

- トップコラム／群馬大学 重粒子線医学研究センター 特任教授 金井 達明
- X線検査における患者線量の評価／〔シリーズ4〕EPD
- 個人線量計の装着部位・算出方法について／〔その1〕体幹部均等被ばく
- お願い／長期間当社にご返却されないバッジについて
- お知らせ／日本保健物理学会「第48回研究発表会」
- お知らせ／2015年製薬放射線研修会(第17回製薬放射線コンファレンス総会)

ト  
ッ  
プ  
コ  
ラ  
ム  
161



金井 達明

## 粒子線治療装置の昨今

先日、放射線医学総合研究所を訪れ、新しいscanning炭素線治療を見学してきました。治療台周りの装置はすべて患者さんから見えないように配慮されていて、非常にすっきりしたデザインで、私がかかわって開発した過去の治療装置とは隔世の感がありました。私の開発した装置は、「実験をやっている!」という感じで、患者さんに不安を感じさせていたと改めて反省する次第でした。そこで、私の中で最も患者さんに不安を与えてしまった陽子線治療の建設時の話を、今回はしたいと思います。

1974年に放医研に入所したばかりの私に、陽子線をscanningして治療をするシステムを作るといってもないことを任せられました。

中性子線治療のために導入されたサイクロトロンを陽子線治療に利用しようというもので、陽子線のエネルギーは70MeV、水中ただか3cm強の飛程しかありません。そこで、表在性の腫瘍を治療しようということです。

**スポットビームを作る** 当時、サイクロトロンのビームはふらふらしていてじっとしていませんでした。そこで、ビームを少し散乱させて2つのコリメータで照射の軸とビームの形を決めることにしました。現在の放医研のように軸がずれないようにfeed backするというideaは、全く持ち合わせていませんでした。四角くコリメートしたビームをアイソセンターで張り付けていけば多少ぼけていても一樣な分布ができると信じて、scanningのステップも決めていきました。現在では、ほぼ円形のビームを重ね合わせて一樣な照射野ができるように最適化したステップを決めています。当時の私は、信じる者は救われるということで突き進んでいきました。

**高速扇風機** 現在では、scanning照射は飛程を各スポット毎に制御して3次元的な線量分布を得ることが当たり前になっていますが、私たちは、深さ方向はレンジモジュレータと呼ばれる扇状に山をもつアブソーバを扇風機のように回転させて、拡大Braggピークを作って治療することにしました。(実験的には3次元の分布ができることなどを示したのですが、実際の治療には使いませんでした)scanしているビームがスポットに留まっている間に、レンジモジュレータの山・谷のあるアブソーバを高速で回転し、平均的に拡大Braggピークを作ることになりました。非常に高速でレンジモジュレータを回転させなくてはならず、爆音の中で治療する羽目になりました。実際に患者さんの治療を実施したのですが、医師が患者さんに叫びながら話をし、治療をするという状態でした。今でも、患者さんには怖い思いをさせたなど反省しています。

高速で回転する扇風機は、爆音で声をかき消すだけじゃなく、線量モニタの薄い膜を爆風で振動させ、モニタとしてとても計れるものではありませんでした。患者さんには、我慢していただいたのですが、さすがにモニタさんに我慢していただくわけにはいかず、モニタを真空パイプでサンドイッチし、風の影響を少なくして何とかモニタの役割を果たせるように改良しました。

**scanning制御** スポットの動きは、TOSBAC40Cという最新のミニコンで制御することになりました。制御するといってもすべて私の手作りで、アセンブラ言語を紙テープにパンチし、プログラムをロードして動かしていました。紙テープは読み込み装置で目詰まりしたり、途中で切れてしまったりするので、そのたびにパンチされている機械語を確認しながら紙テープを修理したりで、何とも言えないくらい人間臭くアナログな感じでした。

**陽子線治療** いよいよ患者さんの治療を行うときには、いまいち信用を置けないサイクロトロンに、心から「私の想定外のことが起こらないでくれ!!」と願い、「早く終われ!!」と心の中で手を合わせて祈っていました。

**終わりに** 今思えば、若造の作った装置を文句も言わず使ってくれた森田医師に感謝ですし、若造に仕事を任せてくれた稲田先生と河内先生に感謝です。

.....

かない たつあき(群馬大学 重粒子線医学研究センター 特任教授)

プロフィール●1974年3月東京教育大学理学研究科修士課程原子核物理専攻修了、同年4月放射線医学総合研究所物理研究部研究員。2005年4月同研究所重粒子治療センター医学物理部長、翌年4月同センター物理工学部長。2009年4月群馬大学重粒子線医学研究センター教授、2014年4月同大学同センター特任教授、現在に至る。

# X線検査における患者線量の評価

## 〔シリーズ4〕 EPD

茨城県立医療大学 保健医療学部 放射線技術科学科 教授 佐藤 齊



前回までX線検査における患者線量（医療被曝）の評価について述べてきた。患者線量の評価は放射線測定器による実測が基本であるが、注意深く測定を実施した場合でも、測定の不確かさが意外と大きい場合があるため、要点を押さえた上で患者線量を評価する必要がある。また、放射線測定器を保有しない医療施設が多いことを考慮すると、X線撮影時の管電圧、管電流時間積と焦点皮膚間距離、総濾過などのX線照射量に関するパラメータを基に、患者へのX線入射点における表面線量を求める方法であるNDD法（numerical dose determination method）を利用する価値は高い。最近では、NDD法をX線装置に組み込んで照射前に表面線量を表示するシステムや、放射線情報システム（radiology information system：RIS）に表面線量を自動記録するシステムにも導入されるようになり、おおまかに患者線量を把握する手段として活用されている。

一方、臓器線量や実効線量は他の放射線検査等との線量比較や、線量最適化を検討する場合の有用な情報を与える。しかし、個々のX線検査における臓器線量を求めることは現実的ではなく、代表的なX線検査モデルを用いて実測や計算により線量評価が実施されてきた。ほとんどの場合は、これらのモデルによる線量評価で十分な場合が多いと思われるが、実際の照射条件での臓器線量を知りたいという要望がこれまでに多くあった。そこで、患者線量を評価するツールとして広く用いられているNDD-Mと同様に、撮影パラメータを用いてX線検査時の患者線量（表面線量と臓器線量）を算出するソフトウェアとしてEPD（estimation of patient dose in diagnostic x-ray examinations）を開発した（図1）。

検査部位	管電圧 (kV)	管電流時間積 (mAs)	焦点皮膚間距離 (cm)	総濾過 (mm)	表面線量 (mGy)	臓器線量 (mGy)	実効線量 (mSv)
1. 1. 胸部正位	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
2. 2. 胸部側位	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
3. 3. 腹部正位	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
4. 4. 腹部側位	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
5. 5. 四肢	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
6. 6. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
7. 7. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
8. 8. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
9. 9. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
10. 10. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
11. 11. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
12. 12. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
13. 13. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
14. 14. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
15. 15. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001
16. 16. 造影剤	100.0	1.0	100.0	100.0	0.02	0.001	0.001

図1 EPDによる患者線量の算出画面

27種類のX線検査部位ごとに、一般的な撮影体位と照射範囲を想定し、X線ビーム中心軸と患者皮膚入射面との交点における後方散乱を含む空気カーマの値である表面線量と、モンテカルロ計算による各臓器線量の算出結果から求めた係数を整備した。EPDはこれらの係数を組み合わせて任意の照射条件による表面線量と臓器線量を算出するものである。モンテカルロ計算に用いた人体モデルは0才、3才、5才、成人の4種類の日本人標準体型の両性MIRD phantomである。

整備した各係数は、インバータ方式と管電圧と管電流の脈動を補正した3相方式のX線発生装置について、管電圧40kVから150kV、アルミ濾過1.5mmから9.0mmの場合で、X線管球の陽極焦点角度は12度のみである。また、現状では付加濾過材として銅を用いたときの算出値は参考程度としている。臓器線量は、代表的な47種類の臓器を対象として算出し、ICRP103の組織加重係数による実効線量を求めることができる。算出値は両性の場合であるため、性別の実効線量を知る場合には、乳腺、卵巣、子宮、睪丸の線量を考慮して別途算出する必要がある。

X線管装置の設置状況や使用頻度などによりX線出力が異なることが知られているが、EPDによる表面線量の算出値が過小評価となるケースをできるだけ減らすために、係数をやや高めに設定してある。EPDによる表面線量の算出値と実測値との比を求めた例を図2に示した。NDD-Mによる算出結果に対してEPDによる算出結果は約+20%程度となる場合がある。

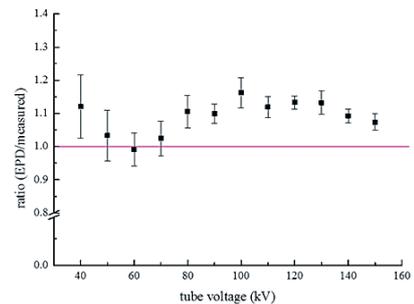


図2 EPDによる表面線量算出値と実測値との比

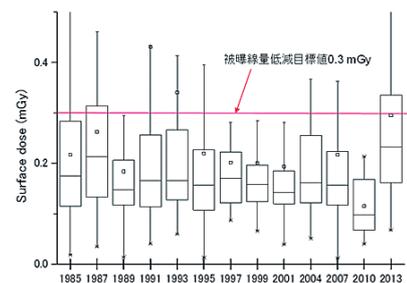


図3 インバータ方式と3相方式のX線管装置による胸部X線検査時の表面線量の推移

図3は茨城県診療放射線技師会被曝低減委員会が実施した調査データを用い、インバータ方式と3相方式のX線装置に着目して算出した胸部X線検査の表面線量の推移である。2013年の調査結果はデジタル装置の普及が影響していると解釈されているが、今後の動向に着目する必要があることを示唆している。

EPDはあくまでもモデル計算であり、算出結果は実際の患者線量とは異なる。診療放射線技師がX線検査における患者線量の目安を把握し、線量適正化を検討するために用いるものとして公益社団法人茨城県診療放射線技師会が配布を開始している。（<http://www.iart-web.org/>）

## 個人線量計の装着部位・算出方法について

〔その1〕

# 体幹部均等被ばく

今月号から3回にわたって、個人線量計（以降「線量計」と略す）の装着と評価方法について説明します。近い将来に更なる法令改正の話も出てきていますが、まずは今シリーズで現行法令の評価方法をご理解の上、放射線管理にお役立て頂ければ幸いです。

### 法令について

平成元年3月までの法令では人体の表面線量を外部被ばく線量としていたため、放射線による影響を受けやすい臓器が多い胸部、または線量値が最大となる部位に最低1個の線量計を装着し、被ばく線量を管理していました。

平成元年4月（1989年）より、日本における外部被ばく線量はICRP1977年勧告（Pub.26）を取り入れて実効線量（当時は実効線量当量）と組織の等価線量（当時は組織線量当量）を評価することになりました。このため、それまでの法令に馴染んでいた方々にとっては新しい装着部位の考え方の違いに戸惑ったことと思います。

その後、ICRP1990年勧告（Pub.60）を取り入れて平成13年4月（2001年）に改正されたものが現行法令になります。現在は1cm線量当量と70 $\mu$ m線量当量を測定し、実効線量や水晶体・皮膚等の等価線量を評価しています。

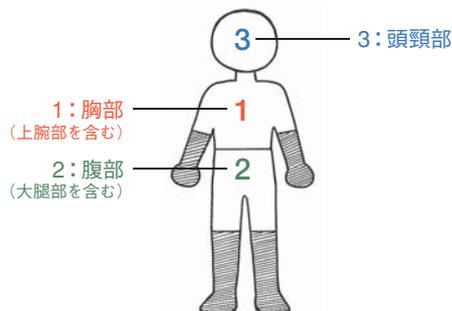
### 1cm線量当量と70 $\mu$ m線量当量

放射線による被ばく線量が最大になる場所は人体表面とは限りません。そこで、主要臓器の被ばく線量を評価するために1cm線量当量が、皮膚組織の被ばく線量を評価するために70 $\mu$ m線量当量が規定されました。

### 体幹部均等被ばく

放射線被ばくの状態は、「体幹部均等被ばく」、「体幹部不均等被ばく」、「末端部不均等被ばく」の3つに分けられます。線量計の装着部位はそれぞれの放射線作業状態によって異なり、場合によっては、複数個の線量計を装着する必要があります。

図1



線量計の装着方法を決めるにあたり、手足等の末端部を除いた体幹部を3つの区分（胸部・腹部・頭頸部）に分けます（図1）。3つの区分がすべて均等に被ばくする状態を「体幹部均等被ばく」と呼び、その場合、基本部位（男子は胸部、女子は腹部）に1個の線量計を装着します（図2）。

お客様から「胸部に装着した1個の線量計から何故目の水晶体の線量分かるの?」とご質問を受けることがよく

あります。ここで重要なポイントは、体幹部が均等に被ばくしているならば、胸部（あるいは腹部）の線量と眼の水晶体を含む頭頸部の線量は同じ値になるということです。逆に言うと体幹部が均等に被ばくする作業なので、線量計が1つで済むことになります。そのため、胸部（あるいは腹部）に装着した線量計から得た線量で、眼の水晶体の線量も算出しています。

図2



### 線量の計算方法について

体幹部均等被ばく時の線量は、下記のように算出されます。

- ・実効線量：1cm線量当量
- ・水晶体の等価線量：1cm線量当量と70 $\mu$ m線量当量のうち高い値
- ・皮膚の等価線量：70 $\mu$ m線量当量
- ・女子腹部の等価線量（妊娠中）：1cm線量当量

なお、法令では妊娠中に限り女子腹部の等価線量を評価する必要がありますが、妊娠の情報が確実に得られる保証がないため、当社では女子が腹部に線量計を装着した場合、「妊娠中の女子の腹部表面の等価線量」を表示しています。

線量評価の詳細な方法として（公財）原子力安全技術センターから「被ばく線量の測定・評価マニュアル」が発行されています。当社もこれに基づいた方法で被ばく線量の算出を行っています。

### 線量限度

1cm線量当量、70 $\mu$ m線量当量を測定し、それらの値より実効線量、等価線量を算出していることを上記で説明してまいりました。法律ではこのように求めた値が、線量限度値を超えないように規制されています。規制値は既にご存知かと思いますが、今一度ご確認ください。

- ・実効線量限度  
100mSv/5年かつ50mSv/1年 5mSv/3月（女子注1）
- ・等価線量限度  
皮膚：500mSv/1年 目の水晶体：150mSv/1年  
妊娠中の女子腹部：2mSv/妊娠期間（注2）

注1：妊娠する可能性が無いと診断された者および妊娠中の者を除く

注2：妊娠と診断されてから出産までの期間

次回は「体幹部不均等被ばく」について説明いたします。

（営業部 飯田 泰二）

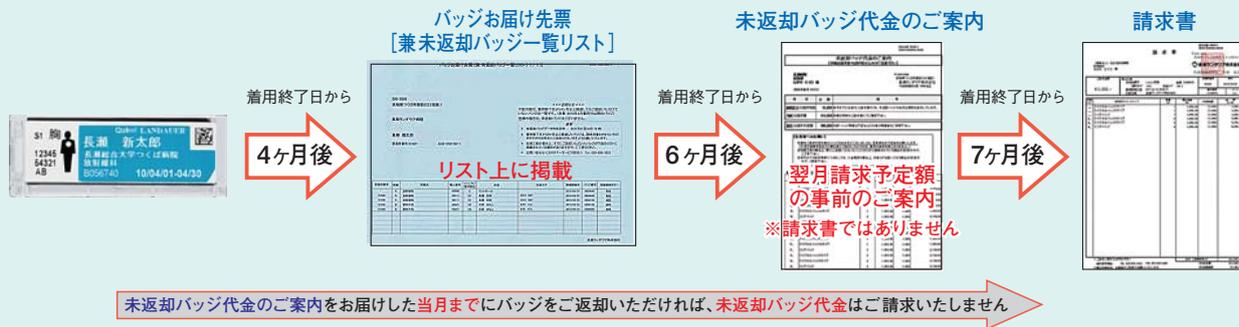
お願い

長期間当社にご返却されないバッジについて

お問い合わせ：お客様サポートセンター  
Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8441

当社のバッジはお客様の被ばく線量を測定するために貸し出しており、返却後は再利用しております。そのため、着用期間終了後7ヶ月を経過してもご返却されないバッジについて

は、下記の手順で「未返却バッジ代金」として別途請求させていただきますので、速やかにご返却ください。また、退職者のバッジも忘れずにご返却願います。



お知らせ

日本保健物理学会  
「第48回研究発表会」

大会長：福士 政広（首都大学東京）

日本保健物理学会第48回研究発表会を以下の通り開催いたします。2020年の東京オリンピックに向けて東京の地もいよいよ準備が本格的に始動する年となります。新たな交通インフラの整備をはじめ競技場や選手村などの関連施設の建設が具体的な槌音となり実感できることと思います。本大会では、日本の放射線防護の原点に立ち返ると共に医療被ばくを中心とした生体影響について新たな知見を加えた議論ができればと考えております。皆様方には奮ってご参加くださいますようお願い申し上げます。

◆研究発表会

会期：平成27年7月2日(木)～3日(金)  
会場：首都大学東京 荒川キャンパス  
〒116-8551 東京都荒川区東尾久7-2-10

◆お問い合わせ

日本保健物理学会第48回研究発表会大会事務局  
首都大学東京 健康福祉学部 放射線学科内  
Tel.03-3819-1211 Fax.03-3819-1406  
E-mail ootani@tmu.ac.jp

\*詳しくは大会ホームページをご覧ください。

<http://www.jhps.or.jp/jhps48/index.html>

2015年製薬放射線研修会

〔第17回製薬放射線  
コンファレンス総会〕

会期：平成25年6月25日(木)～6月26日(金)  
会場：広島市文化交流会館（広島市中区加古町3-3）

◆1日目 6月25日(木) 11:00～17:40

- ・総会 「PRC活動報告」
- ・研修会
  - 講演1 「最新の放射線行政の動向について」  
原子力規制庁担当者
  - 講演2 「放射線災害復興のグローバルリーダーを育成する広島大学の取組み」  
中島 覚氏（広島大学）
  - 講演3 「低線量放射線の健康影響と医療応用」  
山岡聖典氏（岡山大学）
  - 座談会 ～製薬放射線施設の現状と課題～

◆2日目 6月26日(金) 10:00～15:00

- 見学会 放射線影響研究所（広島研究所）、  
広島平和記念資料館

参加申込：下記ウェブサイト内の研修会参加申込フォームからお申し込みください。  
製薬放射線コンファレンス  
<http://www.web-prc.com>

編集後記



柔らかな陽射しにそよ吹く風、色艶やかな花々に緑が日増しに濃くなり、そここで目にするつつじも仄かに床しく香っています。つつじと言えば有名な根津神社は、権現様の愛称で親しまれ、物理学でも馴染み深い寺田寅彦先生の著作始め、多くの文豪作品にも登場しています。もっとも寺田先生自身は植物の世話は不得手

で、毎年庭の植物を虫に食い荒らされていたようですが(笑)。寺田先生の「連句雑俎」で「無常迅速、流転してやまざる環境に支配された人生の不安感」が「日本人の宗教や哲学の奥底に根を張っている。」と仰っています。物事の移り変わりが早いことも一生涯が短いことも十分理解しつつ、繊細な感性で四季を存分に楽しめるのも、風土がもたらした日本人の得意技なのかもしれませんね。（太田 敬子）

長瀬ランダウア(株)ホームページ・Eメール

<http://www.nagase-landauer.co.jp>  
E-mail: [mail@nagase-landauer.co.jp](mailto:mail@nagase-landauer.co.jp)

■当社へのお問い合わせ、ご連絡は  
本社 Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8441  
大阪 Tel.06-6535-2675 Fax.06-6541-0931

**NLだより** No.449  
平成27年<5月号>  
毎月1日発行 発行部数：37,000部

発行 長瀬ランダウア株式会社  
〒300-2686  
茨城県つくば市諏訪C22街区1  
発行人 中井 光正