

诵信 第84号

支えあう会

平成30年12月14日 発行

活動場所(第1日曜日、第3水曜日、第2・4土曜日) 千葉市民活動支援センター (ちばサポ)・他 千葉中央ツインビル2号館9階

### 事務局連絡先

〒260-0802 千葉市中央区川戸町518-7 FAX:043-308-5744 TEL:090-9317-8488

http://www.alpha-chiba.com/

編集・発行責任者:五十嵐昭子(頒価 500円)

## 放射線治療 ~あなたのイメージ、合ってますか?~

全田 貞幹(国立がん研究センター東病院 放射線治療科 医長)



全田 貞幹さん

国立がん研究セ ンター東病院の全 田と申します。日 常診療は放射線治 療、主に頭頸部が んの治療、陽子線 治療、緩和医療と しての骨転移に対 する治療などを専 門にやっていま す。今日は「放射 線治療って何です

か?」ということで、お話させていただきます。 放射線治療自体のイメージは、人によって違 うし、世代によっても大分違います。「私は放射 線治療をやったことあるから、放射線治療がど んなものか知っているよ」という方がいるかも しれませんが、10年前、20年前の治療と今の 治療は全然違います。また、私はセカンドオピ ニオンをかなり受けるのですが、話を聞くだけ では次に活かせないと思うんです。「自分で考え る」ということが大事だと思っているので、い つも患者さんに考えてもらうようにしています。 だから、今日の講義も、考えていただきながら 進めたいと思います。

### 放射線治療の現状



まず図 1 の数字を見てください。放射線治療 を受けるがん患者の割合です。がんと診断され てから、天寿を全うされるまでの間に放射線と いう手技が使われる割合です。アメリカ、イギ リス、ドイツ、日本、この 4 つに共通している ことは世界の先進国だということですね。ほと んどみんな足並みがそろっているのに、日本だ け他の半分になっている。「これは何故だろう?」 と考えてください。日本は4人に1人しか放射 線治療が使われていない。他の国では、3人に2 人ぐらいの割合で使われるのが当たり前なのに。

放射線治療~あなたのイメージ、	
合ってますか?~ 全田貞幹	1
質疑応答	16
ひょっこりひょうたん島のモデル・蓬莱島	
中浴 佳男	18

事務局からのお知らせ	19
他団体の催し案内	24
編集後記	28

### なぜ?

胃癌を中心に発展してきたがん治療 「がんと言えば手術?」

放射線アレルギー

「唯一の被爆国」

専門家の不足

「放射線治療医の不足」

この 40 %ぐらいの差は、日本の患者さんは放射線治療を受ける機会がほかの国の人よりも少ない。日本では、本当は使うべきときに放射線を使ってないという解釈もできます。

どうしてだと思いますか?

日本では、胃がんがアジアの中でも突出して多いんです。胃がんは、放射線と相性が悪い。標準治療の中に入っていません。どうしても治療は、手術が主体ということになります。手術と放射線というのは、ある意味、太陽と月のような関係ですから、手術をしたら放射線をやらなくなる人もいます。「がん=手術」というのが日本人の中に固定観念として入っているために、「放射線治療をやる」と言われてまずパッと思うのは「え、手術はできないから放射線をやる?」と、一つ目の治療ができないから二つ目をやるというような、ちょっと悪い印象=バッドインプレッションがあります。

もう一つは「放射線」というと、「やばい」みたいな感じになるわけですね。よく「放射能受けるんですか?」「そんなの受けたら仕事できなくなる」と言われます。患者さんの中には、最後の最後まで「放射線」を「放射能」と言いながら去っていく人もいます。

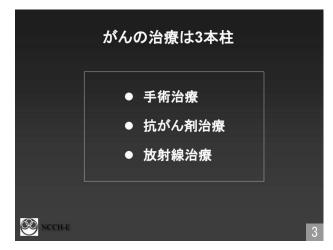
「放射能」と「放射線」というのは全然別なんですね。「放射線」というのは、物質から出てくるエネルギーのことをいいます。「放射能」というのは、物質そのもののことを指すんです。全然違うわけですね。それが、「放射能=広島」と言うような意識があるので、「それを身体にやるなんて有り得ない」というような放射線治療に対する抵抗感があります。

もう一つは、専門家の不足。若い時、医学部を卒業したばかりの時は素人なんですね。やっと医師免許を取ったくらいの時には、「放射線科に行って被ばくしたら大変だ」と思うわけです。それで、みんな外科とかに行って放射線科には行かないわけですね。放射線を専門とする人が

少なくなります。少なくなると教える人が少なくなる。教える人が少なくなると、大学での授業が少なくなる。となると、だんだん学生が少なくなってくるということです。

原爆を経験してから 10 年間ぐらいは、「もう放射線なんてあり得ない」というところから始まって、一世代、二世代、私は三世代目ぐらいですが、放射線の専門医が一番少ないですね。最近になってちょっと広がってきましたが。

全部連鎖するんです。「お医者さん」というと皆さんからは専門家に見えるかもしれませんが、最初は素人です。最初どれを専門にするかを決める時は、放射線を専門にするなんて怖いわけですよ。というわけで、専門家がすごく少ないです。図1の放射線治療を受ける割合が26%という数字、やり手がいないというのも原因の一つです。放射線の機械がない地域もありますし、難しいところがあります。



がんの治療の三本柱は「手術」「抗がん剤(化学療法)」「放射線治療」です。三本柱の一つなのに、放射線治療については他の二つと比べて明らかに知識がないと思いませんか? 手術については結構知っていますよね。抗がん剤も最近は新しいものがいろいろ出てきて、免疫療法とかもでてきて、「正しい知識を」ということで患者団体の方もここには大変注目しておられる。逆に、情報があり過ぎて危ない方向にいくこともあるくらいです。なのに、放射線治療について、聞いてもらう機会が必要なんですよね。

### 放射線治療の歴史

さて、本日のお話です。「放射線治療とは何か」 というところから入りまして、後半は現在の放 射線治療はどんなものかについて話します。

最初に、放射線の歴史を見てみましょう。

### 放射線治療の歴史

■ 1895年12月 ■ 1896年2月

Roentgen Voigt

X線の発見

Curie

進行鼻咽頭癌患者にX線を 照射し疼痛軽減を得た ラジウムの発見

■ 1898年12月 Walknoff

ラジウムによる皮膚障害

= 1900年 ■ 1901年

**Danlos** 

ラジウムの皮膚疾患への応用

■ 1950年代

コバルト照射装置の技術革新 直線加速器(リニアック)の開発

■ 1990年代~

放射線治療の急速な高精度化

図 4 の歴史年表も、見る人によって全然印象 が違うと思います。1895年、有名なレントゲン がX線を発見しました。そこからキュリー夫人 がラジウムを発見して、ノーベル賞をもらって います。その後いろいろあって、今現在、その 放射線治療は急速な高精度化が進んでいる、と いう年表なんですが、この年表はものすごく深 いです。この年表には驚くべきことがいくつも 入っています。

まず初めに、「1985年12月、レントゲンがX 線を発見した」。次に「1896 年 2 月進行鼻咽頭 がんの患者さんに X 線を当てたら、痛みが減っ た」と言うんですよ。

この見えないものを発見した人もすごいと思 いますが、わずか 3 ヵ月で治療に使って効果を あげた。この進歩のすごさが分かりますか? 今 の科学者で、ここまでできる人はいません。冷 静に考えたら恐ろしいことをやっているんです。 海のモノとも山のモノとも分からないモノを発 見して、それを人に当ててみるというのはすご くないですか? もう感動しました。

先ほども言いましたが、放射性物質から放出 されるエネルギーの線のことを「放射線」と言 うんですね。「X線の発見」というのは、出てく る線を見つけたんです。「何かが飛んできてるぞ」 「これ何だ?」と、元をたどっていったらそれ が放射線物質のラジウム 223 だったわけです。 それを発見したのがキュリー夫人です。「X線の 発見」から 3 年後に、X 線を出しているものの 本体を見つけた、ということになりますね。こ の3年というのは素晴らしいですね。私たち、3 年で研究やれと言われて成就するのは難しいで す。この頃の研究者は本当にすごいですね。

実は、この表を最初に見たとき何とも思わな かったんです。これを看護師の授業に使ってい て、5回目ぐらいに気づきました。同じこと何 回も見ていると気づくものです。

キュリー夫人がラジウムを発見したのが、

1898年12月。ということは、1899年とほぼ一 緒ですね。1年後にラジウムにより皮膚障害が 出てくる。多分、はじめはラジウムを素手で触 っていたんでしょうね。そうしたら、皮膚がお かしくなってきて、ラジウムは、危険な物質と わかった。

触ったら皮膚障害が出た。それを逆に悪い皮 膚に使ったらどうなるかと考える。この人すご くないですか?ここは皆さんに科学者への畏敬 の念を持ってほしいところです。科学者目線で、 「ネガティブに出たということは、ポジティブ に出ることもある」というふうに考えた人がい る。悪いことが出てきたら、普通だったらビビ って止めてしまいます。それを止めずに、逆に 治療に応用したらどうなるかと考える。実際に 治ったんですが、そうやって治る疾患がでてく るんですね。

このように、1895年からわずか5年の間の進 化はすごいですね。X 線という目に見えないモ ノが発見され、それを治療に応用した。ただ、 ここから 1950 年代までは何の進歩もないわけ ですが、これはどうしてなんでしょう?ちょっ と考えてみて下さい。

(会場)戦争があった。

そう、戦争があったら何で止まるんですか? (会場) 放射線を武器に使った。

そうですね、さすがですね。これはものすごく 大事なことなんです。放射線を当てると人間を 死に至らしめるがんが消えてなくなり、死ぬ運 命だった人が生き延びるんです。逆に、生きる はずの人にそれを使うと人は死ぬんですよ。こ の 5 年で X 線からラジウムの皮膚疾患への応用 をした。この科学技術の英知を、人を殺すこと に利用したのが原子爆弾です。素晴らしい医学 的発展の5年間、その10倍=50年を使って人 間は大量殺傷兵器の原子爆弾を作ったわけです。

年表には書いてありませんが、これは進歩が 止まっていたのではなくて、進んでいたのです。 ベクトルが悪い方に向いたけれども、科学の進 歩は止まっていなかった。これはものすごく大 切なことで、われわれが今やっていることも、 ベクトルを間違えると全てが無茶苦茶になって しまう。紙一重のところで仕事をしているとい うことなんです。

1945年に終戦しました。戦争のために開発し た技術を、また、人類を救う方にベクトルを変 えて利用できないかと考えて、医学は飛躍的に 進歩しました。「コバルト照射装置」の開発がそ れにあたり、病院での治療に利用されるように なります。鉛がコバルトから出てくる放射線を

遮蔽するということが分かり、コバルトを鉛の中に封入したのが、原子爆弾の核弾頭です。自分の国に放射されたらまずいので、鉛で封入して敵国で爆発させて、その殻を破れば放射線が拡散するしくみです。それを応用したのが、コバルトによる放射線治療です。コバルトを封入した状態で病院の中に持ち込んで、病気のある人のところで開けたらその人に当たるという「コバルト照射装置」というのが開発されました。

けれど、コバルトの出す放射性物質というの は、だんだん放射線を出す量が減っていくんで す。放射線量が半分になるまでにかかる時間を 半減期といって、どんどん減っていって何万年 か後にはただの石ころになるんです。だから、 途中で治療に使えるだけの強さがなくなってく ると交換しなければなりません。そのときは病 院を休みにして、地下 1 階からコバルトを入れ た鉛のすごい大きいものをクレーンで出して、 新しいものを搬入する。だから、鉛でできたと ころでしか放射線治療は出来なかった。皆さん、 放射線治療受けたことのある人は、もしかした ら地下で受けたんじゃないですか? ほとんどの 施設は放射線科は地下 1 階にあります。なぜな らコバルト照射装置があまりにも重く、地盤沈 下が起こってしまうから地下に作らざるを得な かったんですね。

もう一つの理由は、古い病院になりますと、 搬入作業をするときに、「表にコバルトなんかあったら被ばくするから地下に埋めとけ」といった風潮があり、放射線治療はずっと地下でやることが多かったのです。

### X線の性質

がんで利用される放射線というのは、大きく 分けて放射線と粒子線に分かれます。皆さんが 受けたのは、ほとんどが放射線治療だと思いま す。これは高校 3 年生の物理で習うんですが、 エネルギーには 2 つ性質があって、波の性質と



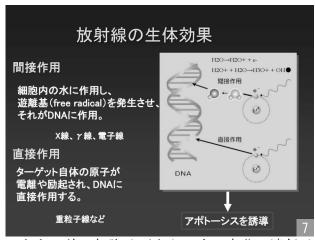
粒子の性質です。それによって「運動エネルギ 一保存の法則」が変わってきます。フォトンと いう X 線は重さがありません。光だから重さが ない。エネルギーが光の波になっています。陽 子線などの重粒子は、水素イオンとか炭素イオ ンを使っているので重さがある。重さがあると、 エネルギー保存の法則が働く。例えばボールを 遠くに投げようと思ったら、おもいっきり投げ れば遠くに飛ぶし、近くに落とそうと思ったら 力を抜いて投げれば近くに落とせる。重さのあ る粒子線は力の調節ができるんですね。これで ピンポイントという話が出てくるわけですが、 ここで覚えてほしいのは、皆さんがよく使って いるのは放射線と呼ばれるもので波の性質だと いうことです。波の性質だと力が調節できない んです。



どういうふうな当たり方をするかといったら、図 6 を見てください。これは身体です。腫瘍はだいたい身体の中にありますので、ここにうまく当てたいわけですが、放射線の力は調節できないので突き抜けてしまいます。腫瘍が消えるだけの量を調節して当てると、後ろに突き抜ける。おでこに放射線を当てた患者さんが、反対側に脱毛が起こるといったことも起こります。

頭の中に、水で出来た立方体を思い浮かべてください。細胞です。水で出来た細胞に放射線が突き抜けます。そのときの皆さんのイメージは、放射線によって細胞が破壊されるというイメージが多いです。それを直接作用といいます。

実は、X線ではそういうことはほとんど起こりません。細胞を放射線が突き抜けると、それに影響を受けて細胞の中の遺伝子に傷が付くんです。遺伝子に傷が付いてもその細胞はすぐには死なないで、そのままです。細胞は、ずっとその細胞のままで生きていくことはできなくて、入れ代わります。新陳代謝です。細胞分裂により、細胞が1つから2つになろうとします。そ



のとき、前の細胞は死ぬんです。自分の遺伝子 をコピーして新しいものを 2 つ作ろうとするの ですが、そのコピーのときに、「ここに傷が付い ているのでコピーできません」という信号が出 るんですね。新しいもの 2 つ作るつもりが、コ ピーに失敗して自分もそれで死んでしまうとい う現象が起こるんです。これが間接作用です。

### 放射線治療の原理

さて、ここで問題です。放射線は、直接攻撃 ではなく間接攻撃だと言いました。放射線によ って遺伝子が傷つけられて、その細胞が分裂す るときに 2 個にならずにゼロ個になってしま う。この作用を利用してがんが減っていく。そ れじゃあ放射線と相性のいい細胞とはどんな細 胞でしょうか?

細胞分裂が盛んなものほど放射線の影響を受 けるということになりますね。これはすごく大 事なことです。がん細胞は無限に増殖するんで す。皮膚に出来たら盛り上がるということは、 普通の皮膚よりも早いスピードで大きくなって いるから、細胞の数が多くなって盛り上がって いくんですね。ということは、放射線はそうい う性質に対して非常にマッチしているというこ とになるわけです。

### なぜ放射線でがんが治るの?



● 放射線でがん細胞が死ぬ

放射線イオン化をおこし、フリーラジカルを介してDNA鎖を切断

することで、細胞死がおこる。 細胞はDNA損傷を修復する機構を持っているが、DNAの2本 鎖切断がおこると細胞死のような重大な影響を受ける。

● がん細胞は一般的に放射線に弱い。

細胞分裂が亢進しているので、正常細胞より細胞死につながる 障害を受けやすい。

がん細胞というのは正常な組織よりも細胞分 裂速度が基本的には速いです。ですので、正常 組織より細胞死につながる障害を受けやすいか ら放射線というのはがんに効くわけです。だか ら正常な組織には基本的には放射線はやりませ ん。一部、ケロイドとかにやったりしますが、 そういうものは別として、普通の良性腫瘍、例 えば子宮筋腫などには放射線はやりません。

### 放射線治療の原理



### 分割照射の原理

放射線治療は腫瘍と正常組織の放射線感受性の差を 利用して成り立っている。 少線量を分割して照射することで腫瘍細胞が選択的に <u>死滅</u>する。

通常分割照射 1日1回 週5回法では1.8~2Gy/日

放射線というのは、最近でこそ、1回で大量 に出せるというものがでてきましたが、基本は 分割照射、1日1回、週5回、合計何十回とい うやり方をします。なぜ、こま切れでやるのか、 それも意味があります。先ほど、「正常組織は影 響を受けにくい」とは言いましたが、「影響を受 けない」とは言っていません。例えばがん細胞 は、5のダメージで影響を受けるけど、正常な 組織は 10 のダメージで影響を受ける、という ような域値のものがあった場合に、30 ダメージ を与えたら正常な組織も死ぬし、がん細胞も死 にます。われわれとしては、がん細胞が死んで 正常な組織が生き残る間のところに当てないと いけないんです。5 のダメージで死ぬがん細胞 と、10 のダメージで死ぬ正常組織があるところ だったら、8 のダメージを与えれば、がんは死 ぬけど正常組織はかろうじて生き残ります。そ れを繰り返していくことで、だんだんがん細胞 は死に、正常組織はぎりぎり生き残る。最初は 少しの差しかありませんが、回数を重ねて30 回ぐらいになったら、がんは大分減り正常な組 織はかろうじて耐えているということになりま

図 10 は、私が治療した患者さんの統計です。 最後のほうになったら皮膚もずるむけになるん ですね。やっぱりダメージは受けるんです。あ なたの皮膚がダメージを受けた、それ以上のダ メージをがん細胞が食らっているから、皮膚は 治るけどがんは戻ってこない。それで「治る」

## LQ model (Linear-quadratic medel) D=α/β 1g 2Gy×10回 20回 30回 1/10² 1/10² 1/10² 1/108 pg点付近拡大図 1/108 1/1010 1/1010

という、これが放射線治療の基本原理です。

頭頸部がんの場合は1回2グレイ、週5回で35回。これで治ります。食道がんの場合は、ここまで必要ないというデータがありまして、1回1.8 グレイの28回。50.4 グレイで手術と同じような効果が出るということが分かりました。放射線治療は、まさに「肉を切らせて骨を断つ」という治療なんですね。

たとえば、脳転移で完治は無理という人には、 正常組織がほとんどダメージを受けなくて、が ん細胞の動きを止める程度のところを探すわけ です。1回30グレイ、回数は半分でとか、1回 当てて、正常な組織は全く無傷でがん細胞だけ 反応してピタッと止まるような線量を選んだり、 緩和的治療の場合は、もっと融通します。

ギリギリまであてて、副作用も出るけどがん 細胞をやっつけるという「肉を切らせて骨を切る」こともあります。よく、「もっと当ててもらえませんか」と言われることがあります。「肉を切らせて骨を断つ」というのは、身体そのもも削り取っていくので、寿命も減るんです。本来の寿命は減りますが、がんで死ぬリスクを下げるので延命する。治療自体はやっぱり無害ということはありません。われわれがやっていることは、かなり厳しい治療だと思います。

龙	な射線治療のスケジュール
頭頸部がん	1日1回 2.0Gy 週5回 合計35回
食道がん	1日1回 1.8Gy 週5回 合計28回
脳転移	1日1回 3.0Gy 週5回 合計10回
骨転移	1日1回 3.0Gy 週5回 合計10回 1日1回 4.0Gy 週5回 合計 5回
	1日1回 8.0Gy 週1回 合計 1回
スケジュー	ールは癌腫や患者の状態で変わってくる 1

### 放射線治療の実際

ここからは、放射線治療の方法についてお話 します。放射線治療には、「外部照射・小線源療 法・内用療法」があります。

外部照射というのは、CT の検査お受けになったことのある方はお分かりと思いますが、基本的には CT と同じ台でやります。ただ CT の場合は写真撮影なので、さーっと撮ってそれで終わりですが、放射線治療というのは同じ場所に何回も何回も当てるわけです。ということは、同じ位置に寝ないといけません。身体の位置がずれてしまったら意味がないわけです。CT と同じ台でやるのですが、位置の精度がすごく大事になってきます。

小線源療法とは、子宮頸がんの場合、膣の中に放射線が出る機械を入れて、中から当てるという方法ですし、前立腺がんの場合は、前立腺そのものにシードと呼ばれる放射線を出す物質を打ち込んで、それだけで治ってしまうこともあります。

内用療法というのは、甲状腺がんで甲状腺を 全摘したあと、甲状腺の組織を完全に滅却する ために I-131 という放射線同位元素(放射線を 出すョード)を服用していただいて、ヨードは 甲状腺に取り込まれますので、残っている甲状腺がんの小さい組織も潰してしまおうという治療です。

「外部照射」についてお話します。はじめに、 治療計画撮影をします。放射線治療と CT とで は何が違うかというと、CT というのは写真撮 影です。どうやって撮っても、顔が映っていれ ばそれをトリミングすれば使えます。それに対 して放射線治療の場合は、どこに当てるかが大 事になってきます。

放射線治療では、まず体に座標を作ります。 000 という基準の位置を決めて、例えば病気が 乳がんで、座標の 235 から 238 の間にあるとい

# 放射線治療の方法 ◆外部照射 体外から遠隔照射装置を用いて病巣に放射線 を照射 ◆小線源療法 腔内照射法 自然にある体腔に密封線源を留置して照射 組織内照射法 組織内に直接密封線源を挿入して照射 ◆内用療法 非密封線源を静脈内あるいは経口投与

### 外部照射の手順

◆ 治療計画撮影

CTシミュレーターで照射範囲のCTを撮影し、座標軸のためのマークを書く。固定具や位置確システムなどで照射の際の位置のずれがないよう設定する。

治療計画

コンピューターで最適な照射方法を選択

♦治療

コンピューターで算出した値の放射線を照射 治療時間は5-15分

う情報をコンピューターに入力すれば、そこに 当てればいいということになります。座標軸が ずれてしまうと全部ずれてしまうので、身体に マークを書いて、ここが 000 だよ、病気の位置 がここと、ここと、ここということをコンピュ ーターに認識させます。そして、そこに放射線 をどうやって当てれば最適化できるかという計 算をし、治療計画をたてます。放射線治療で使 う CT と普通の診断用 CT、何が違うかというと、

実際照射している時間は、ほんの数分です。 図 15 の方は、全脳照射といって頭の照射をする人ですが、頭が動いては駄目なわけです。よく東西南北 4 方向と言いますが、私たちはローリングという軸があって、6 軸方向で調整をします。この型を取ったお面で頭を固定しているんですね。固定するだけではなくて、レーザーで座標確認をしているんです。これをピッタリ合わせた状態で放射線を当てると、毎回同じ位置に当てることが可能になります。

身体の座標を作るのが違います

放射線というのは、武器にもなるし治療にもなるわけです。例えば、ずれて目に当たってしまったら失明してしまいますので、ここは放射線技師さんがすごく頑張って位置合わせをやっ





てくれている。医者ではなかなかここまでの精度は保てないので、工学系のプロフェッショナル、エンジニアをチームに招き入れて、しっかりやってもらっています。

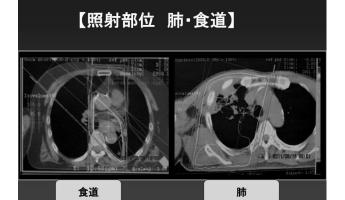


図 16 は食道がんと肺がんの方です。肺がんの場合、前と後ろからビームで挟み込んで当てますので、貫通します。背中も胸と同じだけ当たっているので、皮膚炎が後ろにも出ます。背中に皮膚炎が出来てしまうということを表しています。

食道がんの場合、心臓があるので 4 つのビームを使って当てます。25 %ずつに線量が分散されて緩くなるので、皮膚が焼けなくなって、線量が合わさるところだけが 100 %だというような当て方をしています。

乳がんで、放射線治療を受けた方もたくさんいらっしゃると思いますので、乳がんの場合で説明します。片一方の胸だけ放射線を当てる場合、右側から当てるのと左側から当てるのを合わせる感じです。こうしてしっかり乳腺の組織に当たるようにします。こういう当て方をしてるので反対側の乳房は無傷なんです。背中も焼けません。ただ、乳腺の患者さんで、「3%ぐらいの確率で、あとで肺炎が起こるかもしれませ



ん」と言われたことがあると思います。それは、 放射線を当てるときにどうしても肺をかすって いるので、「もしかしたら、肺の組織に傷がつい て、肺炎が起こるかもしれない」ということで す。

### 2次元(2D) 照射から3次元(3D) 照射へ

ここからは、「放射線治療技術の進歩」についてお話しします。私は 1974 年生まれです。医者になろうと決意したのが 1990 年ぐらいだったので、それまでのことは全然知りませんでした。けれど、私が研修医の時にお世話になった、その当時の看護師長とかは、かつての放射線のイメージと、今の放射線治療のイメージがどれほど違うか、進歩したのかということを、淡々としゃべります。



1980 年代から 2000 年近くまで 2D-RT (2次元治療計画) というものが行われていました。CT というのは、1980 年ぐらいまでは一般的ではなかったんです。X 線写真しかなかった。CT がなかった時代に放射線治療はどうやっていたかというと、レントゲン写真を元にシミュレーションしていたんですね。これはもう諸先輩方に敬意を表するしかありません。

図 18 は喉のがんの人の放射線作図ですが、今は CT とか MRI が当たり前なので、CT で腫瘍はここだと分かるのですが、X 線写真を見せられても、どこか分からないんですよ。昔の先生方は解剖学もすごく勉強されていたんですね。骨を見たら、ここに喉があって、病気はこの辺まできているから「ここだ」と、フリーハンドで範囲を書くんです。それが当たっているんですよ。それで、それに合わせて鉛の覆いを作成して、鉛で頭を固めて、喉のところだけ当てる。これが 2D-RT でした。

### 【1990年代までの放射線治療】

2D-RT(2次元治療計画)

基本は前後/左右対向2門

実は腫瘍全体にどれぐらい投与されたかわからない

60Gy処方した というが本当に腫瘍全体に当たっているのか?

**Next mission** 

狙っているところは正確に当てたい

19

やり方としては、基本的には骨を見て病気を やっつけるというような感じでした。放射線を 当てる角度も 2D-RT の時代は怖くて前後左右 4 方向しか当てられません。場所が今のように正 確には合わないのですから。放射線の単位は何 グレイという言葉を使いますが、「60 グレイ当 てました」と言っても、1980年代には000の 点に 60 グレイ当てたというだけで、腫瘍には ボリュームがありますから、腫瘍の端まで当た っていたかどうかは不明です。今からでは検証 不可能ですが。いい加減だったわけです、簡単 に言うと。でもそれは、先生方がいい加減だっ たのではなくて、光学技術が及ばなかったとい うことです。1980年代現役の先生方は今では 72、3歳ですが、何とかして「せめて自分がが んと思ってるところには全部当てたい」という 思いを科学の進歩に期待するわけですね。次の 課題としては、「今は勘で当てているけれど、せ めて狙ってるところには確実に全体に当てたい」 というものでした。

ということで現れたのは「3D-RT」という 3次元照射装置です。今も使われています。昔、物理の授業で習ったと思いますが、3次元は XYZ軸空間です。2次元は XY 軸、平面です。1次元は直線ですね。ゼロ次元が点です。今までの X線というのは平面画像、2次元なんですね。それに Z 軸が加わり、空間の中に腫瘍をボリュー

ムとして認識できるようになったのが 3D-RT という技術を使った CT 画像です。技術革新が起こります。

CT が使えるようになったのは一番大きな変化です。今までは、0 度、90 度、270 度、180度からしか打てなかったのが、3D になることで360度全て使えるようになるわけですね。だから今まで、こうやったら当たる、うまくできるのにと思っていたことが全部できるようになったんです。





実際、病気というのは丸い形をしていることは有り得なくて、図 21 のようにくちゃくちゃしています。この赤と青の両方が病気だと思ってください。これは、顎の写真です。これに対して、最適なマップを作ります。図 18 の 2D-RTの時に出てきたものは、CTで色を塗ったら図 22 の形だったんですね。前のフリーハンドと比較してみましょう。ほとんど合っていますが、少し当たってない部分もあります。この病気は、よく頭蓋底から再発すると言われていましたが、今はほとんど再発しません。ちゃんと当てたら出てこないということが分かりました。

昔はこの治療をすると、ものすごく後ろが焼けるんだよね、と言われていました。これは、 その部分が当て過ぎだったんです。最適化すれ





ば副作用は少し減るし、再発の場所も大分変わってきます。昔は教科書に、「この病気はここに再発する」と書いてあり、病気がまるでそっちにいくかのように書いてあったけど、実は技術が伴っていなかっただけで、そこにちゃんと放射線を当てれば出てこないということも分かってきました。

CTってすごいでしょう。今までは、1 枚だけだったのが、CT では縦に切っても横に切ってもを記見られるんです。だから、どこにどれぐらい当たっているかも全部分かるんですね。素晴らしい技術革新です。CT シミュレーターの登場で、2000 年代前半の治療は、当てたいとこ



ろにしっかり当てるということができるようになって、放射線治療の成績が飛躍的に向上しました。食道がんなど今まで手術メインだったのが、手術したくないという人に放射線や抗がん剤でも同じような成績がでるようになったのは、この時期です。



図 21 の図を拡大してここに持ってきました。これは、病気のあるところに放射線がどのように当たっているかというものです。ほとんど全部当たってます。度数でいうと 100 %、95 %、90 %。私は先輩方は本当にすごいなと思います。私だったら、これで満足して終わりなんですが、先輩方はこの図を見て、まだちょっと不満に思ったことがあったらしいです。何に不満を持ったのか、ちょっと考えてみましょう。

### 腫瘍以外には当てない照射法~IMRT

3D-RT では、当てたいところにはほとんど当たっています。それは達成されました。と、同時に諸先輩方は思いました。「当てたくないとこもしっかり当たってしまっている」と。つまり、治せるけど副作用必発だということです。これは今までの 2D-RT ではここに当たってるかどうか分かってなかったから、あまり問題にされてなかったんですね。



2000年に入って、副作用のことがものすごく 取り沙汰されてきます。前は分からなかったから話題にできなかったんですね。3D になって 初めて、今まで知らずにやっていたけど、もの すごいことをしてしまっていたということも明らかになってきたわけです。3D-RT になって、 同一平面上に均一に照射する技術はできました。 これだけでも、2D と比べたら 3D はえらい違い です。ただ、隣り合わせになっている大事な臓器にも、おもいきり当てていたということも分かってしまった。ここで、一世代上の先輩方は思ったわけです。「昭和の課題は当てたいところ に当てる、という課題だったけれど、これからは当てたいところに当て、避けたいところを避けるということが求められるんだ」と。



そこで出てきたのが、IMRT(Intensity Modulated Radiation Therapy)と呼ばれる「強度変調放射線治療」です。国立がん研究センターは頭頸部がんは全例これでやっています。これは、機械(AI)に答えを出させ、最適化を指示させるという方法を使っています。

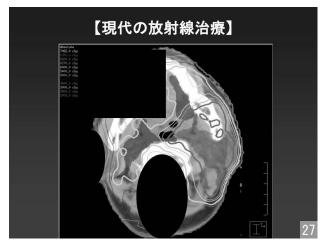


図 27 は図 24 と同じものです。図 24 の線量 分布の方が均一できれいですよね。でも、今は 図 27 の方が優れていると言われているんです。 なぜか。この図は、私がコンピューターに 3 つ指示を出して書かせています。1 つは、右の舌半分を遮蔽しろ。2 つ目は、脊髄より後方に当てるな。3 つ目は、右の耳下腺を遮蔽しろ。されるな。3 つ目は、右の耳下腺を遮蔽しろ。されば、右のすごくないでも、今の命令があると分かれば、ものすごくないですます。でも、反対ので、口内炎が出てしまいます。でも、反対のでは当たっていないから口内炎が出来ないうでは当たっていないから口内炎が出来ないうなっていないかられるんですね。そういうなです。ご飯が食べられるんですね。そういうなです。これが IMRT です。

「IMRT 受けたいんですけど…」とセカンドオピニオンでよく聞かれます。必要ならやりますが、ときには必要がないこともあるんですね。場所によってはこの技術は必要ないので、まずIMRT を理解していただいて、本人に「自分の病気の場所だったら、これは要らないですね」と納得してもらって帰します。

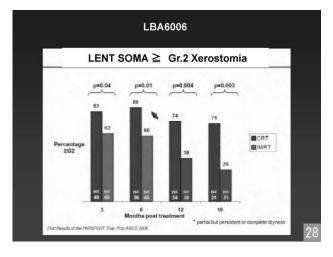


図 28 は英語で申し訳ないけど、IMRT 対普 通の副作用の比較です。頭頸部がんの副作用に、 耳下腺がやられることによる口腔乾燥というも のがあるんです。これは、ものすごくつらいん ですよ。これに関して、左側の棒グラフが今ま での放射線の当て方です。治療が終わって 3 ヵ 月後 80 %の人が「つらい」と言っていて、ち よっとずつ減るのですが、1年半後まだ71%の 人が「つらい」と言う、というデータなんです ね。それが IMRT を使うと、3 ヵ月後と 6 ヵ月 後は 60 %ぐらいの方が「つらい」と言ってい ますが、正常組織が復活して、18ヵ月後には7 割ぐらいの人は「大分良くなりました」と言っ てくれるようになるというデータです。これは QOL という観点からみると大きな差ですね。治 療成績つまり 5 年生存率は IMRT も 3D-RT も 実は変わらないんです。でも、5年後のあり方 = QOL がすごく変わってくるということで、

### 【現代の放射線治療】

強度変調放射線治療

(Intensity Modulated Radiotherapy:IMRT)

リスク臓器を効率的に遮蔽できるようになった

しかし。。。

治療計画→検証/実測→治療:2週間+多くのman-power

### **Next mission**

進化した手法を生かすためのman-powerと施設整備

29

IMRT は使うべきという結果で、頭頸部がんには IMRT を積極的に使っています。前立腺がんも、実は IMRT は非常に有効です。食道がんには IMRT はできないです。あんまり有効じゃない。場所によって変わってくるんですね。

IMRT の治療は、リスクゾーンの計算とか、 コンピューターに全部やらせているので、出て きた答えに関して検算というのが必要になりま す。コンピューターに計算させて、それがちゃ んと実行可能性があるか、計算が合っているか 見直す。それは人がやるんです。時々、「こうい う角度で当てたら最高ですよ」というコンピュ ーターの答えが出てくるんですが、そんな角度 に回らない、そんなの有り得ないでしょうとい うときがあるんですね。そういう時は、人の手 で止めて「ここから当てたら駄目」という新し いルールを作るんです。それで、もう一回やり 直して最適化させます。そういったことの繰り 返しで、治療計画を作るのに、だいたい 2 週間 ぐらいかかってしまいます。そんなことは私に はできないですから、当然エンジニアを増やす ということになります。必要なのは、マンパワ 一です。

ある病院が、ずっと 3D-RT をやってきました。IMRT を導入しようと機械だけ買いました。 それで使おうとしても、今の放射線治療にいる 人の人数では回らないんですね。ですので、 IMRT はそこにあるけれども治療はできないと いう状態になるわけです。IMRT 入れました。 でも、前立腺にしか使われていない、というよ うな事がマンパワー不足で起こってきます。

これは患者さんの出番かもしれません。病院の経営者が、それに理解を示してそこに人員を付けないと駄目なんですよ。古い放射線の考え方をしてたら、一人いればできるだろう、になるわけです。だから、先ほどの 1980 年代の放射線治療を認識している 60 代、70 代の院長先生が、放射線のことを考えたら「一人いれば大

丈夫だろう」ということになるんです。私たちがやってる治療は、以前と全然違うので、7、8人給料払ってそこに配置しないといけないんです。それを病院が理解しない限りできません。がんセンターは IMRT の治療をよくやってるといわれるけれど、いっぱい人がいるからできるんです。技術は持っているけれど、やらせてもらえないという問題が他の病院で起こってもらえないという問題が他の病院で起こっています。だから、例えば患者会とかが、「IMRTを実装したら、ちゃんと使えるように、そこに人を付けてくれ」というような運動をすると変わるかもしれません。それは一つの提案であります。

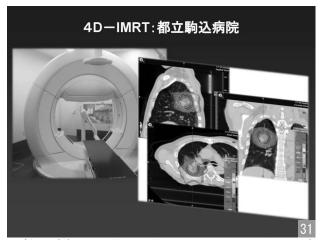
ネクストミッションとしては、進化した手法を使うためのマンパワーと施設整備ですね。最初 2D-RT の時は、お医者さんたちがもっと良い治療をやりたいと思ったけど機械がなかった。機械が私たちに付いてこれなかったんです。それが 1990 年、2000 年、2020 年、機械は何でもできるようになりました。今度は、私たちの頭が付いていってないんですね。機械に抜かれちゃったんですよ。由々しき事態だと思います。放射線に対して正しい理解があれば、ちゃんとできるんです。アメリカなどはもう、全部変わってしまいました。頭が遅れているのは日本だけです。恥ずかしい話だと思います。

### 動いているものにも正確に照射を

ちなみに、都立駒込病院は、更に進化させた ものがあります。これは、工場にあるロボット アームと呼ばれる、ネジとかを、ウィーンガチャ、ウィーンガチャと取り付けていくロボット を病院の中に持ち込んだんですね。このロボットは照射中に生じる患者さんのわずかな動きを 感知して、正しい位置に補正して照射する事が できるんです。

これも都立駒込病院ですが、4D-IMRT というのもがあります。 1 次元は直線、2 次元は平面、3 次元は空間。4 次元は何か? 3 次元に時





間軸を追加します。4次元の IMRT は空間に時間軸を合わせるんですね。これは動体追尾といって、動きに合わせてヘッドが動いて照射するというものです。病気の近くに金のマーカーを置くんです。その金のマーカーと連動していて、金が呼吸で動くとロボットがそれに合わせて動くんです。そうすると、肝臓がんでも呼吸を止めなくてもそのままにしてたら機械が動くんです。これはすごいですよ。ロボットアームはすごい角度からも放射線が出る。今はもう、そういう時代に差し掛かっているんですね。3Dが終わって4D-RTの時代が来ようとしています。

国立がん研究センターにも、実は 4 次元 CT というものがあります。CT を同時に 100 回ぐらい撮るんです。すると、この人は呼吸で何ミリ動くかが分かるので、それにマージンを付けて当てれば呼吸していても当たるというようなシステムです。こういう複雑な機械の操作を一人でできるわけがないということを、病院長クラスに分かってほしい。

### 重粒子線の特性

X線は、突き抜けてどこか行ってしまいます。 それに対して陽子線は野球のボールと同じで、 病気が 10 m先にあった場合には、10 m先に落 とします。重さがあると「運動エネルギー保存



の法則」が働きますので、エネルギーを持った 状態で加速して止まると、止まった分エネルギーを放出するんですね。そのエネルギーが、が んに対してのダメージを与える力になります。 エネルギーを放出するとスピードがなくなりま すから、失速して落ちるわけです。ピンポイン トの治療と言われるゆえんです。

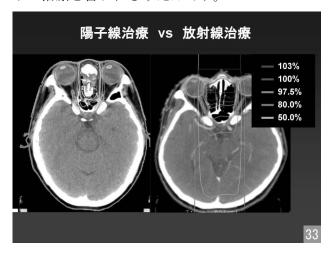


図 33 が、同じように陽子線と放射線を前から当てました。照射範囲を見てみると、X 線は103%、100%、80%、50%で、突き抜けてしまいます。前から当てると半分ぐらい後ろに抜けるのが放射線です。

全く同じ当て方で陽子線を当てました。鼻の部分は線が重なっています。目的のところでエネルギーが落ちるので、後ろにはほとんどダメージがないんですね。陽子線と放射線は、性質が違うので、それを利用したらピンポイントで当てる事ができるということになります。逆に言うと、ピンポイントすぎるので領域を治療するのには向いていません。

例えば、下咽頭がんのリンパ節転移。下咽頭がんというのは、喉で大きくなったらどこかに逃げようとします。耳の下から鎖骨の上まで、頸部のリンパ節の領域にはリンパの川が流れています。喉にがんが出来たら、必ずこっちに経ばうとします。リンパの川を流れると、今度は鎖骨より下に行こうとします。鎖骨の下に行くと海が広がっていて、肺転移したり肝転移したり骨転移したり、さまざまな臓器に転移します。もうここまで来ると根治が非常に難しくなってきます。放射線だと広い領域を当てる事ができるんです。

陽子線治療を希望してくる患者さんに、私は「あなたの病気は適応がありません」という言い方は絶対にしません。リンパ節転移の場合、陽子線みたいなピンポイントをやったら逃げますよね、と説明します。「どうします?」と聞い

たら、「じゃあ家に帰って放射線受けます」と、 皆さん、納得して帰って行くんですね。理解すれば、何が大切か、放射線か陽子線かが分かっ てきます。最終的には本人に決めてもらいます。

突然、自分が、がん患者になったらどこまで 要求するか難しいところですが、考える力があれば、必ず良い答えが出せるんです。

例えば肺がんの陽子線治療について、見てみ ましょう。図 35 は 70 歳の男性の方で、本来だ ったら手術したら治るステージです。じゃあ手 術したらいいじゃないかと思いますよね。手術 ができる、できないというのは、実は、がんの 進行度で手術ができなくなる人の割合よりも、 肺が悪すぎて麻酔がかけられなくて手術できな い人の方が多いんです。だいたい肺にがんが出 来る人はタバコを吸っています。タバコを吸っ ている人は COPD (慢性閉塞性肺疾患) になっ ている人が多い。COPD の人は人口呼吸器をつ ないで肺に空気を送り込むと、パリパリパリと 肺が割れてしまったりするんですね。麻酔がか けられません。「手術ができません」と言われた 時の理由は二つです。病気が進み過ぎてできな いか、麻酔に耐えられないかどっちか。この人 は病気は大したことないのに麻酔に耐えられな いから切除不能。病気は小さいので、最初「あ なた手術したら治ります」と言われたわけです。 でも一週間後に肺の検査をしたら「手術はでき ません」と。「手術したら治りますよ」というこ とは、手術しなかったら治りません、という話 になります。相当困っていらっしゃいました。

確かに手術はできない状態だったんですが、ここに対して、ピンポイントの治療を行いました。現状保存したまま治す、それが陽子線治療のすごさなんですね。ピンポイントの治療は、究極ここまでできます。裏を返せば、がんが広がっていて、領域の治療を必要とするときに陽子線をやると必ず再発します。領域の治療が必要ながんにはやりません。



### 放射線治療の進歩 まとめ

- 昔の放射線治療と今の放射線治療は全然違います
- 自分の疾患にあった治療ができれば、かなり良い成績を残せます
- → 先進医療だからすべてが治るわけではありません

36

いろいろしゃべってきましたが、昔の放射線治療と今の放射線治療は違うということだけは分かってください。全然違うんですよ。だから、ほかの人に意見を求められたときに、自分がした経験をそのまま話すのはやめてください。少なくとも 10 年以上経ったら全く違いますから。「先生にちゃんと話を聞いた方がいいよ」とアドバイスしてあげてください。

もう一つは、先進医療だから全部治るわけではないということです。自分に合った治療を選ぶことが大事です。そのためには正しい知識が必要です。そういうことは、教科書にもなかなか載っていないので、こういう会に足を運ぶというのは結構大事なことで、それが家族を救ったりすることは十分有り得ます。

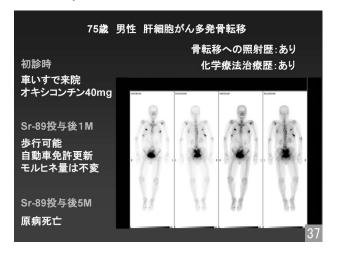
私の父も、今、がんセンターにかかってます。 先々週、再発が見つかりました。 うちは、医者 家系なので、再発自身に関してどうということ はないですが。親父は自分の病気が見つかった 時、最初は「切除不能や」と自己判断したんで す。画像の CD だけもらってきて、肝胆膵外科 の部長に見てもらったら「切れるよ、これ」と いうことになり、連れてきたら全部取れたんで す。それは 67 歳ぐらいの時で、「すごい技術の ある病院や」と驚いていました。

今回 5 年目で再発したけど、私たちからしたら、「一回死ぬと覚悟したのだから」と冷静です。逆に家族での話し合いの場は増えました。一番大きな変化は、私と父は同業者で、いろいろうるさく言われるのが嫌で、あんまり関わりたくなかったんです。でも、がんセンターに通院するようになって、会うようになったら、仲よのプライベートな話ですけど、「こんなに会ったりできるんだから、感謝しないといけないね」というような事を、再発を言われた日に言っていました。父は、アルコール性肝障害、アル中ですね。昔のお医者さんは 1 日 24 時間働いてい

たので、そうなりますよね。父のがんを通しているいろ考えました。いろんな気持ちになれたかなというふうに思っています。ちょっと余談でした。

### 緩和ケアでも重要な放射線治療

今まで先進的なお話ばかりしてきましたが、 放射線治療の魅力は根治だけではないんですね。 緩和ケアでも非常に重要です。最初に、私の専 門は頭頸部の根治治療と緩和もやっていますと 言いましたが、これもきっかけがあります。あ る患者さんとの出会いから緩和をやるようにな りました。



この方は、当時 75 歳の男性で、肝細胞がん でした。3年ぐらい前に見つかって、最初RFA (ラジオ波焼灼療法) という治療をしたあと手 術をしたけれど治らず、骨転移が出てきたとい うことで来院されました。最初、車椅子でうな だれた感じだったので、「〇〇さんどうぞ」と呼 んだら車椅子で来て、いきなり胸ぐらを掴んで、 「お前は俺に次何するんや」と言われました。 当時、私は32歳。「俺は、この病院に来て、や った治療全部失敗している。またお前も俺のこ とモルモット代わりにするんやろ」と、すごく 怒られたんです。カルテを見たら RFA で 1 年 後に再発、手術して半年後ぐらいの再発で、医 者的には全部成功しているんですけど、患者さ んとしてはやっぱり再発したら失敗と思う。そ れは本音だったと思います。私は「でも、それ と今の骨の痛みは別じゃないですか」と、「騙さ れたと思って一回受けてください」と言ったら、 渋々承知してくれました。ストロンムチウムと いうお薬をやったんです。ストロンチウムは2 週間に 1 回採血しないといけないんですが、2 週間後の外来に来ませんでした。私は患者とト ラブルがないということだけが自慢で、一回も

トラブったことがないんですけど、今回は「ああ、怒らせてしまったか」と思ったんです。

1 ヵ月ぐらいしてから、外来が終わってドアを開けたら、おじいちゃんが待ってるんです。「どうされましたか?」と伺ったら、椅子からパっと立って、懐からゴールド免許を出し、「痛みが取れちゃったから更新してきたわ」という。言いたいことを言うだけ言ったら帰っちゃったんです。名前だけは免許証で分かったから書き留めておいたので、カルテを調べたら前に車椅子で来た人だったと分かったんです。

それから、また来なくなりました。そしたら、 4、5ヵ月したあとに、突然緩和ケア病棟から電 話がきて、「○○さんが全田先生のことを呼んで ます」と言うわけです。外来が終わって緩和ケ ア病棟に行ってカルテを見たら、「あー、あの人 か!」。

もう顔もあまり動かせない感じだったんですが、「全田先生が来ましたよ」と看護師が言ったら、「来い、来い」と言うので、「全田です。お久しぶりです」と近づいて行ったら、「この病院で、先生の治療だけ効いたよ」と言われて、そのまままた寝ちゃったんです。次の日の朝の 4 時ぐらいに亡くなられました。

車椅子だった人が歩いて外来に来て、最後に 緩和ケア病棟で褒めてくれたというのは、私の 中では忘れられない出来事で、緩和ってこんな にすごいんだと思わせられた経験でした。

若き日の私は、緩和になるのは負けだと思っていたので、ずっと根治治療をやっていたんですが、こんなことがあってから、緩和にも目を向けないといけないと思って、緩和を積極的にやるようになりました。もう名前は忘れてしまったけど、あの時に胸ぐら掴まれたことは忘れられません。

このストロンチウムというのは放射線治療の中でも専門的な治療なんですが、これがなかったら、この人はおそらく恨み節でなくなっていたと思います。明らかに一人救ったと思います。こういうことを、知ってるか知ってないかは大きな違いです。このストロンチウムの治療、最初は疑ってましたが、この症例からずっとやり続けて、使用数日本一を取りました。日本一が偉いんじゃなくて、皆が私ぐらいやってくれれば何十倍もの人が助かるんです。こういう現実

を知ってもらって、理解を深めてもらえればいいかなというふうに思います。

### 放射線治療

- 100年を超える歴史があり、確立され たがん治療である。
- がん患者の約2/3は放射線治療を受けている(日本では約30%)。
- ときに、がん患者が必要とする唯一 の治療法である。



### 放射線治療

- 放射線腫瘍医(放射線治療医)は、放射線を治療で使えるよう訓練されている。
- 医学物理士、線量計算士、放射 線技師、看護師からなるチーム によって、安全かつ効果的な治 療ができるよう工夫されている。



まとめです。放射線治療は 100 年の歴史がある、確立された治療です。しかし、日本ではほとんどやられてないということですね。放射線治療は、「ときにはがん患者が必要とする唯一の治療である」ここですね。治すための治療だけが治療とは限りません。

放射線治療には、専門家が多数かかわるので、マンパワーが必要です。機械だけでもなく、人だけでもなく、両方そろわないとできません。社会の理解がないと病院に人は増やせません。その社会を動かす力の 1 つに患者団体があります。そういうことを今日、理解していただきたいなと思います。こういう世界があるんだということが分かると、ゼロか 1 かで全然変わってくるので、今日お聞きいただいて少しでも変わってくれればなと思います。

以上です。ありがとうございました。