施設がフルエンス分布検証を実施しているという結果を得た。部位別では前立腺に対して 28 施設、頭頸部に対して 16 施設、脳腫瘍に対して 16 施設、その他の部位に対して 16 施設で行われていた。線量分布検証と比較すると実施施設数は少なかった。

5-2 使用機器と解析ソフトウェア

表 5-1 に、フルエンス検証に使用される使用機器と解析ソフトの組み合わせと使用施設数を示す。多くの施設は、Varian 社の Portal Dosimetry を使用してフルエンス分布検証を行っていた。Portal Dosimetry は、EPID を使用して、フルエンス分布を検証するシステムである。Varian 社以外のリニアックで EPID を使用したフルエンス検証を可能とする EPIDose(Sun Nuclear 社)を使用して検証している施設もあった。

また、近年、広く普及している MapCHECK(Sun Nuclear 社)を使用して、フルエンス分布検証を行う施設もあった。MapCHECK の線量校正情報を使用した EPIDose によるフルエンス検証は、Portal Dosimetry と比較して、IMRT や VMAT に対する QA を高精度に実施可能であるという報告もあり[1]、今後 MapCHECK 等の線量校正情報を使用したフルエンス分布検証が広く普及する可能性が考えられる。

表 5-1. フルエンス分布検証に使用される使用機器と解析ソフトの組み合わせと使用施設数.

使用機器	解析ソフト	施設数
EPID	Portal Dosimetry	14
EPID	EPIDose	4
MapCHECK	SNC Patien Software	3
その他		5
無回答		2
計		28

5-2 フルエンス分布評価方法 [複数選択可能項目]

図5-1に、各部位のIMRTに対するフルエンス分布の評価方法について示す。評価方法は、(1)フルエンス分布(プロファイル)の視覚的評価、(2)Fluence difference(FD)、(3)Distance-to-agreement(DTA)、(4)Gamma method(ガンマ解析)、(5)上記以外に分類した。

定量的な評価判定には、ガンマ解析が最も多く使用されていた。FD や DTA を使用している施設は少なく、フルエンス分布の視覚的評価による定性的な評価判定も多く行われていた。

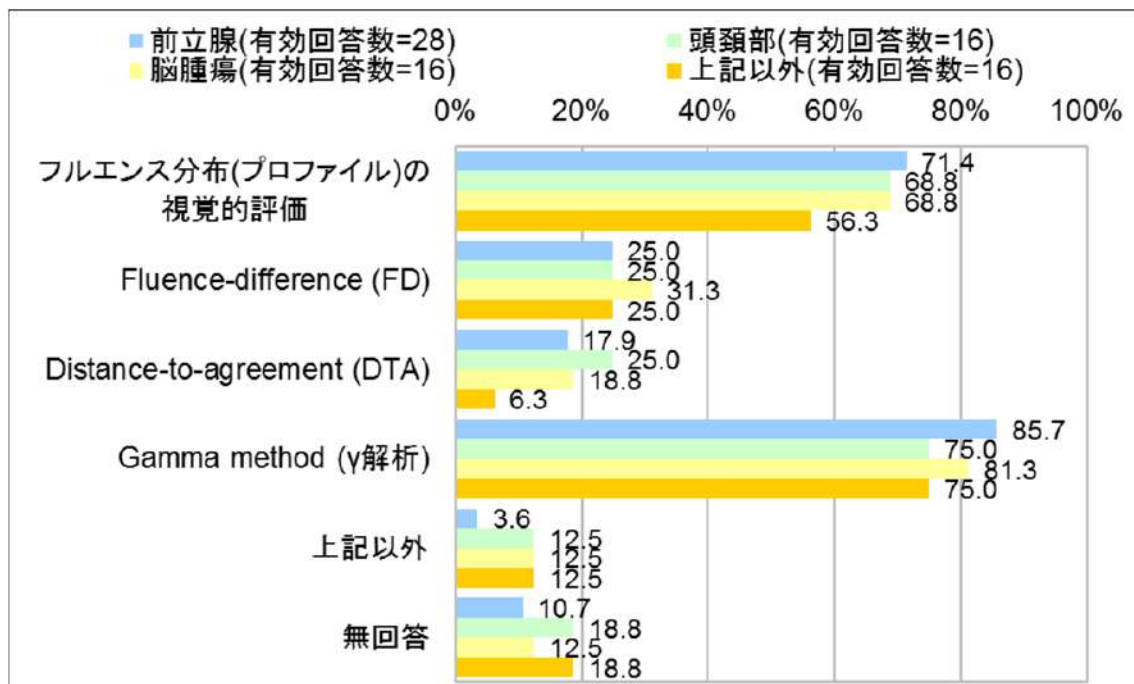


図 5-1 各部位の IMRT に対するフルエンス分布の評価方法。

5-2-1 Fluence difference

FD を評価としている施設は、前立腺: 7 施設、頭頸部: 4 施設、脳腫瘍: 5 施設、上記以外: 4 施設であった。

許容レベルは、判定基準: 3%, パス率 90%以上と設定している施設は最大 2 施設であった。介入レベルでは、判定基準: 3%, パス率 80%以上 90%未満と設定している施設と判定基準: 5%, パス率 80%以上 90%未満と設定している施設が、いずれの疾患でも 1 施設ずつであった。

また、許容/介入レベル区別なしは 3%, パス率 90%以上と設定している施設は最大 3 施設であった。

5-2-2 Distance to agreement

DTA を評価としている施設は、前立腺 IMRT で 5 施設、頭頸部 IMRT で 4 施設、脳腫瘍 IMRT で 3 施設、その他の部位の IMRT で 1 施設であった。

許容レベルとして、判定基準:3 mm, パス率 90%以上と設定している施設、および介入レベルとして、判定基準:3 mm, パス率 80%以上 90%未満と設定している施設はいずれの疾患でもそれぞれ 1 施設であった。

また、許容/介入レベル区別なしは判定基準:3 mm, パス率 90%以上と設定している施設は最大 2 施設であった。

5-2-3 ガンマ解析

許容レベルは、判定基準:3%/3 mm, パス率 90%以上と設定している施設が前立腺 IMRT で 5 施設、頭頸部 IMRT で 3 施設、脳腫瘍 IMRT で 2 施設、その他の部位の IMRT で 2 施設であった。

介入レベルでは、判定基準:3%/3 mm, パス率 90%と設定している施設は最大 3 施設であった。

また、許容/介入レベル区別なしは判定基準:3%/3 mm, パス率 90%以上と設定している施設が前立腺 IMRT で 13 施設、頭頸部 IMRT で 6 施設、脳腫瘍 IMRT で 8 施設、その他の部位の IMRT で 7 施設であった。

5-3 フルエンス分布検証に関する各施設のコメント

フルエンス分布検証に対する各施設の考え方は、不要と考える施設から不可欠と考える施設まで、様々であることがわかった。不要と考える施設は、検証の基本は、電離箱による絶対線量とフィルムや検出器による相対線量である、という考えであった。不可欠と考える施設からは、tongue and groove 効果の検出に有用、という意見や、フルエンス検証が問題なければ、治療計画で問題となるのは治療計画装置の線量計算精度に依存する、という意見があった。

また、フルエンス検証に対して、Relative か Absolute のどちらで解析した方がよいかというコメントがあった。フルエンス検証では、EPID で取得された画像を線量に変換する校正が必要となるため、その精度が検証に影響を与える[1]。また、線量計算アルゴリズムの半影領域に対する計算精度が低いとの報告もある[2]。フルエンス検証において、使用する検証装置やソフトウェアの線量変換アルゴリズムの特徴や精度を考慮したうえで、Relative か Absolute のどちらで検証するかを各施設で決定する必要があると考えられる。

5-4 まとめ

フルエンス分布検証を実施している施設は線量分布検証と比較して、非常に

少ないことがわかった。また、判定方法として多く使用されている方法は、ガンマ解析であり、パス率が 90%以上で臨床実施を行っている施設が多数であった。日本放射線腫瘍学会(JASTRO)による強度変調放射線治療における物理・技術ガイドライン 2011 や強度変調放射線治療の線量検証法[3,4]によると、各施設における許容レベル・介入レベルの設定が推奨されているが、判定基準に許容レベル・介入レベルを設定している施設は少なかった。今後増加する可能性のあるフルエンス分布検証において、許容レベル・介入レベルの設定は重要になってくると考えられる。

[参考文献]

- [1] Bailey DW, Kumaraswamy L, Podgorsak MB, et al.: EPID dosimetry for pretreatment quality assurance with two commercial systems. J Appl Clin Med Phys. 2012;13(4):82-99.
- [2] Bailey DW, Kumaraswamy L, Podgorsak MB.: An effective correction algorithm for off-axis portal dosimetry error. Med Phys. 2009; 36(9): 4089-94.
- [3] 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 IMRT 物理 QA ガイドライン専門小委員会(日本放射線腫瘍学会 QA 委員会)
- [4] 強度変調放射線治療の線量検証法 日本医学物理学会 2010;Vol.30, supplement No.6

6. IMRT QA 結果の判定基準

IMRT はその照射技術の複雑さから、患者ごとの QA が必須とされている。QA は標的/リスク臓器の計画投与線量から見積もられた治療効果が、個々の患者において実現可能であるかを判断する際の指標として用いられている。IMRT QA 結果の判定基準としては臨床的に治療効果が望め、統計学的に起こりうる誤差範囲内であることが重要とされる[1-3]。

6-1 IMRT QA 結果判定基準の設定根拠 [複数選択可能項目]

図 6-1 に各施設の IMRT QA 結果判定基準の設定根拠を示す。QA 結果の判定基準としては、文献、学会推奨値等により設定していることが最も多く、次いで施設独自、他施設を参考に決められることが多かった。判定基準の根拠は蓄積した QA 結果を基に施設独自の基準を設定することが望まれるが、施設独自の判断基準を設けている施設は 46.5%にとどまった。これは、IMRT を始めて間もない施設は症例数が蓄積されておらず、施設独自の基準を設けることができないことが原因であると考えられる。また、94.6%の施設が何らかの情報を参考にして判断基準を設定していることがわかった。

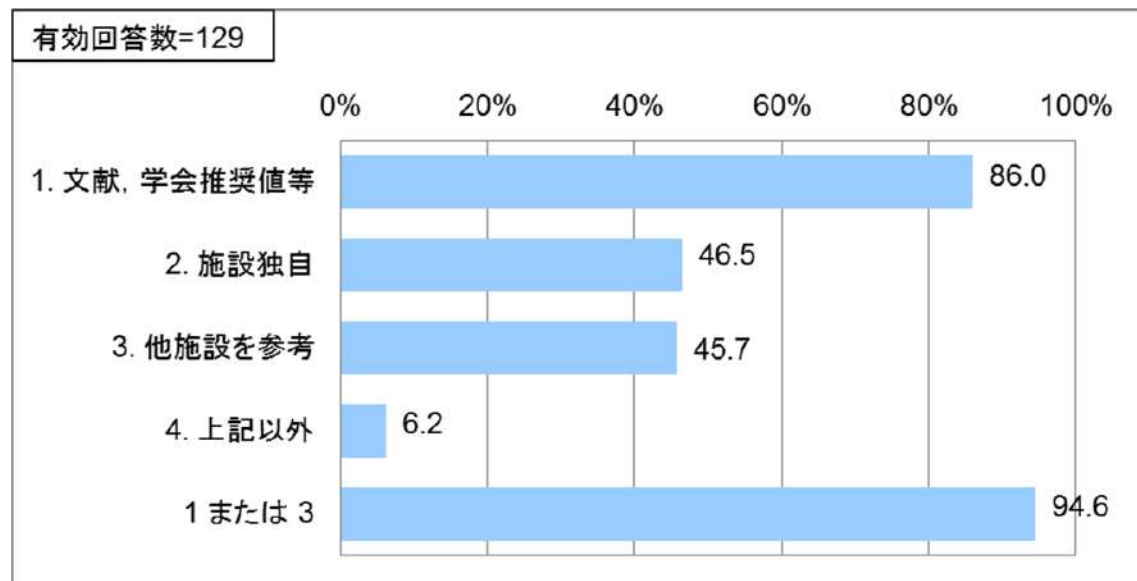


図 6-1 IMRT QA 結果判定基準の設定根拠.

施設独自の判断基準を設定する際には、コミッショニングや QC の手順や質を再度確認した上で、文献、学会推奨値や他施設の判定基準と大きく異ならないことを確認する必要がある。

6-2 IMRT QA 結果の判定基準における“許容レベル”，“介入レベル”，“許容/介入レベル”の逸脱頻度

IMRT QA 結果の判定基準としては臨床的に治療効果が望め、統計学的に起こりうる誤差範囲内になるよう、許容レベル、介入レベルの設定が必要とされている。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 では、「許容レベルとは、測定線量の統計的変動を考慮しても十分な投与線量精度が達成されていると考えられる水準であり、線量検証の許容値とする。介入レベルとは、統計学的に発生する確率が極めて低いため許容することのできない水準で、この水準を超えた場合、直ちに原因を追及し、状況によっては IMRT だけでなくすべての臨床治療を中止する」と定義している[1]。統計学的に有意な症例数を経験した施設は蓄積された QA 誤差の平均値 $\pm 2SD$ を基に約 95%のデータが含まれる範囲を許容レベルとして設定することが可能となる。また、介入レベルは許容レベルの 2 倍の値として設定される場合が多い[1-3]。図 6-2-1~4 に部位別の IMRT QA 結果の判定基準の逸脱頻度を示す。

前立腺においては、許容レベル逸脱頻度 5%以下の施設は 85.7%，介入レベル逸脱頻度 1%以下の施設は 86.3%であり、許容/介入レベルの区別がない施設は許容レベルと同等の逸脱率であった。

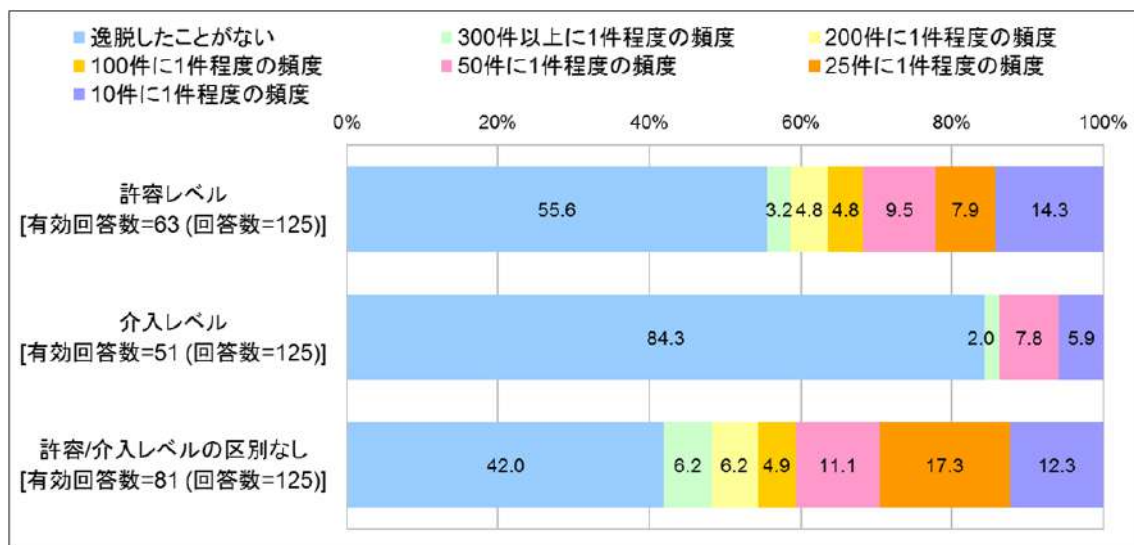


図 6-2-1 前立腺 IMRT における QA 結果判定基準の逸脱頻度。

94.6%の施設が文献値、ガイドライン、他施設を参考に判定基準を設定していることが多いことから、多くの施設で設定した判定基準値内で IMRT QA が実施されていることがわかった。逸脱頻度の高い施設は、判定基準の適切性、QA 測定方法の適切性、また治療計画装置に登録されている値や線量計算精度を再確認することが必要である。また、IMRT QA の結果は施設のコミッショニングや定期的装置管理

の精度にも依存するため、統計学的に有意な症例数を経験した施設は、適切なタイミングで IMRT QA 結果の判定基準の見直しを検討した方が良いと考えられる。

頭頸部においては、前立腺と比べて逸脱頻度の高い施設が多かった。頭頸部は前立腺と比べ、線量分布が複雑なため線量勾配が急峻となることが多く測定誤差が増加する。そのため、前立腺と同じ判定基準では逸脱例が増加することになる。これを防止するためには、(1)コミッショニング時により複雑な治療計画でも許容レベル内で一致するように治療計画装置のパラメータを調整する、(2)適切な種類や大きさの検出器を使用し、かつ設置精度を上げ測定誤差を低減させる、(3)判定基準は部位別に統計結果に基づいて適切に設定する、などの対応が必要である。また、治療計画の立案において、標的とリスク臓器間の線量勾配が極端に急峻な線量分布を追求すると、小照射野や低 MU 値のセグメントの増加、tongue and groove 効果を生じやすい MLC 動作となるため、治療計画を実際の照射で実現できなくなる可能性がある。計画時には強度分布のスミージングやセグメント数の低減等により強度分布の複雑さを減らし、QA や照射時に生じる誤差を低減させるような計画を立案することも必要である。

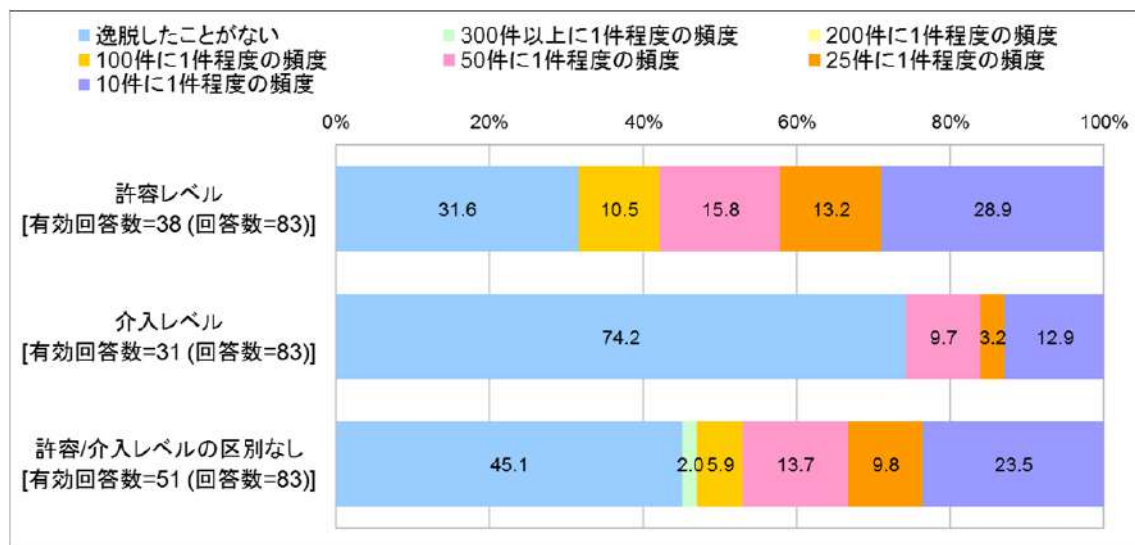


図 6-2-2 頭頸部 IMRT における QA 結果判定基準の逸脱頻度。

脳腫瘍やその他の部位の IMRT において、IMRT QA の結果は前立腺と同等であった。前立腺と比較し症例数の蓄積が難しい部位においては、文献やガイドラインを参照して適切な判定基準を設定することが望ましい。

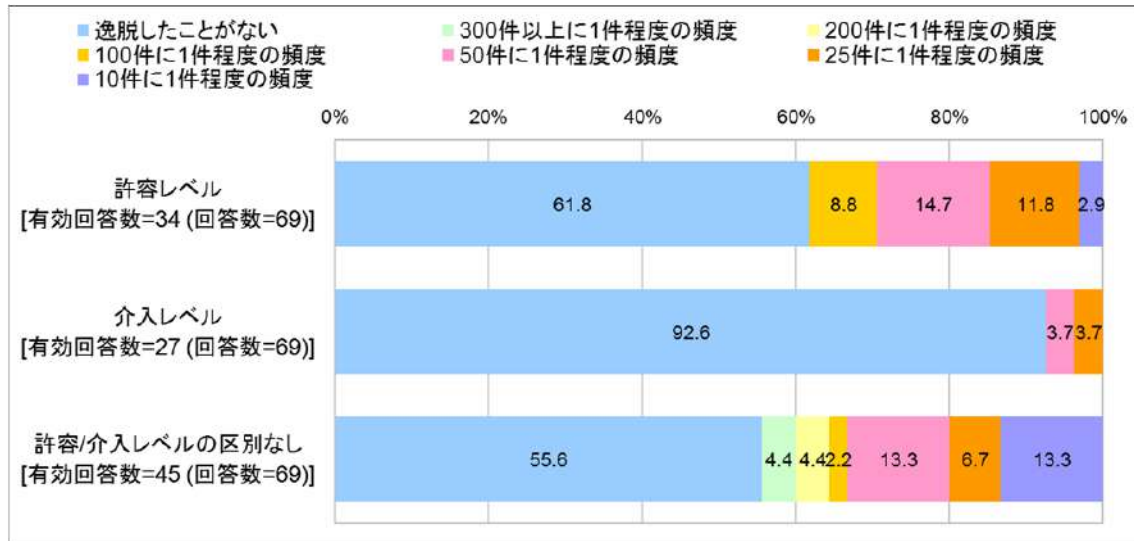


図 6-2-3 脳腫瘍 IMRT における QA 結果判定基準の逸脱頻度.

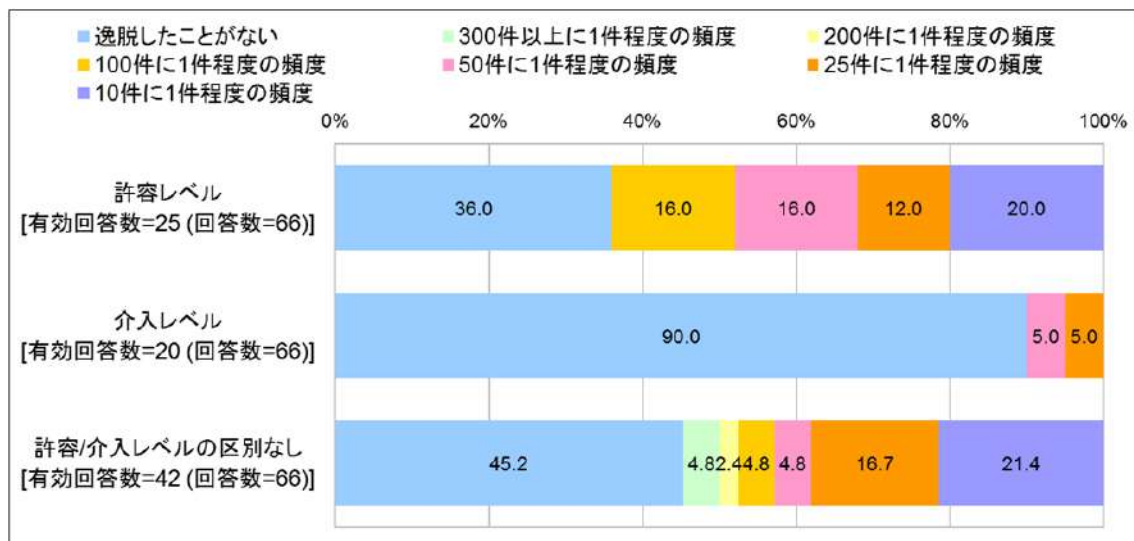


図 6-2-4 その他の部位の IMRT における QA 結果判定基準の逸脱頻度.

コミッショニングや QC が適切であり、IMRT のシステムが正常であれば、QA 結果が統計的に決定した介入レベルを逸脱する確率は極めて低いと考えられる。介入レベルを逸脱した場合、その要因となる致命的なエラーを検出した可能性があるため、治療開始までの原因解明が必要となる。また、許容レベルを逸脱した場合であっても、介入レベル以下であれば臨床的判断で治療開始が可能となるが原因解明は必要である。許容/介入レベルの区別がない場合は、誤差の程度で個別の判断が必要になるため、臨床開始までの限られた時間内で適切な判断をするためには介入レベルの設定が望ましい。

6-3 IMRT QA 結果の判定基準における“許容レベル”，“介入レベル”，“許容/介入レベル”の逸脱原因 [複数選択可能項目]

図 6-3 に IMRT QA 結果判定基準の逸脱原因を示す。IMRT QA 結果判定基準の逸脱原因としては、不適切な測定位置が最も多く、次いで人為的ミス、測定機器の不具合であった。

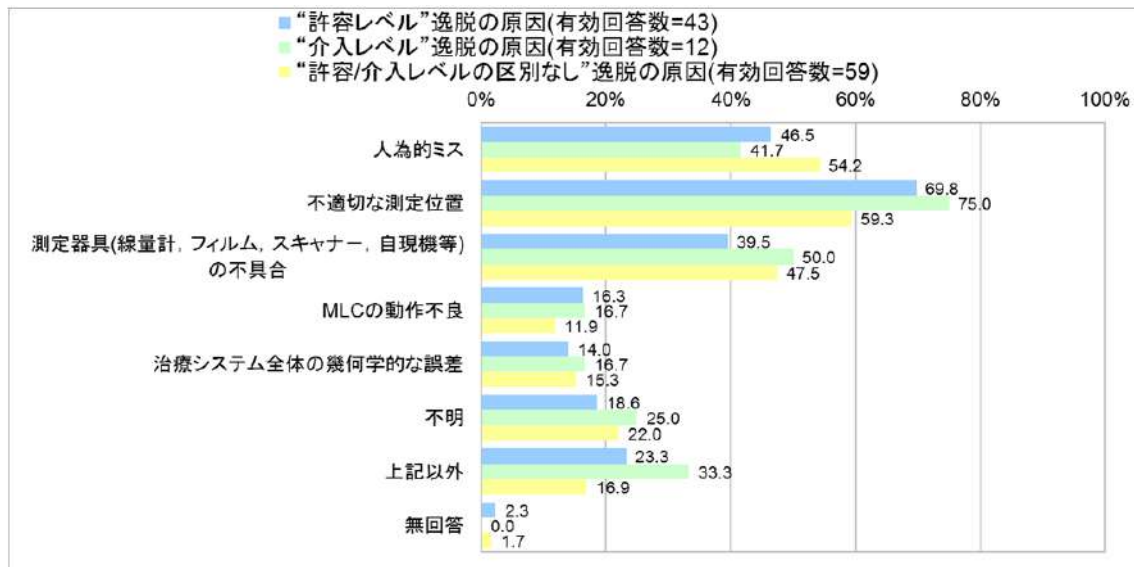


図 6-3 IMRT QA 結果判定基準の逸脱原因。

これらより、治療装置側の精度は QC にて適切に担保されていることが多いと考えられる。一方で、不適切な測定位置では、測定誤差の影響が増大する。線量勾配の急峻な点や低線量領域では、位置誤差や線量誤差の影響が増大されるため、適切な測定位置にて QA を実施することが望ましい。人為的ミスとしては、照射プラン・QA プランの不一致、測定位置・計算位置の不一致、測定値・計算値の入力ミス、ファントム・測定器の選択ミスやカウチ補正の有無等が考えられる。人為的ミスに関しては患者取り間違いや臨床使用プランの転送ミス、アイソセンタ位置への移動量の誤り等、患者への照射時にも起こりうるため、QA 時に発生した人為的ミスは臨床時に発生しないような仕組み作りが重要である。

6-4 IMRT QA 結果の判定基準における“許容レベル”，“介入レベル”，“許容/介入レベル”の逸脱時の対処法 [複数選択可能項目]

図 6-4 に IMRT QA 結果判定基準逸脱時の対処法を示す。逸脱時の対処法としては、QA プランの再確認、逸脱前と同じ位置で再測定が多く、次いで逸脱前と別

の位置で再測定、線量算出に使用している係数や線量・濃度曲線等の再確認を実施する施設が多かった。また、介入レベル逸脱時には再治療計画も多く施設で検討されていた。過去の IMRT QA を再施行することも誤差要因解明の選択肢として考慮されていた。

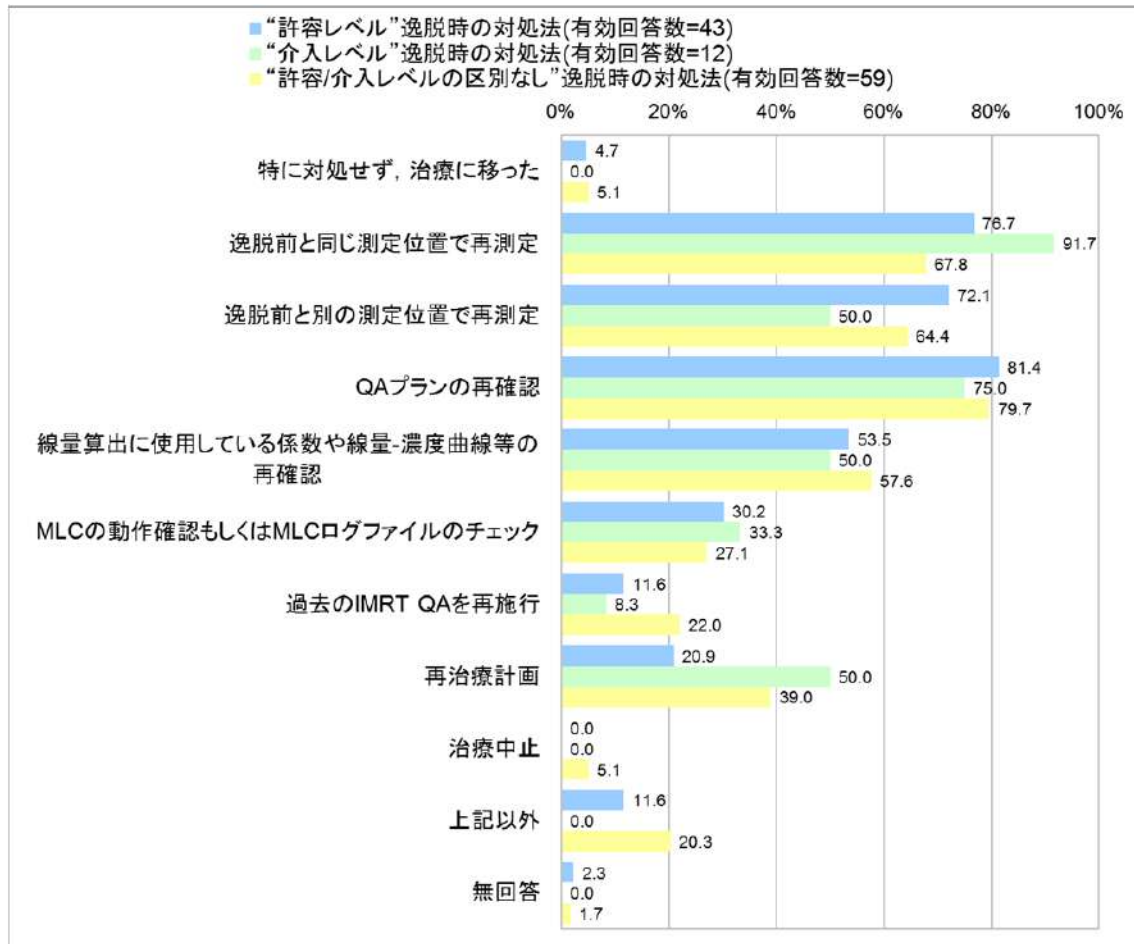


図 6-4 IMRT QA 結果判定基準逸脱時の対処法。

IMRT QA 結果判定基準逸脱時には、臨床的影響の評価・誤差原因の解明が必要となる。対処法としては、確認が容易かつ誤差要因として確率の高いものから調べていくことが推奨される。以下に各施設で多く実施されている対処法とその目的の一例を示す。

- (1) QAプランの再確認: QAプランのパラメータ(治療装置, MU 値, ビーム配置, ファントム, 測定器, カウチ補正の有無, 線量計算値, 測定位置等)およびその作成手順を確認し, 誤差要因がプラン側か測定側かを明らかにする。
- (2) 逸脱前と同じ位置で再測定: 誤差の再現性を確認し, 装置・測定器等の偶発的な要因によるものかどうかを確認する。同時に測定器の接続や使用方

法等，測定系が適切であることも再確認することを推奨する。

- (3) 逸脱前と別の位置で再測定：逸脱の原因として頻度の高い，測定位置の適切さを確認すべく，異なる位置で測定を実施する。
- (4) 線量算出に使用している係数や線量-濃度曲線等の再確認：プラン・測定方法に問題がなければ，測定値を線量へ変換するための係数が誤っている可能性がある。測定毎に手入力される係数等は誤入力される可能性も高いため，再測定前に確認しておくことを推奨する。また，QA 誤差の要因は装置・プラン・測定と多様であるため，継続的に QC にて装置や測定係数の正しさを再確認する必要がある。
- (5) MLC の動作確認もしくは MLC ログファイルのチェック：誤差要因が MLC である場合，動作異常を示すエラーの有無や MLC ログファイルにて位置誤差の確認が可能な場合がある。
- (6) 過去の IMRT QA を再施行：過去の IMRT QA を再実施することで，誤差要因がプランかどうかを判断できる。
- (7) 再治療計画：装置・測定系・各種係数等に問題がない場合，必要に応じてプラン修正も検討されたい。

6-5 IMRT QA 結果の判定基準における“許容レベル”，“介入レベル”，“許容/介入レベル”の逸脱状態での治療実施

図 6-5 に IMRT QA 結果判定基準逸脱状態での治療実施の有無を示す。介入レベル逸脱を経験した 12 施設では，8.3%の施設において介入レベル逸脱状態での治療が実施されていた。

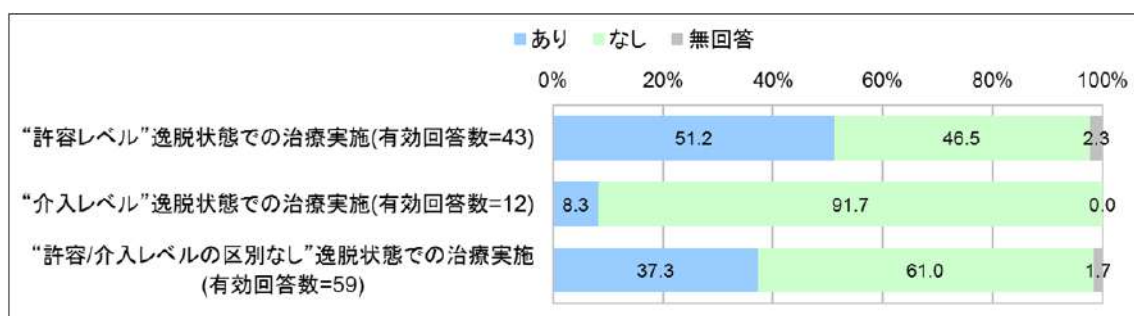


図 6-5 IMRT QA 結果判定基準逸脱状態での治療実施。

介入レベルとは，統計学的に発生する確率が極めて低い水準であり，治療実施に関しては誤差の臨床的影響を含め医師との慎重な議論が必要である。また，臨床的に許容される場合であっても，介入レベルを逸脱した場合は検証過程の再検討や原因説明が必要である。

6-6 IMRT QA 結果の判定基準における“許容レベル”, “介入レベル”, “許容/介入レベル”の変更

図 6-6-1~4 に部位別の IMRT QA 結果判定基準の変更(予定)の有無を示す。緩和した(する)施設は 3.2%以下と少なく, 導入時の判定基準から変化させていないか強化させた施設が多いことがわかった。また, 約半数の施設が判定基準を未設定であった。特にフルエンス分布検証は未設定の施設が多かった。強化予定の施設も存在するため, 新たな解析方法として利用されつつあることが分かる。

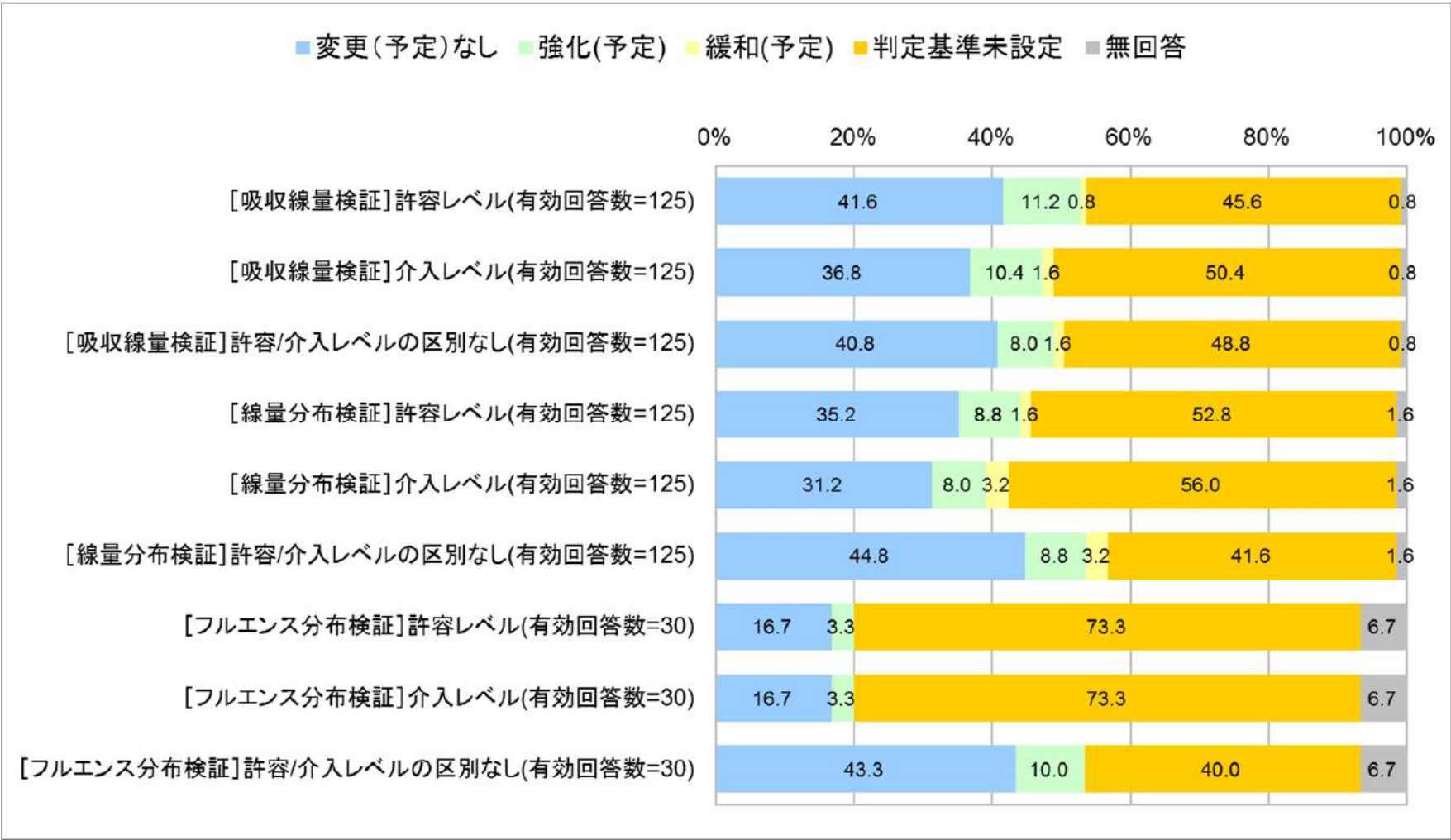


図 6-6-1 前立腺 IMRT における IMRT QA 結果判定基準の変更.

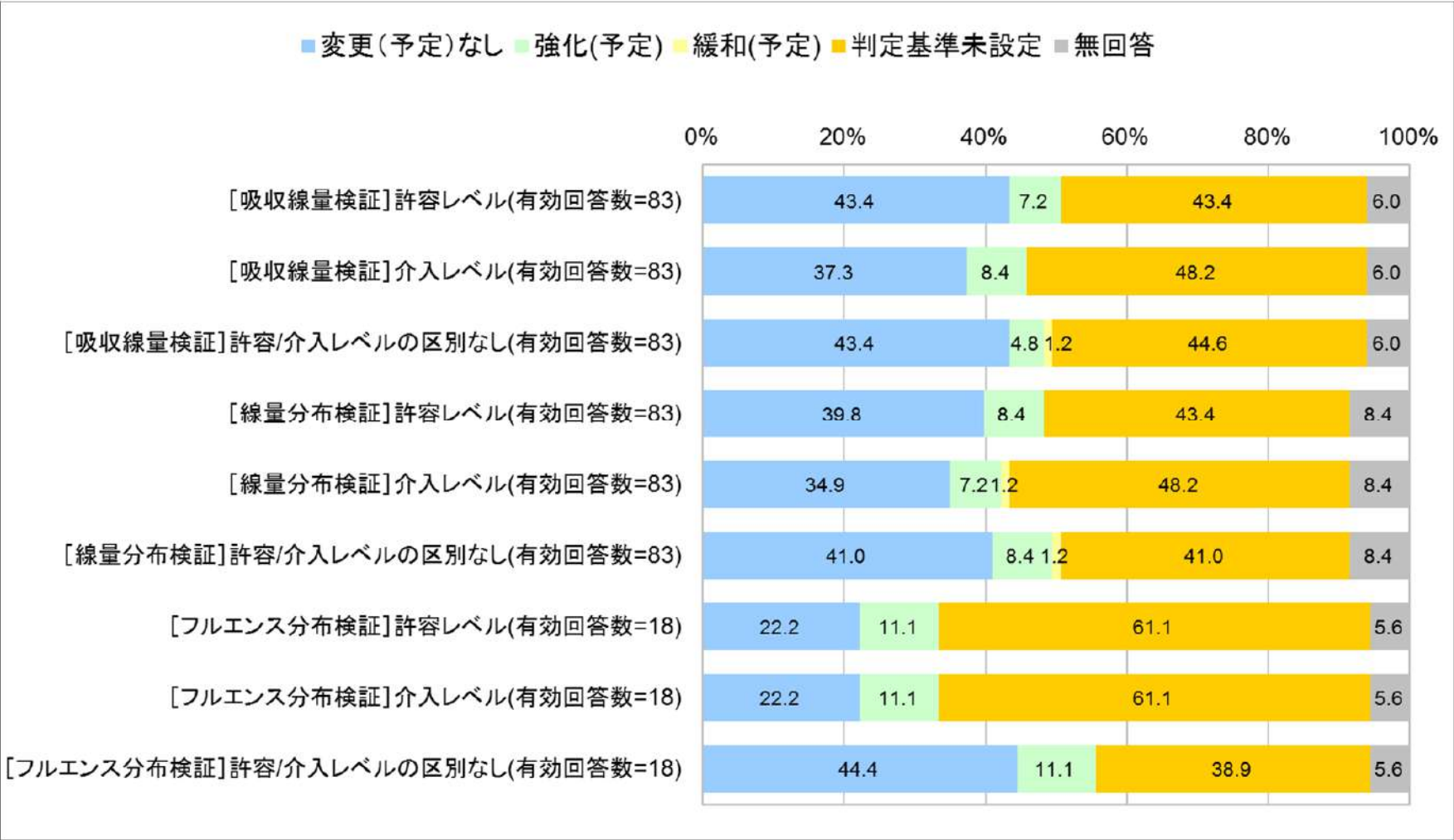


図 6-6-2 頭頸部 IMRT における IMRT QA 結果判定基準の変更.

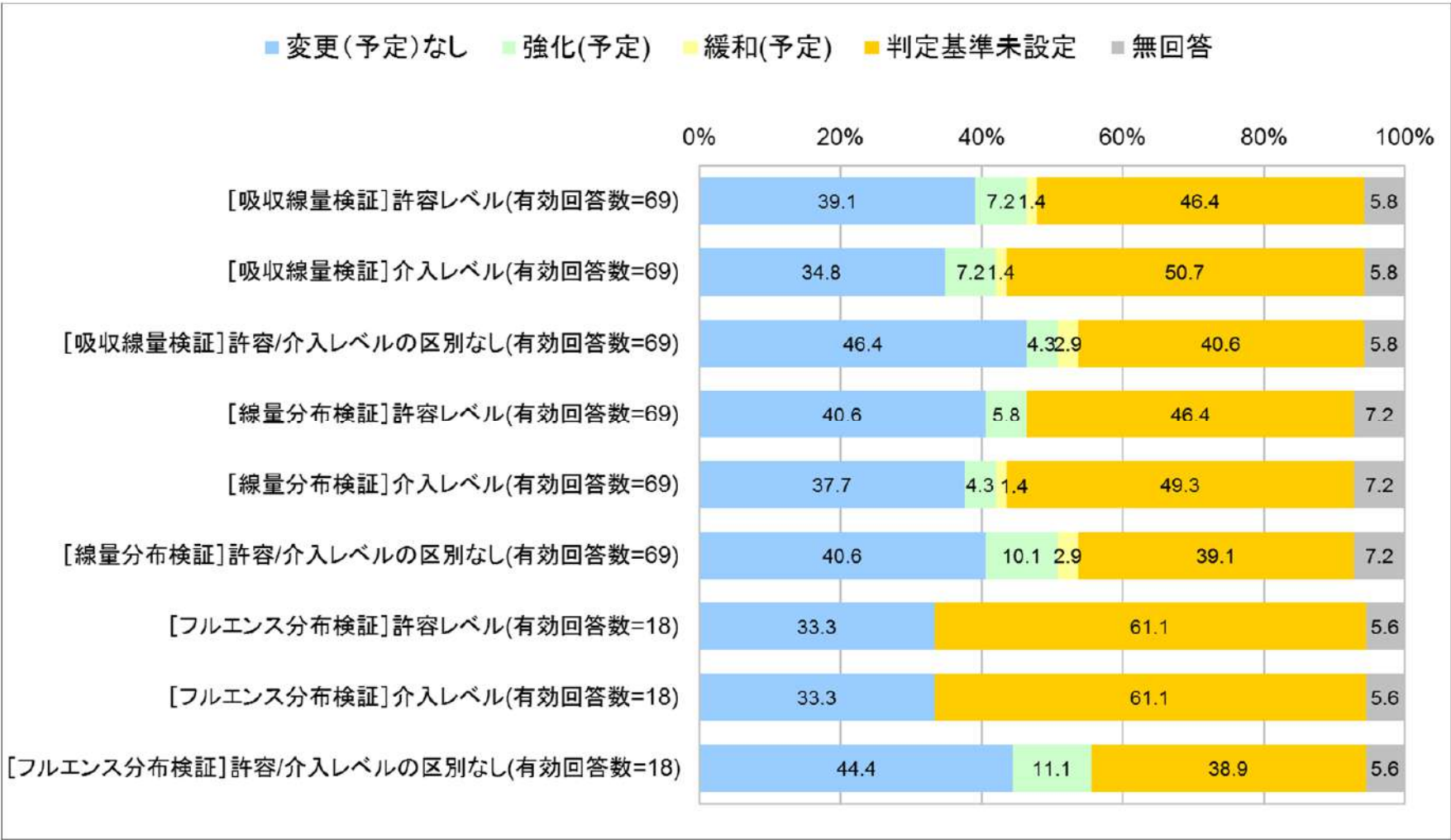


図 6-6-3 脳腫瘍 IMRT における IMRT QA 結果判定基準の変更.

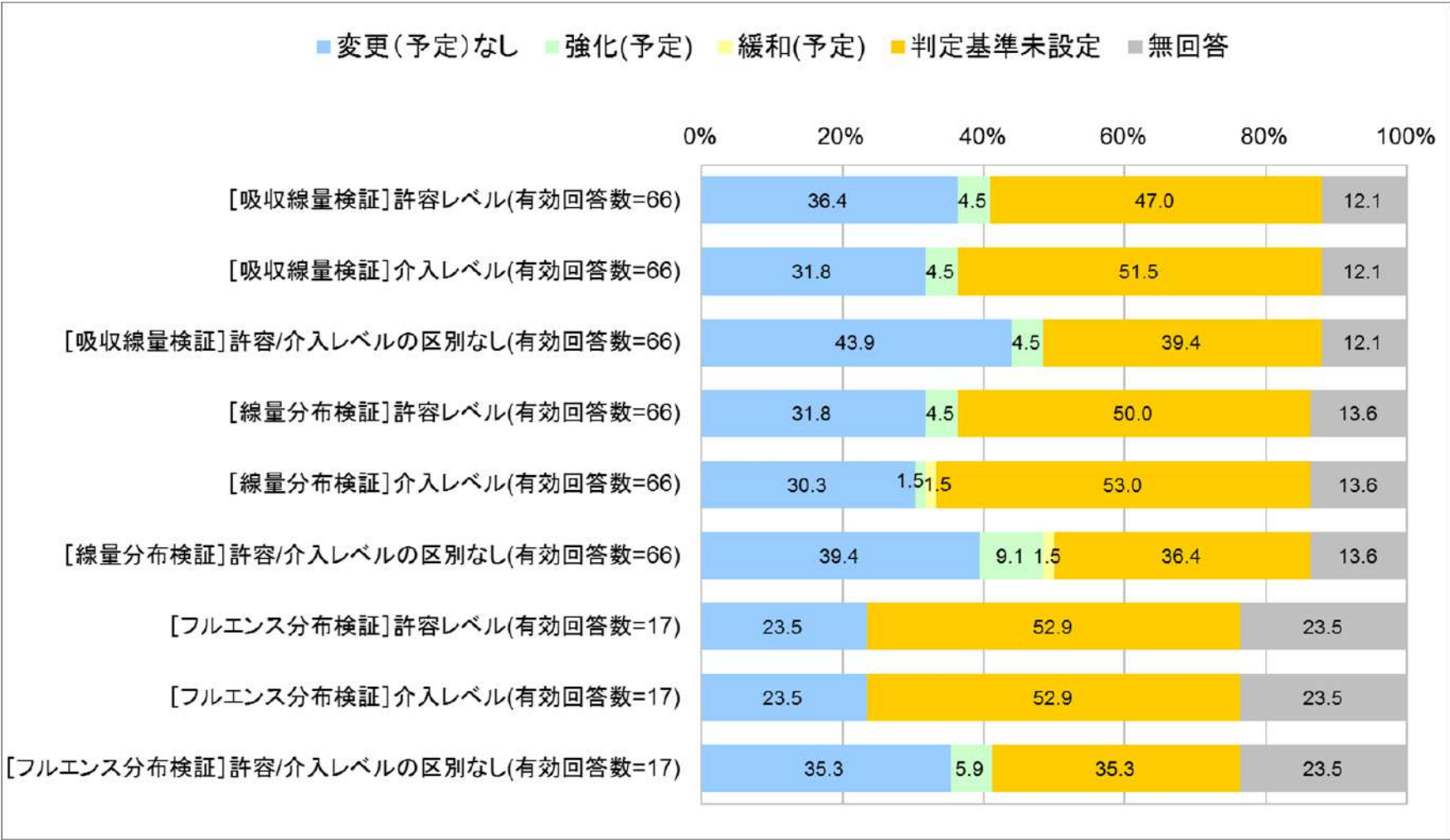


図 6-6-4 その他の部位の IMRT における IMRT QA 結果判定基準の変更.

6-7 まとめ

IMRT QA には必ず誤差が含有される。IMRT QA 結果は治療効果を予想する上でも再評価する上でも重要な要素であり、臨床上許容されるかどうかは誤差の出現箇所、計画にて見込んでいるマージンや標的/リスク臓器の線量分布や DVH の指標も考慮して総合的に判断すべきである。また、判定基準が厳しく QA に要する日数が長くなれば、治療開始までの期間の延長につながる可能性もある。照射精度は上がっても治療待機期間中の腫瘍増殖により治療効果が減少する危険性があることも考慮されたい。各施設においてあらかじめ適切な検証方法、閾値、パス率等に関する検討を行い、現実的かつ根拠のある判定基準を導入されることを強く推奨する。

[参考文献]

- [1] 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, IMRT 物理 QA ガイドライン専門小委員会(日本放射線腫瘍学会 QA 委員会)
- [2] 強度変調放射線治療の線量検証法 : 日本医学物理学会 2008-2009 年度研究援助課題「強度変調放射線治療における吸収線量測定法の標準化に関する研究」研究報告書, 日本医学物理学会 [編](医学物理 = Japanese journal of medical physics : 日本医学物理学会機関誌, vol. 30 supplement no. 6), 日本医学物理学会, 2010.12
- [3] Gary A.E. et al., 2009. IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119. Med. Phys. 36, 5359-5373.

7. フリーコメント一覧

回答施設からいただいたフリーコメントを示す。コメントの中には回答施設における対応法も記載されているが、当グループとして推奨している内容ではない。ご一読いただき、線量検証に対する意識改革の一助となれば幸いである。

吸収線量検証に関するフリーコメント

- 1-1. IMRT 開始当初は「許容レベル」「介入レベル」を設定していなかったが、データ蓄積後に、当施設独自の判定レベルを設定した。
- 1-2. 前立腺の各門吸収線量において、臨床プランのガントリー0 度方向の照射門は直腸の線量を抑えた線量分布になっているため、アイソセンタは低線量となっている。高線量域を測定しようとする線量分布が急峻であるため、判断に困る場合がある。現在はアイソセンタと高線量域を測定している。
- 1-3. 多次元検出器を使用しているため、信号を検出した検出素子のうち、計算値と測定値の差が $\pm 3\%$ 以内である検出素子の割合も評価している。
- 1-4. 許容レベル、介入レベルを特に設定しておらず、全体で $\pm 3\%$ 以内を目指しているが、 $\pm 1\%$ を超えた時点で、電離箱の設置ミス等を疑い、再検証を行っている。再検証の結果が、同様の結果であった場合、 $\pm 1\%$ を超えてもその値を採用している。
- 1-5. 測定の結果で不適切な測定位置は判定基準から除外している。
- 1-6. 各門は校正用水ファントムで測定している。全門は RT-3000 を使用している。一時、水等価平板ファントムを使用していたが、測定値が安定しないため現在は使用中止している。新品に更新後に使用を検討する予定である。
- 1-7. 前立腺はQA 結果を統計解析して、許容レベルと介入レベルを設定した。頭頸部、脳腫瘍、上記以外は、TG119 に則して、許容レベルと介入レベルを設定した。
- 1-8. 全門検証で現在まで $\pm 3\%$ を超える値を経験したことがないので、許容・介入等のレベルを設けていない。
- 1-9. 各門評価の場合、 $\pm 3\%$ 以内であれば無条件に許容している。ただし、大きな誤差が生じたとしても急勾配、低線量領域、カウチの透過の影響が大きいと確認されれば、誤差の大小は評価せず、それ以上追及もしない。それ以外の理由で $\pm 5\%$ を超えるのであれば介入する。
- 1-10. 高線量域に関しては $\pm 5\%$ としている。アイソセンタも急峻な線量勾配があっても測定を行っているので $\pm 5\%$ に設定している。
- 1-11. 臨床開始からまだ日が浅いため、判定基準値についてのデータを収集している最中である。10 例程度症例が集まったところで判定基準値を決定する予定である。

- 1-12. 全門評価は RT3000 とファーマ形電離箱により測定している. 各門評価は多次元検出器(MapCHECK)を使った測定を実施している.
- 1-13. 測定する前に必ず基準照射野(10x10cm²)で固定 MU 値(200MU)の照射をして, 出力の確認をしている. ただし, 補正はしていない.
- 1-14. 介入レベルは特に決めておらず, 許容レベルを超えたとき担当医師に判断をお願いしている.
- 1-15. 全門評価ではアイソセンタを含めて 5~10 点程度の測定を行い, アイソセンタでは各門の解析およびガントリー角度を 90 度, 270 度に揃えた場合も評価している. アイソセンタは必ずしも勾配が緩やかでない場合もあり, 絶対値としての結果は重視しておらず, 重力の影響等の把握の為に傾向をみている.
- 1-16. 全ての部位において, 許容レベルは PTV 領域で $\pm 3\%$, リスク臓器領域で $\pm 5\%$, 介入レベルは PTV 領域で $\pm 5\%$, リスク臓器領域で $\pm 7\%$ としている. 頭頸部と前立腺については, 下表のように許容レベルと介入レベルを設定している. ただし, 参考値程度としている.

		頭頸部 (n=50)		前立腺 (n=34)	
		腫瘍領域	リスク臓器領域	腫瘍領域	リスク臓器領域
平均値 [%]		-1.0	-1.4	0.0	1.2
標準偏差 [%]		1.4	1.8	1.1	3.0
許容レベル [%]	下限	-2.4	-3.2	-1.2	-1.7
	上限	0.3	0.5	1.1	4.2
介入レベル [%]	下限	-3.7	-5.0	-2.3	-4.7
	上限	1.7	2.3	2.3	7.2

- 1-17. まだ前立腺の IMRT のみで, 全門で $\pm 3\%$, 各門で $\pm 5\%$ の許容としている. しかし, 各門は必ずこの許容値でなければならないということにはしていない. 将来, 頭頸部で各門がずれてくると予想されるが, これに関しては後日検討する.
- 1-18. 介入レベルは $\pm 5\%$ にしているが, $\pm 3\%$ を超える理由が説明できず, 多数超えてくるようであれば, Beam データ, 各種係数を再確認している.
- 1-19. 数式を用いた許容レベルおよび介入レベルを算定できるほど症例数を積んでいないため, 設定していない. IMRT ガイドラインでは 30 例との事であったが, それでは統計的自由度を満たしていないと考え, 50-100 例実施時に許容レベル・介入レベルを適用すべきと判断している. 各門検証の許容値は Local dose に適用している. 数式を用いた Confidence level, Action level は設定していないが, 各門検証での線量分布の急峻な場所や低線量の位置での $\pm 5\%$ の許容値は十分に厳しいと判断している.
- 1-20. 評価基準の許容範囲には評価点の線量強度およびその勾配を考慮している.

低線量域または高線量/高勾配域では $\pm 3\%$ を超える場合がある。許容値を超えた場合、低線量域では最大線量(または処方線量)に対する相対差(%)も確認している。高線量/高勾配域では測定点のズレも考えられるので再測定を行う場合がある。最終的には線量分布と合わせて評価しプラン承認の可否を決めている。

- 1-21. 臨床例が少ないため、現時点では許容および介入レベルを区別していない。症例数が増え、医師と臨床結果を検討した後に、レベルを区別する方向である。
- 1-22. 範囲外になった場合は医師と協議の上、原因が推測された場合は IMRT を施行し、不明の場合は再計画としている。
- 1-23. 現状では、IMRTを開始して間もないため、JASTRO のガイドラインに従っている。今後症例数が増えた時点で、これまでの結果を統計的に解析し、自施設の許容レベル・介入レベルを設定する方針である。
- 1-24. アイソセンタ(PTV 中心)における許容値は $\pm 3\%$ 。但し、他の測定点での $\pm 3\%$ 以上の誤差は SD 値を考慮して判定している。最終的には分布評価を加味して総合的に判断している。
- 1-25. 各門において、低線量域を評価する場合に非常に小さい線量差に対して%が大きくなる場合がある。他の施設ではどうされているのか?当院では $\pm 3\%$ を超えても線量差が小さければ OK としている。
- 1-26. 介入レベルは経験値より信頼限界算出用係数=1.96 で計算したものを介入レベルとしている。
- 1-27. 各門評価ではアイソセンタの一点のみ測定を行っているが $\pm 3\%$ を超えた Field に関しては線量勾配の緩やかな点で測定している。(ガントリー角度は分布をみて、臨床プランの角度のままの場合や 0 度に変更する場合がある)
- 1-28. 線量相違に関して (1)(実測線量－計画線量)/計画線量, (2)(実測線量－計画線量)/処方線量, いずれを用いたほうが適切なのか? また、分母を処方線量で除しているとき D95 処方の場合、分母は 2 Gy or $2/0.95=2.105$ のいずれかとするのか? ちなみに当施設では OAR の位置も線量評価点として含めているので、(2)で行っている。
- 1-29. 補償フィルター型であるため、立案された治療計画には出力係数が含まれていない。そのため実測により出力係数を求め、治療計画に入力したうえで、治療計画を再計算、再実測を行う。

線量分布検証に関するフリーコメント

- 2-1. 特異なケース等においては様々な要因を総合的に判断している.
- 2-2. 視覚評価が主体で(Hot spot などの確認など), パスは参考程度に確認している.
- 2-3. 回答結果のパス率はフィルム測定のもので, 2 次元検出器は 5%厳しく設定している.
- 2-4. DD と DTA はパス率ではなく, どの場所で誤差が出ているのか見ている.
- 2-5. 現時点では JSMP の IMRT の線量検証法を参考にしているが, いずれ症例数を積んだ上で施設の許容値を検討する. EBT2 は濃度(黒化度)変動が大きく, 運用に困難さを感じている.
- 2-6. 多次元検出器の個々の検出器サイズが小さいため, 位置誤差による DD のパス率を低く設定している. DTA により検出器の位置誤差を評価している. ガンマ解析は重視していない.
- 2-7. DD, DTA とともに明確な判断基準をもった判定は行っていないが, 誤差の位置, 傾向を掴む目的で必ず確認している.
- 2-8. 固定多門 IMRT の場合: 各門検証は 2 次元検出器を使用し, パス率や結果が悪かった照射門に対して XV2 でフィルムを実施, 全門検証は電離箱法を使用し, 1 から 2 点測定している(PTV 内と関心点). 全門検証のフィルム法に関しては, 関心面は症例ごとで判断している.
VMAT の場合: 全門検証は Delta4 を使用している. 誤差が大きかった場合, 電離箱法(PTV 内と関心点)を採用している. 全門検証のフィルム法に関しては, 関心面を症例ごとで判断している.
- 2-9. MapCHECK 等を用いた線量分布検証において, 相対線量分布なのか絶対線量分布なのかいずれで行っているのか興味がある. 絶対線量分布で比較したほうが, RTPS からの転送データに不備がないことをチェックすることができる(変な線量のスケーリングがかからない).
- 2-10. ガンマ解析が疑問視されている. 現在検討中, 現状は全体的不確定度内である.
- 2-11. DD と DTA も評価はしているが, IMRT QA の判定基準としては使用していない.
- 2-12. DD, DTA 評価については, 決まったパス率を設定せず, 視覚的に評価している. DD は主に線量勾配が緩やかな領域について, DTA は主に線量勾配が急峻な領域についての評価に用いている. また, それぞれの濃度曲線領域についての線量誤差, 位置誤差のヒストグラム(カウント数)の分布を確認し, 際立った誤差がないかを確認している.
- 2-13. ガフクロミックフィルムと 2 次元検出器を使用して検証している. ガフクロミック

フィルムでは DTA, ガンマともに 3%/3 mm でパス率は症例により変化する。95%以上を目標としているが、80%台の場合でも全体を見て可否を決定している。2次元検出器(MapCHECK)では DTA, ガンマともに 2%/2 mm でパス率は 95%としている。

- 2-14. DD, DTA を算出して確認するが、実際にはガンマ解析の結果にて最終的な判断をする。
- 2-15. 線量分布の評価に関して、一通りの項目は確認しているが、特に許容値は設けておらず、今までの傾向や視覚的評価で判断している。ガンマは 3%/3 mm を使用している。
- 2-16. 前立腺は、QA 結果を統計解析して、許容レベルと介入レベルを設定した。頭頸部、脳腫瘍、その他は、TG119 に則して、許容レベルと介入レベルを設定した。
- 2-17. DD, DTA は目視による評価が主で、パス率での評価はガンマ解析が主である。
- 2-18. PTV 内に fail がないようにしているため、パス率 100%とした。Fail があった場合はチェンバーにて測定を行っている。EBT3 のシート内、シート間のバラツキ、およびスキャナーの誤差を含めて考えた際、 $2SD > 4\%$ となったため基準値は 5%とした。しかし、結果的に 3%/3 mm でも 98%以上のパス率となっている。
- 2-19. 回答結果はフィルムによるものである。フィルムは自作ソフトを使用しているが、パス率が出せないため視覚的評価になります。2次元検出器の評価では、許容レベルは線量誤差 3%、距離誤差 3 mm 相対線量評価で 95%のパス率を許容値にしている(全疾患)。
- 2-20. ガンマ解析で誤差を示した箇所の吸収線量測定を行っている。
- 2-21. Delta 4 を使った場合は、DD は 3%、パス率 90%、DTA は 2 mm、パス率 90%、ガンマ解析は 3%/2 mm パス率 95%を基準としている。
- 2-22. 許容レベルを超えた場合、医師と相談して今後の対応を協議している。
- 2-23. フィルムでは、相対的な線量分布の検証程度とし、後述のフルエンス検証を重要視している。
- 2-24. 線量分布の視覚評価が主である。許容レベル内であれば許容。許容レベル以下であっても、辺縁部で合わないのであれば許容。脊髄等の Serial OAR の誤差を臨床プランに適用した場合に問題となる場合を介入レベルとする。なお、Delta4 では 3%/3 mm: 閾値 20%としている。
- 2-25. 頭頸部、脳腫瘍とも評価は 20%-100%域において評価している。ただし 50%以上に関しては 95%程度を目安にしている。線量分布に関しては多次元検出器とも評価しているので、双方に大きく誤差がないか確認している。
- 2-26. 全門評価は、水等価平板ファントム、EBT3, DD システムによる評価とし、パ

ス率の目安は前立腺:95%前後(3%/3 mm)、頭頸部および脳腫瘍:90%前後(3%/3 mm)としている。

各門評価は、多次元検出器(MapCHECK)を使った評価とし、パス率の目安は前立腺:95-100%(3%/3 mm)、頭頸部および脳腫瘍:90-95%(3%/3 mm)としている。

はっきりとした数値を定めていないが、これまでの経験的なデータから目安となる傾向は以上のとおりである。プランによる分布の急峻具合(正規化の違い)などでも結果が変わる。

- 2-27. ガフクロミックフィルムと水ファントムを用いている。水ファントムに設置できるフィルムの形状が決まっているため、大きな照射門(13x13cm² 程度)の線量分布全体が評価できていない。
- 2-28. 介入レベルは決めておらず、許容レベルを超えたとき担当医師に判断をゆだねている。
- 2-29. フィルム法で全例処理している。当院の線量分布解析で見られる誤差のほとんどが、線量-濃度校正に起因していると思われるもので、本質的に分布が合わないといった経験はない。また当院で使用しているファントムではあまり大きなフィルムが使用できない為、外周部は検証できていない。分布の誤差として確認できるのは局所に限定しており、パス率にしまうと許容範囲になってしまうが、誤差の場所によっては許容できない場合もある可能性があるため、この点を如何に客観的に評価できるかに苦慮している現状がある。
- 2-30. Hi-Art System の Planning Station(相対線量を解析する装置)では、解析対象の領域を数値(線量)で指定することができない。ただし、関心領域で指定することは可能である。パス率の表示はできないため、検証結果の良し悪しは、すべての線量域を解析対象として、線量分布(プロファイル)とガンマ解析(3%/3 mm)による視覚的な判断をしている。
- 2-31. Axial 面がパス率落ちるが、この条件でいままで一番悪かったパス率は 82%であった。これは Axial 面の場合、フィルム辺縁の低線量が合わないパターンが多いので、Axial 面のパス率は低めになるが、パス率にこだわらず線量分布を確認して判断している。
- 2-32. ガンマ解析のパス率は目安程度として、誤差の出た場所によって許容か否かを判定している。
- 2-33. 検証結果の評価基準が曖昧で、どのように設定すべきか検討中である。経験不足もあって苦慮している。
- 2-34. ガンマヒストグラムの形状と平均ガンマ値について確認している。DD と DTA のパス率より、そのヒストグラムを優先している。パス率はガンマ解析を優先している。許容レベルと介入レベルの明確な区別はしていないが、介入レベル

はおおよそ許容レベル×2 と考えている。

- 2-35. 主に 2 次元検出器(MapCHECK2)により検証を行っているが、今のところガイドラインで示されている値より、高いレベルでパスした結果が得られている。症例データが蓄積した前立腺と頭頸部に関しては、許容レベルとして「(平均値)-1SD」を介入レベルとして「(平均値)-2SD」の値を設定しようと考えている。乾式フィルム(EBT2)に関しては、ガイドライン通りの値を採用することを考えており、選択するデバイスによって許容レベル、介入レベルの設定を使い分けることを考えている。
- 2-36. DD, DTA に関しては許容値を定めていないが、DD-system にて解析結果を確認している。判定基準についてはガンマ解析を 3%/2 mm, 3%/3 mm の 2 つの条件にて記録している。3%/2 mm に関して判定基準は 90%としている。
- 2-37. 範囲外になった場合は医師と協議の上、原因が推測された場合は IMRT を施行、不明の場合は再計画としている。
- 2-38. 2 次元検出器で、Dose のあわせこみ無しの絶対線量比較でガンマ評価をフィルムにあわせてデータを蓄積中である。
- 2-39. DD-System を使っているが、バージョンアップ等で DTA 等の数値の表示欄が変わったりして、変更を追いついていけない状況である。そのため、DD, DTA については出てきた数値の意味をうまく読み取れていない。
- 2-40. 分布検証による介入は基本的には、誤差が出ている箇所を重要視し、その箇所がリスク臓器の PRV に近いのかどうか等を考慮し、判断する。介入レベルの数値は経験値より算出した信頼限界(factor=1.96)を基に目安程度の設定である。
- 2-41. 線量分布をある点で正規化して評価をするのはいいが、正規化する点の絶対線量は正しいのか興味がある。一般に、絶対線量測定は電離箱の有感体積部分の平均線量を実測と計算で比較するので、線量分布を正規化する点線量を正確に測定することは困難だと思っている。また、現像レスフィルムでは濃度ムラが大きく、判定基準値以上の濃度ムラが発生することがしばしばある。フィルム解析ソフトでは任意に濃度を変えることができるため、どんなに線量分布が間違っているでも判定基準をパスすることは容易だと思っている。各施設で正確な線量分布の解析がおこなわれているか疑問である。
- 2-42. 当院では使用する検出器によって線量評価領域を変えている。
- 2-43. DD-system におけるガンマ解析で 50~70%領域において許容レベルを逸脱することもあるが、高線量域で許容レベルを満たしていれば OK としている。
- 2-44. 線量分布解析において、パス率の規定は、どのような数値を設定すれば良いか明確なエビデンスが不明なため、当施設では設けていない。至極個人的な考えで、線量分布評価では、リスク臓器に接する領域の線量分布のみを評価

しており、リスク臓器に不要な高線量領域が介入していないかということをメインに評価している(DTA)。特に直腸後壁に 50% dose line が介入すると、有意に直腸障害の発生率が上がるという論文を参考に、50% dose line も注意して評価しています。あとは、視覚的評価で、リスク臓器の近くに Hot spot が生じていないかを確認している。

- 2-45. 3 面で 3%/3 mm で 90%に届かない場合には、原因を確認し再度実施している。また、dose の規格化のみ調整することを許しています。
- 2-46. 線量分布検証は 3 方法すべてを満たす結果ではなく、たとえガンマ解析が許容レベルを若干超えていても、他の方法が条件を満たしていれば、医師との協議のうえ治療開始としている。

フルエンス検証に関するフリーコメント

- 3-1. フィルムがメインで参考としてフルエンス検証を実施している.
- 3-2. 現状, Portal dosimetryを持っていないので, 実施していない. そもそも購入する必要性を感じていない. 基本はやはり, 電離箱の全門検証とフィルムや多次元検出器を用いた相対評価による線量分布検証であると思っている.
- 3-3. IMRT の検証の最初に施行している. T&G 等の検出に有用と考えている. プロファイルについても計画とのずれ等がないか確認してからフィルムや吸収線量の測定を行っている.
- 3-4. 線量分布検証とほぼ同様だが, フルエンスが合っていれば基本的には残るのは RTPS の計算精度となり, 通常照射と同様になるのではないかと思うので, フルエンスの確認は不可欠であるように思われる.
- 3-5. 最初の 10 例までは MapCHECK と EPID の両方でフルエンス検証していた. MapCHECK は 3%/2 mm で 10%以上の線量分布を解析しており, これはガフクロミックフィルムと同じ解析条件である. Van Dyk 式のところのチェックははずしている. EPID は 3%/2 mm のガンマ 法で 10%以上の線量分布を解析している. EPID は現在"Absolute"で解析している. 他施設では EPID(ポータルドジメトリ)は"Relative"か"Absolute"のどちらで解析しているのか興味がある. 最初の 10 例こえたら MapCHECK をやめて EPID にしようと思っている.
- 3-6. EPID と EPIDose にて, MapCHECK-like に使っている. EPID 画像と MapCHECK2 の結果を EPIDose にて橋渡し(コミッショニング)が必要だが, フルエンス検証という意味合いでは使っていない. 個人的には, Portal Dosimetry はフルエンス検証で使用し, EPIDose は線量分布検証で使用している.
- 3-7. IMRT に関してはフルエンス検証を実施しており, Argus は RapidArc および VMAT は未対応である.

IMRT QA 結果の許容レベル/介入レベルに関するフリーコメント

- 4-1. データ蓄積により、測定誤差の要因が明らかになってきたため、判定基準を強化することも可能であるが、検証の効率化を図るため、逆に誤差要因を考慮した(含んだ)判定基準を設定している。
- 4-2. チェンバーによる絶対線量については、当院での測定結果を解析して、許容レベル・介入レベルの設定を行う予定である。線量分布については、フィルムによる相対線量でガンマ値パス率を 90%に変更する予定である(現像の安定化が必要)。MATRIXX については、当院での測定結果を解析して、許容レベル・介入レベルの設定を行う予定である。
- 4-3. Delta 4 は、ほかの検出器による評価と比較し、DD, DTA, ガンマ解析のパス率が高めにあらわれる傾向があると感じた(評価が甘い?)。2008 年から IMRT を施行し、これまでの治療成績や有害事象の発生率を見る限りでは、現状では問題ないと考える。しかし、常に医師と相談しながら、本施設に適合する検証法や判別、解析法は模索し続けている。
- 4-4. 現在 IMRT の実施件数が 30 例程度であるため、QA 結果の判定基準を逸脱するケースはまだない。
- 4-5. 今後前立腺以外を実施する予定であるため、IMRT QA の判定基準に関する設問のケースはこれから増えると思われる、検討していかなければいけないと考えている。
- 4-6. EBT2 を用いた検証では基準を緩和したが、MapCHECK や ArcCHECK を使用した場合は基準を厳しくした。EPID によるフルエンス分布検証は行っていない。将来、ポータルドシメトリーを導入する予定である。
- 4-7. 吸収線量検証: 蓄積されたデータを解析した結果、判定基準を強化する方向に変更した。線量分布検証(フィルム): 2010 年に出された指針に「DTA: 2 mm」の表現が記載されたのを受けて、強化する方向へ変更した。
線量分布検証(多次元半導体検出器): 検出器の特性を考慮し、強化する方向へ変更した。基本的には世間一般の動向に合わせる方向で判定基準を変更している。
- 4-8. 頭部 IMRT において一度だけフィルム、チェンバー双方の結果が逸脱した。逸脱した箇所をドクターに見てもらい、臨床的に問題がないことを確認してもらってから、治療へと移った。
- 4-9. 線量分割のサイズが症例毎に大きく異なり、元プランと同一 MU で検証している。そのため、測定ポイントに到達する線量域が大きく異なる。また、症例毎に OAR の線量制限が異なり、IMRT の最適化や Leaf 動作とそれに伴う線量率制御に要求する条件が大きく異なる。そのため、全症例を通じて共通の許容、および介入レベルの設定は避け、症例毎に複数の検証手法(実測検証以外のコンピュータシミュレーションを含む)を総合的に検討して判断している。すなわち、計画毎に個別の判断を持つ必要性があると考えている。
- 4-10. 吸収線量や線量分布において許容レベルを超えることはがないのは治療計画段階で撥ねているからではと思う。当院では多次元検出器などを有している

- が、それだけで検証をパスさせる事はない。最終的にはフィルムと吸収線量測定もパスしないと検証は通していない。
- 4-11. 線量分布検証よりも吸収線量検証を重要視している。線量分布検証が許容レベルを下回っても、吸収線量検証で問題なければ特にアクションは起こさない。介入レベル以下のときは、その原因を調査する。
 - 4-12. 線量検証結果が許容、介入レベルを超えることが稀にある。ただし、そのほとんどは手順上のケアレスミスによるものであった。許容/介入レベルに一応のラインは示したが、あるひとつのポイント、項目で超えていたとしても、全ての結果を総合的に評価し判断している。最終的には医師との協議により、その誤差が臨床的に許容できるかどうかで判断している。
 - 4-13. IMRT の場合、線量分布としては不均一である事が多い為、例えば 1 箇所の結果が許容レベルを逸脱した場合、最終的な判定が大変難しいように思う。
 - 4-14. 前立腺と頭頸部については、2012 年 1 月 12 日から、過去のデータをもとに新たに許容レベルと介入レベルを設定した(ただし、参考値として使用)。
 - 4-15. テスト測定の時、患者プランで固定具の止め具を体輪郭で抽出しないで、QA 測定の時止め具をいれて測定すると全門で 3%のマイナスになった事があった。
 - 4-16. 変更を予定している。ただし、強化になるか緩和になるかは集積データに依るため不明。また、吸収線量検証に関してはデータの集積により明確な許容レベル、介入レベルの設定を予定している。
 - 4-17. 現段階では IMRT 検証を厳密に実施しつつ、データを集積している状況である。既に学会ガイドラインに記載されている 30 例は越えているが、品質管理を実施する物理士の判断により、この症例数では許容値を設定するには十分ではないと判断し、設定していない。装置の特性や治療計画の仕方での検証結果の違いは把握しつつあるが、やはり症例によってまちまちである。
 - 4-18. 今後、許容・介入レベルを明示したいと考えている。
 - 4-19. 許容レベル、介入レベルの再検討のために現在プラン検証例の遡及的解析を進めている。MapCHECK2 の解析手法に関する設定は、threshold 10%, measurement uncertainty オフ, global % difference dose オフ, difference threshold 1 cGy としている。Delta4 の解析方法に関する設定は、detectors in dose range 10% to 500%, normalize deviation to local dose(local ガンマ)オンとしている。今後は、例えば、相対差[%]を global % diff.とするか local % diff.とするか等検討していく予定である。
 - 4-20. 分布検証については、主に 2 次元検出器(MapCHECK2)により検証を行っているが、今のところガイドラインで示されている値より、高いレベルでパスした結果が得られている。症例データが蓄積した前立腺と頭頸部に関しては、許容レベルとして「(平均値)-1SD」を介入レベルとして「(平均値)-2SD」の値を設定しようと考えている。乾式フィルム(EBT2)に関しては、ガイドライン通りの値を採用することに考えており、選択するデバイスによって許容レベル、介入レベルの設定を使い分けることを考えている。

- 4-21. 症例数が少なく、休日を利用して、じっくり時間をかけて検証作業を行っている。自施設の許容レベル、介入レベルを決定するには、あまりに症例が少ないため、ガイドライン、成書等を参考に行っている状況である。
補足)現在使用している計画装置ビームモデリングの限界や治療装置の機械的精度、並びに検出器の精度を考えると、これ以上判定基準を厳しくすることにあまり意味がないため、変更の予定はない。(計画装置のモデリングや治療装置、検出器が変わった場合は、変更の可能性はあると思う)
- 4-22. 吸収線量は全門のみであり、相殺されてあまり誤差がでないためにレベルを強化した。介入レベルは経験値をもとに 1 年後くらいに設定したため、変更していない。
- 4-23. 治療装置・治療計画装置・線量検証用測定機器の組み合わせにより、許容レベル/介入レベルの設定が必要と考えている。
- 4-24. 先にも記載したが、現状では JASTRO ガイドラインに従っている。今後症例数が増えた段階で、吸収線量検証においては、全症例の検証結果を統計的に解析し、許容レベル・介入レベルを設定し直す方針である。線量分布検証においては、DTA 評価をメインに解析しているため、このまま 2 mm の基準を維持していく予定である。年明けぐらいには頭頸部も始める予定だが、上記の方針で進めていく予定である。
- 4-25. 臨床上、許容されると判断すれば、治療実施もありうると考えている。

フリーコメント欄に寄せられたご意見

1. 当院には治療器が2台あり前立腺・頭頸部・脳腫瘍は Tomotherapy, その他(骨盤・膀胱など)は iX で IMRT を行っている.
2. 検証は各装置とも電離箱・フィルム・Delta4 で行っている.
3. Delta4 の配列は Tomotherapy = 十字, iX = ×字としている. DD および DTA のパス率は算出されるが判定基準はガンマ解析しか設けていない.
4. iX の各門評価は Delta4 で行っている. (全門を測定すると各門の結果も表示される)
5. IMRT を開始したばかりですので, 標準化されて指針が示されると大変参考になる.
6. Log ファイル解析については, 各施設でどのような対応をされているのか. 具体的な検証シートなどがあれば拝見したい. 検証項目としてどのような項目を実施されているかの実態調査として有用なデータが得られると思う. データ解析結果報告を期待している.
7. 実際に IMRT を開始するにあたり参考書や文献だけで準備するには困難であった. 既に実施している施設に何度も伺って研修・見学させていただくことで疑問点・問題点を改善することができた. もっと実務研修が広く行えるようにすれば IMRT がより普及すると思う.
8. 現在, ミネソタ大学医療センター放射線治療部にいるが, IMRT の検証に関してかなり簡略化されている. IMRT を多くの患者さんに提供することと, 線量の不確定度を天秤にかけて, 何が大切かを議論した結果だそう. 簡略化しないと普及しないようである. AAPM のガイドライン, IMRT 先進国アメリカの現状から本邦に必要な QA を考察, 提案していただきたい.
9. 電離箱やフィルムによる評価が本邦では一般的に考えられている. しかし, 他の施設を見学させていただく機会はあるが, はっきり言って, 自分たちの測定に対する不確かさを把握している施設は少ないように思われる(個人的な意見だが). 検証の本質をあまり理解されておらず, マニュアル的に行っている施設も少なくないのではないと思う. また, 検出器で測定した値が良かった場合は, 何も考えず成功と置き, 悪かった場合のみを解析する傾向があるが, そもそも根底が間違った測定法をしていれば, 話にならない. 自分たちの施設の検証法による不確かさをきちんと把握し, それを医師に伝え相談し, 当施設ではそれを踏まえて治療計画に反映させている. フィルム解析に多いが, 自作ソフトではなくメーカー市販のソフトを使用し, 解析をしているならば, ソフトに遊ばれないでほしいと思う.
10. IMRT 線量検証ワークシートの確立・エクセルベースでデータを入力(ファントム, 部位, 検証結果など)・品質管理に必要な統計解析(シューハート管理図や介入レベルなど)が自動表示・症例数, 部位ごとの介入レベルなどが年報として出力可

能である。実は当院で線量検証ワークシートの見直しを行っていて、上記のような機能があれば非常にいいなと思っている。

11. IMRT QA は RTP モデリング精度の検証をしている面がある、誤差が出続ける場合はパラメータの見直しを行っている。最小照射野サイズ、最低 MU の設定で QA 結果に影響を与えている可能性がある、最適な条件を出している。
12. 年間患者数が 100 に満たない病院のため、IMRT 実施件数も少ないのが現状である。また、施設規模に関する保有する QA 機器も必要最小限の構成だと思う。その辺りのアンケート結果がバイアスとしてかかるのかどうか興味があります。
13. まだまだ症例数が少ないため、自施設での QA 項目や判定基準を確立できていない。今後は前立腺以外も実施していく予定であるため、このアンケート結果を参考にさせていただきたい。
14. ある施設を見学した時に、明らかにカウチの減弱が大きいビーム角度(カウチの縁を通過する)を使用したプランを作成し、絶対線量検証、線量分布検証ではカウチの影響を無視した場にて検証を行っているのを見たことがある。その後、カウチの影響によるビームごとの MU 補正を行っていた。上記では計画時ではカウチを全く考慮していなく、検証時でもカウチの影響がない様に、“場”を変更して行い、検証終了後に MU の減弱補正をしていた。計画時と検証時ではカウチ等の影響について考えておかないといけなと、個人的には思う。
15. 当院は、今年の 3 月より IMRT を開始し施設認定の 5 例が 7 月に終了し、認定申請を行い 8 月に認可された。京大病院高精度放射線治療ワークショップに参加し検証方法などを学び、このアンケート記入時点で全症例は 9 例で、まだまだ経験の浅い我々であるが、レベル向上をめざし頑張っている。線量分布検証に EBT2 を使用しているが、結果にムラがあり基準値を満たせないことも多く、今後は EBT3 に移行し、その後は 2 次元検出器や 3 次元検出器のみにすることも考えている。
16. フィルムによる全門検証において、EBT2 は lot による差も大きく、またシート間、シート内、スキャナーのバラツキを総合的に考慮すると 2SD は 4%を超える結果となった。EBT3 でも EBT2 よりやや改善はみられるものの、2SD は 4%を超え、そのため当院では許容値を 5%としたが、5%の誤差を許して良いか不安もある。実際の臨床結果を見てみると 3%/3 mm でも 98%以上のパス率であることがほとんどであり、最近では 2SD にこだわらなくても良いのではとも考えている。EBT2、3 の扱い方や lot の違いも大きいとは思いますが、このあたりも今回のアンケート結果から導き出してもらえたいことを期待している。
17. 各門ではガントリー角度 0 度にして 2 次元検出器で中心線量と分布の両方を同時に検証している。同時にしているためか、質問の意図と合わず答えにくいところがあった。

18. 当施設では、10 例ほど施行した時点で、各門での検証は省略しました。現在は、電離箱、EBT2、Delta4 を組み合わせて検証を行っている。スタッフ数が少なく(そして経験の浅い若い技師が多く)や検証時間を十分に確保できないため、トレンドのとれたものに関しては緩和したいと考えている。ただ、フィルムでいい解析結果が出ても、Delta4 で結果が十分でない、またその逆も経験することがあるので、なかなか踏み切れない状況である。
19. IMRT 開始当初、低線量域で誤差が大きく出ることがあり、RTPS のコミッショニング【モデリング】不足によるものと考え、再モデリング・コミッショニングを実施し改善したので、IMRT 専用ビームモデルとして現在使用している。また、MLC の動作が大きい症例では MLC 位置誤差とおもわれる誤差が発生し、RTPS のリーフスピードを変更した。現在さらなる改善をめざして再モデリングを実施中である。
20. Tomotherapy や Cyberknife などは特別な QA ファントムを用いることが多く、ついでに別の QA も行ったりするので効率が悪くなることがあります。治療計画装置のバージョンアップに伴い、再コミッショニングするかどうか迷いながら 3 件治療したことがあります(新バージョンになってからは許容レベルギリギリでパス)。
21. 私たちはファントムを設置後、CBCT を撮影して設置精度を保っています。他の施設でのファントムの設置精度の評価に興味がある。
22. 当院においては前立腺 IMRT をリニアックで行っており、本年度春に Tomotherapy が臨床稼動している。そのため、前立腺 IMRT のみどちらの治療機でも行っており、それぞれに対応した回答が記入してある。
23. AAPM-TG119 のように、複数施設間での測定し、測定精度の評価まで行ったガイドラインがあれば、今後役に立つと思う。
24. 実務的には測定手順を施設内で統一できても、最後の結果判定で様々な要因を鑑みて判定する必要があり、施設内でも標準化が難しいように思う。この点は放射線治療の臨床的 QA でも同様だと思うのですが、IMRT が一般化するためにも QA のみならず全体の標準化が不可欠だと思う。
25. IMRT 検証は治療計画装置の計算結果と実際の照射結果が妥当であることを確認するチェックであると認識している。そしてチェックすべき項目として標的体積およびリスク体積の線量制約を満たしているか否か、急峻な線量勾配の再現はなされているかということだと認識している。したがって、場合によっては通常通りに実施しても標準的なパス率を得られないときもある(たとえば評価断面に急峻な線量勾配とリスク臓器が多数併合している場合など)。検証において、標準的な評価法を提案および周知することはエビデンスの確立には有益だということに強く同意し、先生の実施される研究は有意義であるということはいうまでもない。しかし、検証の目的や上記のような場合どのように考えるかということにも踏み込んでいただけると、検証にかかわる品質管理従事者のコンセンサスをえることが

出来るのではないのでしょうか。河内班とかぶる部分も出てくるとは思いますが、出版物を予定されているのでしたら、上記のことをご考案ください。また、今回のアンケートをきっかけに、品質管理従事者同士で改めて IMRT QA について議論を重ねることが出来た。

26. プラン時の囲みかたのバラつき等によっても、QA 結果は施設によって、厳しかったり、易しかったりと、臨床側の統一というものも関わってくるので、まとめあげるのはとても大変かと思われるが、海外ではなく日本の状況を反映したものを集約し、全施設が日本の基準で最低限のレベルを担保し、その位置でのノーマライズから施設毎に伸びていくのが理想と個人的には思う。これらは、我々のように臨床の場での照射・検証・管理等の業務を行う者には手に負えることなく、研究・教育・リサーチの立場にいる方々の力なくしてはできないことだと思う。このアンケートとは、離れるかもしれないが、専門技師として業務するものと医学物理として業務するものがそれぞれ互いに情報共有し、もう少し協調できればとてもよいいつも思っている。今後とも、先行施設として引っ張っていただければと期待している。
27. なかなか濃密なアンケート内容であった。この集計結果が適切な IMRT 検証の普及だけでなく、多くの施設の意識改革にも役立ってくれることを期待している。
28. 平面型アレイ検出器や円柱型検出器(Delta4 等)の導入を検討中である。

付 録

日本医学物理学会 平成 24 年度課題研究

課題研究: 強度変調放射線治療における線量検証の標準化に向けた調査研究

施設名: _____

回答者氏名: _____

電話番号: _____

メールアドレス: _____

回答日: _____

[はじめに]

このたび、課題研究「強度変調放射線治療における線量検証の標準化に向けた調査研究」が医学物理学会の平成 24(2012)年度課題研究援助に採択されました。本研究はアンケート調査により、強度変調放射線治療(IMRT)の線量検証(QA)に関する現状を把握すると同時に、IMRT QA における測定法・測定機器に応じた判定基準の標準化に関する指針を策定することを目的としております。アンケートの回答には 30 分程度のお時間を要します。

お忙しい中、大変お手数ではございますが、何卒ご協力を賜りますよう宜しくお願い申し上げます。なお、集計結果は関連学会などで公表するとともに、ご協力いただいた方々にも送付させていただきます。

質問内容に不明な点がございましたら、以下の連絡先までお問い合わせください。

研究代表者: 中村 光宏

電話番号: 075-751-3762 (内線: 2623)

メールアドレス: m_nkmr@kuhp.kyoto-u.ac.jp

[目次]

1. IMRT に関する臨床状況	P.3~P.5
2. 治療計画装置・治療装置・ファントム・CT 撮影	P.6~P.10
3. 吸収線量検証	P.11~P.14
4. 線量分布検証	P.15~P.21
5. フルエンス分布検証	P.22~P.24
6. IMRT QA 結果の判定基準	P.25~P.29
7. フリーコメント欄	P.30

1. IMRT に関する臨床状況

1-1. IMRT の開始年(西暦)およびこれまでの実施件数(概数)を下表の空欄に記入してください。

部位	開始年	実施件数
記入例	2001	1000
前立腺		
頭頸部		
脳腫瘍		
上記以外		

※ “上記以外”の欄に数値を記入された方は、具体的な部位名を下段の余白に記入してください。

1-1-1. “上記以外”の項目に「肺がん、食道がん、胃がん、肝がん、胆道がん、膵がん、腎がん、副腎がん」を挙げられた方に質問です。IMRT と併用している呼吸性移動対策について選択肢(1)~(5)から選択してください(複数回答可)。

【選択肢】

- (1) 特に対策を講じていない
 (2) 腹部圧迫
 (3) 息止め
 (4) 迎撃
 (5) 上記以外(具体的に記載:)

回答欄

1-2. IMRT QA 実施担当者数および品質管理を専ら担当している人数を記入してください。

- (1) IMRT QA 実施担当者数: _____ 人^{*1}
 (2) 品質管理に専ら従事している人数: _____ 人^{*2}

※1 スタッフ6人のうち、5人で当番制を採用している場合、5人と記載。

※2 専ら従事しているとは、その就業時間の少なくとも8割以上、従事していることをいう。

1-3. IMRT 治療において、以下の工程に要する日数を下表の空欄に記入してください。

※ 日数を幅で表記しても構いません。

部位	IMRT 治療計画に 要する日数	IMRT QA に 要する日数	治療計画用 CT 撮影日 から照射開始までの日数
記入例	2~5	1~3	14
前立腺			
頭頸部			
脳腫瘍			
上記以外			

1-4. IMRT QA 完了から照射開始の時期について、選択肢(1)~(6)から選択してください(複数回答可)。

【選択肢】

- (1) 照射開始日までに IMRT QA が完了しても、照射開始日を変更しない
 (2) 照射開始日までに IMRT QA が完了すれば、予定を繰り上げて照射を開始する
 (3) 照射開始日までに IMRT QA が完了しなかった場合、IMRT QA が完了するまで照射開始日を延期する
 (4) 照射開始日までに IMRT QA が完了しなかった場合、照射開始日から非 IMRT にて照射を開始し、IMRT QA 完了後、照射途中から IMRT に切り替える
 (5) 照射開始日までに IMRT QA が完了しなくても、照射開始日より IMRT にて照射開始し、治療期間中に再治療計画(再 QA も含む)を行う
 (6) 上記以外(具体的に記載:)

回答欄

JSMP H24 年度課題研究

1-5. IMRT 開始からこれまでに IMRT QA 項目を変更したことがありますか。もしくは、今後変更予定がありますか。下表の空欄に選択肢(1)~(3)から該当するものを記入してください。実施していない場合は、×を記入してください。

部位	吸収線量検証	線量分布検証	フルエンス分布検証
記入例	(2)	(2)	×
前立腺			
頭頸部			
脳腫瘍			
上記以外			

【選択肢】

- (1) 不変
- (2) 簡略化した、もしくは簡略化する予定
- (3) 詳細化した、もしくは詳細化する予定

※変更した理由および内容を下段の余白に記入してください。

【記入例】

理由: データが蓄積され、傾向をつかんだから。
内容: 前立腺 IMRT の吸収線量各門測定をやめた。また、線量分布検証の Axial 面解析を省略した。

2. 治療計画装置・治療装置・ファントム・CT 撮影

2-1. IMRT で使用している治療装置、治療計画装置、線量計算アルゴリズム、最小 MLC 幅、IMRT 照射法を下表に記入してください。IMRT 照射法に関しては、下表の空欄に選択肢(1)~(6)から該当するものを記入してください。

部位	治療装置	治療計画装置	線量計算アルゴリズム	最小 MLC 幅	IMRT 照射法
記入例	NovaLis Tx	Eclipse	AAA	2.5 mm	(2)
前立腺 1					
前立腺 2					
頭頸部 1					
頭頸部 2					
脳腫瘍 1					
脳腫瘍 2					
上記以外 1					
上記以外 2					

【選択肢】

- (1) Segmental MLC
- (2) Dynamic MLC
- (3) Tomotherapy
- (4) 補償フィルター
- (5) VMAT
- (6) 上記以外 (具体的に記載:)

2-2. IMRT 臨床プランおよび QA プランで採用している線量計算グリッドサイズについて、下表の空欄に記入してください。検証を実施していない場合は×を記入してください。

※ 全門評価とは、全門を合算した上での線量評価のことを指す。(以下、同様)

※ 各門評価とは、門毎の線量評価のことを指す。(以下、同様)

部位	臨床プラン	吸収線量検証		線量分布検証	
		全門評価	各門評価	全門評価	各門評価
記入例	2.5	2.5	2.5	2.5	×
前立腺					
頭頸部					
脳腫瘍					
上記以外					

[単位: mm]

2-3. IMRT 臨床プランおよび QA プランで採用している CT 画像のスライス厚について、下表の空欄に記入してください。検証を実施していない場合は×を記入してください。

部位	臨床プラン	吸収線量検証		線量分布検証	
		全門評価	各門評価	全門評価	各門評価
記入例	2.5	2.5	2.5	2.5	×
前立腺					
頭頸部					
脳腫瘍					
上記以外					

[単位: mm]

2-4. IMRT QA に使用しているファントムについて、下表の空欄に選択肢(1)~(4)から該当するものを記入してください (複数回答可)。評価していない場合は×を記入してください。

部位	吸収線量検証		線量分布検証	
	全門評価	各門評価	全門評価	各門評価
記入例	(2), (3), (4)	(2), (3)	(4)	×
前立腺				
頭頸部				
脳腫瘍				
上記以外				

【選択肢】

- (1) 水ファントム
 (2) 水等価平板ファントム
 (3) 水等価円柱ファントム
 (4) 上記以外 (具体的に記載:)

【記入例】(4): RT-3000, l'mRT

2-5. ファントム画像の取得方法について、下表の空欄に選択肢(1)~(3)から該当するものを記入してください (複数回答可)。評価していない場合は×を記入してください。

部位	吸収線量検証		線量分布検証	
	全門評価	各門評価	全門評価	各門評価
記入例	(1)	(1)	(1)	×
前立腺				
頭頸部				
脳腫瘍				
上記以外				

【選択肢】

- (1) ファントムを治療計画用 CT で撮影
 (2) 治療計画装置上で仮想的に作成
 (3) 上記以外 (具体的に記載:)

2-6. IMRT QA 用ファントム CT 画像の CT 値もしくは相対電子濃度を置換していますか。下表の空欄に置換している値を記入してください。置換していない場合は×を記入してください。

CT 値を置換している場合

部位	吸収線量検証		線量分布検証	
	全門評価	各門評価	全門評価	各門評価
記入例	0	0	×	×
前立腺				
頭頸部				
脳腫瘍				
上記以外				

[単位:HU]

相対電子濃度を置換している場合

部位	吸収線量検証		線量分布検証	
	全門評価	各門評価	全門評価	各門評価
記入例	1.034	1.034	×	×
前立腺				
頭頸部				
脳腫瘍				
上記以外				

[無単位]

2-7. ファントムに関する補正係数について、選択肢(1)~(4)から選択してください。

【選択肢】

- (1) 深さスケーリング係数のみ
- (2) フルエンススケーリング係数のみ
- (3) 両方使用している
- (4) いずれも使用していない

回答欄

2-8. IMRT QA プランの線量計算および測定時に考慮している線量補正について、下表の空欄に選択肢(1)~(4)から該当するものを記入してください（複数回答可）。考慮(評価)していない場合は×を記入してください。

部位	吸収線量検証		線量分布検証	
	全門評価	各門評価	全門評価	各門評価
記入例	(1), (3)	(3)	(1)	×
前立腺				
頭頸部				
脳腫瘍				
上記以外				

【選択肢】

- (1) 寝台吸収補正
- (2) 固定具吸収補正
- (3) 出力補正 (DMU)
- (4) 上記以外（具体的に記載：_____）

2-8-1. 補正方法について、下表の空欄に選択肢(1)~(4)から該当するものを記入してください（複数回答可）。考慮(評価)していない場合は×を記入してください。

補正	吸収線量検証		線量分布検証	
	全門評価	各門評価	全門評価	各門評価
記入例	(1), (2)	×	(1)	×
寝台吸収補正				
固定具吸収補正				
出力補正 (DMU)				
上記以外				

【選択肢】

- (1) 治療計画装置上で計算に含める
- (2) あらかじめ算出していた吸収率を MU 値で調整
- (3) その都度測定して算出
- (4) 上記以外（具体的に記載：_____）

3. 吸収線量検証

3-1. 吸収線量検証を実施していますか.

はい / いいえ

→ 「はい」とお答えになった方は以下の問いにお答えください.

→ 「いいえ」とお答えになった方は P.14 に移動してください.

3-2. 吸収線量検証の全門評価および各門評価について、下表の空欄に○(=実施している)、もしくは×(=実施していない)を記入してください.

部位	全門評価	各門評価
記入例	○	○
前立腺		
頭頸部		
脳腫瘍		
上記以外		

3-3. ビームの照射角度について、下表の空欄に選択肢(1)~(3)から該当するものを記入してください (複数回答可).

部位	全門評価			各門評価		
	ガントリー	カウチ/ リング	コリメータ	ガントリー	カウチ/ リング	コリメータ
記入例	(1)	(1)	(1)	(1), (2)	(2)	(2)
前立腺						
頭頸部						
脳腫瘍						
上記以外						

【選択肢】

- (1) 臨床プランと同一
 (2) 0 度
 (3) 上記以外 (具体的に記載:)

3-4. 吸収線量検証で使用している検出器について、下表の空欄に選択肢(1)~(4)から該当するものを記入してください (複数回答可).

部位	全門評価	各門評価
記入例	(1), (3)	(1), (2), (3)
前立腺		
頭頸部		
脳腫瘍		
上記以外		

【選択肢】

- (1) ファーマー型(約 0.6 cc)電離箱線量計 (品名を記載:)
 (2) ミニ型(約 0.1 cc)あるいはマイクロ型(約 0.01 cc)電離箱線量計
 (品名を記載:)
 (3) 多次元検出器 (品名を記載:)
 (4) 上記以外 (具体的に記載:)

3-5. 計画線量の算出法について、下表の空欄に選択肢(1)~(3)から該当するものを記入してください (複数回答可).

検出器	全門評価	各門評価
記入例	(1)	(1), (2)
ファーマー型電離箱線量計		
ミニ型あるいはマイクロ型		
電離箱線量計		
多次元検出器		
上記以外		

【選択肢】

- (1) 検出器(検出素子)の体積を考慮した平均線量
 (2) 点線量
 (3) 上記以外 (具体的に記載:)

3-6. 測定位置について、下表の空欄に選択肢(1)~(7)から該当するものを記入してください (複数回答可).

電離箱線量計の場合

部位	全門評価	各門評価
記入例	(1), (3)	(1), (2)
前立腺		
頭頸部		
脳腫瘍		
上記以外		

【選択肢】

- (1) アイソセンター
(2) 高線量かつ緩勾配な位置
(3) 高線量かつ急勾配な位置
(4) 低中線量かつ緩勾配な位置
(5) 低中線量かつ急勾配な位置
(6) アイソセンターとは別の固定位置
(7) 上記以外 (具体的に記載:)

多次元検出器の場合

部位	全門評価	各門評価
記入例	(1), (3), (4)	(1), (2)
前立腺		
頭頸部		
脳腫瘍		
上記以外		

3-8. 吸収線量検証における判定基準値について、下表の括弧内に数値を記入してください。実施していない場合は×を記入してください。
※ “許容/介入レベルの区別なし”とは、許容レベルと介入レベルを「明確に」区別していないが、なんらかの判定レベルを設定している場合を指す。このような判定レベルを設定している施設は“許容レベル”および“介入レベル”に数値を記入する必要はありません。(以下、同様)

部位	全門評価			各門評価		
	許容レベル	介入レベル	許容/介入レベルの区別なし	許容レベル	介入レベル	許容/介入レベルの区別なし
記入例	±(3)%	±(5)%	±(×)%	±(×)%	±(×)%	±(3)%
前立腺	±()%	±()%	±()%	±()%	±()%	±()%
頭頸部	±()%	±()%	±()%	±()%	±()%	±()%
脳腫瘍	±()%	±()%	±()%	±()%	±()%	±()%
上記以外	±()%	±()%	±()%	±()%	±()%	±()%

吸収線量検証に関するフリーコメント欄

3-7. 測定箇所の数について、下表の空欄に選択肢(1)~(6)から該当するものを記入してください.

部位	全門評価	各門評価
記入例	(1)	(5)
前立腺		
頭頸部		
脳腫瘍		
上記以外		

【選択肢】

- | | |
|------------|------------------|
| 全門評価 | 各門評価 |
| (1) 1 箇所のみ | (4) 各門あたり 1 箇所のみ |
| (2) 2 箇所 | (5) 各門あたり 2 箇所 |
| (3) 3 箇所以上 | (6) 各門あたり 3 箇所以上 |

4. 線量分布検証

4-1. 線量分布検証を実施していますか.

はい / いいえ

→ 「はい」とお答えになった方は以下の問いにお答えください.

→ 「いいえ」とお答えになった方は P.21 に移動してください.

4-2. 線量分布検証評価の全門評価および各門評価について、下表の空欄に○(=実施している), もしくは×(=実施していない)を記入してください.

部位	全門評価	各門評価
記入例	○	○
前立腺		
頭頸部		
脳腫瘍		
上記以外		

4-2-1. 上記質問で“全門評価”を実施している方に質問です. 下表の空欄に選択肢(1)~(7)から該当するものを記入してください. 実施していない場合は×を記入してください.

部位	Axial 面	Coronal 面	Sagittal 面
記入例	(1)	(2)	(2)
前立腺			
頭頸部			
脳腫瘍			
上記以外			

【選択肢】

- (1) IC 面のみ
 (2) IC 面+1 面
 (3) IC 面+2 面以上
 (4) IC 面以外の 1 面
 (5) IC 面以外の 2 面
 (6) IC 面以外の 3 面以上
 (7) 上記以外 (具体的に記載:)

4-3. 線量分布測定で使用している検出器について、下表の空欄に選択肢(1)~(4)から該当するものを記入してください (複数回答可). 実施していない場合は×を記入してください.

部位	Axial 面	Coronal 面	Sagittal 面
記入例	(2)	(2), (3)	(2)
前立腺			
頭頸部			
脳腫瘍			
上記以外			

【選択肢】

- (1) 湿式フィルム (品名を記載:)
 (2) 乾式フィルム (品名を記載:)
 (3) 多次元検出器 (品名を記載:)
 (4) 上記以外 (品名を記載:)

【記入例】(1): EDR2, (2): EBT3, (3): ArcCheck, Matrixx

4-4. 線量分布解析に使用している解析ソフトウェアを記入してください.

検出器	解析ソフトウェア
記入例	DD system RIT 自作
湿式フィルム	
乾式フィルム	
多次元検出器	
上記以外	

4-5. 線量分布検証にフィルムを用いている場合、線量-濃度曲線の更新頻度について、選択肢(1)~(7)から該当するものを記入してください (複数回答可)。

【選択肢】

- (1) QA 毎
- (2) 新しい箱を開封した時
- (3) ロット番号が変更した時
- (4) 新しい箱を開封する前、もしくはロット番号が変更する前であっても、()ヶ月に超えた時点
- (5) ()ヶ月までに 1 回
- (6) 線量校正時 (頻度:)
- (7) 上記以外 (具体的に記載:)

回答欄

4-6. 線量分布検証に多次元検出器を用いている場合、キャリブレーションの更新頻度について、選択肢(1)~(4)から該当するものを記入してください (複数回答可)。

【選択肢】

- (1) QA 毎
- (2) ()ヶ月までに 1 回
- (3) 線量校正時 (頻度:)
- (4) 上記以外 (具体的に記載:)

回答欄

4-7. 治療計画時の線量分布と測定された線量分布の合わせ込みについて、下表の空欄に選択肢(1)~(4)から該当するものを記入してください (複数回答可)。評価していない場合は×を記入してください。

検出器	全門評価	各門評価
記入例	(1), (2)	×
湿式フィルム		
乾式フィルム		
多次元検出器		
上記以外		

【選択肢】

- (1) 線量分布同士を手動で合わせ込む
- (2) 目印から導き出された点(例えば、アイソセンター)を基に合わせ込む
- (3) 目印同士を合わせ込む
- (4) 上記以外 (具体的に記載:)

4-8. 線量分布の正規化について、下表の空欄に選択肢(1)~(7)から該当するものを記入してください (複数回答可)。評価していない場合は×を記入してください。

検出器	全門評価	各門評価
記入例	(2), (3), (4)	(1)
湿式フィルム		
乾式フィルム		
多次元検出器		
上記以外		

【選択肢】

- (1) 正規化をしていない
- (2) 最大線量
- (3) 電離箱で測定した線量
- (4) アイソセンター線量
- (5) アイソセンター以外の任意の点線量
- (6) 任意の線量域
- (7) 上記以外 (具体的に記載:)

4-9. 線量分布解析で対象としている線量域を記入してください。XX%以上の線量域を解析対象としている場合は XX の値を記入してください。すべての線量域を解析対象としている場合は“0”を記入してください。実施していない場合は×を記入してください。

部位	全門評価	各門評価
記入例	(10)%	(50)%
前立腺	()%	()%
頭頸部	()%	()%
脳腫瘍	()%	()%
上記以外	()%	()%

4-10. 線量分布評価判定について、下表の空欄に選択肢(1)~(5)から該当するものを記入してください (複数回答可)。

部位	線量分布評価判定
記入例	(1), (2), (3), (4)
前立腺	
頭頸部	
脳腫瘍	
上記以外	

【選択肢】

- (1) 線量分布(プロファイル)の視覚的評価
- (2) Dose-difference (DD)
- (3) Distance-to-agreement (DTA)
- (4) ガンマ method (ガンマ解析)
- (5) 上記以外 (具体的に記載:)

4-10-1. DD を選択した方に質問です。下表の括弧内に数値を記入してください。実施していない場合は×を記入してください。

部位	許容レベル 判定基準値	パス率	介入レベル 判定基準値	パス率	許容/介入レベルの区別なし 判定基準値	パス率
記入例	(3)%	(90)%	(5)%	(85)%	(×)%	(×)%
前立腺	()%	()%	()%	()%	()%	()%
頭頸部	()%	()%	()%	()%	()%	()%
脳腫瘍	()%	()%	()%	()%	()%	()%
上記以外	()%	()%	()%	()%	()%	()%

4-10-2. DTA を選択した方に質問です。下表の括弧内に数値を記入してください。実施していない場合は×を記入してください。

部位	許容レベル 判定基準値	パス率	介入レベル 判定基準値	パス率	許容/介入レベルの区別なし 判定基準値	パス率
記入例	(×)mm	(×)%	(×)mm	(×)%	(2)mm	(80)%
前立腺	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%
頭頸部	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%
脳腫瘍	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%
上記以外	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%

4-10-3. ガンマ解析を選択した方に質問です。下表の括弧内に数値を記入してください。実施していない場合は*を記入してください。

部位	許容レベル 判定基準値	パス率	介入レベル 判定基準値	パス率	許容/介入レベルの区別なし 判定基準値	パス率
記入例	(3)% (3)mm	(90)%	(5)% (3)mm	(85)%	(*)% (*)mm	(*)%
前立腺	()% ()mm	()%	()% ()mm	()%	()% ()mm	()%
頭頸部	()% ()mm	()%	()% ()mm	()%	()% ()mm	()%
脳腫瘍	()% ()mm	()%	()% ()mm	()%	()% ()mm	()%
上記以外	()% ()mm	()%	()% ()mm	()%	()% ()mm	()%

線量分布検証に関するフリーコメント欄

5. フルエンス分布検証

5-1. フルエンス分布検証を実施していますか。

はい / いいえ

→ 「はい」とお答えになった方は以下の問いにお答えください。

→ 「いいえ」とお答えになった方は P.25 に移動してください。

5-2. 使用機器と解析ソフトウェアの組み合わせを記入してください

使用機器	解析ソフトウェア
------	----------

【記入例】使用機器: EPID 型番, 解析ソフトウェア: EPIDose

5-3. フルエンス分布評価判定について、下表の空欄に選択肢(1)~(5)から該当するものを記入してください (複数回答可)。

部位	フルエンス分布評価判定
記入例	(1), (2), (3), (4)
前立腺	
頭頸部	
脳腫瘍	
上記以外	

【選択肢】

- (1) フルエンス分布(プロファイル)の視覚的評価
- (2) Fluence-difference (FD)
- (3) Distance-to-agreement (DTA)
- (4) ガンマ method (ガンマ解析)
- (5) 上記以外 (具体的に記載:)

5-3-1. FD を選択した方に質問です。下表の括弧内に数値を記入してください。実施していない場合は×を記入してください。

部位	許容レベル		介入レベル		許容/介入レベルの区別なし	
	判定基準値	パス率	判定基準値	パス率	判定基準値	パス率
記入例	(3)%	(90)%	(5)%	(85)%	(×)%	(×)%
前立腺	()%	()%	()%	()%	()%	()%
頭頸部	()%	()%	()%	()%	()%	()%
脳腫瘍	()%	()%	()%	()%	()%	()%
上記以外	()%	()%	()%	()%	()%	()%

5-3-2. DTA を選択した方に質問です。下表の括弧内に数値を記入してください。実施していない場合は×を記入してください。

部位	許容レベル		介入レベル		許容/介入レベルの区別なし	
	判定基準値	パス率	判定基準値	パス率	判定基準値	パス率
記入例	(×)mm	(×)%	(×)mm	(×)%	(2)mm	(80)%
前立腺	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%
頭頸部	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%
脳腫瘍	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%
上記以外	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%

5-3-3. ガンマ解析を選択した方に質問です。下表の括弧内に数値を記入してください。実施していない場合は×を記入してください。

部位	許容レベル		介入レベル		許容/介入レベルの区別なし	
	判定基準値	パス率	判定基準値	パス率	判定基準値	パス率
記入例	(3)mm	(90)%	(5)mm	(85)%	(×)mm	(×)%
前立腺	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%
頭頸部	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%
脳腫瘍	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%
上記以外	()mm	()%	()mm	()%	()mm	()%

フルエンス検証に関するフリーコメント欄

6. IMRT QA 結果の判定基準

6-1. IMRT QA 結果の判定基準の設定根拠を選択肢(1)~(4)から選択してください (複数回答可).

【選択肢】

- (1) 文献, 学会推奨値等
- (2) 施設独自
- (3) 他施設を参考
- (4) 上記以外 (具体的に記載: _____)

回答欄

6-2. これまでにIMRT QA結果の判定基準における“許容レベル”, “介入レベル”, “許容/介入レベル”の逸脱頻度について, 下表の空欄に選択肢(1)~(7)から該当するものを記入してください.

“許容レベル”の空欄を記入された方は P.25 へ移動してください.

“介入レベル”の空欄を記入された方は P.26 へ移動してください.

“許容/介入レベルの区別なし”の空欄を記入された方は P.27 へ移動してください.

部位	許容レベル (→ 6-3 へ)	介入レベル (→ 6-4 へ)	許容/介入レベルの 区別なし (→ 6-5 へ)
記入例	(7)	(1)	(7)
前立腺			
頭頸部			
脳腫瘍			
上記以外			

【選択肢】

- (1) 逸脱したことがない
- (2) 10 件に 1 件程度の頻度
- (3) 25 件に 1 件程度の頻度
- (4) 50 件に 1 件程度の頻度
- (5) 100 件に 1 件程度の頻度
- (6) 200 件に 1 件程度の頻度
- (7) 300 件以上に 1 件程度の頻度

6-3. “許容レベル”を逸脱したことがある方に質問です. 逸脱の原因は何でしたか. 選択肢(1)~(7)から頻度の多い順に 3 つまで選択してください.

【選択肢】

- (1) 人為的ミス
- (2) 不適切な測定位置
- (3) 測定器具(線量計, フィルム, スキャナー, 自現機等)の不具合
- (4) MLC の動作不良
- (5) 治療システム全体の幾何学的な誤差
- (6) 不明
- (7) 上記以外 (具体的に記載: _____)

回答欄

6-3-1. “許容レベル”を逸脱したときの対処法について, 選択肢(1)~(10)から頻度の多い順に 5 つまで選択してください.

【選択肢】

- (1) 特に対処せず, 治療に移った
- (2) 逸脱前と同じ測定位置で再測定
- (3) 逸脱前と別の測定位置で再測定
- (4) QA プランの再確認
- (5) 線量算出に使用している係数や線量-濃度曲線等の再確認
- (6) MLC の動作確認もしくは MLC ログファイルのチェック
- (7) 過去の IMRT QA を再施行
- (8) 再治療計画
- (9) 治療中止
- (10) 上記以外 (具体的に記載: _____)

回答欄

6-3-2. IMRT QA 結果が“許容レベル”を逸脱したまま治療に移ったことがありますか.

【選択肢】

- (1) はい
- (2) いいえ

回答欄

6-4. “介入レベル”を逸脱したことがある方に質問です。逸脱の原因は何でしたか。選択肢(1)~(7)から頻度の多い順に3つまで選択してください。

【選択肢】

- (1) 人為的ミス
- (2) 不適切な測定位置
- (3) 測定器具(線量計, フィルム, スキャナー, 自現機等)の不具合
- (4) MLC の動作不良
- (5) 治療システム全体の幾何学的な誤差
- (6) 不明
- (7) 上記以外 (具体的に記載:)

回答欄

6-4-1. “介入レベル”を逸脱したときの対処法について、選択肢(1)~(10)から頻度の多い順に5つまで選択してください。

【選択肢】

- (1) 特に対処せず、治療に移った
- (2) 逸脱前と同じ測定位置で再測定
- (3) 逸脱前と別の測定位置で再測定
- (4) QA プランの再確認
- (5) 線量算出に使用している係数や線量-濃度曲線等の再確認
- (6) MLC の動作確認もしくは MLC ログファイルのチェック
- (7) 過去の IMRT QA を再施行
- (8) 再治療計画
- (9) 治療中止
- (10) 上記以外 (具体的に記載:)

回答欄

6-4-2. IMRT QA 結果が“介入レベル”を逸脱したまま治療に移ったことがありますか。

【選択肢】

- (1) はい
- (2) いいえ

回答欄

6-5. “許容/介入レベルの区別なし”を逸脱したことがある方に質問です。逸脱の原因は何でしたか。選択肢(1)~(7)から頻度の多い順に3つまで選択してください。

【選択肢】

- (1) 人為的ミス
- (2) 不適切な測定位置
- (3) 測定器具(線量計, フィルム, スキャナー, 自現機等)の不具合
- (4) MLC の動作不良
- (5) 治療システム全体の幾何学的な誤差
- (6) 不明
- (7) 上記以外 (具体的に記載:)

回答欄

6-5-1. “許容/介入レベルの区別なし”を逸脱したときの対処法について、選択肢(1)~(10)から頻度の多い順に5つまで選択してください。

【選択肢】

- (1) 特に対処せず、治療に移った
- (2) 逸脱前と同じ測定位置で再測定
- (3) 逸脱前と別の測定位置で再測定
- (4) QA プランの再確認
- (5) 線量算出に使用している係数や線量-濃度曲線等の再確認
- (6) MLC の動作確認もしくは MLC ログファイルのチェック
- (7) 過去の IMRT QA を再施行
- (8) 再治療計画
- (9) 治療中止
- (10) 上記以外 (具体的に記載:)

回答欄

6-5-2. IMRT QA 結果が“許容/介入レベルの区別なし”を逸脱したまま治療に移ったことがありますか。

【選択肢】

- (1) はい
- (2) いいえ

回答欄

JSMP H24 年度課題研究

6-6. IMRT QA 結果の判定基準を変更した(もしくは、今後変更予定)ことがありますか。下表の空欄に選択肢(1)~(3)から該当するものを記入してください。判定基準を設定していない場合は×を記入してください。

部位	吸収線量検証		線量分布検証				フルエンス分布検証		
	許容レベル	介入レベル	許容/介入 レベルの 区別なし	許容レベル	介入レベル	許容/介入 レベルの 区別なし	許容レベル	介入レベル	許容/介入 レベルの 区別なし
記入例	(1)	(1)	×	(3)	(3)	×	×	×	(1)
前立腺									
頭頸部									
脳腫瘍									
上記以外									

【選択肢】

- (1) 変更していない(その予定もない)
- (2) 強化した(強化する予定)
- (3) 緩和した(緩和する予定)

IMRT QA 結果の許容レベル/介入レベルに関するフリーコメント欄

JSMP H24 年度課題研究

7. フリーコメント欄

※本アンケートに関すること以外でも構いませんので、ご意見等がございましたら、ご自由にお書きください。

本アンケートは以上で終了です。

ご協力ありがとうございました。