幾何学的精度管理について~実施と記録~

岩手医科大学附属 PET・リニアック先端医療センター 藤原 純一 (Fujiwara Junichi)

近年の放射線治療の高精度化に伴い、品質保証・精度管理の重要性も広く認識され、各施設の治療内容に応じた、きめ細やかな管理が望まれています。これまでの精度管理は日本放射線腫瘍学会から刊行された「外部放射線治療装置の保守管理プログラム」などに準じて実施されてきました。しかし、強度変調放射線治療(IMRT)や画像誘導放射線治療(IGRT)などに代表される新しい技術や、画像系装置の搭載などは従来のプログラムでは対応しきれなくなってきました。昨今、米国医学物理学会より、最近の放射線治療技術に対応した精度管理プログラムTG-142が発行されました。その中の一つの特徴は、装置の受け入れ時のベースラインからの経時的変化をとらえるといった管理方法です。

そこで今回は、放射線治療の品質管理の中でも幾何学的 精度管理に絞り、TG-142をふまえた実施方法と結果の記 録・保管について三人の演者の方に報告して頂きました。

秋田大学附属病院の斎藤智彦さんには、直線加速器の 精度管理を担当して頂きました。フィルムレス化が進む中、 病院施設であればどこにでもあるイメージングプレートを用 い、照射野や機械的駆動系の精度を管理する方法や、 Winston-Lutzテストでのアイソセンターおよびレーザーアラ イメントの確認方法について報告して頂きました。

岩手県立中央病院の横澤淳司さんには、マルチリーフコ リメーターの形状的特徴とその特徴による物理的な特性お よび管理方法について報告して頂きました。

弘前大学附属病院の鈴木将志さんには、kV Imagerと Electric Portal Imaging Deviceの画像系の精度管理を担当し て頂きました。画質やスケール精度のベースラインからの不 変性確認や、アイソセンターと画像系中心の整合性の確認 方法について報告して頂きました。

煩雑になりがちな記録も、変化傾向のグラフ化や管理シートの自作など、各施設で工夫を凝らしてまとめており、実施方法や記録に不安があった施設にも大いに参考になったと思います。

お引き受け頂いた演者の皆様に、この場を借りて感謝申 し上げます。

直線加速器全般の幾何学的管理

秋田大学医学部附属病院 中央放射線部 斎藤 智彦 (Saito Tomohiko)

【はじめに】

画像照合装置搭載の放射線治療機が普及するに伴い、 必然的に施設あたりの精度管理項目は増加している。これ に反して、放射線治療品質管理室等を立ち上げ、管理責任 者のもと計画的に精度管理を行っている施設はまだほんの 一握りに過ぎない。当院でも十分な体制が取れているとは いえず、管理業務を担うのは必ずしも放射線治療に精通し たスタッフばかりではない。このような背景において、行う者 の技量に左右されず幾何学的管理を計画的に行うために、 以下が望まれる。

- ・誰でも行うことのできる簡便かつ再現性の高い方法を採 用すること
- ・実施者の私見が含まれず、結果に客観性があること
- ・検証結果を示す画像がその過程も含めて、整理された 記録として残ること
- ・結果をいつでも検索、閲覧できるようにし、傾向を確認 できるようにすること

一例として、従来からある照射野サイズの確認方法を挙げる。 遮光袋に入ったフィルムを用意し、光照射野の示す 照射野端の延長線上にピンで印をつけ、X線の照射野との

差を比較する。この方法では、光照射野にはボケが含まれ、 照射野端を示す印のつけ方には個人差が生じる。このよう に評価に個人差が生じる場合、結果の客観性が損なわれて しまうため、ローテーションで放射線治療を行っているスタッ フには手を出しづらく、結果、管理業務は専任者の担当、と いった状況に陥ってしまう。さらにはフィルムー現像機自体 すでに所有していない施設も多い。このような現状を踏まえ、 従来フィルムで行っていた検証法をイメージングプレート (以下IP)に置き換え、且つ前述のポイントを満たすような方 法を紹介する。

【例1 光/放射線照射野の精度の検証】

CRシステムに使用されているIPをカセッテから抜き出して使用する。IPにX線を照射すると得られる画像は黒くなり、可視光をあてるとX線の情報は失われ、得られる画像は白くなる。これを利用し、X線照射野と光照射野の誤差を確認する。

ガントリー0°、コリメーター0°とし、アイソセンターの高さにした治療台にIPを載せる。照射室の室内灯を消し、X線IMUを35cm×35cmでIP全面に照射する。次に同じIPに10cm×10cmで照射野ランプの光を照射(1分以上)する。さらに

10cm×10cmでX線を照射する。IPをカセッテに戻し作成した画像をFig.1に示す。

Fig.1では光照射野のはみだした部分(白矢印)は信号が消されているので周りより白く描出され、X線照射野のはみ出した部分(黒矢印)は二重に曝射されているので周りより黒く描出されているのがわかる。この方法では、フィルムのように印をつけることのできないIP上に光照射野そのものを画像として記録することができ、また個人差が生じないことが利点である。

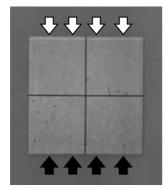


Fig.1 X線照射野と光照射野

【例2 コリメーター回転軸の精度の検証】

コリメーター回転軸と光照射野中心の精度を確認する。ガントリー0°、コリメーター0°とし、アイソセンターの高さにした治療台にIPを載せる。照射室の室内灯を消し、X線1MUを35cm×35cmでIP全面に照射する。次に同じIPに10cm×10cmで照射野ランプの光を照射(1分以上)する。クロスへアの陰影が互いに重ならず、且つコリメーターが一回りできる角度(例えば15°陰影をずらすなら0°、60°、105°、210°、255°、315°など)でコリメーターを回転させ照射野ランプの光を照

射、を繰り返す。得られた画像をFig.2に示す。今度はガント リー90°にしてIPを垂直に固定した状態で同様に画像を作成 し、得られた画像をFig.3に示す。Fig.2ではクロスへアの陰 影は一点を中心に回転しており、これは照射野中心とコリメ ーター回転軸が高い精度で一致していることを示している。 Fig.3ではクロスへアの陰影に上下方向のずれが確認でき、 これは照射野中心とコリメーター回転軸にずれが生じてい ることを示している。原因としてはガントリーを水平にした際 のコリメーター自重による回転軸のねじれが考えられる。同 様の検証として、細く絞ったスリットビームを用いて上記と同 様にコリメーター回転軸の精度を検証する「スポークショット テスト」が挙げられる。JawコリメーターよりMLCを用いた方が より細いスリットビームを作成することが可能だが、どちらを 利用するにしても、ビーム中心に対して対称性に閉じている ことを毎回事前に確認する必要がある。また、照射野光を用 いた場合は光照射野中心(ヘアライン)とコリメーター回転系 の検証であり、X線スリットビームを用いた場合は絞りの対称 軸とコリメーター回転系中心の検証であることに留意する必 要がある。

【例3 治療台回転軸の精度の検証】

治療台回転軸とX線照射野中心軸の精度を確認する。ガントリー0°、コリメーター0°とし、アイソセンターの高さにした治療台にIPを載せる。コリメーターにポートグラフィー用のクロススケールを挿入し、95°、0°、265°に治療台を回転させX線を照射する。得られた画像をFig.4に示す。今度は95°、0°、265°に治療台を回転させる際に、それぞれアイソセンターの高さ-10cm、0cm、+10cmに治療台の高さを変え、同様に行う。得られた画像をFig.5に示す。

Fig.4ではクロススケールの陰影は一点を中心に回転して

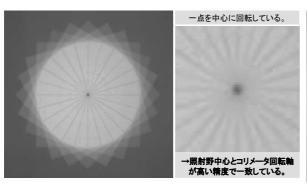


Fig.2 コリメーター回転軸と照射野中心(水平回転)

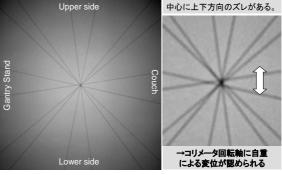


Fig.3 コリメーター回転軸と照射野中心(垂直回転)

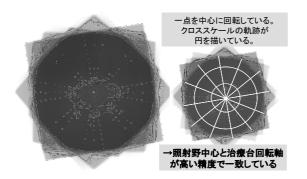


Fig.4 治療台回転軸と照射野中心(アイソセンタ高)

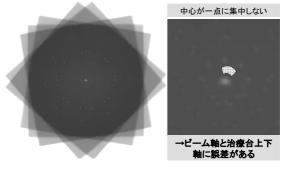


Fig.5 治療台回転軸と照射野中心(治療台上下)

おり、これは照射野中心と治療台回転軸が高い精度で一致していることを示している。Fig.5ではクロススケールの陰影は一転に集中せず、弧を描いている。これは治療台を上下した際に、照射野中心と治療台回転軸にズレが生じていることを示している。原因としてはガントリー自重によるビーム軸の傾き、治療台上下軸の垂直方向に対しての傾き、等が考えられる。

【例4 レーザーポインターと機械的アイソセンターとの精度】 レーザーポインターの指示位置の修正を行う。 Winston-Lutz法により、ビームセンターと治療寝台の機械的 アイソセンターの誤差を求める。求めた誤差分だけFig.6に 示すWinston-Lutz test用治具を動かし、再度画像を取得する。目的の位置に補正できたことを確認した後、その先端に レーザーポインターの指示位置を修正する。



Fig.6 Winston-Lutz test 用治具

【管理と記録】

目視での確認や方眼紙に印をつける方法だと、その過程を記録し、保存することは難しい。しかし、ここまで行った検証結果は、過程を含めて全て「画像」として残るものである。これを利用して、当院では治療用サーバーに検証項目を患者名として登録し、Course-Plan-Fieldに装置名-実施年-実施日を入力、実際には照射部位の画像が登録されるところに検証結果の画像を登録している。これにより、我々が普段照射プランを確認するのと同じ手順で精度管理の記録を検索、閲覧することが可能である。例えば装置の空き時間に若いスタッフに検証画像を作成してもらい、あとで改めて管理者とともに結果について考察する、ということが可能となる。時間を有効に活用することができ、また若いスタッフも積極的に管理業務に参加することができる。

【おわりに】

幾何学的管理において重要なことは、その手順である。 自分が今何の精度を確認しているのか、ひとつひとつ誤差 要因を排除するように、順番を考えて行う必要がある。検証 画像をスタッフ全体で確認し、その誤差の要因を議論しなが ら幾何学的管理を行うことで、よりその理解は深まるものと考 える。

【参考文献·図書】

- 1) 奥村雅彦: 臨床技術講座 外部照射装置のためのquality control 日本放射線技術学会雑誌 Vol.57 No.11、(2001)
- 2) 放射線医療技術学叢書(22) 外部放射線治療における保守管理マニュアル、社団法人 日本放射線技術学会 出版委員会、(1998)
- 3) 日本放射線腫瘍学会研究調査委員会編 外部放射線治療装置の保守管理プログラム、株式会社通商産業研究社、(1992)

幾何学的精度管理 実施と記録

- MLCに必要なQA -

岩手県立中央病院 中央放射線部 ○横澤 淳司 (Yokosawa Junji)

【はじめに】

放射線は腫瘍のみならず正常組織に対しても影響を及ぼ す。放射線治療において、放射線の照射範囲をできるだけ 腫瘍に限局し、正常組織へ照射しないことが必要となる。照 射範囲を限局することで、正常組織の有害事象を抑えること ができる。正常組織の照射線量が減ることで、腫瘍に対して さらに線量増加をすることができる場合もある。腫瘍への限 局した照射を実現するために、Multileaf collimator(MLC)が 用いられる。当初からMLCは、照射野整形を目的とし、照射 中は停止している静的な動作によって使用されてきた。しか し、近年、原体照射や Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT)においては、MLCを動作させながら照射を行い、腫 瘍への線量原体性および均一性を向上させている。MLCは 照射野整形から線量強度変化まで大きな役割を担っており、 幾何学的、ドジメトリックな精度管理の重要性がますます高ま っており、米国医学物理学会(AAPM)からもTG-142として最 新の勧告がなされている 1)。

【目的】

AAPM Task Group 142の概要を理解し、この報告に基づいたMLC精度管理の実際を例示することを目的とする。

そして当院における精度管理の改善点についても検討する。

【方法】

- 1.AAPM TG-142 におけるMLC精度管理の概要を理解する。
- 2.MLC精度管理の実際を例示する。
- 3. 当院における問題点を検討する。

【結果】

1.TG-142 の概要

AAPM TG-142はTG-40のアップグレード版として、最新の放射線治療技術に対応した放射線装置の精度管理プログラムとして発刊された。このレポートの特徴は、①

項目		許容値(Tolerance)		
毎週 (Weekly)			毎年 (Annual)	
定性的試験			MLC遊過線量	
(ピケットフェンスのようなマッチングセグメント) リーフ間透過線量の増加などを視覚的に判定		(リーフおよびリーフ間透過線量の平均)、	±0.5%	
毎月(Monthly)			全エネルギー	(基準値からの変化)
設定照射野と放射線照射的の一款			リーフ位置再現性	±1.0mm
(2つの照射野)	(non - IMRT)	2mm	MLCスポークショット	≦半径1.0mm
)(シクアップ歌り設定 (Elekta のみ) 2mm		光院射野と放射機限射野の一致	±2.0mm	
リーブ駆動速度	(DMRT)	リーフ <u>速</u> 度損失 <0.5 cm/s	(全エネルギー)	誤差のRMS最大値<0.35cm
リーフ位置精度	(DMRT)	4つのガントリ角度のIMRT照射野で1mmリーフ位置精度	SMLC-IMRTテスト	0.35cm未満の製差が95%以上
		(ピケットフェンステストが解析されるである3. 試験は解床のセグメントサイズに依存する)	DMLC-IMRTテスト	誤差のRMS最大値<0.35cm
			(4つの主要なガントリ角度)	0.35cm未滑の観差が95%は上

IMRTの実施の有無で必要とする精度管理項目を分けていること、②基準値にベースラインという考えを導入し、機器設置時からの変動を評価に取り入れていること、この2点が挙げられる。各施設の治療内容によって、必要とされる精度が異なり、機器導入時からのQAの持続、記録の重要性が示唆される。TG-142でのMLC精度管理項目をTable 1示す。

2.MLC精度管理の実際

直線加速器メーカーごと、機種によってMLC設置場所やMLC構造は異なる。またMLCがJAWの役割をする装置などもあり、装置ごとに異なるQA方法もある。当院ではVARIAN社製の直線加速器を使用しているため、VARIAN社製MLC QA方法について概説する。このMLCの特徴は、①X JAW、Y JAW の下流にMLCが設置されていること、②キャリッジ(支持器)にMLCが載っていること、③リーフエンドが円弧状であること、④漏れ線量低減のために Tongue&Groove 構造であることなどが挙げられる。

TG-142 に従った 当院でのMLCのQA方法の流れを紹介する。

<IMRT未実施装置>

1.キャリッジの設置精度(アライメント)を確認

アイソセンターに対称な MLC照射野をコリメーター 角度90度および270度でフィルムに照射し確認する方 法がある。

2.コリメーター回転精度の確認

MLCを全閉しコリメーターを30度程度ずつ回転させ、

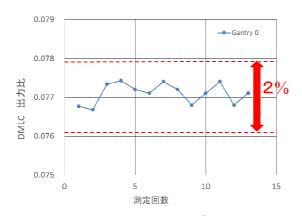


Fig.1 DMLC 出力比の変動 (2012 年 9 月~2013 年 10 月)

フィルムに照射し中心の精度を確認する。

3.MLC透過線量の確認

オープン照射野の線量とMLC遮蔽下での線量の比をファーマー形電離箱で測定する方法がある。また、フィルム等でMLC間の漏れ線量をプロファイルとして評価できる。

4.光照射野とMLC照射野の一致 方眼紙などを用いた目視による確認がある。

5.放射線照射野とMLC照射野の一致

フィルムなどに照射し目視または計測システムなどによる評価がある。

<IMRT (Dynamic Multileaf Collimator) 実施装置>

1.MLC 先端部分からの漏れ線量 (LETr:Leaf End Transmission)

LoSassoらの方法やArmfieldらの方法、フィルムを用いた方法などがある。 当院ではArmfieldらの方法で評価している。

2.MLC位置精度、再現性、リーフギャップ幅

MLCを等間隔にダイナミックに動かしながらフィルムなどに照射し、位置ずれを確認する方法がある(Fig.2)。オープン照射野の線量と、MLC幅 5mm 程度のスリットをダイナミックに動かしながらファーマー形電離箱で線量を測定し、その線量比の変化を評価する方法がある。

3.リーフ速度の安定性

VARIAN 社製の Dynalog file viewer でダイナミック MLC動作時のログを解析し、動作が悪いMLCがない

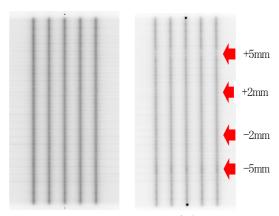


Fig.2 スリットフェンス試験 左:正常 右:故意にエラーを含ませた場合

か確認する方法がある。

それぞれの項目についての詳細な実施方法は紙面の制限で割愛する。 市販されている書籍等 3 4 を参考にされたい。

【考察】

当院では、精度管理項目を定めQAを実施している。実施した結果は電子ファイル保存および紙出力し、ファイリングしている。当院における精度管理の改善すべき点としては、実施記録を十分に解析し、再評価を実施することである。QA/QCの最大の目的は、機器精度をどこまで評価できるのかを見極め、その変動を把握し、Tolerance Level および

Action Levelを見直すことにある。十分な解析を実行し QA/QCの目的を達成する必要がある。

【まとめ】

放射線治療は高精度化、複雑化しており、治療機器に関わる幾何学的、線量的精度が十分担保されていることが重要である。特にMLCは線量分布作成において必要不可欠で、その精度をQA/QCで管理していく必要がある。精度管理方法は、ガイドライン、成書などで詳細に確認できるようになってきている。精度管理を実施するだけでなく、機器の変化を捉えられるような実施記録の方法を検討していく必要がある。

【参考文献·図書】

- 1) American Association of Physicists in Medicine Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators Med.Phys. 36(9), 4197–4212, 2009
- 2) 医療用加速器の品質保証 米国医学物理学会タスクグループ142レポート 日本語訳 訳者代表 黒岡 将彦(2012)
- 3) 詳説強度変調放射線治療-物理・技術ガイドラインの詳細 遠山尚紀監修 中外医学社
- 4) 詳説放射線治療の精度管理と測定技術 高精度放射線治療に対応した実践Q&A 岡本裕之監修 中外医学社

幾何学的精度管理について

- kV imager, EPID -

弘前大学医学部附属病院 医療技術部 放射線部門 鈴木 将志 (Suzuki Masashi)

【はじめに】

現在の放射線治療において、画像誘導システムの発達により高精度治療がさかんに行われている。これに伴い、kV imager(以下;OBI)やEPIDの精度管理は非常に重要であり、高精度治療には必要不可欠である。国内で策定された「画像誘導放射線治療臨床導入のためのガイドライン」では、精度管理項目として望まれる内容が述べられているが、具体的な施行方法に関しては言及されていない。今回は、当院で行っているOBIおよびEPIDの幾何学的精度管理の施行方法と記録方法について紹介する。

【方法】

使用装置はVarian社製Clinac iXシリーズを使用。精度管理の項目としては、①幾何学的位置精度、②画質評価、③位置照合精度の3つに大別して以下に示す。

①幾何学的位置精度

位置照合装置単体で見た精度確認を行っていく。主に画像の拡大率や中心位置に影響する項目である。

保づことが重要である。

Fig.2 OBI 位置確認



Fig.1 EPID 位置確認

EPIDの幾何学的位置精度確認方法は、まずEPIDに取り付けられている衝突インターロック用カバーを取り外す。フロントポインタを使用してSourceからEPID直上金属カバー表面までの距離を計測し、装置の仕様値から1mm以内であることをFig.1のように確認する。またクロスへアとEPID直上金属カバー表面に付けられたマーカーの位置が一致していることも目視にて確認する。

OBIの幾何学的位置精度確認方法は、まずDetector側に取り付けられている衝突インターロック用カバーを取り外す。JIS規格の定規を用いて、アイソセンタ点からの距離をSource、Detectorそれぞれについて計測し、装置の仕様値から1mm以内であることをFig.2のように確認する。またガントリー角度を0°としたときのOBIのアーム位置の確認として、Source、Detectorの背面に付けた印とレーザーが一致しているか確認する。この方法においてはガントリー角度がわずかにずれると、印とレーザーが大きく離れてしまうため、水準器を用いてガントリー角度の再現性を保つことが重要である。



Fig.3 WL テストファントム(左)と Cube Phantom(右)

②画質評価

コントラスト分解能やスケーリング等について、装置導入時からの性能不変性を確認する項目である。

OBIの画質確認方法は、コントラスト分解能の評価としてLeeds TOR 18FG Phantomを撮影し、Diskによる低コントラスト分解能および矩形波チャートによる高コントラスト分解能を同時に目視にて評価する。スケーリングの評価としてはBlade Calibration Plateを撮影し、10×10cm²を示すフィールド陰影の各辺の距離を計測し、10cmを示すことを確認する。スケーリングについてはSIDを変化させて同様に計測することで、拡大率の確認も行う。

またCatphan Phantomを用いてCBCTの評価も行う。 CBCTについてはコントラスト分解能、スケーリングに加えてHU値の確認、HU値の均一性の確認、スライス厚の確認も行う。各方法については装置受入試験(以下;CAP)と同様の条件で行うことにしている。

EPIDの画質確認方法は、Las Vegas Phantomを用いて低コントラスト分解能の評価のみを行っている。ファントムを6、10MVで撮影した際にDiskがどこまで識別できるか目視にて確認する。許容値はEPIDの構造タイプや使用エネルギーにより異なるので確認が必要である。

画質評価については、基本的にCAPに準拠して行うことで装置導入時からの不変性を確認することにしている。 そのため撮影条件等の違いが結果に大きな影響を与える可能性があるので、CAP時の施行方法を確認する必要がある。

③位置照合精度

画像中心の位置および画像誘導の動作等を評価し、 日々の画像誘導放射線治療の精度に直結する項目である。

画像中心位置の確認方法は、Winston Lutz Test(以下;WLテスト)にて行う。WLテスト用ファントム(Fig.3)を用いて、レーザー中心とファントム先端にある金属球中心の位置が一致するよう寝台上に設置する。この状態でOBI、EPIDを出してガントリー角度を0°、90°、180°、270°としてOBI及びEPID撮影を行っていく。EPID撮影の際には

Gantry 0° 2013/7~2013/8

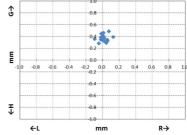


Fig.4 グラフ化の一例

MLCにて1cm正方形照射野を形成する。また寝台を270°、315°、45°、90°としたときのEPID撮影も行っていく。この方法にて得られた画像を解析ソフトを用いて、OBI画像の中心位置、治療ビームの照射野中心位置に対する金属球の中心位置を解析する。これによりレーザー中心位置、OBI画像の座標系中心、治療座標系中心の整合性を確認する。許容値は全ての座標系中心位置が1mm以内であることとする。

画像誘導動作の確認方法は、Cube Phantom(Fig.3)を用いて行う。ファントムの上面および側面に方眼紙を貼り付け、ファントム中心から正確に3軸方向に1cm離れた位置に金属球を貼り付ける。このファントムをレーザー中心とファントム中心が一致するよう寝台に設置し、正面、側面のOBI撮影を行う。OBI Application上でファントムに貼り付けた金属球の位置に画像誘導中心位置をshittさせ、そのshitt量が1cmとなっているかを確認する。また、そのshitt量分移動したことを方眼紙とレーザーの位置にて確認する。

以上の精度管理結果は全てExcelで作成した記録シートへ入力し、紙出力してファイル保存することとしている。過去の結果をただちに参照できるようにするため、ファイリングの際は項目毎にまとめるようにしている。またWLテストのように座標系に関わる項目では、数値のみでは変異傾向が分かりづらいため、Fig.4に示すように定期的にグラフ化することで傾向をとらえやすくしている。

【まとめ】

精度管理は施行方法の再現性が非常に重要であり、特に 画質に関する項目については影響が大きいと考えられる。 撮影条件やファントムの設置方法はCAPの内容等をよく確 認する必要がある。経時変化が分かりやすくなるよう、結果 は紙出力して過去の結果が参照しやすい工夫をするべき である。管理項目は多岐に渡るが、具体的な施行方法につ いてはガイドライン等で定められていないため、各施設で 適切な方法を考案し、可能な限り簡便化することが重要であ る。

【参考文献·図書】

- 1) 太田誠一 他: 放射線治療かたろう会 IGRT QA/QC Working group report
- 2) 日本医学物理学会 QA/QC委員会: 画像誘導放射線治療臨床導入のためのガイドライン 医学物理 2010; 30: 49-53
- 3) American Association of Physicists in Medicine Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators