

がん研究会有明病院における TrueBeam を活かした治療計画立案について

上間 達也

がん研究会有明病院 放射線治療部
東京都江東区有明 3-8-31

【概要】

昨今では機器のアップグレードに伴い、放射線治療の高精度化が著しく進歩したと共に、治療中の患者負担軽減も図られるようになってきた。TrueBeam (Varian Medical Systems, Palo Alto, USA) は、それらを実現する最たるものであり、搭載される flattening filter free (FFF) モードを利用した定位放射線治療 (SRT) や強度変調回転照射 (VMAT) も国内外で広がりを見せている。当院においても、TrueBeam の導入当初から肺の SRT を FFF により実施している。治療計画においても TrueBeam の特徴を最大限に活かした計画の立案が必要とされ、照射精度を考慮した線量分布の作成や、呼吸性移動がある腫瘍に対しては、動きに対応した治療計画の作成が重要となる。本講演では、当院における TrueBeam を利用した治療計画の経験や立案方法などを、臨床で活用している治療計画装置の機能と併せて紹介する。

1. TrueBeam の特徴

近年、放射線治療は目覚ましい発展を遂げており、強度変調回転照射 (volumetric modulated arc therapy: VMAT) や定位放射線治療 (stereotactic radiotherapy: SRT) などの高精度治療により、腫瘍には高線量を与えると同時に周囲の正常臓器を保護し、有害事象を抑えることが可能となってきた。この高精度治療を実施するには、治療計画 Computed Tomography (CT) 時と治療時の体位や呼吸、蓄尿量などを一致させることが重要である。また、位置合わせに関しても画像誘導放射線治療 (Image-guided radiotherapy: IGRT) が普及したことにより、日々の放射線治療時の位置誤差を補正しながら正確に治療することができる。しかし、放射線治療の高精度化・線量増加が進む一方で、治療時間の延長という問題も生じさせ、治療中における患者負担を増加させてしまう。

当院では 2016 年 6 月から TrueBeam (Varian Medical Systems, Palo Alto, USA) の臨床稼働を行っており、VMAT や SRT などの高精度治療を積極的に実施している。TrueBeam の持つ特徴の一つに flattening filter free (FFF) モードの搭載が挙げられる。通常、リニアックには照射野内の線量プロファイルを平坦にするために、flattening filter と呼ばれる金属フィルタがガントリヘッド内に設置されているが、FFF モードではこのフィルタを使用せずに照射を行う。これにより、線量プロファイルの平坦性を犠牲にするかわりに、従来装置に比べ線量率が最大で 4 倍となり高線量率の照射が可能となる。この FFF モードを使用することで、特に SRT などの大線量を照射する際に、大幅な治療時間の短縮が期待される。当院においても

は非侵襲的なフレームレスマスクを用いるため、患者にやさしく、さらには 6 軸カウチにより高精度な位置補正を行うことで、ガンマナイフのピン固定に匹敵する照射精度が得られる。つまり、TrueBeam を用いた VMAT-SRT では、治療時間の短縮効果や非侵襲性の固定具を用いることで、患者負担の軽減が図られ、さらに線量分布においても他の照射法と比較し優れていることから、今後、多発脳転移に対する有効な治療法として普及することが期待される。

3. 肺がんに対する定位放射線治療

周知のように、肺がんは呼吸性移動を伴うため、肺がんに対する SRT を施行する際には、呼吸性移動量の把握および呼吸性移動対策を講じている。当院においては、腫瘍の呼吸性移動が 5mm 以上であれば呼吸性移動対策を行っている。第一選択として自然呼吸時における呼気止めを、それが困難な場合は腹部圧迫下の自然呼吸により、腫瘍の呼吸性移動を制限している。この判断を行うタイミングとしては、治療計画 CT 撮影の前日に来院して頂き、呼吸指導・練習を行い、呼吸対策の選択を行う。

呼気停止による治療となった場合には、治療計画 CT では呼気停止による撮影を行う。また同様の撮影をさらに 2 回繰り返し、呼気止めによる腫瘍位置の再現性の評価を行い、インターナルマージン (IM) を決定する。また、腹部圧迫下の自然呼吸の場合には、治療計画 CT は 4D-CT 撮影を行い、その平均画像を用いて治療計画を行っている。

治療計画は、ノンコプラナーの固定多門 (6~7 門) を用いて、6MV-FFF、線量率 1400[MU/min] により立案している。Fig.2 に当院における肺 SRT の治療計画の一例を示す。当院では、日本

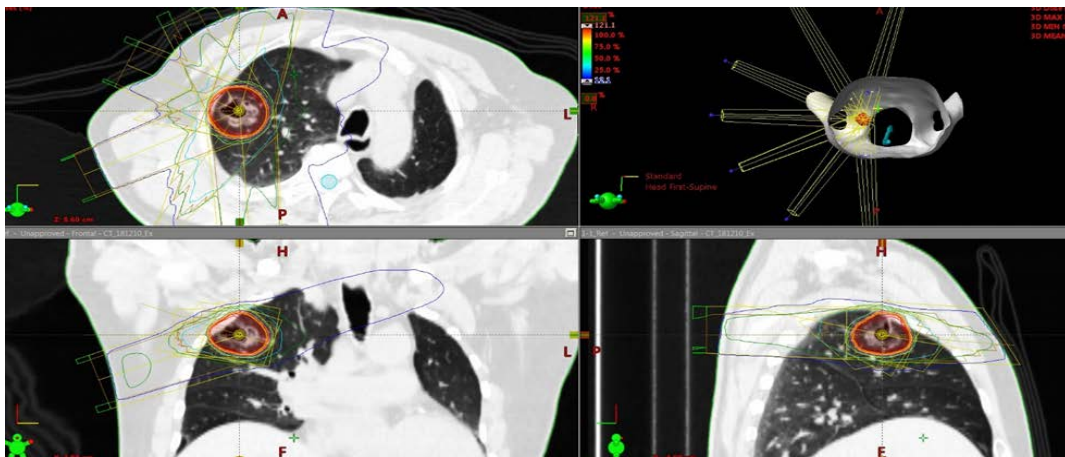


Fig.2 肺 SRT における治療計画の一例

臨床腫瘍研究グループ (JCOG) の臨床試験「JCOG1408」における治療計画に準拠して計画を作成しており、リーフマージンは 0mm で D_{95} 処方としている。線量は 55Gy/4 回を基本とし、患者背景に応じて線量の変更を行っている。

治療時の位置合わせは、cone beam CT (CBCT) を用いたターゲット合わせを行っているが、呼気止め照射の場合は、CBCT も呼気停止となる。治療時も呼気止めで行うため、当然治療時間は延長するが、IM の縮小という利点は大きい。当院で実施している肺 SRT における平均の総 MU は約 3000MU であり、従来の FF では beam on time が約 5 分であるのに対し、FFF モ

ードでは約 2 分と照射時間が短縮される。これにより、患者の息止め時間の短縮や同一体位を保持する時間の短縮などにつながるため、1 回線量が 10Gy を超す肺 SRT において FFF モードの利用は非常に有用である。

4. Knowledge-Based Planning の利用

近年、放射線治療の分野では治療計画作成の自動化に関する議論が活発にされており³⁾、臨床においても IMRT/VMAT における最適化支援ソフトウェアが登場してきた。治療計画装置 Eclipse(Varian 社)に搭載されている Knowledge-Based Planning (KBP) ソフトウェアである RapidPlan を当院においても利用し、治療計画の自動化を図っている。RapidPlan では、はじめに過去症例の線量的情報である線量体積ヒストグラム (dose-volume histogram :DVH) やターゲットと危険臓器 (organ at risk: OAR) の幾何学的情報をデータベースに登録し、照射部位毎に model を作成する。この作成した model を用いて新規症例における各最適化計算用輪郭の達成可能な DVH を推定し、最適化パラメータを自動で設定することで最適化支援を行う。通常行われている手動で作成した治療計画と KBP によるものとの比較が検討されているが、KBP がターゲットの線量均一性の向上や OAR の線量低減に優れるとの報告も多い⁴⁻⁶⁾。

当院においても、前立腺 VMAT において RapidPlan の臨床導入に際し、従来の手動による計画と RapidPlan によるものとの比較を、前立腺がん患者 20 例に対し行った。ターゲット線量の結果は、KBP による治療計画で大きな変化はなく、手動による計画と同等の計画が作成できていた。Rectum Wall および Bladder Wall の線量を D_{10%}、D_{30%}、D_{50%}、D_{70%}、D_{90%}を用いて比較を行った結果を Fig. 3 に示す。これらはそれぞれ直腸壁、膀胱壁体積の 10%、30%、50%、70%、90%が処方される線量の相対値を表す。Rectum Wall、Bladder Wall の D_{30%}、~D_{70%}の中線量域では、RapidPlan の方が線量を落としていることが分かる。当院で実施した検討においても、量を落としていることが分かる。当院で実施した検討においても、過去の報告にあるように RapidPlan が OAR の線量を低減できる結果となった。これらを踏まえ、当院では前立腺

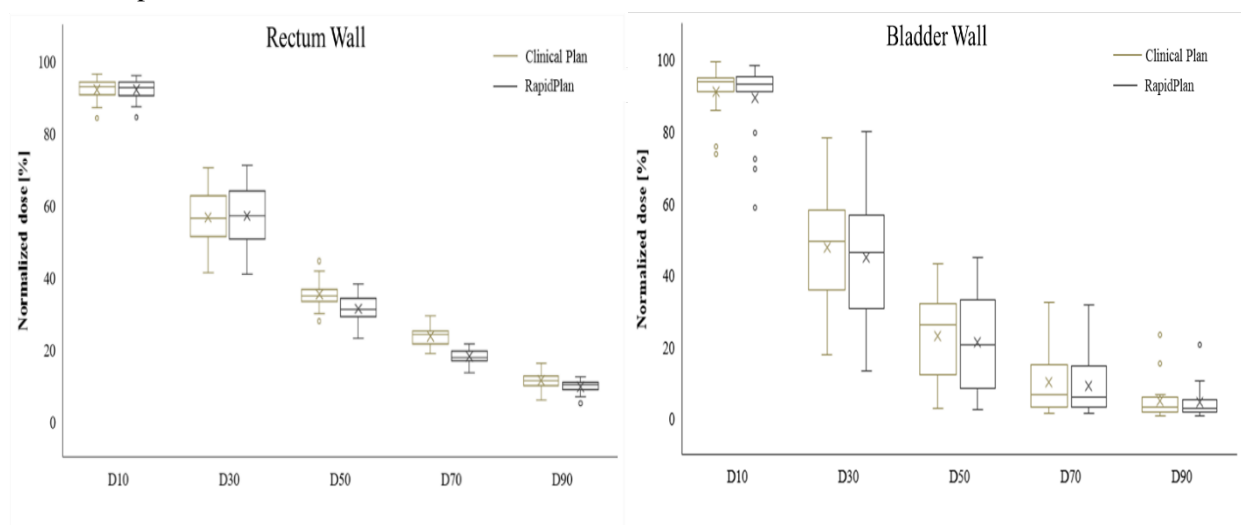


Fig.3 手動計画と Rapidplan における Rectum Wall および Bladder Wall の線量比較
VMAT に関しては全例、RapidPlan を使用して治療計画の作成を行っている。これにより、治

療計画業務の負担軽減と共に、計画者の経験や技術に依存せず、施設内で均質な治療計画が作成されるという点においても有用である。

5. まとめ

6軸カウチを用いた高精度な位置補正と、TrueBeam 特徴を最大限に活かした FFF モードを利用することで、従来装置では困難であった、複数個の病変に対する定位放射線治療を非常に短い治療時間で実施することが可能となった。これにより、患者への負担を大幅に軽減し、よりやさしい治療の実現を可能とした。また、治療機器の発展と共に計画装置の進歩も著しく、Knowledge-base の機能を用いることで、計画者の技量に依存しない治療計画を作成することができ、今後は国内・国外のどの施設においても、一定水準の治療が受けられるような放射線治療の均てん化に役立つことが期待される。

(参考文献)

1. 中口裕二, 荒木不次男, 河野友宏, 他. Image Guided Radiation Therapy における 6 軸位置補正法の検討. 日放技学誌. 2012; 68: 1492-1498.
2. Iwai Y, Ozawa S, Ageishi T, et al. Feasibility of single-isocenter, multi-arc non-coplanar volumetric modulated arc therapy for multiple brain tumors using a linear accelerator with a 160-leaf multileaf collimator: a phantom study. J Radiat Res. 2014;55:1015-20.
3. Sharpe MB, Moore KL, Orton CG. Within the next ten years treatment planning will become fully automated without the need for human intervention. Med Phys. 2014;41(12):120601.
4. Chanyavanich V, Das SK, Lee WR, et al. Knowledge-based IMRT treatment planning for prostate cancer. Med Phys. 2011;38(5):2515-2522.
5. Zhu X, Ge Y, Li T, et al. A planning quality evaluation tool for prostate adaptive IMRT based on machine learning. Med Phys. 2011;38(2):719-726.
6. Kubo K, Monzen H, Ishii K, et al. Dosimetric comparison of RapidPlan and manually optimized plans in volumetric modulated arc therapy for prostate cancer. Phys Med. 2017;44:199-204.