

重粒子線治療の現状と将来展望

山形大学医学部附属病院 放射線治療科 ○佐藤 啓(Sato Hiraku)

【はじめに】

東北・北海道地区で初となる重粒子線がん治療施設「山形大学医学部東日本重粒子センター」は、2021年2月25日に前立腺がんに対する重粒子線治療を開始し、昨年10月からは、当初予定していた全対象疾患の受け入れを開始、2023年9月末時点で、1207名に重粒子線治療を実施した。

本講演の内容は下記の通りである。

- ・「重粒子線治療」とはどんな治療か?
- ・「東日本重粒子センター」の施設紹介
- ・診療状況の報告
- ・重粒子センターにおけるこれからの展望

【「重粒子線治療」とはどんな治療か?】

粒子線は、電子より質量の大きい粒子を、重粒子線はヘリウムより質量が大きい粒子をいい、現在用いられているのは炭素線であるため、実質的には「重粒子線」=炭素線ともいえる。

重粒子線治療の物理学的利点として、高い線量集中性があり、鋭いピーク（ブラッグピーク）を腫瘍の深さに合わせることで周辺の線量を低減し、また重粒子線は体内での横方向の散乱が小さく直進性が良い性質がある。

重粒子線治療の生物学的利点として、細胞殺傷効果が高いことがあり、重粒子線治療の細胞殺傷効果はX線や陽子線に比べてはるかに大きく、細胞分裂の周期に依存せず、酸素濃度にもあまり依存しないため、高い生物学的効果による抵抗性の克服の可能性を示唆している。

【「東日本重粒子センター」の施設紹介】

東日本重粒子センターの特長に、「総合病院接続型」の施設であることが挙がる。山形大学医学部附属病院と渡り廊下で接続され、直接往来できるため心疾患や呼吸器疾患など合併症のある方でも安心して治療が受けられる (Fig.1)。

45 m×45 mの「世界最小」の建屋面積によって「総合病院接続型」の施設を実現し、炭素イオンを加速するためのシンクロトロンを地下1階に、治療室を地上2階に配置した「キューブ型」の構造を採用している。

東日本重粒子センターの治療開始に向けて、10数年前より東北6県+新潟県ほか60以上の基幹



Fig.1

重粒子線治療装置の構成



Fig.2

病院とTVカンファレンスシステムで接続されており、重粒子線治療の適応相談や病歴や画像の照会がリアルタイムで可能である。

内装デザインは、大学病院の近隣にある東北芸術工科大学と共同で考案され、患者のがんと闘う決意と勇気を後押しするデザインとなっている。東北の冬は厳しいものであるが、冬のマイナスのイメージを払拭する色彩を採用している。待合スペースの奥には、治療待機個室が8室あり、重粒子線治療を受けるまでの不安な時間は、個室でご家族と過ごすことが可能である。

重粒子センターの治療装置の構成は、水平方向から前立腺がんの治療を行う「固定照射室」1室と、前立腺がん以外の治療を行う「回転ガントリー照射室」1室の2室構成で、回転ガントリー装置は世界3台目の装置で最適な角度から照射が可能である (Fig.2)。

超伝導回転ガントリー



Fig.3



Fig.4

当センターは、3次元ペンシルビームスキニング照射法を採用し、腫瘍の奥から一筆書きのようにターゲット領域を塗りつぶしていく。この照射法は、ターゲットの大きさまでビームを広げるブロードビーム法に比べて、周囲の正常組織に余剰に照射される領域が少なく済む。

X線や陽子線では、回転ガントリーを用いることが一般的であるが、高速に加速した炭素イオン線を曲げるために必要な電磁石が巨大であり、それを曲げることは非常に困難であった。そのため、従来の重粒子線治療は、水平方向や垂直方向などの決まった方向からしか重粒子線を照射できず、正常組織を避けるためには患者を傾けた状態で照射する必要があった。当センターは、回転ガントリーの採用によって患者は楽な体制のまま治療を受けることができるよ (Fig.3)。

また、海外での「山形大学モデル」導入計画として、韓国の延世大学、ソウル大学でも重粒子線装置の導入が進行しており、いずれも「山形大学モデル」が納入される。決め手の最大の理由は「世界最小の回転ガントリー」技術であったといわれている。

呼吸で動くターゲットには、X線透視によるイメージガイド下に照射タイミングをコントロールし、呼気の臓器の止まった瞬間にビームを高精度に照射している (Fig.4)。

【診療状況の報告】

2021年2月25日に前立腺がんに対する重粒子線治療を開始し、2021年度は固定照射室で前立腺がん治療のみを実施し、当初年間目標120名(その後250名に上方修正)を大きく上回り結果的に、353名に重粒子線治療を実施した。その間も回転ガントリー照射室においてはビームの調整を進めており、2022年3月には回転ガントリー照射室においても前立腺がんに対して「左右2方向」を加えて安全に治療を実施できることを確認し、その後同年5月に「上方5方向」を加えて、口腔・咽喉頭の扁平上皮癌を除く耳鼻科領域のがんに対して、同年7月には「下方5方向」を加えて手術後に再発した大腸がんや骨盤部の骨軟部腫瘍に対して、同年9月末に呼吸同期照射の準備が整い、当初予定していた全対象疾患を現在は受け入れている (Fig.5)。

また、令和4年度診療報酬改定において、先進医療として実施された技術の保険導入として、粒子線治療の対象疾患に、既存のX線治療と比較して生存率等の改善が確認された(長径4 cm以上の)肝細胞癌、肝内胆管癌、局所進行性膵癌、(手術後に再発した)局所大腸癌、局所進行性子宮頸部腺癌の5疾患が加わった。これらはいずれも根治的な治療が困難なものに限る。当センターにおける保険適用のがん、先進医療対象のがん、令和4年度に保険導入された疾患、令和4年10月から受け入れを開始した疾患を整理するとスライドのようになる (Fig.6)。

2022年度は対象疾患を徐々に拡大していき、

回転ガントリー照射室の進捗

- 2022/3/8: 前立腺を開始 …左右2方向
 - 2022/5/17: 頭頸部を開始 …上方5方向
(口腔・咽喉頭の扁平上皮癌を除く耳鼻科領域のがん)
 - 2022/7/14: 骨盤部を開始 …下方5方向
(手術後に再発した大腸がん・骨盤部の骨軟部腫瘍)
 - 2022/9/27: 胸腹部を開始 …呼吸同期
(肺・肝・脾・腎がんなど)
- ※ 現在、当初予定していた全対象疾患を受け入れている

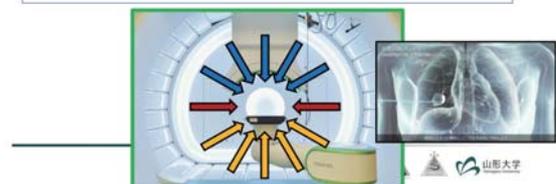


Fig.5

年間目標300名に対して524名に治療を実施し、2023年度は年間目標600名（2024年度の目標を一年前倒したのもの）に対して、上半期で318名に治療を実施しており、順調に推移している。

フル稼働後1年（2022.10～2023.9）の実績とし

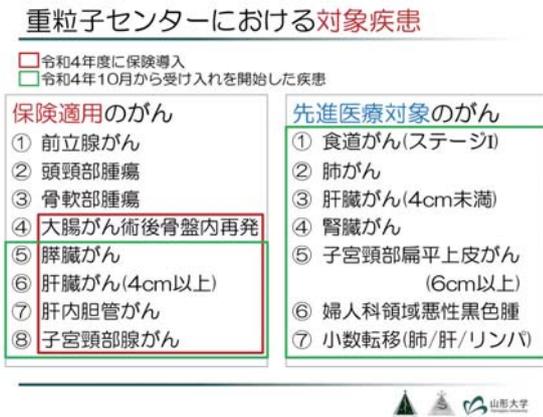


Fig.6

フル稼働後1年の重粒子線治療実績（2022.10～2023.9）

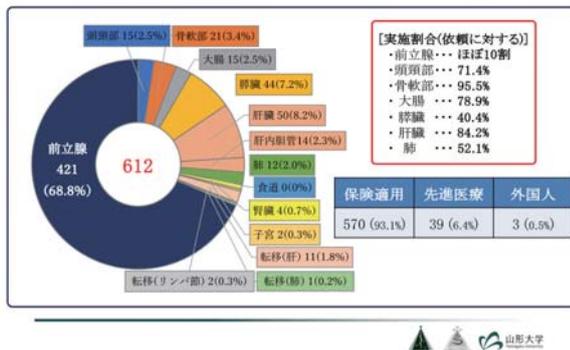


Fig.7

ては、612名に重粒子線治療を実施し、7割弱の421名が前立腺で、次いで1割強の64名が肝臓、1割弱の44名が膵臓、骨軟部21名、頭頸部15名、大腸15名と続く (Fig.7)。

【重粒子センターにおけるこれからの展望】

小型化の実現など、東日本重粒子センターの装置自体、画期的な要素が多数あることに加え、重粒子線治療施設を大学病院に併設することも世界初であった。大学病院には様々な専門家が揃っており、その知識を結集した重粒子線治療を目指すことが大切である。

抗癌剤と重粒子、免疫チェックポイント阻害薬と重粒子、手術と重粒子をどのように組み合わせるのかについて、解明されていない課題はまだ多く、がんの集学的治療を更に進化させる武器の一つとして重粒子を活用し、研究を進めていく必要がある。

ここ山形大学医学部東日本重粒子センターから新しく画期的な治療法を開拓することが、我々の使命であると思っている。

【まとめ】

東北・北海道地区で初となる重粒子線がん治療施設「山形大学医学部東日本重粒子センター」は、2021年2月から前立腺がんに対する重粒子線治療を開始し、既に1207名が重粒子線治療を終えている。

当センターでは、総合病院である大学病院の資源もフルに活用して、安心・安全な重粒子線治療の提供に努めていく。