

3. バイナリーコリメータを用いた方法
4. ロボット型治療装置を用いた方法

IMRT 施行に際する施設・人的要件

IMRT の施行に際しては、厚生労働省保険局医療課長通知（保医発第 0305003 号平成 20 年 3 月 5 日）に記載の施設基準を満たすことが必要である。また、上記に加え、以下の人的・設備的体制を構築することを推奨する。

1. 放射線治療を専ら担当する常勤の医師
放射線治療の経験を 5 年以上有するものについては、放射線治療の経験として、頭頸部および体幹部の従来型三次元原体照射の経験を 3 年以上有する放射線腫瘍医であること。
2. 放射線治療を専ら担当する常勤の診療放射線技師
放射線治療の経験を 5 年以上有するものについては、放射線治療の経験として、頭頸部および体幹部の従来型三次元原体照射の経験を 1 年以上有すること。
3. 放射線治療における機器の精度管理、照射計画の検証、照射計画補助作業等を専ら担当する者（診療放射線技師その他の技術者等）
放射線治療の臨床現場における機器の精度管理、照射計画の検証、照射計画補助作業等の経験を 1 年以上有すること。尚、医療機器安全管理の観点からも、IMRT のスタッフとして、医師と照射に直接携わる診療放射線技師の他に、1 名以上の放射線治療に関する機器の精度管理等を専ら担当する常勤の者（診療放射線技師、放射線治療品質管理技術者）、および 1 名以上の常勤の医学物理技術者がいることを推奨する。

付記

放射線治療品質管理技術者：放射線治療の研修体制及び審査制度を設けている団体が行う専門性に関する認定を受け、放射線治療にあたる医師と共同で、専ら放射線治療の品質管理に当たる者

医学物理技術者：放射線診療の審査制度を設けている団体が行う専門性に関する認定を受け、放射線治療にあたる医師と共同で、物理工学の基盤をもとに専ら放射線治療計画および品質管理の立案・支援に当たる者

推奨資格：

医師：放射線科専門医（治療）、日本放射線腫瘍学会認定医

診療放射線技師：日本放射線腫瘍学会認定技師、放射線治療専門技師

放射線治療品質管理技術者：放射線治療品質管理士

医学物理技術者：医学物理士

IMRT 施行における医学物理的 QC/QA

IMRTの施行に際しては、直線加速器、三次元治療計画装置の保守管理、品質保証用測定装置の整備、スタッフのトレーニングが必須である。また、IMRTの施行に必要な機器の精度管理に関する各施設の指針が策定されており、実際の線量測定等の精度管理が当該指針に沿って行われていなければならない。そのため、コンピュータ最適化法による治療計画結果の事前検証ならびにその検証結果などを症例ごとに文章または図表にて保存する必要がある、必要に応じて外部調査などの公開要請に応えられるようにしておかなくてはならない。

これらのQC/QAの詳細に関しては、日本放射線腫瘍学会QA委員会より発表された多分割コリメータによる強度変調放射線治療の機器的精度確保に関するガイドライン（ver. 1）に従うことを推奨する。尚、従来型MLCを用いる方法以外で同ガイドラインに当てはまらない部分は適宜準拠のこと。

IMRT 施行における臨床的 QC/QA

IMRTでは、線量投与の自由度が極めて高い。このため、適切な治療計画を立案すれば、従来法による治療と比較して臨床上の利点が多い治療が提供できる。しかしながら、逆方向治療計画を用いた計画立案には多くの知識・経験を要し、適切な治療計画立案は必ずしも容易ではなく、場合によっては臨床上患者に不利益な計画を意図せず立案してしまう危険性もはらんでいる。

したがって、治療対象疾患においては従来型の放射線治療法に対するIMRTの優位性の検討を十分に行い、臨床プランで採用したターゲット並びにリスク臓器線量の妥当性に関する事前検討結果を文書で保存する必要がある。さらに、立案された治療計画に対応する患者固定法や治療関連エラー修正法の妥当性については、放射線腫瘍医、診療放射線技師および医学物理技術者の共同責任のもとで検討しその結果を保存すべきである。また、個々の症例に対する治療計画に関する記録を照射録に保存することが必要である。

IMRTによる総線量増加、標的体積内の1回線量増加部分の許容、治療期間短縮などが治療成績向上に結びつくか、安全性の確保が可能かについては明確ではない場合が多い。このような場合にはIMRTの臨床適応は慎重に行い、必要に応じて倫理審査委員会の審査を受けた臨床試験の形態をとることが望ましい。

おわりに

IMRT は発展途上の技術であり、わが国における臨床経験の蓄積も十分ではない。したがって、本ガイドラインは作成時点の知見に基づいて作成されており、将来の技術開発または臨床データの蓄積により本ガイドラインの改定が必要になると考えられる。

強度変調放射線治療（IMRT）ガイドライン ワーキンググループ

グループ長	西村恭昌	近畿大学放射線腫瘍科
	大西 洋	山梨大学放射線科
	白土博樹	北海道大学放射線科
	中川恵一	東京大学放射線科
	平岡真寛	京都大学放射線治療科
	幡野和男	千葉県がんセンター放射線治療部
	溝脇尚志	京都大学放射線治療科

参考資料

保医発第 0305003 号

第83の2 強度変調放射線治療（IMRT）

1 強度変調放射線治療（IMRT）に関する施設基準

- (1) 放射線科を標榜している保険医療機関であること。
- (2) 放射線治療を専ら担当する常勤の医師が2名以上配置されており、このうち1名は放射線治療の経験を5年以上有する者であること。なお、当該放射線治療の経験を5年以上有する者は、放射線治療専任加算、外来放射線治療加算、直線加速器による定位放射線治療に係る常勤の医師を兼任することができる。
- (3) 放射線治療を専ら担当する常勤の診療放射線技師（放射線治療の経験を5年以上有するものに限る。）が1名以上配置されていること。なお、当該常勤の診療放射線技師は、放射線治療専任加算、外来放射線治療加算、直線加速器による定位放射線治療に係る常勤の診療放射線技師を兼任することができる。
- (4) 放射線治療における機器の精度管理、照射計画の検証、照射計画補助作業等を専ら担当する者（診療放射線技師その他の技術者等）が1名以上配置されていること。なお、当該担当者は、直線加速器による定位放射線治療に係る担当者を兼任することができる。
- (5) 強度変調放射線治療（IMRT）を年間10例以上実施していること。
- (6) 当該治療を行うために必要な次に掲げる機器、施設を備えていること。

ア直線加速器

イ治療計画用CT装置

ウインバースプラン（逆方向治療計画）の可能な三次元放射線治療計画システム

エ照射中心に対する患者の動きや臓器の体内移動を制限する装置

オ平面上の照射強度を変化させることができる装置

カ微小容量電離箱線量計又は半導体線量計（ダイヤモンド線量計を含む。）及び併用する水ファントム又は水等価個体ファントム

キ二次元以上で相対的な線量分布を測定・比較できる機器

- (7) 当該保険医療機関において、強度変調放射線治療（IMRT）に関する機器の精度管理に関する指針が策定されており、実際の線量測定等の精度管理が当該指針に沿って行われているとともに、公開可能な精度管理に係る記録が保存されていること。

画像誘導放射線治療臨床導入のためのガイドライン
(略称：IGRT ガイドライン)

2010年9月23日

日本医学物理学会
日本放射線技術学会
日本放射線腫瘍学会

五十音順

1. はじめに

2010年4月に画像誘導放射線治療(Image Guided Radiation Therapy: IGRT)が保険収載された。IGRTにより従来の放射線治療と比較し、標的に対して正確な照射が可能となる。また、PTV マージンを縮小でき、正常組織への線量を低減することが可能となる。

一方、IGRTは複数の装置を連携することで実現できる技術であるため、放射線治療管理システムへの照合画像・位置情報の登録や、位置照合装置のQA/QCが適切に行われなかった場合、誤った位置照準となり、治療成績の低下や有害事象を引き起こす危険性がある。また、位置照合画像を撮像する際の被ばくによる二次発がんリスクの増加をもたらす可能性がある。したがって、IGRTを実施するためには、物理・技術・臨床の各面から十分な検討や検証が必要である。また、診療報酬の算定にあたっては、良識に基づいた加算が行われなければならない。

各施設でIGRTを安全に臨床導入するために、関係する3学術団体の協議により本ガイドラインを策定した。

2. IGRTの定義

IGRTとは2方向以上の二次元照合画像、または三次元照合画像に基づき、治療時の患者位置変位量を三次元的に計測、修正し、治療計画で決定した照射位置を可能な限り再現する照合技術を意味する。診療報酬上は、「IGRTとは毎回の照射時に治療計画時と照射時^{注1}の照射中心位置の三次元的な空間的再現性が5mm以内であることを照射室内で画像的に確認・記録して照射する治療のことである」とされ、厚生労働省が定める施設基準を満たす場合に体外照射の診療報酬に加えて算定できる。

注意事項として、IGRTを用いた場合、最終的な照射位置は画像照合の結果から決定されるが、患者体位のねじれを修正することは困難であるため、従来通りレーザー照準器を利用した位置合わせを行い、患者体位の再現性を高める必要がある。また、最終的な位置照合結果の判断は医師によって行われる必要がある。なお、IGRT加算を算定できるのは、同照合技術が照射期間を通じて毎回の照射時に施行される放射線療法に限るものであり、そのような治療方法が必要な症例にのみ算定可能である。

診療報酬上、IGRTを施行するにあたって、本ガイドラインでは以下に示す機器的要件、人的要件を満たすことを推奨する。

注1：照射直前を意味すると本ガイドラインは解釈する。

3. IGRT として認められる機器的要件

位置照合装置が放射線照射装置と同室に設置されており、その位置照合装置は骨格、基準マーカ、臓器の輪郭を基に患者位置変位量を計測するための照合画像を取得できるシステムであること。さらに、ソフトウェアなどを用いて基準画像と照合画像を比較し、治療寝台移動量を計測できること。

照合画像を取得する装置としては以下の装置があげられる。

- (a) 2方向以上の透視が可能な装置
治療室内設置の装置、放射線照射装置に付属の撮影装置
- (b) 画像照合可能な CT 装置
治療室内に設置された CT 装置、放射線照射装置に付属のコーンビーム CT 撮影装置
- (c) 画像照合可能な超音波診断装置

※診療報酬上の加算可能技法として、直線加速器を用いた定位放射線治療において固定精度を保証するために用いられている画像誘導手法を踏襲するため、照射室内にておいて EPID(electronic portal imaging device)などを用いて撮影された2方向以上のポータル画像(portal image)によって、治療計画時と照射直前時の照射中心位置の三次元的な空間的再現性が5ミリメートル以内であることを証明できる方法を許容する。

4. IGRT 施行に関する施設・人的要件

診療報酬の要件として規定されているように、厚生労働省保険局医療課長通知（保医発 0305 第 3 号平成 22 年 3 月 5 日）に記載の施設基準を満たす必要がある。また、これに加え、以下の人的体制を構築することを推奨する。なお、それぞれの担当責任者を兼任することは避けるべきである。

4.1 放射線治療を専ら担当する常勤の医師

放射線治療の経験を5年以上有する者については、その経験の内に「三次元放射線治療計画装置を用いた放射線治療^{注2}」の経験を3年以上有すること。

4.2 放射線治療を専ら担当する常勤の診療放射線技師

放射線治療の経験を5年以上有する者については、その経験の内に「三次元放射線治療計画装置を用いた放射線治療^{注2}」の経験を1年以上有すること。この職種は、業務の安全性の観点から放射線治療を専任^{注3}するのではなく、専従^{注4}することが望ましい。

4.3 放射線治療における機器の精度管理、照射計画の検証、照射補助作業等を専ら担当する者

医療機器安全管理の観点から、IGRT のスタッフとして、医師と照射に直接携わる診療放射線技師の他に、放射線治療に関する機器の精度管理等を専ら担当する1名以上の常勤の「診療放射線技師または放射線治療品質管理士^{注5}」、および1名以上の常勤の医学物理士^{注6}がいることを推奨する。これら2つの職種は、業務量の観点から放射線治療に専任^{注3}するのではなく、専従^{注4}することが望ましく、また放射線治療の臨床現場における機器の精度管理、照射計画の検証、照射計画補助作業等の経験を1年以上有すること。

注2：ICRU Report 50, 62 に準拠した適切な輪郭設定を行った放射線治療。

注3：当該療法の実施を専ら担当していることをいう。この場合において、「専ら担当している」とは、担

当者となっていればよいものとし、その他診療を兼任していても差し支えないものとする。ただし、その就業時間の少なくとも5割以上、当該療法に従事していること。

注4：当該療法の実施日において、当該療法に専ら従事していることをいう。この場合において、「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、当該療法に従事していること。

注5：放射線治療の品質管理に関する研修体制および審査制度を設けている団体が行う専門性に関する認定を受け、放射線治療にあたる医師と共同で、専ら放射線治療の品質管理に当たる者。

注6：放射線診療の審査制度を設けている団体が行う専門性に関する認定を受け、放射線治療にあたる医師と共同で、医学物理学の基盤をもとに専ら放射線治療計画および品質管理の立案・支援に当たる者。

【推奨資格】

医師	： 日本放射線腫瘍学会が認定した認定医または日本医学放射線学会が認定した放射線科専門医（治療） 上記については、今後、日本放射線腫瘍学会および日本医学放射線学会が共同認定する放射線治療専門医に順次読み替えを行う。
診療放射線技師	： 日本放射線治療専門放射線技師認定機構が認定した放射線治療専門放射線技師、日本放射線腫瘍学会が認定した認定放射線治療技師
精度管理等を専ら担当する者	
診療放射線技師	： 同 上
放射線治療品質管理士	： 放射線治療品質管理機構が認定した放射線治療品質管理士
医学物理士	： 医学物理士認定機構が認定した医学物理士

5. IGRT 施行における物理・技術的 QA/QC

IGRT の施行に際しては、放射線照射装置、位置照合装置、三次元治療計画装置の QA/QC 用測定機器の整備、スタッフのトレーニングが必須である。診療報酬の要件としても規定されているように、当該保険医療機関において、IGRT に関する手法と機器の精度管理に関する指針が策定されており、実際の IGRT の精度管理が当該指針に沿って行われているとともに、公開可能な実施記録と精度管理に係る記録が保存されなければならない。

位置照合装置によって得られる患者移動量には、患者自身の位置誤差に加えて、照合装置の位置の不確かさが含まれることに注意が必要である。位置照合装置の位置精度が不十分であれば、位置照合結果の信頼性が失われてしまうため、照合系座標中心と照射系座標中心の一致^{注7}を担保しなければならない。

IGRT では照合画像による患者位置照合の結果から照射位置を決定するため、患者位置合わせの基準点は照合系座標中心となる。これは従来の照射室レーザー照準器に代わるものである。しかし、患者体位の再現性向上のためにレーザーによる位置合わせが重要であると同時に、IGRT の精度検証には照射室レーザー照準器を使用するため、従来通りレーザー照準器の位置精度を確認することが、照射位置精度を担保することにつながる。具体的には、照射室レーザー照準器照準点を照射系座標中心に一致^{注7}させ、次に照射室レーザー照準器を利用して、照合系座標中心を照射系座標中心に一致^{注7}させる。この両座標系の幾何学的位置誤差が最小となるようなコミッショニングと QA/QC を実施する。

両座標系中心の幾何学的位置誤差に加えて、照合に用いる DRR の画質や超音波診断装置で用いる輪郭情報など、いずれも CT 撮影条件（スライス厚、ピッチなど）と位置照合結果を算出する付属の解析ソフトウ

エアの特性に依存して最終的な位置合わせの不確かさに影響が及ぶことに留意しなければならない。

使用する患者位置固定具や位置照手法に依存する施設の位置照合の不確かさは治療計画で設定する PTV マージンに反映させなければならない。また、IGRT では従来の PTV マージン設定とは異なり、計画位置と最終患者位置との残差や治療中の患者の動きなどのデータから算出した根拠ある PTV マージンを設定することを推奨する。さらに、位置照合結果を患者毎に管理した上で、集積したデータを解析し、PTV マージンの再評価を定期的に行うことを推奨する。

IGRT に関する QA/QC に関しては、日本放射線腫瘍学会 QA 委員会より発表された体幹部定位放射線治療ガイドラインが参考になるが、国内において、IGRT に特化した詳細なガイドライン・参考資料等は存在しない。そのため、国内外の文献等を参考にし、下記の項目の品質が保証されるように各施設で独自の QA/QC プログラムを作成することを推奨する。

注7：強度変調放射線治療や定位放射線治療を行う上で IGRT を実施する場合には、各座標中心間の一致度の精度は 1mm 以内とするべきである。

【QA/QC プログラムや IGRT 実施指針に含むことが望まれる内容】

- a) レーザー照準器の位置精度に関する項目
- b) 位置照合装置の位置精度に関する項目
- c) 位置照合装置と放射線照射装置の両座標系の整合性に関する項目
- d) 位置照合装置の機械的接触防止インターロックに関する項目
- e) 位置照合装置の画質に関する項目
- f) 位置照合装置の被ばく線量に関する項目
- g) 位置照合解析ソフトウェアに関する項目
- h) 治療寝台移動の位置精度に関する項目
- i) 位置照合装置と放射線治療管理システムとの通信の信頼性に関する項目

6. IGRT 施行における臨床的 QA/QC

IGRT は従来の位置照手法と比較して、その撮影頻度や被ばく線量が増加することが懸念される。そのため、患者位置照合による位置精度向上の有効性と、被ばく線量の増加によるリスクを考慮して臨床使用するとともに、ALARA(as low as reasonably achievable)の原則に従うものとする。不必要な頻回の撮影、特に CT 撮影を頻回に実施することは、患者の被ばく線量の大幅な増加につながる。このため、IGRT は毎回の治療で厳しい位置精度が求められる症例に対して実施されることが推奨される。また、位置照合装置による被ばく線量は装置使用開始前の検証対象となり、定期的な品質管理項目として実施しなければならない。この被ばく線量は位置照合装置の種類と方法により異なるため、本ガイドラインではその拘束値を示さないが、国内外の文献などを参考に評価を行うことを推奨する。

7. IGRT に関与する職種における役割

IGRT を実施するにあたり、各職種の役割について示す。

7.1 医師

- a) 放射線治療の実施に関するインフォームドコンセントに加え、IGRT を実施することの有効性とリスクについて患者に対して説明する。
- b) 治療計画（治療計画用 CT 撮影も含む）を実施する前に IGRT を実施する上で必要な患者情報を他職種に伝達する。
- c) IGRT が適切に実施されているか監督する。
- d) IGRT の空間的精度について把握する。
- e) 患者位置照合において位置変位量が許容範囲にあるか判定する。
- f) 患者位置照合による被ばく線量について把握し、確認する。
- g) IGRT に関する QA/QC の結果について他職種と協議、評価し、その結果を承認する。
- h) 施設データに基づく適切な PTV を設定する。

7.2 診療放射線技師

- a) 位置照合装置と患者位置固定具について、それらの特性を理解して使用する。
- b) 位置照合画像を取得する。
- c) 位置照合結果を記録する。
- d) 位置照合装置に不具合が生じた場合、精度管理を専ら担当する者へ報告し、協同してシステムの復帰および安全管理を実施する。

7.3 精度管理等を専ら担当する者

- a) IGRT に関するソフトウェアおよび装置の幾何学的な精度を保証する。
- b) IGRT に関する品質管理プログラムを策定、実行、評価する。またその実施記録を管理する。
- c) 位置照合装置に不具合が生じた場合、システムの復帰および安全確認の実施において、先導的役割を果たす。
- d) IGRT 実施のためのマニュアルを他職種と協力して策定し、遵守する。
- e) 位置照合による被ばく線量について評価する。
- f) 患者位置照合結果から PTV マージンを計算する。
- g) 位置照合装置と放射線治療管理システムとの通信の動作確認をする。

8. おわりに

IGRT は発展途上の技術であり、わが国における臨床経験の蓄積は十分とはいえない。したがって、本ガイドラインは作成時点の知見に基づくものであり、将来の技術開発または臨床データの蓄積により本ガイドラインの改定が必要になると考える。

画像誘導放射線治療(IGRT)ガイドライン ワーキンググループ

【執筆メンバ】

大西 洋	山梨大学	(日本放射線腫瘍学会)
熊崎 祐	埼玉医科大学	(日本医学物理学会)
黒岡 将彦	神奈川県立がんセンター	(日本医学物理学会)
齋藤 秀敏	首都大学東京	(日本放射線腫瘍学会)
隅田 伊織	大阪大学	(日本放射線腫瘍学会)
高倉 亨	京都大学	(日本放射線技術学会)
遠山 尚紀	千葉県がんセンター	(日本医学物理学会)
中川 恵一	東京大学	(日本放射線腫瘍学会)
成田 雄一郎	青森県立中央病院	(日本医学物理学会)
西尾 禎治	国立がん研究センター東病院	(日本医学物理学会)
保科 正夫	群馬県立県民健康科学大学	(日本放射線技術学会)
松尾 政之	木沢記念病院	(日本放射線腫瘍学会)
三津谷 正俊	仙台総合放射線クリニック	(日本放射線技術学会)

50 音順

【第三者評価】

QA/QC 委員会	(日本医学物理学会)
放射線治療分科会	(日本放射線技術学会)
ガイドライン委員会	(日本放射線腫瘍学会)

強度変調放射線治療における物理・技術的ガイドライン 2011

(略称：IMRT 物理技術ガイドライン)

平成 23 年 4 月 26 日 日本放射線腫瘍学会理事会承認

作成

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)

目 次

1.	はじめに	1	3-5	放射線治療品質管理体制の整備	5
1-1	ガイドラインの目的	1			
1-2	IMRT の定義	1	4.	治療装置	6
2.	IMRT の臨床導入	1	4-1	MLC を用いた IMRT におけるコミッショニング項目と QA/QC 項目	6
2-1	IMRT システム導入前の準備期間	2	4-1-1	IMRT ビームの物理特性の理解と臨床使用条件の決定	6
2-2	IMRT システム導入後の基礎的準備期間	2	4-1-2	MLC の機械的位置精度の確認事項	7
2-3	IMRT 臨床導入に向けた本格的準備期間	3	4-2	その他の強度変調技術を用いた IMRT における確認事項	9
2-4	IMRT 開始初期段階で達成すべきその他の事項	3	4-2-1	MLC を用いた Rotational IMRT	9
2-4-1	線量検証システム構築に関する事項	3	4-2-2	物理的補償フィルタを用いた IMRT	10
2-4-2	患者固定, 位置照合, マージン設定に関する事項	3	4-2-3	バイナリコリメータを用いた IMRT	10
3.	治療体制	4	4-2-4	ロボット型治療装置を用いた IMRT	11
3-1	人員体制	4	5.	治療計画装置	12
3-2	教育体制	5	5-1	IMRT を実施するために登録が必要な治療計画装置のパラメータ	13
3-3	測定機器の整備	5	5-1-1	小照射野の出力係数と線量プロファイル	13
3-4	装置の整備	5			

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

5-1-2	MLC 端部のモデリングに関するパラメータ	13		
5-1-3	MLC からの透過線量に関するパラメータ	13	8.	線量検証
5-1-4	tongue & groove 効果	14	8-1	線量検証の必要性
5-1-5	その他	14	8-2	線量検証の定義と分類
5-1-6	パラメータ登録に関する注意事項	14	8-3	推奨線量検証項目
5-2	コミッショニングの手順	14	8-4	線量検証時の一般的注意事項
5-3	線量精度を担保できる治療計画の理解	14	8-5	検証ファントム
5-4	治療計画装置の品質保証	15	8-6	評価点線量検証
			8-6-1	電離箱線量計
6.	付属機器	15	8-7	線量分布検証
6-1	治療計画 CT 装置	15	8-7-1	フィルム
6-1-1	一般的確認事項	15	8-7-2	多次元検出器
6-1-2	CT 値－相対電子濃度変換テーブル	15	8-7-3	EPID
6-2	位置照合装置	16	8-7-4	独立線量検証
6-2-1	照射位置精度	16	8-8	線量検証時の評価基準
6-2-2	被ばく線量	16	8-8-1	評価基準
6-3	その他	16	8-8-2	評価基準の理論的背景
			8-8-3	低線量領域の評価法
7.	治療計画	16	8-9	線量検証結果の保存
7-1	患者固定	17	8-10	IMRT 治療開始後における注意点
7-1-1	一般的注意事項	17	8-11	検証結果に誤差が生じた場合の対処法
7-1-2	各治療部位における注意事項	17		
7-1-3	呼吸性移動等のある部位への IMRT	17	9.	位置照合
7-2	計画 CT 画像の取得	17	9-1	放射線治療による位置変位の理解と対応
7-2-1	撮影条件	17	9-2	位置照合装置
7-3	計画の立案	18	9-3	位置照合の頻度
7-3-1	最適化過程におけるパラメータ設定	18	9-4	前立腺 IMRT の位置照合
7-3-2	線量計算アルゴリズム	18	9-5	頭頸部 IMRT の位置照合
7-3-3	線量計算グリッド	18	9-6	その他の部位の IMRT の位置照合
7-3-4	CT 画像におけるアーチファクト	19		
7-3-5	ダミー輪郭	19	10.	臨床開始前の確認
7-3-6	マージン	19	10-1	リハーサル
7-3-7	立案計画の評価	19	10-2	診察から治療開始までのスケジュール
7-4	ファイルの転送, 登録, 確認	19		
7-5	治療計画結果の保存	20	文 献	29

1. はじめに

強度変調放射線治療 (intensity modulated radiation therapy: IMRT) は 1994 年から欧米において臨床応用が開始され、本邦においては 2000 年秋頃から臨床導入された。当時、全国で 7 施設 (北大、札幌医大、東北大、千葉がん、京大、近大、天理よろず) で開始されたが、ほとんどの施設が米国の先行施設における見学や研修を通じ IMRT の原理、治療計画 (輪郭描出、線量計算) および品質保証/品質管理 (quality assurance/quality control: QA/QC) を学び、十分なリハーサルを積んだ上で慎重に臨床導入に移行した。しかし、各施設で使用する治療計画装置、治療装置およびそれらの組み合わせが異なるため、施設独自の方法で治療を開始した。こうした状況の中、2004 年 9 月に先行して IMRT を開始した施設が中心となって日本放射線腫瘍学会 QA 委員会から「多分割コリメータによる強度変調放射線治療の機器的精度確保に関するガイドライン (Ver. 1)」¹⁾が発表された。

その後、IMRT は治療装置および治療計画装置の進歩とともに発展し、現在ではさまざまな手法で実施されている。診療報酬では、2006 年に先進医療として承認され、2008 年には頭頸部腫瘍、前立腺腫瘍および中枢神経腫瘍に対して保険適用となり、IMRT 実施施設も 60 施設を超えるようになった。さらに、2009 年には上記 3 部位以外への IMRT が先進医療として認められ、2010 年 4 月からは、限局性の固形悪性腫瘍の患者に対しての IMRT が保険適用となった。

IMRT 実施施設の増加・適応症例の拡大に伴い、これまでのガイドラインでは不十分な点も多く認められるようになり、現状に即した内容への改訂が必要となった。そこで今回、IMRT 実施施設の医師、診療放射線技師、医学物理士および放射線治療品質管理士などの知見と経験から新たなガイドラインを作成した。QA 委員会の下にガイドライン作成小委員会を設置し、この委員および協力者で原案を作成、QA 委員会にて確認後、ガイドライン委員会の審査を受け、理事会にて承認された。IMRT におけるガイドラインとしては、臨床的 QA に係るものと物理・技術的 QA に係るものの二つに分けられるが、本ガイドラインは物理・技術的 QA を中心にまとめたものである。参考文献はガイドライン作成に当たり、根拠となるもの、参考にしたもの、IMRT 実施者が参考にすべきものを各執筆者が選択した。また、本ガイドラインは、執筆者のコンセンサスにより作成された。

1-1 ガイドラインの目的

本ガイドラインは、既に IMRT を臨床導入した施設や、これから新たに開始しようとしている施設の医師、診療放射線技師、医学物理士、放射線治療品質管理士らに適切な理論と方法の指標となることを目的とした。これにより、品質保証された IMRT の普及を促すことにある。

1-2 IMRT の定義

IMRT とは、「リスク臓器等に近接する標的への限局的な照射において、空間的・時間的に強度変調を施した線束を利用し、逆方向治療計画にてリスク臓器等を避けながら標的形状と一致した最適な三次元線量分布を作成し治療する照射療法」と定義する。ただし、診療報酬の算定は、IMRT 照射技術の多様化に対応し、以下の照射方法を用いて照射した場合とする。

- ・ 3 種以上の強度変調を施した線束を利用し、3 方向以上の照射角度から照射する方法
- ・ 強度変調を施した線束を利用し、運動しながら照射する方法
- ・ 照射中心を持たない多数のナロービームを利用し、強度変調を行い集光的に照射する方法

2. IMRT の臨床導入

IMRT は照射技術の複雑さから、従来の外部照射のための QA/QC ガイドラインでは安全性を担保できない。さらに、安全性を担保するために多大な労力を要するため、従来の通常治療のためだけの人員体制では、十分な IMRT の導入準備や

QA/QCの実施が困難である。診療報酬で定められているIMRTの施設基準は安全なIMRTを提供するために必要最低限な規定となっている。よって、施設ごとに人員体制を中心とした治療体制を整備し、適切に品質保証された状況で実施されなければならない。詳細は第3章で述べる。

IMRTは治療装置、治療計画装置および付属機器のQA/QCや治療計画、線量検証、位置照合などの日常業務もさることながら、実際にはIMRT臨床導入に至るまでの期間が重要であり、最も労力を要する過程である。この過程で必要な作業を適切に実施できれば、治療開始後の日常業務は正しく設定された手順に従って実施できる。治療装置、治療計画装置、付属機器、治療計画、線量検証、位置照合の詳細、および臨床開始前の確認については第4章以降で述べる。

本章では、各施設でIMRTを臨床導入するために必要な期間と準備項目について述べる。

2-1 IMRTシステム導入前の準備期間

IMRTを開始するためには、IMRTシステムを導入する準備を含めて1~2年程度の比較的長い準備期間が必要となる。IMRTシステムとは、IMRTを実施するために必要な治療装置、治療計画装置、位置照合装置、測定機器、固定具等をいう。また、それらと人員を中心とした治療体制を含めたシステム全体をいう場合もある。

準備期間に実施すべきことは、単に機器的な整備を行うだけでなく、IMRTの安全な臨床導入と運用を見据えた適正な人員配置を整備することである。また、従事する人員を教育または育成する期間でもあり、IMRTに関する知識、技術を習得する期間ととらえなければならない。さらに、治療装置、治療計画装置のコミッショニング^{注1)}に要する期間²⁾は、放射線治療品質管理機構からの報告を参照し、十分な期間を確保しなければならない。

この期間で実施すべき事項

① 治療体制の整備

医学物理士、放射線治療品質管理士などの人材の雇用、育成などにより適正な人員配置を行う。QA/QCを実施するための測定機器を整備する。安全な放射線治療を提供可能な治療体制を構築する。

② IMRTに関する情報収集

論文や書籍等を参考にIMRTに関する知識を習得する。

③ IMRTに係る技術習得のための研修への参加

治療計画法、線量検証法および品質管理業務などの技術を習得するために、IMRT実施施設や国内外で実施される研修へ参加する。

④ IMRT線量検証、QA/QC機器の習熟

⑤ 施設の治療状況にあったIMRTシステム導入の計画、立案および実施

2-2 IMRTシステム導入後の基礎的準備期間

IMRTシステムの導入後は、IMRTを臨床で開始するための準備期間として、半年から1年程度の期間が必要となる。治療計画装置のための基本ビームデータの取得、治療計画装置のコミッショニング、システム全体のQA/QCのための基準値取得等もこの期間で実施する。通常治療を既に実施している施設では、IMRTのために、それらすべてを改めて実施する必要はないが、治療計画装置に登録されているビームデータが現在の治療装置の特性を反映しているかの確認が必要である。既に治療計画装置に基本ビームデータが登録されていても、IMRTに対応したコミッショニングが追加が必要となる。また、マルチリーフコリメータ (multi-leaf collimator: MLC) などの強度変調器については、既に導入されているものでも

注1) コミッショニングとは、受入試験後に、臨床で使用するすべての機能について、その動作および性能の確認を行うことである。コミッショニングで得られた性能は、導入後のQA/QCにおいて比較のための基本データとなる。さらに臨床での使用開始までに、手順書、プロトコル、説明書、必要なデータ等を準備することもコミッショニングに含まれる¹⁾。

治療計画装置に登録する幾何学および線量的パラメータの追加登録や、再コミッショニングが必要となる場合がある。

新規導入 IMRT システムに対し実施すべき事項

- ① 納入業者との IMRT システムの受け入れ試験の実施
- ② 治療装置、治療計画装置の通常治療のためのコミッショニング
QA/QC のための基準値の取得、基本ビームデータの取得、治療計画装置への登録、ビームモデリング、線量検証
- ③ MLC などの強度変調を施す機器に関する治療計画装置に登録すべきデータの取得と検証

既に IMRT 実施可能なシステムを導入している施設で実施すべき事項

- ① 治療装置の機器的特性の再コミッショニング
- ② 治療計画装置に登録してある基本ビームデータ、MLC に関する登録データの再コミッショニング
- ③ MLC などの強度変調を施す機器に関する治療計画装置に登録すべきデータの取得と検証

2-3 IMRT 臨床導入に向けた本格的準備期間

この期間は IMRT 治療計画の習熟や、線量検証および QA/QC プログラムを確立させる期間である。IMRT システムの最終的なコミッショニングは、実際に患者データを用いたリハーサルを経て完了するが、このリハーサルを実施することによって、治療計画装置に登録してある基本ビームデータおよび MLC パラメータを最終確認し、線量および幾何学的線量的位置的精度が確保されていることを確認する。新規に IMRT を開始する施設においては、このリハーサルを最低でも 5 症例実施することが望ましい。

この期間に実施すべき事項

- ① IMRT 治療計画の習得
- ② IMRT 線量検証法の確立
- ③ IMRT 実施のための QA/QC 体制の構築（役割、責任分担の確認、実施頻度の設定）
- ④ IMRT 実施のための施設独自の QA ガイドラインや QC マニュアル等の整備

2-4 IMRT 開始初期段階で達成すべきその他の事項

2-4-1 線量検証システム構築に関する事項

IMRT では全例事前の線量検証を実施しなければならない。しかし、線量に関する問題点は臨床導入前に解決する必要がある。具体的には、治療計画装置で計算される患者ごとの計算線量と、線量検証で測定される測定線量との間に系統的誤差が存在しないようにコミッショニングを実施する。誤差要因が治療装置や治療計画装置に起因するものであるか、または線量検証法によるものなのかを判断するために、複数の線量検証システムを利用することが望ましい。

2-4-2 患者固定、位置照合、マージン設定に関する事項

IMRT では高線量を標的に集中して照射することが可能であるが、標的に対して正確に線量を投与するには CTV に対して適切な体内マージン (internal margin: IM) と設定マージン (set-up margin: SM) を付加した PTV を設定することが重要である。IM, SM は患者固定法や位置照合法などで異なる。よって、各施設において患者固定法、位置照合法と整合性のある IM, SM を設定しなければならない^{3)・5)}。IMRT を新たに開始する施設は、新たな固定具や位置照合装置を導入し使用する場合があるが、施設ごとに IMRT で使用する固定具や位置照合方法を用いた場合の患者セットアップ誤差や、治療

中の患者の動きのデータを収集・解析し、適切な IM, SM を決定する必要がある。

3. 治療体制

IMRT を実施するためには、高精度な治療装置・治療計画装置・位置照合装置や、その出力線量や線量分布を検証するための測定機器の整備が必要であることは当然であるが、それら以上に人員配置を中心とした治療体制の整備¹⁾が重要である。治療装置等の機器が整備されれば IMRT が実施できるという安易な認識に対して、本ガイドラインは強い警告を発する。

3-1 人員体制

通常の放射線治療を実施する施設では、1 治療装置あたりの 1 日の治療人数は通常治療で 40 名以下が適当である²⁾。それ以上の治療人数の場合、安全な放射線治療の実施は困難である。1 治療装置あたり 40 名以上治療する場合は、十分なスタッフを配置しなければならない。また、患者一人あたりの照射時間が長くなる高精度放射線治療などの場合、1 治療装置あたりの 1 日の治療人数は、上記の患者数よりも少なくなる。

治療装置 1 台で、通常治療を 1 日 20~40 名実施する場合に必要な人員は、常勤の放射線腫瘍医 1 名と常勤の医師 0~1 名、常勤で放射線治療専従^{註2)}の診療放射線技師 3~5 名(少なくとも 1 名は放射線治療専門放射線技師であることを推奨する。)、常勤で放射線治療専従の看護師 1 名以上、受付担当者 1 名以上である。放射線治療照射業務を実施する場合、1 治療装置あたり 2 名以上の診療放射線技師を配置すること⁴⁾を推奨する。また、治療計画 CT 装置や X 線シミュレータを使用する場合、診療放射線技師が配置可能な体制であること、および放射線治療の品質管理業務に専任(もしくは専従)^{註2)}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。治療装置 2 台で診療実施の場合、上記に加えて、放射線治療の品質管理業務に専従する常勤の医学物理士もしくは放射線治療品質管理士を 1 名配置することを推奨する。

IMRT を実施する場合、上記の人員に加えて高精度放射線治療の品質管理業務や治療計画を補助する業務を行う者が必要である。特に IMRT 開始までには、IMRT を実施するシステム構成やプロトコルの検討(固定具、治療計画装置、治療装置、位置照合装置、測定装置、解析ソフト等)から始まり、追加のビームデータや基礎的 QA データ測定、治療計画装置の IMRT に対応したコミッショニング、IMRT 治療計画・線量検証の習熟に至るまで膨大な作業が必要となる。よって、これらの人員は IMRT システム構成を検討する段階から配置することが望ましい。通常の放射線治療照射業務、品質管理業務を担当しながら IMRT の臨床導入の準備を実施した場合、IMRT 臨床導入までに 1 年以上の時間を要する場合が多い。また、これらの業務は本来片手間で取り組むべき業務水準および業務量ではない。また IMRT の臨床導入後も、治療計画や線量検証には多大な労力を要するため、他業務との兼務では負担が非常に大きく、治療計画から治療開始までの期間を延長させる原因となる。そのため、上記の放射線治療の品質管理業務に専任(専従)する者の他に、IMRT の品質管理等を行う常勤の医学物理士または放射線治療品質管理士を専従させることを推奨する。医師については、放射線治療を専ら担当する常勤の医師が 2 名以上配置されていること。さらにそのうちの 1 名以上は日本放射線腫瘍学会および日本医学放射線学会が共同認定する放射線治療専門医であることが望ましい。また、IMRT を診療報酬として請求する場合は診療報酬上の施設基準を遵守しなければならない^{5),6)}。

注2) 専任：当該療法の実施を専ら担当していることをいう。この場合において、「専ら担当している」とは、担当者となっていればよいものとし、その他診療を兼任していても差し支えないものとする。ただし、その就業時間の少なくとも 5 割以上、当該療法に従事している必要があるものとする。専従：当該療法の実施日において、当該療法に専ら従事していることをいう。この場合において、「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、当該療法に従事していることをいう³⁾。

3-2 教育体制

IMRT を臨床導入するためには、放射線治療部門のスタッフが通常の外部照射を経験していることが必要である。通常の外部照射を実施している施設が新たに IMRT を導入する場合には、IMRT 実施施設での研修や、実習を含んだ講習会に参加し、IMRT 臨床導入に関する技術を習得する^{7), 8)}。また、IMRT の技術は日進月歩であり、IMRT 臨床導入後も継続的に知識の向上・技術の習得のために、学会・研究会への参加・学術発表、論文・勧告・ガイドラインなどによる情報収集の時間と機会を確保すべきである。

3-3 測定機器の整備

通常の外部照射を実施するために必要な測定機器は、基準線量を測定するための校正された線量計・電位計と水ファントム、線量分布を測定するための三次元水ファントムと測定機器一式、校正された温度計・気圧計、CT 値一対電子濃度変換テーブル取得用ファントムである。これらに加えて IMRT を実施するためには、小照射野の測定が可能な電離体積の小さな電離箱や半導体検出器とそれらが利用可能なファントムが必要である。さらに、二次元線量分布を確認するためのフィルム、フィルム解析装置とそれらに使用するファントムが必要である。近年では、IMRT の線量検証に電離箱や半導体を離散的に配置した多次元検出器が利用されている。これらはフィルムレス化の進む本邦において有用な検出器である。しかし、どのような測定器を使用するとしても、線量検証上の特性を十分に把握し定期的な品質管理を実施した上で利用しなければならない。

3-4 装置の整備

外部放射線治療装置、治療計画 CT 装置、治療計画装置、固定具、位置照合装置および前項で示した QA/QC のための測定機器などの導入に当たっては適切な受け入れ試験・コミッショニングを実施し、導入後は定期的な QA/QC が必要である。

受け入れ試験・コミッショニング・QA/QC のそれぞれにおいて、線量および幾何学的な精度を検証しなければならないが、IMRT を実施するためには、従来の通常治療用の検証項目と比較して、検証項目の追加や、同様の項目でもその許容値を厳しく設定する必要がある。

治療計画装置では画像入力、輪郭抽出、照射条件の設定、線量計算、線量体積ヒストグラム (Dose Volume Histogram: DVH)、データ転送等の基本性能を確認する。さらに、IMRT の場合、小照射野の出力係数、MLC 透過線量率などの MLC など強度変調器に関するパラメータのモデリング・コミッショニングが必要であり、ユーザの責任において実施しなければならない。

固定具に関しては、施設のプロトコルに従い吸引式固定具、バイトブロック式固定具、熱可塑性樹脂素材のシェル等を適切に導入する。

患者位置照合装置については、通常のポータル画像だけでなく、超音波を利用する装置、透視を利用する装置、CT を利用する装置などの高精度な位置照合を可能とするさまざまな装置が利用可能となっている。これらも施設ごとに検討し導入する。

3-5 放射線治療品質管理体制の整備

放射線治療部門は放射線腫瘍医、診療放射線技師、医学物理士、放射線治療品質管理士、看護師、受付担当者などで構成される。放射線治療部門内での役割分担を明確にし、臨床業務における情報共有を図るための定期的なカンファレンス（症例検討会等）を実施する。また、客観的に品質管理状況について判断するために、放射線治療部門（診療部門）とは独立して、放射線治療品質管理委員会^{注3)}を設置することを推奨する。この委員会は病院内医療安全対策部門と連絡を密に

注3) 放射線治療全体の観点から、専門的な知識を基に、品質管理・放射線治療の安全性の向上に関する各種の重要事項を審議し決定する機関として放射線治療品質管理委員会を組織する。委員会は、品質管理のための具体的措置や作業マ

し、放射線治療の品質管理状況を病院幹部が理解できるようにする⁴⁾。この放射線治療品質管理委員会には放射線治療部門のスタッフ以外に、関連診療科の医師、病院事務スタッフや、第三者として評価するための院外の放射線治療のQA/QCに詳しい専門家（医学物理士、放射線治療品質管理士、放射線腫瘍医など）が参加することが望ましい。

4. 治療装置

IMRTに対応した治療装置のコミッショニングやQA/QCを実施する前に、通常治療に対して十分な放射線治療の品質が担保されていないと認められない。通常治療のための治療装置のQA/QCは、日本放射線腫瘍学会QA委員会の「外部放射線治療におけるQuality Assurance (QA) システムガイドライン」¹⁾に準拠して実施することが求められる。このガイドライン以降に導入された装置、MLC、非物理ウェッジ、電子ポータル画像装置 (electronic portal imaging device: EPID)、コーンビームCT (cone beam computed tomography : CBCT) などを使用する施設については、関連する文献を参照²⁾してQA/QCを実施する必要がある。IMRTでは照射法の種類に応じて、通常治療のQA/QC項目に加えてさまざまなQA/QC項目が存在する。本章では、IMRTのコミッショニング時に実施する項目と、定期的に行うQA/QCについて、MLCを用いたIMRTとそれ以外の照射法で実施されるIMRTを治療装置別に分けて述べる。ただし、MLC搭載のリニアックを用いてガント리를回転させながら照射を行うIMRT (rotational IMRT) は後半で述べる。

4-1 MLCを用いたIMRTにおけるコミッショニング項目とQA/QC項目

4-1-1 IMRTビームの物理特性の理解と臨床使用条件の決定

従来の照射法とIMRTを比較して、照射技術の違いやMLCの動作精度が投与線量および線量分布に及ぼす影響を考慮し、従来のリニアックのコミッショニングでは不十分である項目を、IMRT導入時に追加で実施する³⁾。

4-1-1-1 SMLC IMRTとDMLC IMRTの物理的確認事項について

segmental multileaf collimator IMRT (SMLC IMRT)^{注4)}とdynamic multileaf collimator IMRT (DMLC IMRT)^{注5)}では物理的確認項目は異なり、表4.1のようにまとめられる。

SMLC IMRTは極小で複雑な形状のセグメントを多用し、セグメントのつなぎ目が標的内に多数存在するため、セグメントを形成するMLCの位置精度管理が従来の治療技術と比較してより重要となる。さらにDMLC IMRTでは照射中にMLCが常時動作しているため、MLCには安定した動作が求められる。

表 4.1 SMLC および DMLC IMRT の物理的確認項目

	SMLC	DMLC
リニアック	低 MU 値の線量精度 (出力安定性・再現性・対称性)	線量率の出力安定性
MLC	位置精度確認 MLC 透過線量	位置精度確認 MLC 透過線量 連続動作安定性

ニューアル、職員研修、その他関連事項全般のことを検討し決定する。品質管理上の各種の情報は、最終的には放射線治療品質管理委員会での検討に付され、具体的な品質管理、質の向上に反映されていくことが必要である。

注4) 照射野形状 (セグメント形状) が照射中一定で、照射停止中に形状が変化する方法。step & shoot や stop & shoot とも呼ばれる。

注5) 照射野形状が照射中に変化する方法。

4-1-1-2 低 MU 値ビームの線量精度

SMLC IMRT では低 MU 値のセグメントを多用し強度変調分布を形成する。低 MU 値のビームは線量プロファイル形状、線量直線性や再現性において通常治療条件のビームとは異なる性質を有するため、通常治療のための QA/QC のみでは SMLC 方式で使用される 10 MU 以下での出力精度は保証されない^{4),5)}。したがって SMLC IMRT 導入時は、低 MU 値条件での出力安定性、再現性、対称性を検証しなければならない。IMRT を実施するための低 MU 値ビームに要求される精度として、出力安定性およびプロファイル対称性について ± 2.0 % を推奨する⁶⁾。再現性について言及した文献は見あたらないが、通常治療の QA/QC プログラム¹⁾の基準である変動係数で ± 0.5 % 以内を満たすことが望ましいと考える。

4-1-1-3 線量率の設定

SMLC IMRT で多く使用される 10 MU 以下のビームでは、その出力精度に注意が必要であることを上述した。これはモニタ線量計と電子銃などのビーム制御系との間に働くフィードバック機構が安定して動作するまでに、一定の時間を要することや、モニタ線量計の端効果やビーム遮断時に発生する暗電流などが原因である⁷⁾⁻⁹⁾。これらの影響を軽減するために、低い線量率による照射が有効である。また低 MU 値のセグメントでは、上記の要因による線量精度が低下するため、治療計画時に極端に低い MU 値のセグメントを作成しないように注意する。

DMLC IMRT で高い線量率を設定した場合、照射 MU 値と MLC 移動距離の関係によっては MLC 速度が限界に達することでビームを遮断する現象 (beam hold off) が生じ、線量分布や出力線量の誤差の原因となる¹⁰⁾⁻¹²⁾。

以上のように、SMLC、DMLC いずれの方式においても、治療時間の短縮のために高い線量率を使用して IMRT を実施することは、投与線量の精度が担保できない可能性があるため避けるべきである。

4-1-1-4 MLC からの透過線量

MLC からの透過線量は、①リーフ自体を透過する放射線、②隣接するリーフ間を透過する放射線、③リーフ先端部分を透過する放射線に分類される。①および②による透過線量は、それぞれ intraleaf (mid-leaf) transmission, interleaf transmission と呼ばれ、フィルムや線量計を用いて、オープン照射野に対する線量比として評価する。③は leaf end transmission と呼ばれ、リーフ先端部分が円弧状の MLC^{注6)}で形成された照射野に線束が入射する際、leaf 先端部分を透過して被照射体へ到達する線量のことを指し、光照射野と X 線照射野との間に相違を生じる原因となる。leaf end transmission の線量測定の方法には幾つかの方法が提唱されており、複数の方法で評価することを推奨する^{13),14)}。

4-1-2 MLC の機械的位置精度の確認事項

4-1-2-1 MLC 位置精度

MLC の位置精度は、アイソセンタを基準とした MLC の位置を示す絶対位置と、向かい合う MLC の間隔を示す相対位置とに分類される。絶対位置はガントリヘッドへの MLC キャリッジの組み付け精度不良や、ガントリを水平に倒した場合の自重などによって変位が生じ、一方、相対位置は個々の MLC 駆動モータの劣化で変位が生じるため、両者の MLC 位置精度の確認が重要となる。MLC キャリッジは MLC バンクとも呼ばれ、MLC がガントリヘッドに取り付けられている構造部を指す。

IMRT の線量精度は、MLC の位置精度のみならず治療計画装置の特性が影響を及ぼすため、すべてのリニアックで統一

注6) MLC の形状は double focused type と single focused type の 2 つがある。double focused type はリーフ端と側面の 2 面がビーム線錘に対して平行に接するような形状をしているが、single focused type はリーフ側面の 1 面のみがビーム線錘に対して平行となっている。この形状の違いにより double focused type が円弧上の軌道で動くのに対して、single focused type の場合は MLC がリニアックのガントリヘッド内を直線軌道で動く。このため single focused type では、半影サイズが照射野中心からの距離に依存しないようリーフ端が円弧状となっている (rounded end leaf)。

した MLC 位置精度の許容値を設定するのは困難である。自施設の MLC の動作特性を十分に把握し、IMRT の線量分布や絶対線量の精度が担保できるような許容レベル (tolerance level) ^{注7)} や介入レベル (action level) ^{注8)} を、施設ごとに設定することを推奨する。

表 4.2 (参考) MLC 位置精度の許容値 ⁶⁾

	SMLC		DMLC	
	許容レベル	介入レベル	許容レベル	介入レベル
リーフ位置精度	1.0 mm	2.0 mm	0.5 mm	1.0 mm
位置再現性	0.2 mm	0.5 mm	0.2 mm	0.5 mm
開度再現性	0.2 mm	0.5 mm	0.2 mm	0.5 mm

参考として MLC 位置精度の許容値を表 4.2 に示す ⁶⁾。リーフ位置が変位した場合は強度変調されたビームがそのまま平行移動する。一方、再現性が低下した場合はそれぞれのセグメントでフルエンス分布が変化して、ホットスポットやコールドスポットを生じる可能性があるため、DMLC の方がより高い精度を求められる。これらの許容値は、IMRT の線量分布が治療計画用 CT の 1 ピクセルサイズ (0.3 - 0.94 mm) 以上の精度を達成するために必要な基準である ⁶⁾。

4-1-2-2 MLC の静的位置精度

光照射野、および X 線照射野による確認方法がある。光照射野による確認方法では、MLC により作成される照射野の形状を方眼紙に書き込み、実際の静止位置との差を目視にて確認する。3次元原体照射 (3 dimensional conformal radiotherapy: 3DCRT) を含む通常治療では MLC の計画位置と光照射野での静止位置の許容値は 1 mm 以内である ¹⁵⁾ が、IMRT の場合、SMLC、DMLC で許容値は異なるため注意する。

X 線照射野による確認方法は、一定の MLC の幅 (ギャップ幅) を保ちながら一方向に 1~2 cm ステップで移動 (ビームオフ) と停止 (ビームオン) を繰り返す MLC の移動パターンを作成する。同様に逆方向へ移動する MLC のパターンも作成する。この MLC の移動パターンを用いて、線源 - フィルム間距離 100 cm に置いたフィルムへ照射を行う。すべての直線状のフィルム黒化部分が、設定したギャップ幅に対して許容値内で整列していることを確認する ¹¹⁾。

4-1-2-3 MLC キャリッジ位置精度

MLC キャリッジ位置精度は、MLC で整形した照射野を作成し、目視またはフィルムに照射して評価する。アイソセンタについて対称な MLC 照射野を 2 つ作成し、それぞれコリメータ角度を 90° と 270° とし、方眼紙を使用した光照射野による確認、またはフィルムを用いた X 線照射野による確認を行う。この試験における許容差を 0.5 mm とすることを推奨する ¹⁶⁾。MLC キャリッジは自重により変位を生ずる可能性があるため、複数のガントリ角度で行う事が望ましい。

4-1-2-4 MLC の動的位置精度

DMLC 方式の IMRT の線量精度は、ギャップ幅の精度に大きく左右される。このギャップ幅は、DMLC 出力比試験によって精度管理できる ¹⁷⁾。

DMLC 出力比試験とは、一定のギャップ幅を保ちながらダイナミック照射を行い、その出力線量からギャップ幅の精度を確認する試験である ¹⁷⁾。コリメータで作成されたオープン照射野で、既定 MU 値 (例: 100 MU) の線量計読み値を得る。次に一定のギャップ幅で作成された短冊上のセグメントが、先のオープン照射野を横断するように同一の MU 値でダイナ

注7) 誤差もしくは偏差として容認できる範囲のこと。その範囲を超えると、是正のための作業が必要となる場合がある。

注8) 誤差もしくは偏差として容認できない範囲のこと。その範囲を超えた場合、是正のための作業が必須である。