

## 東北からはじまる世界最先端のがん治療 最適放射線治療と診療放射線技師の役割

東北大学病院 診療技術部放射線部門 主任診療放射線技師 佐藤 清和

### 【はじめに】

2018年の国立がん研究センターがん対策情報センターがん統計<sup>1)</sup>によると、生涯でがん罹患する確率は男性で65.0%、女性で50.2%と報告されており、日本人の2人に1人以上が生涯でがんになるという現状である。そのがんの治療には、手術療法、薬物療法、放射線治療と大きく分けて3種類ある。その中でも放射線治療は「切らない局所療法」であり、「治療中の苦痛が無い」という特徴がある。

放射線治療にはいくつかの方法があり、体の外から放射線を照射する「外部照射」、容器に密封された放射線源をがん組織に直接挿入する「密封小線源治療」、特定の組織に取り込まれる非密封放射性核種を内服または静注する「内用療法」がある。使用される線源としては、外部照射では直線加速器(リニアック)からX線や電子線といった線源が利用される。また、陽子や重粒子等の線源が利用される粒子線加速器を用いた治療装置もある。密封小線源治療では、Ir-192を利用した一時挿入治療やI-125やAu-198を永久挿入した治療が行われる。内用療法では、甲状腺がんに対してはI-131、悪性リンパ腫に対してはY-90、前立腺がん骨転移にはRa-223等の線源が利用される。

放射線治療で最も一般的な治療法が、リニアックによる高エネルギーX線を利用した外部照射である。X線は透過力が強いため、様々な方向から照射することで、体の内部にあるがん細胞に対し高線量を集中して投与することが可能である。また、外部照射では、がん細胞と一緒に周囲の正常組織がどうしても照射されてしまうが、がん細胞と正常組織では放射線を照射された後の回復能に差があり、1回で照射を完了するよりも、複数回の分割照射を行うことで、回復能の差が顕著となり治療効果の増大が見込める。一般的な分割照射例として<sup>2)</sup>、頭頸部がんで70 Gy/35回/7週、乳がんの術後照射で50 Gy/25回/5週、骨転移で30 Gy/10回/2週といった分割をされることが多い。

### 【放射線治療と診療放射線技師の役割】

外部照射による放射線治療のフローを示す(Fig.1)。まず、放射線治療科医師による治療方法の選択、説明と同意(インフォームドコンセント)が行われる。そして、放射線治療を行うことが決定されると、シミュレータ室に移動して照射体位の決定、固定具の作成が行われる。ここで初めて診療放射線技師が患者さんと関わるタイミングとなる。放射線治療が対象となるのは一部の良性疾患を

除いて、ほぼがんに罹患した患者であり、身体的、精神的な状況、特性、背景も異なるため、事前にカルテや、医師・看護師等との情報共有による注意深い対応が必要である。

照射部位によってある程度の体位や固定具が決定されるが、治療時間(固定が必要な時間)は投与する線量や照射法によって10~30分の間で異なる。このシミュレーション時に決定した体位で実際の治療も行われるため、治療中に体を動かないよう補助する固定性と、毎回の照射で同じ体位を再現する再現性、さらに、治療時間中にじっとしてもつらくないような快適性を意識したシミュレーションを行う必要がある。決定した体位と固定具を使用したシミュレーションCTを撮影し、固定具や体にはシミュレーション時の体位が分かりやすいようにマーキングを行う。

撮影したCT画像を使用して放射線治療の治療計画が行われ、体の内部のがん細胞や正常組織の位置関係から、照射方向、照射範囲、照射法、照射線量、照射回数が最終決定される。治療計画は医師がメインとなって行われるが、施設によっては医学物理士や診療放射線技師が関わる場合もある。決定された治療計画をもとに照射が行われるが、治療計画に誤りがないよう、医師、医学物理士、診療放射線技師等、複数名、他職種による

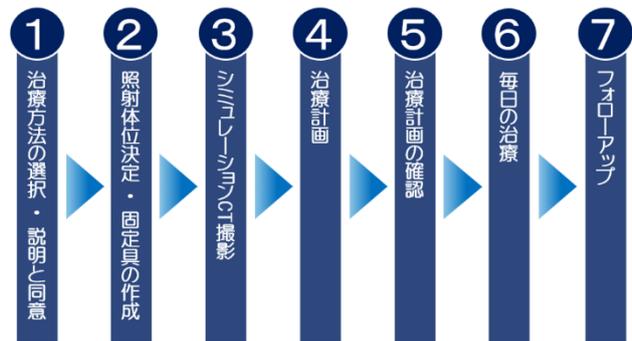


Fig.1 放射線治療の流れ

ダブルチェック、トリプルチェックでの確認が行われる。強度変調放射線治療 (IMRT) や定位放射線治療 (SRT) 等、複雑な治療計画や1回の照射による影響度が大きい場合には、正しく照射されるかファントムや線量計を使用した事前検証が行われる。また、放射線治療で照射される線量は非常に大きく、線量や照射位置のエラーが大きな事故に直結することから、診療放射線技師、医学物理士、放射線治療品質管理士等が協働して治療装置、付属機器の精度管理を日々行っている。

作成した治療計画を元に毎日の治療が行われる (Fig.2)。患者さんは、放射線治療室内で治療寝台にてシミュレーション時に決定した体位をとり固定具を装着する。固定具や体にマーキングした線に合わせてセットアップを行う。その後、放射線治療装置に付属した機器を使用して、位置照合用のX線撮影やCBCT撮影等を行う。現在は、画像を撮影することで、治療計画で決定した放射線治療の中心 (アイソセンタ) と病変部が合うように治療寝台を微調整する画像誘導放射線治療 (IGRT) を行うことが一般的である。最新の治療装置では、1 mm以下、1°以下での位置補正が可能である。2021年9月に診療放射線技師法の解釈が変更され、IGRTによる一次照合を診療放射線技師が行うことが法令でも認められた<sup>3)</sup>。患者さん自身は、位置照合後に高エネルギーの放射線が照射されるが、治療用の放射線が照射される時間は1~2分程度であり、治療中は放射線による痛みも熱さも感じない。照射中は作業者の被ばくの問題もあり、患者さんが治療室内に1人となるため、監視モニターによる注意深い観察が必要となる。この照射業務が診療放射線技師の役割でも最も重要な業務の1つである。治療計画通りに毎日の治療が完了すると、放射線治療効果や副作用 (急性反応、晩発性障害) の反応を観察するフォローアップが医師を中心に行われる。

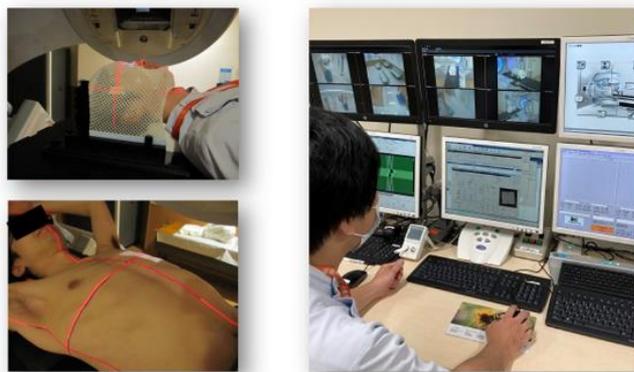


Fig.2 毎日の治療の様子

### 【最適放射線治療】

放射線治療では実際に照射が行われる際に、体の動きや照射位置の誤差等、様々な不確かさが含まれる (Fig.3)。体の動きについては、照射を行う部位によって肺や肝臓等、呼吸性移動が大きな部位もある。また、前立腺や子宮等では、膀胱の蓄尿量や腸管の便やガスの状態等、周りの臓器との位置関係にて日々変化するような部位もある。照射位置の誤差については、照射直前にIGRT撮影が行われるが、基本はX線撮影となるので、コントラストのついた骨や空気の境界 (肺癌) 等は見やすいが、脳のように正常組織とがん細胞の密度が近い場合等は、がん細胞そのものを認識することが難しい場合もある。また、放射線による被ばくの問題もある。他にも、治療時の再現性について、治療計画時にしっかり固定具を装着して撮影しても、固定具自体はある程度動きのある皮膚に合わせて作成される箇所もあり、毎日の治療時に必ずしもぴったり一致しない場合もある。そのため、放射線を照射する範囲は、確実に放射線を照射したい範囲である臨床標的体積 (CTV) に、体の中の動きを考慮するマージンを加えた体内標的体積 (ITV) と位置の不確かさを考慮するマージンを加えた計画標的体積 (PTV) に対する照射範囲が決定される。

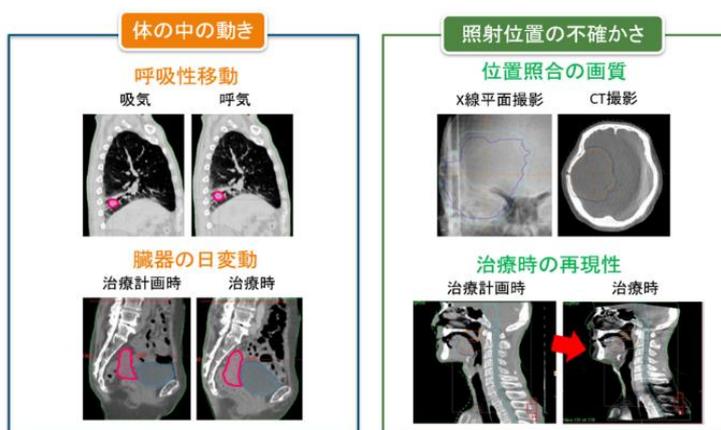


Fig.3 体の中の動きと照射位置の不確かさ

照射範囲が大きくなると、がん細胞だけでなく正常組織に照射される放射線量も増加し、副作用のリスクも増すため、本来はできるだけ小さい方が望ましい。そこで、照射範囲を最小化 (最適化) するような対策を行っている。呼吸性移動の大きな部位に対しては、患者さんの腹部を圧迫して呼吸を抑制し、なるべく一定の呼吸をしてもらうことでITVを小さくできる。また、腸管や膀胱の大きさに影響される部位に対しては、排便・排ガスを毎回行い、毎回同じ量の飲水と蓄尿時間とする等の対策を行う。また、治療時の再現性がかなり厳しく要求される脳幹

照射範囲が大きくなると、がん細胞だけでなく正常組織に照射される放射線量も増加し、副作用のリスクも増すため、本来はできるだけ小さい方が望ましい。そこで、照射範囲を最小化 (最適化) するような対策を行っている。呼吸性移動の大きな部位に対しては、患者さんの腹部を圧迫して呼吸を抑制し、なるべく一定の呼吸をしてもらうことでITVを小さくできる。また、腸管や膀胱の大きさに影響される部位に対しては、排便・排ガスを毎回行い、毎回同じ量の飲水と蓄尿時間とする等の対策を行う。また、治療時の再現性がかなり厳しく要求される脳幹

や重要神経等が近い部位に対しては、専用の歯形と固定具を作成する場合もある。このように照射部位によっては、患者さんの負担は増加するが、様々な工夫や対策を行っている。

しかし、上記のような対策が難しい不確かさも存在する。照射期間中に腫瘍自体の急激な縮小や増大があった場合、このまま照射が継続されると周りの正常組織に放射線が照射される範囲が増え、腫瘍に照射されない領域も出てくる。また、腫瘍自体は変化が無くても、手術後の浮腫の改善や照射期間中に体形が痩せてしまった場合等は、体の内部に照射される放射線量は増加してしまう。このような場合は事前に工夫や対策を行うことは難しいため、臨床的な影響が考慮される場合には、放射線治療の再計画が必要となる。再計画を行うことで照射範囲が最適化され、がん細胞と正常組織に照射される放射線量を最適化できる、このように体の状態に合わせて適宜、治療計画を変更することを最適放射線治療と呼ばれる。ただ、この最適放射線治療を行おうとすると、もう一度シミュレーションCT撮影から治療計画までやり直しになってしまう。また、体形が痩せて固定具が緩くなってしまった場合等は固定具の再作成も必要となる。通常、現状の高精度放射線治療となると、このやり直しの一連の流れで1週間程度の時間が必要となる。

当院では、新しい放射線治療装置であるElekta社製Unityの臨床稼働に向けた取り組みを現在行っている(Fig.4)。UnityはMRIとリニアックが融合したMRリニアックと呼ばれる治療装置である。照射直前にMRI撮影が可能となるため、がん細胞のような軟部組織の描出能がX線撮影よりも高くなる。また、シネ画像を様々な方向から撮影できるため、呼吸性移動や蠕動運動等、動きのある部位の確認が可能となる。さらに照射直前に撮影したMRI画像を使用し、その場で放射線治療の再計画が可能となり、最適放射線治療をその日、その場で即座に実行可能となる。MRIの



Fig.4 Elekta社製Unity

ため位置照合による放射線被ばくも無く、照射中の体の中の動きもほぼリアルタイムに可視化できるため、動きの不確かさを考慮可能、毎日、治療計画を作成し直すので、照射位置と照射範囲の不確かさを最小化、照射期間中の腫瘍や体形の変化等の不確かさも考慮し、最適放射線治療を即座に実行可能等、まさに最適放射線治療専用の放射線治療装置である(Fig.5)。今まで

は、患者さんに負担を強いながら様々な工夫や対策を行っていた問題を一気に解決できる可能性がある。また、これまでの放射線治療では、がん細胞とともに正常組織にも放射線が照射されることによる分割回数や照射線量のエビデンスを元に治療計画が作成されていたが、MRI撮影によるがん細胞の高い描出能と毎回の最適放射線治療による照射範囲を絞った方法に変わること、定位放射線治療をメインとした放射線治療の手法自体のブレイクスルーにも成り得る。臨床稼働は2022年2月を目標とし、現在トレーニングや治療装置のビームデータ測定、コミッションング等の準備中の段階である。



Fig.5 Unityの特徴

## 【参考文献】

- 1) がんの統計'18, 国立がん研究センターがん対策情報センター。  
([https://ganjoho.jp/public/qa\\_links/report/statistics/2018\\_jp.html](https://ganjoho.jp/public/qa_links/report/statistics/2018_jp.html)) (2021/12/12)
- 2) 放射線治療計画ガイドライン2020年版, 日本放射線腫瘍学会, 2020.
- 3) 現行制度の下で実施可能な範囲におけるタスク・シフト/シェアの推進について, 厚生労働省医政局長通知。  
([http://www.hospital.or.jp/pdf/15\\_20210930\\_01.pdf](http://www.hospital.or.jp/pdf/15_20210930_01.pdf)) (2021/12/12)