

## 臨床技術

論文受付  
2016年3月4日

論文受理  
2017年1月12日

Code No. 432

## 電子線治療における無色透明型ボラスの視認性および水等価性に関する検討

丸山大樹 山崎真一 本多絵美 鈴木英二 本松弘嗣 大柴 良 佐藤 登

日本赤十字社医療センター医療技術部

### 緒言

放射線治療用補助具は日々新しい製品が開発されている。高エネルギー電子線による表在性腫瘍に対する治療を行う際、皮膚表面線量を補償するためボラスを用いることは広く知られている。ボラスは線量を補償するだけでなく、乳房切除術後電子線治療における組織欠損部分の線量均一化にも有効である<sup>1,2)</sup>。Moyer RF らによればボラスに必要な特性にはボラスの柔軟性、透明性、水等価性、耐久性、不燃性、人体に対し無害であること、清掃が容易であることお

よび安価であることがあげられている<sup>3)</sup>。中でも水等価性の要件においては、ボラスによる患者吸収線量の変化を考慮する必要がある。American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Report No.13 によれば放射線治療計画の過程における線量計算などに由来する患者に投与される線量の不確かさは5%以内の精度で管理されるよう勧告されている<sup>4)</sup>。

以上より、新たなボラスを実際の治療に用いる際にはその特性を把握することが重要である。

当院に新規導入された無色透明型ボラスは従来型

### Basic Study on Visibility and Water Equivalency of a New Colorless Transparent Bolus for Electron Radiotherapy

Daiki Maruyama,\* Shinichi Yamazaki, Emi Honda, Eiji Suzuki, Kouji Hommatsu, Ryo Oshiba, and Noboru Sato

Department of Medical Technology, Japanese Red Cross Medical Center

Received March 4, 2016; Revision accepted January 12, 2017

Code No. 432

#### Summary

Boluses used in electron radiotherapy need to have radiation field visibility and water equivalence. In this report, we have examined field visibility and water equivalence of a new colorless transparent bolus. We examined field visibility, water equivalence, and dose profile. Field visibility was evaluated by comparison to conventional bolus. Water equivalence was investigated by a measured fluence scaling factor. The dose profile was measured by using radiochromic film with the bolus and an ionization chamber in water. We confirmed that the irradiation field could clearly be seen through the transparent colorless bolus. The bolus did not cast a field edge as compared with the conventional bolus. The fluence scaling factor was less than 0.8% as compared to water. We confirmed that the colorless transparent bolus was treated as a water equivalent material. The percentage depth dose (PDD) measured by using radiochromic film with the bolus matched the PDD measured with an ionization chamber in water.  $R_{50}$  was less than 1 mm as compared to PDD measured with an ionization chamber. It was confirmed that the colorless transparent bolus can use to set up patient without losing visibility on flat ground planes. The fluence scaling factor and dose profile measured by using the bolus matched the results measured in water. Therefore, the new colorless transparent bolus has feasibility to improve patient setup efficiency and can improve calculation accuracy by using the fluence scaling factor.

**Key words:** electron radiotherapy, bolus, water equivalent, fluence scaling factor, percentage depth dose (PDD), radiochromic film

\*Proceeding author



Fig. 1 Image of colorless transparent bolus.

ボラスと異なりボラス内部が着色されていないため、体表マーカ視認性向上などが期待される。しかし、ボラスが無色になることによる視認性を評価した報告はない。また無色透明型ボラスはベンダから元素組成および組成比が示され、水等価性であることがアナウンスされているが詳細な計測データの報告はない。

本研究の目的は高エネルギー電子線治療における無色透明型ボラスの視認性および水等価性を検証し、治療精度向上の可能性を検討することである。

## 1. 方法

### 1-1 無色透明型ボラス

Figure 1は無色透明型ボラス(フジデノロ株式会社, クリアフィットボラス)の外観図である。使用したボラスサイズは縦 30 cm, 横 30 cm, 厚さ 1.0 cm である。Table 1 は水および無色透明型ボラスの元素組成および各種パラメータである。無色透明型

ボラスの構成元素は水素, 酸素, 窒素および炭素である。

### 1-2 無色透明型ボラスの視覚評価試験

無色透明型ボラスの照射野視認性を評価するため視覚評価試験を行った。評価項目はボラスを使用したときの光照射野の視認性, 照射野十字線の視認性, 体表マーカの視認性および総合的なボラスの使いやすさの 4 項目とした。

Figure 2 は汎用型リニアック(株式会社バリアンメディカルシステムズ, Clinac iX)に電子線ツープスを装着し形成した直径 6 cm の照射野をマーキングした外観図である。台紙には段ボール紙を使用した。(a)は台紙に何も重ねない状態, (b)は従来型ボラス(シブコ社製, Bolx-I)および無色透明型ボラスを重ねた状態である。従来型ボラスは縦 15 cm, 横 15 cm, 厚さ 1.0 cm を使用した。

視覚評価試験は光照射野をマーキングした台紙に無色透明型ボラスを重ねた条件および従来型ボラスを重ねた条件を対象に, それぞれのボラスについて行った。視認性に関する試験は絶対評価を利用し, よく視認できる場合は 5 点, まったく視認できない場合を 1 点とし 5 段階評価によって点数を決定した。同様に総合的な使いやすさに関する試験はとても使いやすい場合を 5 点, とても使いにくい場合を 1 点とした。

臨床現場でボラスを使用する場合は照射野マークと光照射野を照合し, 両者を一致させた後ボラスを設置する。そして, ボラスの設置による照射野マークと光照射野のズレが生じていないか確認する。本実験においても同様の方法でセットアップを行い視認性を評価した。光照射野を照らす際の室内照明の明るさは照射野陰影辺縁が見えやすいように調節しながら位置合わせするため, 視覚評価試験に関しても明室条件, 薄暗い条件, 暗室条件の 3 段階に明るさを調節し, 3 段階の照明条件を総合し点数を決定することとした。観察者は放射線治療業務に従事する診療放射線技師 5 名と治療業務に従事していない診療放射線技師 5

Table 1 Elemental composition and various parameters of water and colorless transparent bolus

	Medium	Water	Colorless transparent bolus
Weight ratio	H	0.1119	0.1035
	C	/	0.6332
	N	/	0.2577
	O	0.8881	0.0056
Mass density $\rho$ (g cm <sup>-3</sup> )		0.998	1.02
Relative electron density for water $(\rho_e)_{pl,w}$		1.000	0.992
Relative electron concentration for water $(\rho_e^*)_{pl,w}$		1.000	1.014

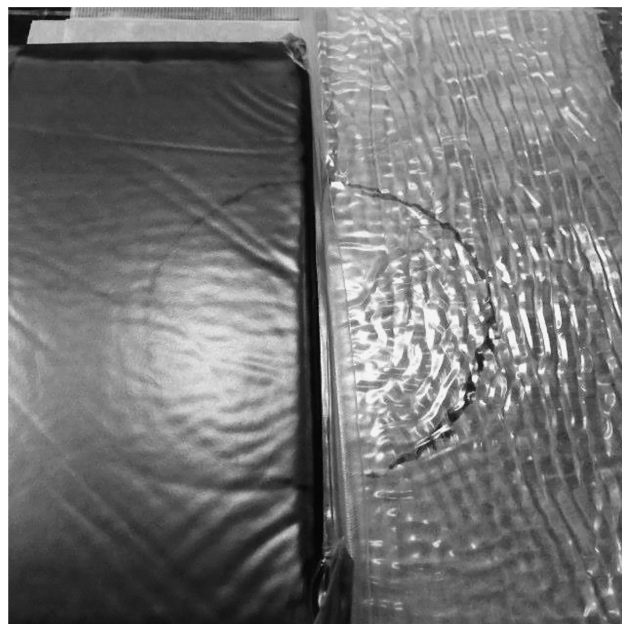
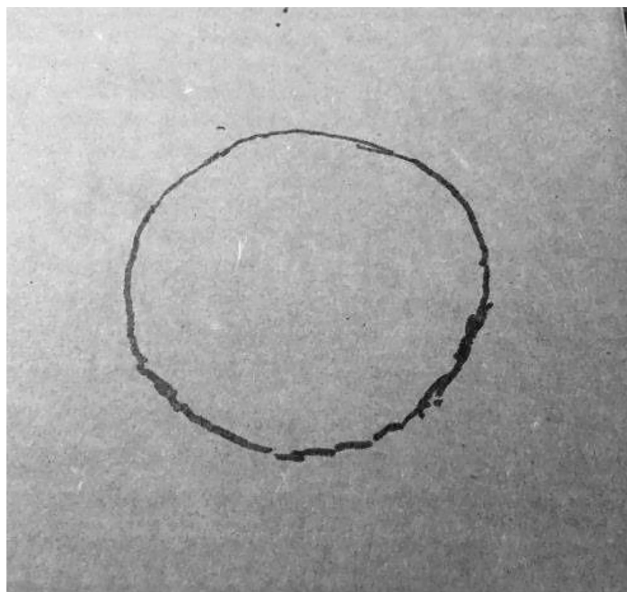


Fig. 2 Images of mount marked field shape of 6 cm diameter.

(a) Stacked no material, (b) Stacked colorless transparent bolus, and conventional bolus

a | b

名, 合計 10 名で行い平均値を求めた.

なお視覚評価試験結果を本論文で公表することに関しては各観察者に説明し同意を得た.

### 1-3 無色透明型ボラスのフルエンスケーリング係数の計測

固体ファントムを使用する場合, 使用するファントムの深さスケーリングおよびフルエンスケーリングを考慮する必要がある. 無色透明型ボラスの深さ  $d_{\text{bolus}}$  を物理的深さ  $d$  (cm) とボラスの密度  $\rho_{\text{bolus}}$  ( $\text{g cm}^{-3}$ ) より次式で求めた<sup>5)</sup>.  $d$  および  $\rho_{\text{bolus}}$  はベンダ公称値を用いた.

$$d_{\text{bolus}} = d \rho_{\text{bolus}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

更に水等価深さ  $d_{\text{water}}$  (cm) を  $d_{\text{bolus}}$  および深さスケーリング係数  $c_{pl}$  より次式で求めた. 無色透明型ボラスの  $c_{pl}$  を計測により求めるのは困難である. 本研究においては代替する  $c_{pl}$  として標準計測法 12 付録 11 より無色透明型ボラスの元素組成および密度が類似する固体ファントム WE211 (株式会社京都科学) の  $c_{pl}$  を採用した<sup>5)</sup>. Table 2 に無色透明型ボラスおよび WE211 の各種パラメータを示す. 無色透明型ボラスの主な構成元素は水素 10.3%, 炭素 63.3%, 窒素 25.8% および酸素 0.6% であるのに対し, WE211 は水素 8.2%, 炭素 66.3%, 窒素 20.7%, 酸素 2.2% となっており, 類似した値を示している. 密度に関しても無色透明型ボラスが  $1.02 \text{ g cm}^{-3}$  であるのに対し,

WE211 は  $1.017 \text{ g cm}^{-3}$  である.

$$d_{\text{water}} = d_{\text{bolus}} c_{pl} \quad \dots\dots\dots (2)$$

求めた  $d_{\text{water}}$  を用い物理的深さ  $d$  の無色透明型ボラスにおけるフルエンスケーリング係数を計測した. フルエンスケーリング係数  $h_{\text{bolus}}$  はボラス下の電離箱線量計の表示値  $M_{\text{bolus}}$  および, 水中の表示値  $M_{\text{water}}$  から次式で求めた.

$$h_{\text{bolus}} = \frac{M_{\text{water}}}{M_{\text{bolus}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Figure 3 は  $h_{\text{bolus}}$  の計測体系図である. (a) は  $M_{\text{bolus}}$  の計測体系図である. 無色透明型ボラスを水面に浮かせ, 電位計 (PTW 社, UNIDOS T10001) に接続した平行平板形電離箱 (PTW 社, TM34045) をボラス後面に設置した. ボラスはボラス自体の浮力により水面に浮かせることが可能であるため固定補助具等は使用せず行った. (b) は  $M_{\text{water}}$  の計測体系図である. 水中に平行平板形電離箱を設置し計測深は  $d_{\text{water}}$  とした. 電子線エネルギーは当院においてボラスを使用した電子線治療に用いた実績のある 6 MeV, 9 MeV および 12 MeV を使用した. 架台角度 0 度, ツーブスサイズ  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  とし, 線源表面間距離 (source surface distance: SSD) を  $100 \text{ cm}$  とした. 標準計測法 12 における評価点線量において  $100 \text{ cGy}$  を 3 回照射し平均値を求めた.



Table 2 Elemental composition and various parameters of colorless transparent bolus and WE211

Medium		Colorless transparent bolus	WE211
Weight ratio	H	0.1035	0.0821
	C	0.6332	0.6633
	N	0.2577	0.2065
	O	0.0056	0.0221
	Cl	/	0.0040
	Ca	/	0.0220
Mass density $\rho$ (g cm <sup>-3</sup> )		1.02	1.017
Depth scaling factor $c_{pl}$			0.953

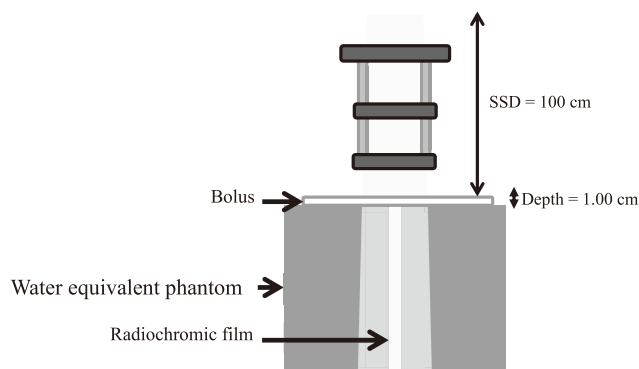
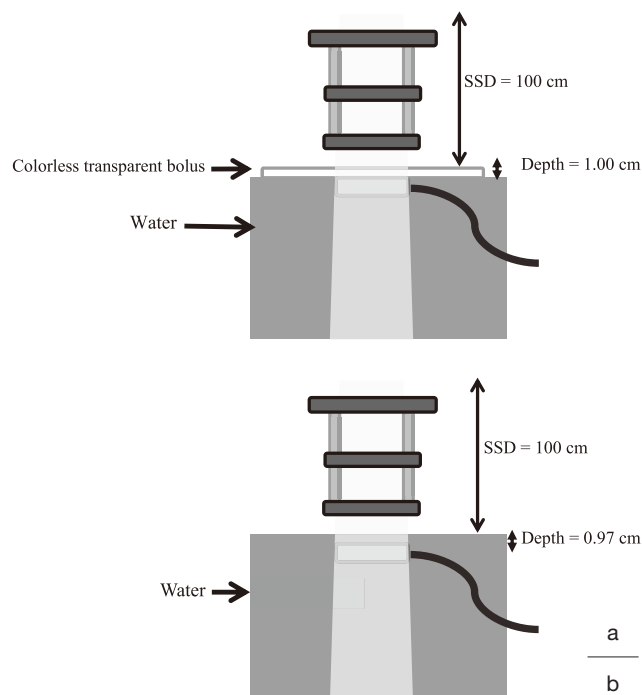


Fig. 4 Arrangement of measurement PDD using radiochromic film.

#### 1-4 ボーラスを使用した線量プロファイルの計測

無色透明型ボーラスを使用したときの線量プロファイルの変化を検討するため深部量百分率 (percentage depth dose: PDD) を計測した。Figure 4 はボーラスを使用した PDD 計測体系図である。ラジオクロミックフィルム (アールテック有限会社, Gafchromic EBT3) を水等価ファントムで挟み、上部に 1.0 cm の無色透明型ボーラスおよび従来型ボーラスを積層した。架台角度 0 度、ツープスサイズ 10 cm×10 cm, SSD100 cm とし、評価点線量において 300 cGy 照射した。電子線エネルギーは 6 MeV, 9 MeV および 12 MeV を使用した。照射したフィルムをフィルム解析ソフトウェア (アールテック有限会社, DD-system Ver 9.4) により解析し、水中に平行平板形電離箱を設置し計測した PDD, 無色透明型ボーラスおよび従来型ボーラスを使用しラジオクロミックフィルムにより計測した PDD の結果を比較検討した。比較方法は電子線線質の評価として  $R_{50}$  を使い、電離箱線量計およびラジオクロミックフィルムによって計測した PDD の差  $E$  を次式により求めた<sup>6)</sup>。

Fig. 3 Arrangement of measurement fluence scaling factor. (a)  $M_{bolus}$ , (b)  $M_{water}$ 

$$E = \frac{1}{N} \times \sum_{d=1}^N \left| \frac{MF_d - MW_d}{MW_d} \right| \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

$N$  は利用した計測点の総数、 $d$  は計測点の番号である。電子線の治療領域は最大線量の 90%~80% の深さとされておりこの範囲を評価範囲とした<sup>7)</sup>。  $MF_d$  および  $MW_d$  はある深さにおけるラジオクロミックフィルムと電離箱線量計により計測した PDD である。本評価方法は AAPM Task Group 142 report において、ビームプロファイルの平坦度や対称性を評価する方法として用いられている。この方法は基準点に対する測定点の差の総和を示しており平坦でないビームプロファイル評価にも使用できる<sup>8)</sup>。よって本実験のような評価範囲を限定した PDD の評価にも使用できると考えられる。

## 2. 結果

### 2-1 無色透明型ボーラスの視覚評価試験結果

Table 3 は無色透明型ボーラスおよび従来型ボーラスの視覚評価試験結果である。点数は放射線治療従事者群、非放射線治療従事者群および両者合計の平均値である。両者合計の平均値は総合的な使いやすさおよび個別評価ともに無色透明型ボーラスが従来型ボーラスに比較し高い点数であった。治療従事者群と非治療従事者群を個々に評価した場合でも、すべての項目に

Table 3 Visibility evaluation test results of colorless transparent bolus and conventional bolus

Bolus	Evaluation contents		Radiotherapy technologist	Non radiotherapy technologist	Total score
Colorless transparent bolus	Overall convenient		3.8	4.2	4.0
	Individual evaluation	Field visibility	4.6	4.0	4.4
		Cross hair visibility	3.6	4.4	4.0
		Body marker visibility	3.8	4.2	4.0
Conventional bolus	Overall convenient		3.2	3.0	3.1
	Individual evaluation	Field visibility	3.4	3.8	3.6
		Cross hair visibility	3.4	2.8	3.1
		Body marker visibility	2.8	2.8	2.8

において無色透明型ボーラスが従来型ボーラスよりも高い結果となった。

## 2-2 無色透明型ボーラスのフルエンススケール係数計測結果

無色透明型ボーラスにおける密度の公称値は  $1.02 \text{ g cm}^{-3}$  である。式(1)より物理的深さ  $1.0 \text{ cm}$  における無色透明型ボーラスの深さ  $d_{\text{bolus}}$  は  $1.02 \text{ g cm}^{-2}$  である。また式(2)より無色透明型ボーラスの水等価深  $d_{\text{water}}$  は  $0.97 \text{ g cm}^{-2}$  である。

Table 4 は  $6 \text{ MeV}$ ,  $9 \text{ MeV}$  および  $12 \text{ MeV}$  電子線における無色透明型ボーラス  $1.0 \text{ cm}$  のフルエンススケール係数  $h_{\text{bolus}}$  および  $h_{\text{bolus}}$  の水に対する相対誤差である。無色透明型ボーラスのフルエンススケール係数は水に対し約  $0.8\%$  以内であった。

## 2-3 ボーラスを使用した線量プロファイルの計測結果

Figure 5 は電離箱線量計およびラジオクロミックフィルムにより計測した PDD グラフと無色透明型ボーラスおよび従来型ボーラスを使用しラジオクロミックフィルムにより計測した PDD グラフである。(a)は  $6 \text{ MeV}$ , (b)は  $9 \text{ MeV}$ , (c)は  $12 \text{ MeV}$  電子線の PDD グラフである。Table 5 はラジオクロミックフィルムにより計測した電子線の  $R_{50}$  である。水中において電離箱線量計によって計測した  $R_{50}$  は  $6 \text{ MeV}$ ,  $9 \text{ MeV}$ ,  $12 \text{ MeV}$  において  $24.16 \text{ mm}$ ,  $36.58 \text{ mm}$ ,  $50.82 \text{ mm}$  であった。すべてのエネルギーにおいて  $R_{50}$  は水中における計測結果に対して AAPM Task Group 142 report に示されている許容誤差である  $1 \text{ mm}$  以内であった。また、式(4)より求めた電離箱線量計によって計測した PDD に対する無色透明型ボーラスを用いてラジオクロミックフィルムによって計測した結果の相対誤差は  $6 \text{ MeV}$ ,  $9 \text{ MeV}$ ,  $12 \text{ MeV}$  に対して

$0.77\%$ ,  $-0.22\%$ ,  $-0.04\%$  であった。

## 3. 考 察

視覚評価試験の結果よりボーラスの種類により視認性は異なり、無色透明型ボーラスの視認性は従来型ボーラスに比較し良好な結果を示した。

Figure 6 は光照射野辺縁をマークした台紙にボーラスを設置し照射野十字線を投影した外観図である。(a)は従来型、(b)は無色透明型ボーラスの投影外観図である。従来型ボーラスは照射野マークおよび照射野十字線が滲んで映るのに対し、無色透明型ボーラスは鮮明に映ることがわかる。これは無色透明型ボーラスは従来型ボーラスによって生じるような半影が少ないためであると考えられる。

治療従事者群のボーラスの種類による点数差は非放射線治療従事者群よりも少ない結果であった。また、治療従事者群の無色透明型ボーラスの個別評価は照射野視認性が最も高い結果となり、照射野十字線視認性が最も低い結果となった。Figure 6(b)の無色透明型ボーラスの表面には従来型ボーラスと異なり凹凸が生じていることがわかった。これはボーラス表面の保護シートによるものである。治療従事者群は従来型ボーラスの使用経験が豊富なため、この凹凸による視認性低下を感じたと考えられる。しかしながら、無色透明型ボーラスは従来型ボーラスに比較し鮮明に照射野十字線、照射野陰影辺縁および照射野マークが視認できるため、治療従事者群においても無色透明型ボーラスの点数が高くなったと考えられる。

厚さ  $1.0 \text{ cm}$  の無色透明型ボーラスにおける水に対するフルエンススケール係数の相対誤差は  $6 \text{ MeV}$ ,  $9 \text{ MeV}$  および  $12 \text{ MeV}$  電子線について  $0.8\%$ ,  $0.7\%$ ,  $0.3\%$  であった。AAPM Task Group Report No.13 では患者に投与される線量のビーム中心にお

Table 4 Fluence scaling factor of colorless transparent bolus

Electron energy	6 MeV	9 MeV	12 MeV
Fluence scaling factor $h_{\text{bolus}}$	1.008	1.007	1.003
Relative error for water (%)	0.8	0.7	0.3

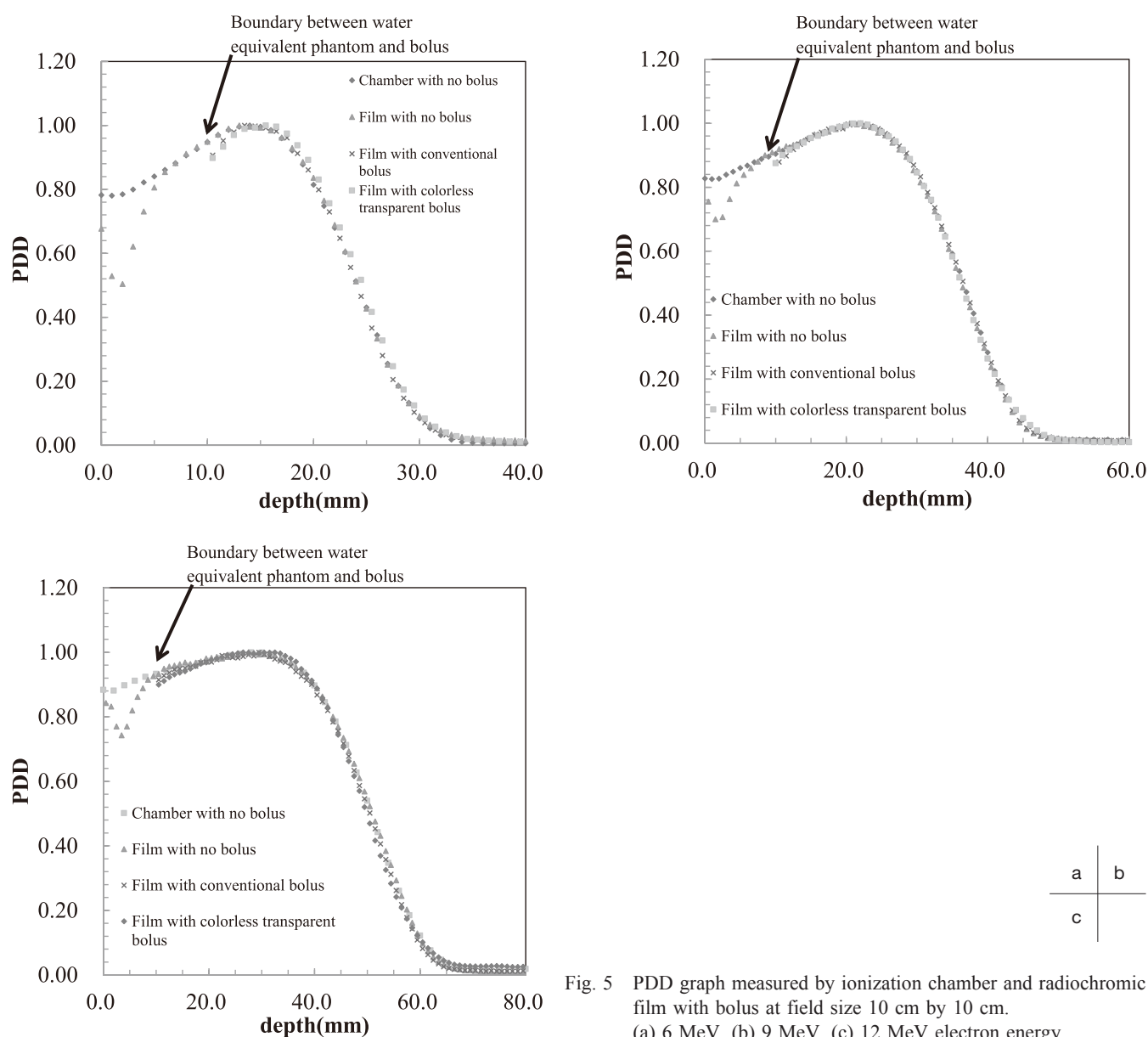


Fig. 5 PDD graph measured by ionization chamber and radiochromic film with bolus at field size 10 cm by 10 cm.  
(a) 6 MeV, (b) 9 MeV, (c) 12 MeV electron energy

る補償フィルタなどによる不確かさは2%の精度で管理する必要があるとされている<sup>4)</sup>。無色透明型ボラスのフルエンススケリング係数は標準計測法 12 付録 11 に示されている水等価ファントムとして使用されている固体ファントムと近似した値を示している。本実験で使用したボラスの厚さ  $d$  は 1.0 cm であるため、6 MeV、9 MeV および 12 MeV 電子線ではビルドアップ領域での計測となる。ボラス表面から発生する散乱線による不確かさおよび計測値再現性を考慮

すると、無色透明型ボラスは水等価物質として扱うことができると考えられる。本研究は無色透明型ボラスの放射線による着色や経年劣化による材質変化は評価していない。固体ファントムを使用する場合は定期的に材質変化が生じていないことを評価することも重要である。

無色透明型ボラスおよび従来型ボラスを使用しラジオクロミックフィルムにより計測した  $R_{50}$  は電離箱線量計による計測結果に対して 1 mm 以下となり

Table 5  $R_{50}$  measured by radiochromic

Electron energy		6 MeV	9 MeV	12 MeV
$R_{50}$ (mm)	No bolus	24.14	36.29	50.99
	Conventional bolus	24.12	36.59	50.54
	Colorless transparent bolus	24.67	36.27	50.41

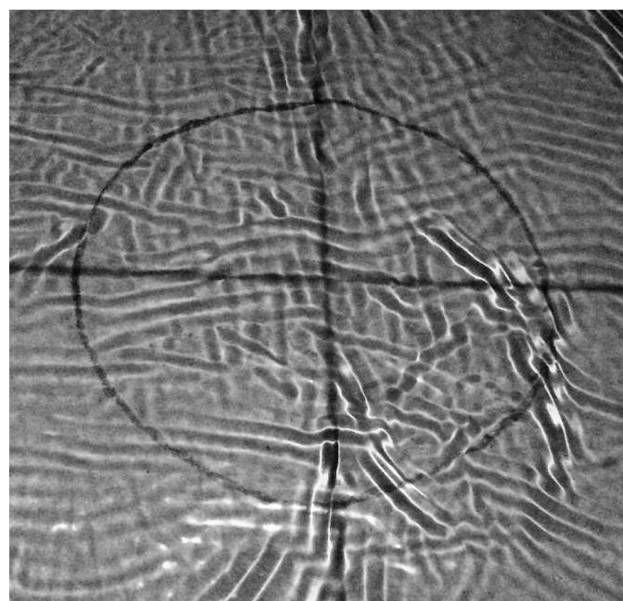
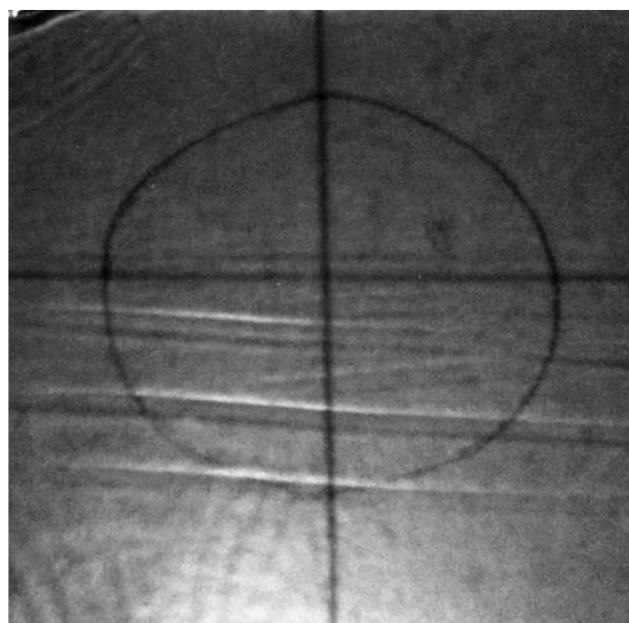


Fig. 6 Images of cross hair line.

(a) Conventional bolus, (b) Colorless transparent bolus

ボラスによる線質の変化は少ないことが示され、PDD 形状についてもほぼ一致した。ボラスを積層せずにラジオクロミックフィルムにより計測した PDD は電離箱線量計により計測した PDD と形状は一致したがビルドアップ領域においては乖離がみられた。これはラジオクロミックフィルムを固体ファントムに挟み込んだ表面が入射表面になるためラジオクロミックフィルムに直接電子線が入射したためであると考えられる。

無色透明型ボラスおよび従来型ボラスを使用し計測した PDD はボラスと水等価ファントム接地面付近で電離箱線量計による計測結果と乖離することが明らかになった。M. Kong らによるとボラスとファントム表面間に 1.0 cm の間隙があった場合、表面線量が 2~5% 減少するとされている<sup>9)</sup>。式(4)よりビルドアップ領域におけるラジオクロミックフィルムおよび電離箱線量計によって計測した PDD の差を求めた結果、無色透明型ボラスを使用した 6 MeV, 9 MeV および 12 MeV 電子線において -2.88%, -0.67%, -0.98%, 従来型ボラスでは -3.10%, -0.75%, -0.63% であった。これはボラスと固体ファントム接地面の

間隙によるものであると考えられ、ボラスの種類による変化は少ないことが示された。従来型ボラスと比較し無色透明型ボラスの表面には保護シートによる凹凸が目立っているが計測結果に違いは少なく、本実験のような幾何学的配置では無色透明型ボラス表面の凹凸による線質変化は少ないと考えられる。

本研究は臨床条件とは異なり、平坦な台紙にボラスを設置するという条件で視覚評価試験を行い、フルエンススケーリングおよび線量プロファイル計測においても、平坦なファントムに対し垂直にビーム入射する配置で行った。臨床現場においては本研究の測定体系とは異なり皮膚表面が平坦ではない場合が多くある。本研究で用いたボラスを乳房切除術後のような複雑な凹凸のある皮膚面に使用する場合、ボラス後面と皮膚面に間隙が生じる可能性がある。その場合、視認性はボラスが皮膚面と密着している場合とは異なる可能性があり、間隙による線量低下を生じると考えられる。また、ボラスが大きく湾曲するような皮膚面に設置するとボラス保護シートによる凹凸が強調され視認性が低下する可能性があるのに加え、電子線のボラス内における通過距離が長くなり湾曲が大



きくなる照射野辺縁において線量低下を生じる可能性がある。

よって、ボラスを利用できるのは皮膚表面が平坦もしくは表面との圧着が担保できる軽度の湾曲がある部位に限定され、凹凸が存在する部位には専用にカスタマイズしたボラスを利用する必要があると考えられる<sup>1, 2)</sup>。

#### 4. 結 語

無色透明型ボラスの視認性は従来型とは異なり、ボラス接地面が平坦な条件においては位置照合精度向上に寄与的であることが明らかになった。しかし、臨床条件ではボラスの湾曲などにより視認性が変化することがあり注意が必要である。また、無色透明型ボラスは水等価性物質として扱うことができボラスによる線質の変化は許容値以内であった。

以上から、無色透明型ボラスは高エネルギー電子線治療において照射野視認性などの向上による患者セットアップ効率向上に寄与できる可能性があり、フルエンススケリング係数を利用することで線量計算精度の向上が可能である。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、当院医療技術部諸氏にはアンケートにご協力いただくなどさまざまな面でご協力をいただきましたことに深謝申し上げます。また、無色透明型ボラスについて資料提供をいただきましたフジデノロ株式会社に深く感謝いたします。

なお、本研究の要旨は第43回日本放射線技術学会秋季学術大会(2015年、金沢)にて発表した。

#### 参考文献

- 1) Mahdavi H, Jabbari K, Roayaei M. Evaluation of various boluses in dose distribution for electron therapy of the chest wall with an inward defect. *J Med Phys* 2016; 41(1): 38-44.
- 2) Perkins GH, McNeese MD, Antolak JA, et al. A custom three-dimensional electron bolus technique for optimization of postmastectomy irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001; 51(4): 1142-1151.
- 3) Moyer RF, McElroy WR, O'Brien JE, et al. A surface bolus material for high-energy photon and electron therapy. *Radiology* 1983; 146(2): 531-532.
- 4) AAPM Report No. 13. Physical Aspects of Quality Assurance in Radiation Therapy 1984; 18: 73-109.
- 5) 日本医学物理学会 編. 外部放射線治療における水吸収線量の標準計測法. 東京: 通商産業研究社, 2012.
- 6) AAPM Task Group No. 142. Quality assurance of medical accelerators. *Medical Physics* 2009; 36(9): 4199-4204.
- 7) 大西 洋. がん・放射線療法 2010. 東京: 篠原出版新社, 2010.
- 8) 岡本裕之. 詳説 放射線治療の精度管理と測定技術. 東京: 中外医学社, 2012.
- 9) M. Kong, L. Holloway. An investigation of central axis depth dose distribution perturbation due to an air gap between patient and bolus for electron beam. *Australasian Phys Eng Sci Med* 2007; 30(2): 111-118.

問合せ先

〒150-8935 渋谷区広尾 4-1-22

日本赤十字社医療センター医療技術部 丸山大樹