The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Image-guided radiation therapy(IGRT)に用いられる各種位置照合装置の比較 : ファントムでの検討
Author(s)	喜多村, 圭; ローレンス, コート; レイ, ドン
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2003, 63(9), p. 574-578
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19090
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Image-guided radiation therapy（IGRT）に用いられる各種位置照合装置の比較：ファントムでの検討

喜多村　圭[1),2)]　　ローレンス・コート[1)]　　レイ・ドン[1)]

1）テキサス大学MDアンダーソン癌センター放射線物理科
2）北海道大学医学部放射線科

Comparison of Imaging Modalities for Image-guided Radiation Therapy (IGRT)

Kei Kitamura[1),2)], Laurence E Court[1)] and Lei Dong[1)]

The use of a new integrated CT/LINAC combination, in which the CT scanner is inside the treatment room, and the same patient couch is used for CT scanning and treatment, should allow for accurate and precise correction of interfractional set-up errors. Comparison of intentional shifts in phantom position as detected by the CT system with shifts detected by an ultrasound localization device commonly used for prostate localization, and by an electronic portal imaging device, showed the standard deviation of set-up uncertainties to be within 1mm in all directions for each modality. The agreement between the modalities was within 2.6 mm, 1.6mm and 1.7 mm in the superior-inferior（SI）, anterior-posterior（AP）and right-left（RL）directions, respectively. All these modalities are, therefore, suitable for image-guided radiation therapy applications. The choice of modality can be made based of factors such as anatomical site, inter-user variations, and patient set-up.

Research Code No.: 601

Key words: *image-guided radiation therapy, CT, Portal imaging, Ultrasound localization*

Received Apr. 14, 2003; revision accepted Sep. 4, 2003

1）Department of Radiation Physics, The University of Texas M.D. Anderson Cancer Center, Houston, Texas, USA
2）Department of Radiology, Hokkaido University School of Medicine, Sapporo, Japan

別刷請求先
〒060-8638　札幌市北区北15条西７丁目
北海道大学医学部放射線科
喜多村　圭

緒　言

近年，放射線治療はintensity modulated radiotherapy（IMRT）に代表されるような革新的技術の進歩により，正確に病巣へ高線量を集中させることが可能になってきた．それに伴い，照射直前に患者，腫瘍の位置が計画時の位置と一致することを確認するために，各種画像を用いた正確な位置照合装置が必要とされている．従来，MD Anderson Cancer Centerでは，直線加速器（LINAC）から発生する人体を透過した高エネルギー放射線を利用して撮影するElectronic portal imaging device（EPID）[1)]およびBモード超音波を用いるB-mode ultrasound localization device（BULD）[2)]が前立腺癌に対するIMRTの位置照合装置として用いられてきた．上記に加え，当院では新たに治療室内にLINACと共通寝台をもつ自走式computed tomography（CT）を備えたIntegrated CT/LINAC combination system（CT-on-rail）を導入した．

このような各種画像を用いる高精度の位置照合法を駆使する放射線治療はimage-guided radiation therapy（IGRT）として急速に普及してきている．しかし，どの画像を用いる方法が最適であるかを示すため，実験的にセットアップ精度を比較した報告は未だ発表されていない．そこで今回，これら３種類の位置照合装置のファントムによる患者セットアップ精度を測定・比較検討したので報告する．

各位置照合装置の特徴

各種位置照合装置（Fig. 1）の特徴をTable 1 に示し，以下に簡単な解説を加える．今回の実験には，EPIDとしてPortal Vision™（Varian Medical Systems, Palo Alto, CA），BULDとしてB-mode acquisition and targeting; BAT™（Nomos, Sewickley, PA），CT-on-railとしてEXaCT Targeting™（Varian Medical Systems, Palo Alto, CA）の３機種を使用した．

EPID[1)]はLINAC gantryに装備された半導体検出器であり，治療用高エネルギー放射線を用いて，LINAC gantryの回転により照射領域の正面像，側面像を得る．計画位置と

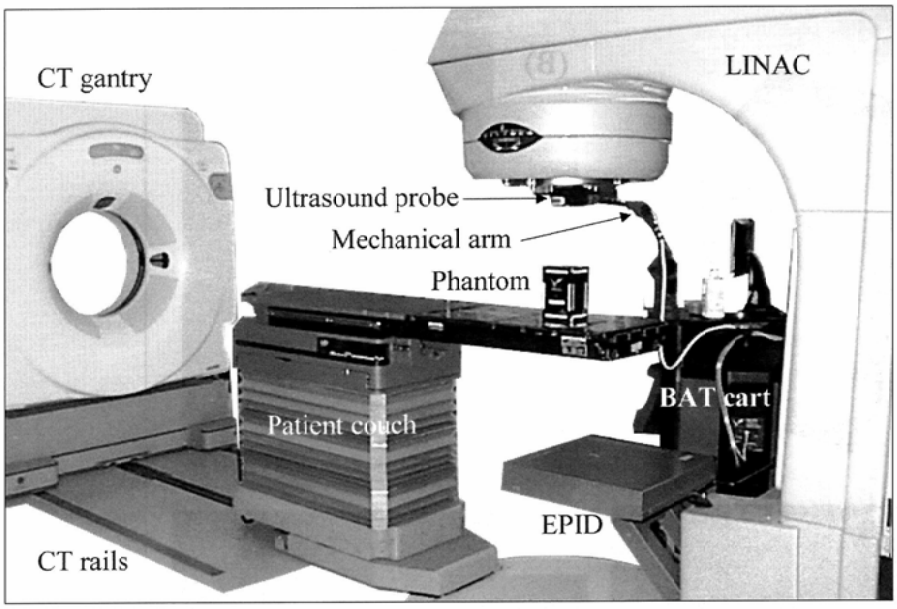

Fig. 1　LINAC with EPID, BAT, and EXaCT.
The mechanical arm of the BAT system is shown attached to the LINAC gantry for initial calibration of the cart position with respect to isocenter.

Table 1　Comparison of CT-on-rail, EPDI, and BULD.

	CT-on-rail	EPID	BULD
Image-forming radiation	Low energy x-rays (120 kV)	High energy x-rays (6 MV)	Ultrasound
Link to LINAC isocenter	Mechanically linked by 180 degree table rotation	Mounted on the LINAC gantry	A mechanical arm is connected to the LINAC head before localization
Image dimension	Reconstructed 3D	Two orthogonal projection 2D images	Two orthogonal reconstructed 2D images
Registration with treatment plan	True 3D registration by either overlaying CTV contours, or automatically registering planning and daily CT images	2D registration by registering DRR with daily image	2.5D registration by overlaying CTV contours with daily ultrasound images
Suitable anatomical sites	Any site. Very large patients will not fit in the bore of the CT gantry	Bony structures. Large patients can be difficult to image	Mainly Prostate. Large patients can be difficult to image
Image quality	High contrast, good SNR, good spatial integrity	Noisy, poor spatial resolution. No soft tissue discrimination	High contrast at structure interfaces. Noisy images
Patient setup precision	Medium-high	Low-medium (high for bony structures or fiducials)	Medium. Inter-user variations can be significant
Approx. patient setup time	6—15 min (depends on anatomical site and registration method)	5 min (two orthogonal images)	5 min
Dose considerations	1—4 cGy	2—10 cGy	None
Footprint	Large treatment room needed for installation	No additional space requirement as integrated into LINAC gantry	Some addition space required to store mobile cart
QA load	Medium (more involved QA)	Low	Low
Post-treatment calculation of patient dose	Daily doses can be accurately calculated from daily CT images	Some limited dose calculations possible	No post-treatment dose calculation possible
Operator training	High	Low	Medium
Cost	High	Low	Low

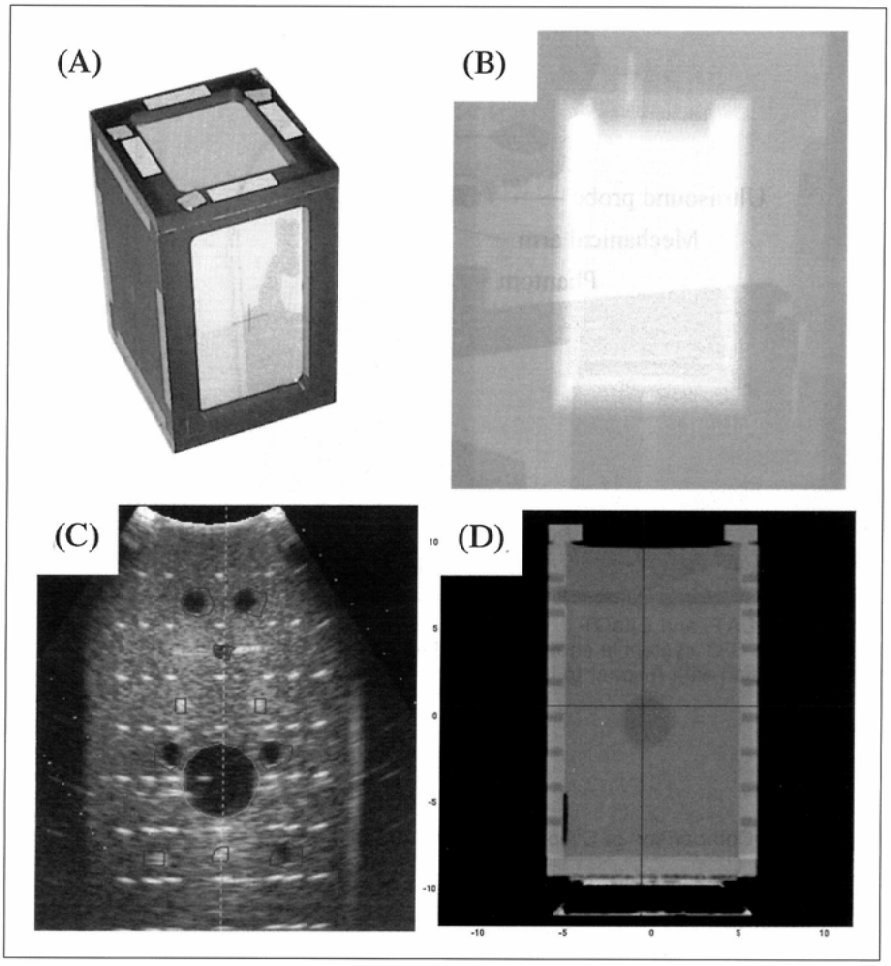

Fig. 2　The BAT phantom.
A: photograph
B: EPID image
C: BULD image
D: CT image

の照合は，計画CTから再構成されるdigitally reconstructed radiograph（DRR）の正面像，側面像との比較照合により可能である．

BULD[2]は台車に設置されているBモード超音波装置であり，アームの先端にプローブが取り付けられている．アームをLINAC gantryと患者寝台に接続することで，台車・LINAC・寝台との位置関係が補正される．標的臓器のaxial像，sagittal像の2組の超音波画像を取得後，計画時に設定された臓器輪郭を超音波画像に重ね，両者が一致するように手動で照合する．計画時と現在の輪郭の差分を患者セットアップ誤差として検出する．

CT-on-rail[3]は共通寝台の180度回転によりLINAC原点とCT原点が一致し，CT画像を取得するとき，寝台は動かずCT gantryが動くシステムである．治療計画時CT画像と現在のCT画像の照合比較により，患者セットアップ誤差の検出が可能である．

対象と方法

今回の実験に使用したBAT用ファントム（Nomos, Sewickley, PA）（Fig. 2）は，LINACの原点（isocenter）とBAT車台との機器的な関係を確認するために設計されたファントムである．このファントムはEPID，BULD，CT-on-railのいずれの画像においてもコントラストが高く，ノイズが少なく，画像照合の結果は画像のsignal-to-noise ratioやinter-user variationの影響は極めて少ないため，安定したセットアップ誤差の測定が可能である．

実際の治療では，セットアップ誤差は前後・左右・頭尾3方向が同時に発生するが，各方向の誤差は独立に発生すると考えられる．また，planning target volume（PTV）を作成する際には，clinical target volume（CTV）をどの程度拡大する必要があるのかは，各方向のセットアップ誤差を独立に考慮すべきであり，本論文では各方向でのセットアップ誤差を独立に検討した．

まず，リファレンス画像として，ファントムのCT画像をスライス厚3mmで取得し，三次元治療計画装置上で標的輪郭設定を行い，輪郭と原点のデータをBULDとCT-on-railに転送した．EPIDのリファレンス画像は，上記CTと同一位置で取得されたEPID画像とした．

次に，ファントムが置かれた共通寝台を，頭尾，背腹，左右方向に計画時位置（原点）より−25mmから+25mmの範囲で動かし，CT-on-rail，EPID，BULDの順にファントムの画像を取得した．画像取得は各方向において，原点で3回，原点から5mm毎の移動で10回，原点から＋3mmの位置

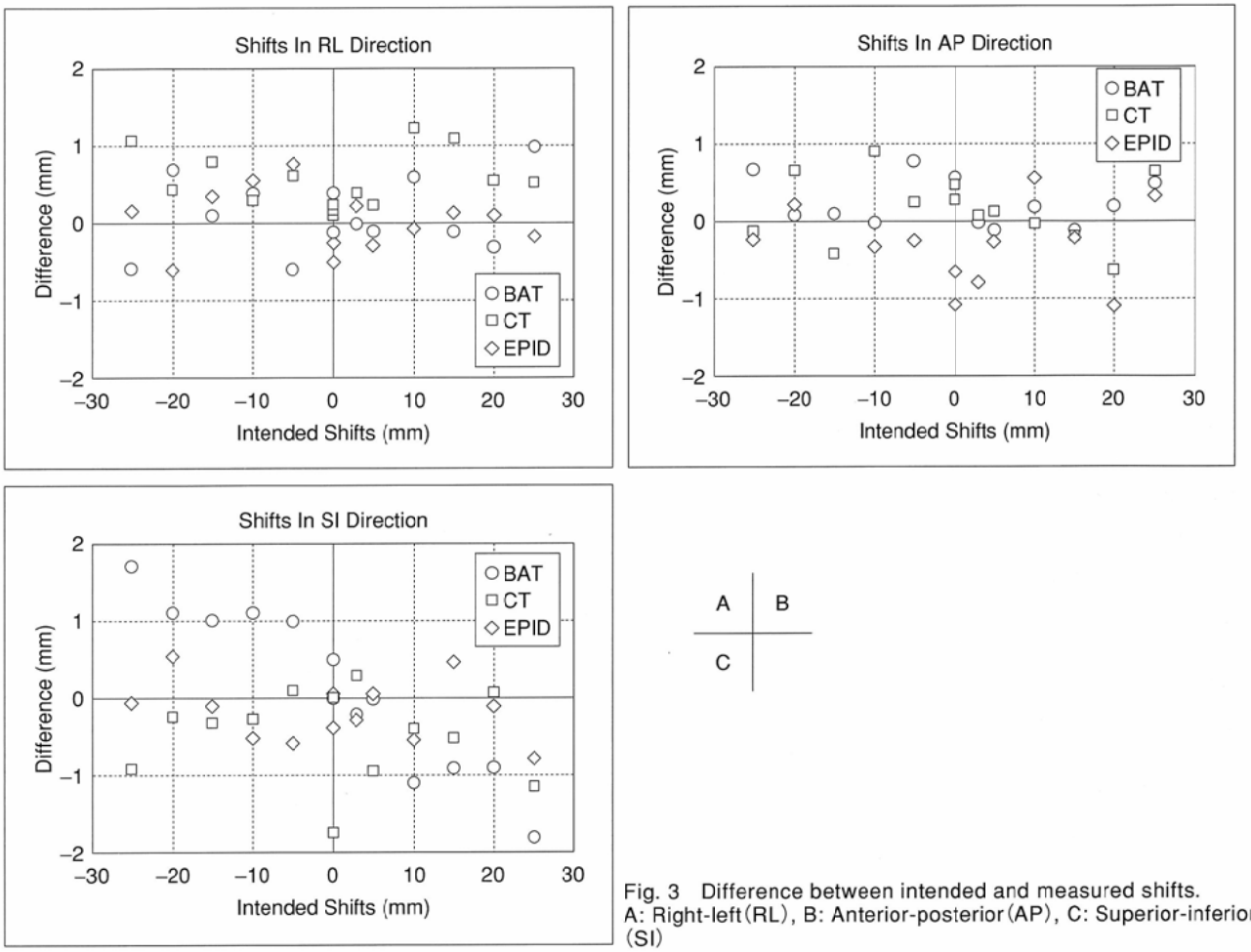

Fig. 3　Difference between intended and measured shifts.
A: Right-left(RL), B: Anterior-posterior(AP), C: Superior-inferior (SI)

で1回，計14回繰り返した．

最後に，取得されたすべての画像を，各位置照合装置のソフトウエア上で，それぞれのリファレンス画像と手動で比較照合した．BULDとCTの検討には，ファントム内にある，超音波とX線に対する特徴が同等の球形の標的を対象にした．EPIDの検討には，ファントムの全体を対象にした．その際，意図したファントム移動距離(目的値)と実際の各位置照合装置での測定値(実測値)との差を，患者セットアップ誤差として検出した．

結　果

12点の測定点(横軸)において，各位置照合装置で検出した14回の患者セットアップ誤差(縦軸)を示す(Fig. 3)．本論文の目的はファントム実験でCT，BULDとEPIDを比較することであり，結果は機器的精度と照合ソフトウエア精度を含んだ総合的精度を示す．横軸はファントム移動距離(目的値)であり，縦軸は目的値と実際の各位置照合装置での測定値(実測値)との差である．差の範囲は頭尾方向では左右方向と背腹方向より大きいことが分かる．Table 2に示すように，各位置照合装置のセットアップ精度(標準偏差)は，BULDによる背腹方向の1.0mmを除いて，いずれの方向にも概ね0.5 mm前後で著明な差は認められなかった．また，この3つのシステム間の測定値のばらつきは最大でも左右方向に1.7mm，頭尾方向に2.6mm，背腹方向に1.6mmであり，3つのシステム間に十分な一致が得られた．

考　察

BULD，CT-on-railのセットアップ精度，および3つのシステム間の測定値のばらつきは，頭尾方向で比較的大きい傾向が見られた．この原因として，BULD，CT-on-railのレファレンス画像がスライス厚3mmで撮影されているため，1×1mm pixelで構築される軸面方向よりも精度が劣ったと考えられる．

今回の報告では，各位置照合装置の機器的精度を考慮していないが，われわれが行ったCT-on-railシステムのファントム実験結果では，こうしたシステムの機器的精度は1mm以内であることを報告している[3]．この精度測定結果は，Kuriyamaら[4]が報告した同様のシステムの結果と矛盾しない．また，EPIDの機器的精度も無視できるほど十分小さいことが報告されている[1]．EPIDは現在多くのLINACに標準装備されており，治療部位によってはその簡便性が発揮され得る．現時点ではBULDの機器的精度に関する報告はな

Table 2 Difference from intended shifts in each modality

	Setup differences (mm)			Max. range (mm)
	EPID	BULD	CT-on-rail	
LR	0.0 ± 0.4	0.1 ± 0.5	0.5 ± 0.4	1.7
SI	−0.2 ± 0.4	0.1 ± 1.0	−0.4 ± 0.6	2.6
AP	−0.3 ± 0.5	0.3 ± 0.3	0.2 ± 0.4	1.6

LR: left-right; SI: superior-inferior; AP: anterior-posterior.
Max. range is the maximum range of setup positions between the three modalities.

く，今後の研究が待たれる．また，超音波を用いるシステムでは，使用者間のバラツキが比較的大きく客観性に乏しいことが指摘されている[5]．Uematsu[6),7)]らは，放射線治療室内にLINACとCTが共通寝台を持つシステムを開発し，IGRTにおけるその臨床的有用性をいち早く報告している．彼らのシステムでは，自走式CTではなく共通寝台をCT gantry内に移動する方法を採用しているが，機器的精度は自走式CTと大差ないものと予想される．

Lattanzi[8)]らは，23例の前立腺癌症例を対象として，臨床的にBULDとCTの位置照合比較により，両者に強い相関が見られることを報告している．今回の実験結果からも，いずれの位置照合装置も同様に精度が高く，それらの精度の優劣を判断することは困難であった．また，3つのシステム間の測定値にも十分な一致が検証され，いずれのシステムもIGRTに利用可能な位置照合装置であると言える．

今回用いたファントムは骨盤内特に前立腺の位置照合目的に開発されたものであり，本報告の結果は実際の前立腺癌に対する放射線治療の精度把握に利用することが可能で，臨床的にも大いに意義があると考えられる．

結　語

本報告の結果より，従来実験的に十分確かめられていなかった各位置照合装置の総合的精度は，ファントム実験上ではいずれも同様の高い精度を示し，IGRTに最適なシステムであることが新たに証明された．治療部位，患者位置照合に要する時間，コストなどによって使い分けることが望ましいと考えられる．

文　献

1) Dong L, Boyer AL: A portal image alignment and patient setup verification procedure using moments and correlation techniques, Phys Med Biol 41: 697–723, 1996
2) Huang E, Dong L, Chandra A, et al: Intrafraction prostate motion during IMRT for prostate cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 53: 261–268, 2002
3) Court LE, Rosen I, Mohan R, et al: Evaluation of mechanical precision and alignment uncertainties for an integrated CT/LINAC system. Med Phys (in press).
4) Kuriyama K, Onishi H, Sano N, et al: A new irradiation unit constructed of self-moving gantry-CT and LINAC. Int J Radiat Oncol Biol Phys 55: 428–435, 2003
5) Enke C, Ayyangar K, Saw CB, et al: Inter-observer variation in prostate localization utilizing BAT. Int J Radiat Oncol Biol Phys 54 (Suppl.): 269, 2002
6) Uematsu M, Shioda A, Suda A, et al: Intrafractional tumor position stability during computed tomography (CT)-guided frameless stereotactic radiation therapy for lung or liver cancers with a fusion of CT and linear accelerator (FOCAL) unit. Int J Radiat Oncol Biol Phys 48: 443–448, 2000
7) Uematsu M, Shioda A, Taira H, et al: Interfractional movements of the prostate detected by daily computed tomography (CT)-guided precise positioning system with a fusion of CT and linear accelerator (FOCAL) unit. Int J Radiat Oncol Biol Phys 54 (Suppl.): 13, 2002
8) Lattanzi J, McNeeley S, Pinover W, et al: A comparison of daily CT localization to a daily ultrasound-based system in prostate cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 43: 719–725, 1999