原 著

放射線治療におけるelectronic portal imaging devices (EPID) を用いた照合画像の解析

井ノ上信一・松本光弘・長谷川浩典・佐藤和彦
桜井邦昭・川越康充・久住佳三

大阪大学医学部附属病院放射線部

論文受付
1998年8月14日論文受理
1999年2月22日Code No. 400
410

1. 緒 言

高エネルギー放射線治療における目的は、病巣周囲正常組織への有害な作用をできる限り避けながら臨床標的体積CTV (clinical target volume) に治療計画された線量を精度よく照射し、腫瘍を治療することである。しかし、外部照射の場合、患者シミュレーション、治療計画、患者セットアップ、照射に至るほとんどすべての過程で、機械的あるいは人為的な誤差が入り込む余地がある。これらの誤差を減らし、精度の高い外部照射を行うための手段として、正確な照射野照

合が挙げられる¹⁾。AAPMレポートTG40²⁾では患者位置決め誤差を5mm以内、日動変動を2mm以内としている。照射野照合の方法として、一般的にリニアックグラフィが考えられる。しかし、毎回確認するとなると膨大な処理時間とマンパワーが必要となる。わが国でも過去に、リニアックグラフィによる照射位置の再現性の解析の報告^{3,4)}がある。少ない線量とはいえ、患者の標的体積外の部分に追加線量として加えられることを考えると、リニアックグラフィで再現性を毎回確認するのは非現実的である。近年、線束に対向した

Analysis of Verification Image Using Electronic Portal Imaging Devices (EPID)

SHINICHI INOUE・MITSUHIRO MATSUMOTO・HIRONORI HASEGAWA・KAZUHIKO SATOH
KUNIAKI SAKURAI・YASUMITSU KAWAGOE and YOSHIMI KUSUMI

Department of Radiology, Osaka University Hospital

Received Aug. 14, 1998; Revision accepted Feb. 22, 1999; Code Nos. 400, 410

Summary

We studied the evaluation of patient set-up error by verification image using electronic portal imaging devices (EPID). We analyzed which cleared 3 mm in our hospital for visual by using a distance measurement function. The body parts examined included the head and neck, thorax, pelvis and abdomen. The items that were evaluated included shell, Pb block, multi-leaf collimator and landmark. Patient set-up error was 10.4%, with that for the pelvis especially poor. The visual false rate was 17.9%. The result for the abdomen was poor because of the absence of landmark. We showed a decrease in patient set-up error by using EPID and improvement of radiotherapy.

Key words: Radiotherapy, Electronic portal imaging device (EPID), Verification別刷資料請求先: 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-15
大阪大学医学部附属病院 放射線部 井ノ上信一 宛

位置に何らかの検出器を置き、リアルタイムもしくは準リアルタイムに画像を得るオンラインポータルイメージング装置(electronic portal imaging devices: 以下, EPID)⁵⁾が導入されている。EPIDの最大の利点は、CRT上でリアルタイムに画像が得られるために、照射野を数秒間のうちに確認できることである。また照射ごとの撮影が容易で、リアルタイムに照射位置が修正できる。このため、患者位置決め誤差は極端に減少するものと期待されている。当施設では、1993年EPIDの導入後、先の「患者位置決め誤差を5mm以内」を3mm以内に変更し、さらなる位置決め誤差の改善に努めている。EPIDには画像重ね合わせ機能なども装備されているが、患者スループットを考慮すると、必然的に目視による照合作業となる。しかしCRT画像は、濃度分解能の問題や作業者の個人差など、その照合精度にバラツキが予想される。過去にもEPIDを用いた患者セットアップエラーの評価は行われているが⁶⁾、照射野照合を目視で行い、誤差範囲内とされた事例の妥当性を検証した報告はない。今回、われわれはEPIDを用いた目視による患者位置決め誤差の頻度および作業者による人的誤差について、日常診療で得られた照合画像をもとに解析したので報告する。

2. 使用機器および対象

2-1 使用機器

EPIDには蛍光板、ミラーおよびビデオカメラでポータル画像を収集する方式、金属蛍光シートと光ファイバからなる方式、イオンチェンバ方式など様々なタイプがある⁷⁾。当院のEPID装置はミラーベースシステムでINFIMED社製THERAVIEWである。40×40cm²のメタルプレート面で治療ビームの透過像を受け、収集領域は27×27cm²で、512×512×8bitのデジタル画像を収集することができる。1ピクセル当たりの分解能は0.52mmと非常に高く、単一収集で1画像を得るのに最短0.25秒である。コンピュータはSun SPARC Stationを採用して専用画像ボードを内蔵している。またLINAC装置は三菱電機株式会社製LINAC ML-20MTXを用いた。

2-2 対象

対象は当施設において放射線治療時に取得した照合画像(総数 605画像)を用いた。評価部位は頭頸部(205画像)、胸部(201画像)、骨盤部(81画像)、腹部(118画像)の4部位とした。評価項目は固定具の種類と使用の有無、照射野限定具(照射野遮蔽ブロック、multi-leaf collimator)の有無、ランドマーク(今回は椎体とした)の有無とした。なお、目視照合に携わった技師の治療勤務年数は15年以上(3人)、2年(2人)、1年(1

人)である。

3. 方法

3-1 患者位置決め誤差について

EPIDを用いた照合画像の取得方法を簡単に述べる。患者をセットアップした後、EPIDを収集モードにし、照射を開始する。その直後の2~3秒で一度ビームを停止し、on-line像(照合画像)を得る。シミュレーション写真、あるいは以前のon-line像をreference像とし登録しておき、その画像とon-line像を目視で照合し、位置決め誤差(以下、誤差)を判断する。この場合の判断基準はreference像に対し、上下左右いずれか3mm以上の誤差の有無である。この方法で605画像について頭頸部、胸部、骨盤、腹部の各評価部位および評価項目ごとに解析した。評価項目は、頭頸部は咽頭、喉頭の症例のみに限定し、固定状態による誤差の変化を評価した。胸部では照射野の形状による誤差の変化を評価した。骨盤部では、照射野遮蔽ブロック、および矩形照射野での誤差について評価をした。腹部ではランドマークとして認識可能な椎体の照射野内の有無について、誤差の変化を評価した。

3-2 目視による照合作業の人的誤差について

目視による照合作業では、照射野位置修正を行うべきか、そのまま照射を続行すべきかを即時に判断しなければならない。そのため本当にその判断が正しかったかどうか評価しておかねばならない。そこで過去に目視照合により3mm以内と判断した画像が本当に3mm以内であったかをTHERAVIEWの距離計測機能を用い、3-1と同様に評価部位、および項目ごとに解析した。

4. 結果

4-1 患者位置決め誤差について

Fig.1aに全体(605画像)の解析結果を示す。このうち3mm以上の誤差が63/605画像(10.4%)であった。つまりこの63画像に対して3mm以上の誤差があると即座に目視で判断し、再度患者セットアップを行ったことを示している。Fig.1aを部位別に評価したものをFig.2に示す。全体に占める割合は10.4%であるが、部位別に相対評価すると最も骨盤部が高く、順に頭頸部、腹部、胸部となった。さらにこれらを細かく項目別に解析したものをFig.3に示す。Fig.3aの咽頭、喉頭群はそれぞれ簡易固定およびシェル固定具を使用したときの誤差評価である。咽頭、喉頭とも固定具にシェルを使用した時の再セットアップ率は10%以下であり、簡易固定の半分以下であった。Fig.3bの胸部群(おもに食道、肺癌)は、それぞれ遮蔽ブロック、

Fig. 1 Evaluation of all images (605 images).

Fig. 2 Patient set-up error (all parts).

multi-leaf collimatorの使用, 矩形照射野の3種類の照射野限定具の違いによる誤差の評価である. 矩形照射野, 遮蔽ブロック使用, multi-leaf collimatorの使用の順に再セットアップ率が増加した. Fig.3cの骨盤群は, 矩形照射野および照射野遮蔽ブロック使用時の誤差評価である. 矩形照射野の方が, 遮蔽ブロック使用よりも再セットアップ率が約3倍低かった. Fig.3dの腹部群は, 照射野に椎体を含む場合と含まない場合の誤差評価である. 腹部は椎体を含む場合の方が, 含まない場合より再セットアップ率が低かった.

4-2 目視による照合作業の人的誤差について

Fig.1aで3mm以内の誤差であると判断した542画像について解析したものをFig.1bに示す. つまり目視による照合作業の人的誤差の解析結果である. この542画像について距離計測機能を用いて評価した結果, 実際の誤差が3mm以内であった場合(以下, 正解率)82.1%, 3mm以上であった場合(以下, 見落とし率)が17.9%であった. このことは, 605画像の89.6%のうちの17.9% (97/542), 全体では16% (97/605)に誤差があったにもかかわらず, 患者位置決め誤差がなかったと判断され, 位置修正されなかったことになる. つまりこれが見落としである. 次に4-1と同様に各々の部位について検討した. Fig.4は

Fig. 3 Patient set-up error (all parts and items).

3mm以内と判断された頭部(177例), 胸部(192例), 骨盤(63例), 腹部(110例)の再評価の結果である。見落とし率は多い順に腹部, 頭頸部, 骨盤, 胸部となった。さらにFig.3同様, 個々の部位を詳細に解析したものをFig.5に示す。Fig.5aは咽頭, 喉頭群の解析結果である。咽頭, 喉頭とも固定具にシェルを使用した時の見落とし率が低かった。Fig.5bは胸部群の結果で, 遮蔽ブロック, multi-leaf collimatorの使用, 矩形照射野の3種類の見落とし率の評価である。multi-leaf collimatorの使用は照射野遮蔽ブロック使用時に比べ, 見落とし率が約半数であり, 矩形照射野とはほぼ同率であった。Fig.5cは骨盤部群における矩形照射野と遮蔽ブロック使用の見落とし率の評価である。矩形照射野は, 遮蔽ブロック使用に比べ見落とし率が低かった。Fig.5dは腹部群で照射野に椎体を含む場合と含まない場合の見落とし率の評価である。椎体を含む場合の方が, 含まない場合より低かった。

5. 考 察

今回の解析結果を個々の部位群ごとに考察する。頭頸部においてシェル固定具を使用したものが, 簡易固定より再セットアップ率が低かった(Fig.3a)。また見落とし率においてもシェル固定の方が低かった(Fig.5a)。これはシェルを用いることにより, 患者セ

Fig. 4 False rate (all parts).

ットアップの再現性の向上のみならず, 照射野照合においても見落とし率の減少につながっている。これよりシェル固定具の臨床的有用性が確認できた。さらに部位別の比較では, 咽頭の方が喉頭に比べ見落とし率が高かった。この研究以後, 当施設では簡易固定の使用はとりやめ, 全例シェル固定具に切り替えた。シェルの有用性については, 今までにも報告されている^{8,9)}が, このようにEPIDを用いることでシェルの有用性の検証も容易に評価できた。

胸部においては矩形照射野, 遮蔽ブロック使用, multi-leaf collimatorの使用の順に再セットアップ率が増加した(Fig.3b)。ところが, 見落とし率の評価では, multi-leaf collimatorの使用は遮蔽ブロック使用の

Fig. 5 False rate (all parts and items).

約半数であり、矩形照射野とほぼ同率であった (Fig.5b)。遮蔽ブロックをシャドートレイの上に設定する精度とmulti-leaf collimatorの再現精度を 3mm という基準で評価するのには問題があるが、この結果から遮蔽ブロック使用時の照合の難しさ、曖昧さが分かる。この結果より、治療計画の際、不整形照射野を使用する場合、極力multi-leaf collimatorの使用を行うようにしている。しかし、当院のmulti-leaf collimatorは 2cmリーフを使用しているため、どうしても遮蔽ブロックに頼らざるをえないのが現状である。近年 1cmリーフまたは 5mmリーフが導入されているのでこの問題は解決できる。

骨盤においても胸部同様、遮蔽ブロックを使用した方が、再セットアップ率 (Fig.3c) も見落とし率 (Fig.5c) も増加した。よってmulti-leaf collimatorが使用できない定型的なブロックパターンにはネジ止めをし、固定したブロックを使用するように改善した。

腹部においては照射野内に、椎体のような明確なランドマークを含む方が、再セットアップ率 (Fig.3d) も

見落とし率 (Fig.5d) も低かった。ランドマークの有無により、再セットアップ率は約 3% 程度の差であったのに対し、見落とし率は大幅に増加した。松田ら¹⁰⁾によると、通常の治療照合にEPIDを用いる場合、照射野内に明瞭なランドマークが存在するか否かにその有用性は左右される。またランドマークが一つも存在しない部位での治療照合は逆に治療精度を低下させる危険性を持っていると述べている。Michalskiらは骨盤領域にかぎり患者位置決め誤差を減らすと述べている¹¹⁾が、当院の今回の測定でも骨盤領域の位置決め誤差が他の部位に比べ悪く、EPIDを使用することにより位置決め誤差は減少した。しかし、見落とし率という観点から評価すると、骨盤より腹部の方が悪かった。これはランドマークの描出能の問題が一番に挙げられる。さらに腹部はコントラストが低いいため、正確な照合ができていないことが最大の問題点である。

4-1、4-2の結果よりEPIDの使用した場合と未使用の誤差の評価を行った。Fig.1aより総数 605 画像中、誤差が 3mm 以内であったのが 542 例、3mm 以上が 63 例であった。またFig.1bより誤差が 3mm 以内であると目視で判断した 542 例中、実際に 3mm 以内であったものが 445 例、3mm 以上が 97 例であった。このことから、実際に 3mm 以上であったものは合計 160 例であった。この 160 例がEPIDを使用しなかった場合、または所有していない場合の位置決め誤差数と仮定できる。またFig.1bの 97 例がEPIDを使用した場合の位置決め誤差数である。まとめると患者位置決め誤差はEPIDを使用した場合、605 画像中 97 例で 16.0%、EPIDを使用しなかった場合、605 画像中 160 例で 26.4% となる (Fig.6)。各部位ごとに評価したものをFig.7に示す。どの部位もEPIDを使用した方が位置決め誤差は減少する。特に骨盤は約 1/3、頭頸部は 1/2 に位置決め誤差が減少することになる。さらに各部位を細かく評価した結果をFig.8に示す。Fig.6～8 から分かるようにEPIDを使用することは、患者位置決め誤差の減少につながるといえる。

通常、放射線治療を行う場合、治療計画時に照射野マージンを設定している。そのため今回の照合判定基準の 3mm では、CTV に対しての照射のズレはほとんど心配ない。さらに精度よく実施できる照合システムが確立されれば、マージンを可能な限り小さくすることができ、照射容積の減少につながると考えられる。またこの 3mm という判定基準の検出精度についても検討する余地がある。特に視覚照合は、たくさん問題点を含んでいる。たとえば、治療の経験年数およびEPIDによる照

Fig. 6 Evaluation with and without EPID (all images).

Fig. 7 Evaluation with and without EPID (all parts).

Fig. 8 Evaluation with and without EPID (all parts and items).

合の経験年数によっても、視覚照合の見落とし率が異なる可能性がある。また体調、時間帯および経時的な要因により見落とし率が変化することも考えられる。これらについては今後の検討課題である。

村山は、高精度の治療計画が確実に履行されることを保証する照合システムの構築が必要とされていると述べている¹⁾。このシステム構築にEPIDが大きく貢献することは今回の研究からも示唆される。

現段階ではEPIDはあくまでも放射線治療器の付属品であるが、近い将来放射線治療システムにとって欠くことが出来ない必需品になる時代が来るであろう。

6. 結 論

EPIDを放射線治療時に使用することによって、判

定基準を 3mmとした高精度な照合が可能であった。照射部位ごとの患者位置決め誤差および見落とし率の評価を行った。EPIDを使用した場合と使用しなかった場合、または所有していない場合の評価を行った。EPIDを治療照合に使用することは患者位置決め誤差の向上につながり、治療精度の向上に大きく寄与することを示した。

謝 辞

本研究にご協力くださいました大阪大学医学部附属病院放射線部の技師諸兄に感謝いたします。

なお、本論文の主旨は、第52回日本放射線技術学会総会学術大会において発表した。

参考文献

- 1) 村山重行：放射線治療の照合システム. INNERVISION, 12(10), 89-91, (1997).
- 2) Kutcher GJ, Coia L, Gillin M, et al.: Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. Med.Phys., 21, 518-618, (1994).
- 3) 工藤牧男, 植田俊男, 室加 守：放射線治療における照射位置の再現性に関する検討. 日放技学誌, 33(3), 250-255, (1977).
- 4) 井澤一雄, 秦 潔, 佐々木潤一, 他：X線外部照射における照射位置の再現性について. 日放技学誌, 41(2), 271-278, (1985).
- 5) Boyer AL, Antonuk L, Fenster A, et al.: A review of electronic portal imaging devices (EPIDs). Med.Phys., 19(1), 1-16, (1992).
- 6) 村田るみ, 永田 靖, 岡嶋 馨, 他：電子的放射線治療照合装置(Electronic portal imaging device, EPID)による患者設定誤差の評価. 日放腫会誌, 8, 97-103, (1996).
- 7) 上総中童：EPID画像化技術. 日放技学誌, 49(5), 719-723, (1993).
- 8) 佐々木潤一, 秦 潔, 井澤一雄, 他：放射線治療における頭頸部の固定法と再現性の検討. 日放技学誌, 40(3), 370-376, (1984).
- 9) 久馬幸重：固定方法の違いによる誤差データ解析. 日放技学誌, 52(6), 765-767, (1996).
- 10) 松田幸広, 橋本政美, 水越章善, 他：デジタルポータルイメージング装置の小児領域への応用について. 放射線治療分科会誌, 11(2), 19-22, (1997).
- 11) Michalski JM, Graham MV, Bosch WR, et al.: Prospective clinical evaluation of an electronic portal imaging device. Int.J.Radiol.Oncol.Biol.Phys., 34, 943-951, (1996).

図表の説明

- Fig. 1 全画像(605イメージ)の評価.
Fig. 2 患者セットアップエラー(各部位).
Fig. 3 患者セットアップエラー(各部位および各項目).
Fig. 4 見落とし率(各部位).
Fig. 5 見落とし率(各部位および各項目).
Fig. 6 EPID使用, 未使用の評価(全症例).
Fig. 7 EPID使用, 未使用の評価(各部位).
Fig. 8 EPID使用, 未使用の評価(各部位および各項目).