

当科で行っている肺癌の高精度放射線治療

山梨大学医学部 放射線科 青木真一 大西 洋 萬利乃寛
 荒屋正幸 山本琢水 荒木 力
 山梨大学医学部 放射線部 佐野尚樹 芦沢和成 松田繁宏

要旨：肺癌に対する過去の放射線治療では、正常肺への線量軽減が不十分であり、根治に必要な線量（70Gy）を投与すると致死放射線肺炎のリスクが高く、早期肺癌でも5年生存率は20-40%程度であった^{1,3)}。しかし近年では、CT画像を用いた三次元治療計画、回転照射・多門照射等の照射法の選択肢の増加、Multileaf Collimatorを用いた標的の形状に合わせた照射野設定によるリスク臓器への線量軽減、また呼吸性移動、毎回の照射における位置の誤差、照射中の体動等の軽減による照射精度の向上により、特に早期肺癌における放射線治療成績はここ数年で急速に向上している⁴⁾。当科でも自己呼吸停止、アプチェスRM、CT一体型Linac等を用いて高精度の放射線治療を行っている。

key word :

I期非小細胞肺癌、高精度、定位放射線治療、自己呼吸停止、呼吸モニタリング装置

〈はじめに〉

肺癌に対する過去の放射線治療では、呼吸性移動の軽減や、毎回の照射位置の誤差の軽減ができず照射野が大きくなりやすかった。そのため、根治に必要な線量（70Gy）を投与すると致死放射線肺炎のリスクが高く、また放射線食道炎、脊髄症もしばしば問題となった。治療成績は手術と比較して悪く、手術不能例で他病死が多いとはいえ、早期肺癌でも5年生存率は20-40%程度であった^{1,3)}。

しかし近年では、後述する治療計画装置・治療装置の改良、呼吸性移動の軽減や照射精度向上によって、以前よりリスク臓器への線量軽減が可能となった。肺癌への照射においても、正常肺への線量軽減により、致死放射線肺炎のリスクが少なく根治線量の投与が可能となり、特に早期肺癌における放射線治療の成績はここ数年で急速に向上している。I期肺癌の5年粗生存率は63%、手術可能例に絞れば、87%と手術に劣らない成績が得られている⁴⁾。

〈目的〉

当科でも高精度の放射線治療の実現に尽力している。当科の特色である自己呼吸停止法、呼吸モニタリング装置の開発（アプチェスRM）、CT一体型Linac装置を中心に紹介する。

〈治療計画装置・治療装置の改良〉

① 照射野限定システム：Multileaf Collimator

放射線治療計画は、X線透視を用いる二次元治療計画法と、CT画像をもとにする三次元治療計画法に分けられる。どちらも標的の病変を十分含み、リスク臓器の線量を考慮して計画するわけであるが、三次元治療計画法の方が標的の形状、位置、リスク臓器との位置関係を正確に把握することができ、より詳細な計画が可能である。

治療装置の改良によって、多門照射・回転照射等の複雑な照射が可能となり、照射法の選択の幅が増えた。また Multileaf Collimator (図1)を用いて標的の形状に

合わせた照射野設定を行うことで、リスク臓器の線量軽減が可能となった。これらの複雑な照射法には三次元治療計画が必須であり、コンピュータ上で線量分布計算し線量分布図を作成し、最適な治療計画を模索することになる。

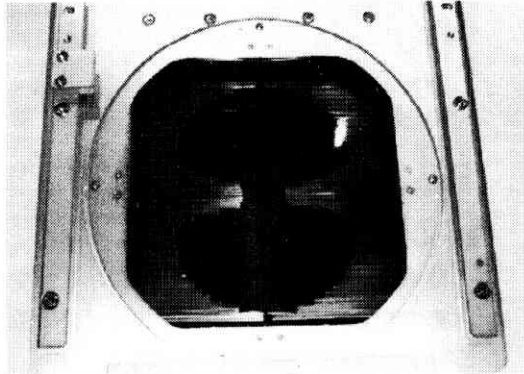


図1 Multileaf Collimator

幅5mmまたは1cmの鉛の遮蔽板がコンピュータ制御で動き、治療計画で設定した形状の照射野を作成する。

② 照射精度の向上

②-1 治療容積の正確な定義

照射精度を考える上で必要となる、標的体積についての概念を説明する。(図2) 標的体積はICRUレポート50⁵⁾及びレポート62⁶⁾に規定されている、肉眼的腫瘍体積 (GTV : gross tumor volume)、臨床標的体積 (CTV : clinical target volume)、ITV (internal target volume)、計画標的体積 (planning target volume) に分けられる。GTV とは、画像・触診・視診で確認できる腫瘍体積であり、CTVはGTVに加え周囲の顕微鏡的な進展が予想できる範囲、または所属リンパ節領域を含んだ、確実に照射されるべき標的体積である。このCTVに呼吸性移動・心拍動・蠕動など体内臓器の動き (IM : internal margin)



図2 標的体積の概念

を含めた標的体積、CTVにさらに毎回の照射における設定誤差 (SM : set up margin) を含めた標的体積が PTV となる。

IM、SM を小さくできれば、照射野を小さくすることが可能となり、リスク臓器への線量軽減が図れる。肺癌の放射線治療においては、IM の設定に呼吸性移動、心拍動、嚥下運動が考慮される。特に呼吸性移動の影響は大きく、その軽減のために各施設でさまざまな工夫を行っている。

②-2 呼吸停止下照射法の採用

呼吸性移動軽減の各方法を表1に示す。当科では自己呼吸停止法 (吸気法) を採用している。利点としては、吸気によって肺が膨張しているため正常肺間質の線量軽減が図れること、呼吸同期照射に比べ時間効率が良いこと、音声による呼吸停止法に比べ、自己呼吸停止法の方が再現性がよいこと⁷⁾、があげられる。

表 1 呼吸性移動の軽減

呼吸停止法
呼吸を停止させ、その間に照射
呼吸同期法
胸壁や気道にセンサーを置き、呼吸を感知
呼吸追従法
胸壁にマーカーをつけ、カメラで追従
呼吸制限法
固定具で季肋部を圧迫し、横隔膜の動きを抑制

②-3 呼吸モニタリング装置の開発

欠点としては、吸気量を毎回同じにすることが難しいため、呼気時の停止に比べ安定した再現性が得られにくいこと、そのため練習が必要なこと、また理解力の乏しい患者では再現性が著しく悪いことがあげられる。これらを補うため、当科で開発した呼吸モニタリング装置「アブチェス RM : abdominal and chest censored respiratory monitoring device」を使用している。(図 3)

アブチェス RM は胸腹 2 点式の呼吸モニタリング装置であり、胸式呼吸、腹式呼吸の混在した複雑な動きにも対応可能である。また金属を一切使用せず、装置による線量減衰を極力抑えている。目で矢印を同じ目盛りの位置に合わせるだけなので理解しやすい。同装置使用によって、自己呼吸停止が可能になった例もあった。当科で同装置を使用した 124 例から CT 上での腫瘍位置の再現性 (mean±SD) を検討したところ、頭尾方向 $1.6 \pm 1.4 \text{mm}$ 、腹背方向 $1.7 \pm 1.1 \text{mm}$ 、左右方向 $1.6 \pm 1.2 \text{mm}$ であった。頭尾側の呼吸性移動は通常 1cm はあることを考えると、良好な再現性が得られていると考えられる。

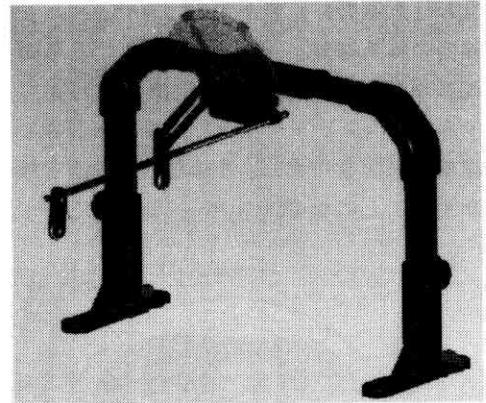


図 3 最新式アブチェス RM

②-4 CT 一体型 Linac system の応用

SM の設定には、毎回の治療における患者位置の誤差、計画装置と治療装置での誤差、照射中の体動が考慮される (図 2)。

照射時の位置合わせは、計画時に患者の皮膚に示したマーカー線で行うのが一般的だが、マーカー線自体の幅が 5mm ほどあり、その他にも皮膚のたわみの違い、姿勢の違い、技師による合わせ方の違いなどで誤差が生じる。これらの誤差の軽減のために、当科では CT 一体型 Linac を採用している (図 4)。

仕組みについて簡単に説明する。Linac と CT のそれぞれのガントリーが共通寝台を有し、その回転中心に対して 180 度の位置にちょうど向かい合うように設置されている。まずは皮膚マーカー線に合わせて位置をあわせ、CT を撮像する。計画時の CT 画像と比較し腫瘍の位置の誤差を修正するように寝台を微調整する。寝台は 180 度回転するようになっており、患者自体を動かさずに Linac 側への移動が可能になっている。寝台回転の機械的誤差は 0.5mm 以内である。位置修正時の計測者による誤差の平均 (2mm) を加えても、3mm 以内の誤差に留めることができる⁸⁾。

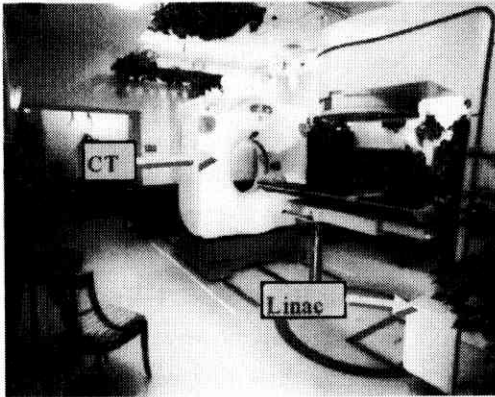


図4 CT一体型 Linac

照射中の体動の抑制には、バキュームピローという固定具を使用している(図5)。ポリスチレン製小ビーズクッションで、内部の空気を抜くことによって患者個々の体型に合わせた固定が可能である。当科での照射中の体動の平均は2mmである。



図5 バキュームピローによる体幹固定

〈治療成績〉

これらの工夫により、体幹部定位照射の基準である5mm以内のSMを実現しており、当科でもI期非小細胞肺癌に対する定位照射を行っている。1回大線量、短期間(60Gy/10Fr/5days or 48Gy/4Fr/4days)の治療が可能であり、治療の効果(Biological Effective Dose: BED、 $\alpha/\beta=10$ で換算)

は通常の照射 66~70Gy/33~35Fr の約2倍近く(約126Gy)であるにもかかわらず、有害事象は過去の通常照射に比べ少ない⁴⁾。当科の成績(粗生存率)を図6に示す。粗生存率は、1年84%、2年68%、3年47%であった。局所無再発生存率は、1年81%、2年59%、3年48%であった。手術可能例のみに絞れば、3年粗生存率は約80%と、現時点では手術に劣らない成績が得られている。

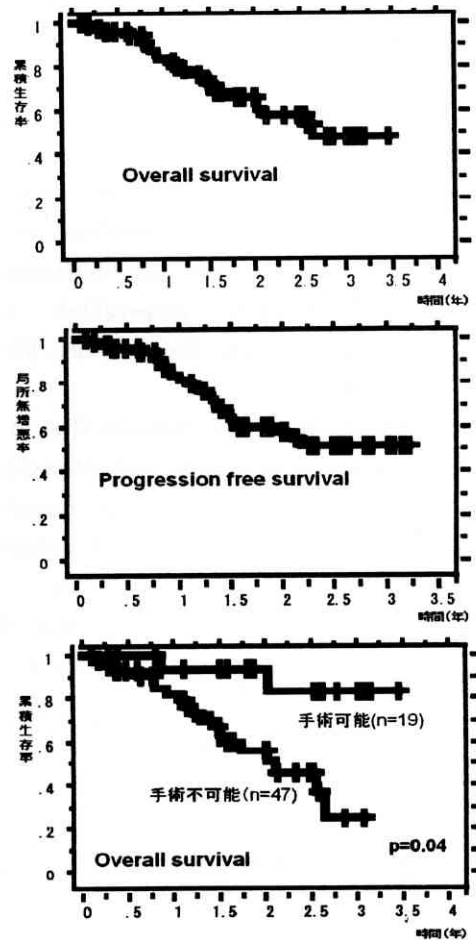


図6 当科におけるI期非小細胞肺癌に対する定位照射の治療成績 (66症例、median follow-up 18ヶ月、Stage IA:IB=26:40)

(まとめ)

当科にて行っている肺癌の高精度放射線治療について紹介した。特色としては、自己呼吸停止法、呼吸モニタリング装置(アプチェス RM) CT 一体型 Linac があげられ、世界でもトップクラスの高精度治療を実現している。

参考文献

- 1) Sibley GS. Radiotherapy for patients with medically inoperable Stage I nonsmall cell lung carcinoma : smaller volumes and higher doses-a review. *Cancer* 1998; 82: 433-438
- 2) Rowell NP, Williams CJ. Radical radiotherapy for stage I/II non-small cell lung cancer in patients not sufficiently fit for or declining surgery(medically inoperable): a systematic review. *Thorax* 2001; 56: 628-638
- 3) Tyldesley S, Boyd C, Schuize K et al. Estimating the need for radiotherapy for lung cancer: an evidence-based, epidemiologic approach. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001; 49: 973-985
- 4) Onishi H et al. Clinical outcomes of stereotactic radiotherapy for stage I non-small cell lung cancer using a novel irradiation technique: patient self-controlled breath-hold and beam switching using a combination of linear accelerator and CT scanner. *Lung Cancer*. 2004 ; 45(1): 45-55.
- 5) International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) Report 50, Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy, ICRU Publications, Bethesda, U.S.A. 1993
- 6) International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) Report 62, Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Report 50), ICRU Publications, Bethesda, U.S.A. 1999
- 7) Onishi H et al. CT evaluation of patient deep inspiration self-breath-holding: how precisely can patients reproduce the tumor position in the absence of respiratory monitoring devices?, *Med Phys*. 2003; 30(6): 1183-7
- 8) Onishi H et al. A new irradiation system for lung cancer combining linear accelerator, computed tomography, patient self-breath-holding, and patient-directed beam-control without respiratory monitoring devices. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2003; 56(1): 14-20.