

神奈川県立がんセンターi-ROCKにおける重粒子線治療の現状

PROGRESS REPORT OF CARBON THERAPY IN I-ROCK

竹下 英里[#], 蓑原 伸一, 草野 陽介, 松崎 有華

Eri Takeshita[#], Shinichi Minohara, Yohsuke Kusano, Yuka Matsuzaki

Kanagawa Cancer Center

Abstract

As part of the Kanagawa "Challenge-10-year strategy to cancer" it was decided in March 2005 to establish a carbon-ion therapy system at the Kanagawa Cancer Center (KCC). After about 10 years of this decision, construction of the main building for the acceleration and treatment devices has been started and completed in October 2014. Various treatments for cancer, which include the present photon LINAC for the radiation therapy, will be provided to patients in cooperation with our cancer center hospital. In addition, we will combine a compact dissemination treatment system of carbon-ion therapy to the pencil beam 3D scanning technique designed by the National Institute of Radiological Sciences (NIRS). From December 2015, the treatments were started as a clinical trial. The real treatments have been performed from February 2016 as advanced medical care. In the next step, we plan to treat the lung and the liver cancer using the respiratory gated irradiation technique. In this paper, we report the status of our facility at KCC.

1. はじめに

神奈川県立がんセンターの重粒子線治療施設"i-ROCK"では、2015年12月に臨床試験としての治療を開始し、翌2016年2月からは先進医療での重粒子線治療照射を始めた。治療室1～4の装置コミショニングは全て無事に終了し、現在は患者件数増加にともなう運用スケジュールの最適化や各種QAの高効率化などについて検討を進めている。肺・肝臓・膵臓などの呼吸性移動をともなう症例については、患者の呼吸波形に同期して照射する、いわゆる呼吸同期照射を用いているが、体外センサーによる呼吸波形監視だけでなく体内にある臓器の動きをリアルタイムにトラッキングする手法についても検証を進めている。呼吸同期照射では、呼吸波形の取得タイミングや、治療計画時にどういったルールで動き量をマージンとして考慮するかなど、さまざまなシステムを含めた総合的なコミショニング

が必要となる。以下、これらの運用検討の結果を示すとともに施設の現状報告を記す。

2. 稼働状況

当センターは、Fig. 1に示すように治療室1・4（水平ポート）、治療室2・3（水平・垂直ポート）の4治療室から構成されている。実際の治療時間は患者の固定＝位置決め8割強が費やされるため、加速器1台に対して複数の治療室を配置するのは昨今の粒子線施設においては一般的であるが、全ての治療室に水平ポートが配備されている施設は少々珍しい。これは、治療する部位や重粒子線治療プロトコルを鑑みた場合に水平ポートの利用率が多くなる、といった統計的推測に基づいている。当センターの治療装置がフル稼働した暁には、年間880人の患者を受け入れることが可能となる。治療ビームのエネルギー変更は、放医研にて開発された可変エネルギー運転方式[1, 2]を採用しており、照射システムが



Figure 1: Facility layout of i-ROCK.

[#]takeshita.e@kcch.jp

らの要求に応じて治療照射中に数秒の速さでエネルギー変更が完了する。また、各治療室へのコース切替時間は約20秒程度で、臨床側からの要求に応じて自由度の高いスケジュール調整が可能となっている。さらに、フラットトップを延長する事で長時間ビームを周回状態で保ち、任意のタイミングで出射可能とするフラットトップ延長運転方式[1,2]を採用し、出射デューティが向上しているため、呼吸同期照射についても高効率化された治療が実現可能である。

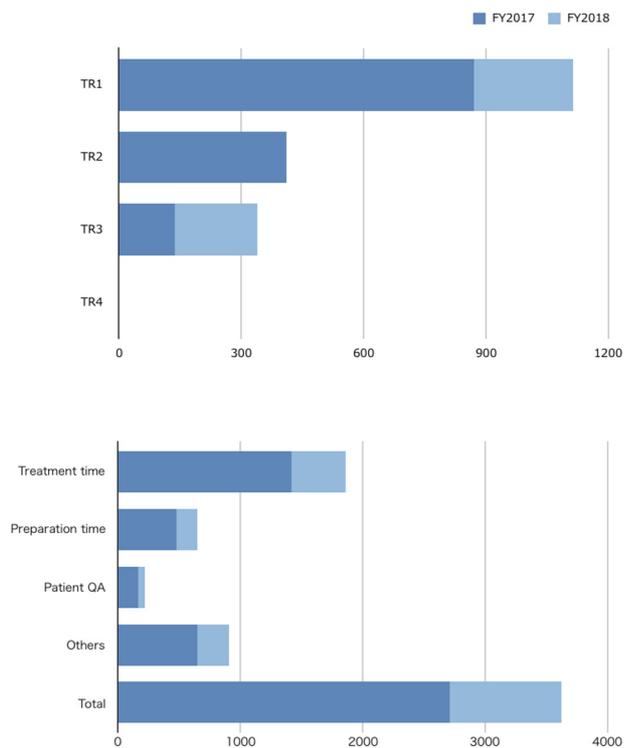


Figure 2: Details of operation time in i-ROCK.

2017年度は、前立腺以外の照射や主に治療室2にて実施していたが、年度後半から内部呼吸同期システムのコミッショニングを行うために治療室3の併用を開始した。Figure 2 に示した通り、2018年度からは完全に治療室3運用に移行し、治療患者数に応じて来年度からは3治療室の運用開始も視野に入れている。治療患者数増加にともない、患者QA時間は純増が見込まれるが、しばらくは治療の合間や治療終了後のオペレーション時間で実施していく予定である。ただし、来年度以降、新規患者数が増えるにしたがい2シフトを組むなどして夜間オペレーションを可能にする体制を考える必要がある。

治療システム全体の稼働率は概ね99%近くを保っており非常に良好である。これまでに発生した装置不具合のほとんどが軽微なものでソフトの再立ち上げ等により復旧出来ている。なお、今年度からは完全な分散点検を実施するため週単位の装置停止期間は予定されていない。

治療患者数は順調に増加しており、昨年度は前立腺を主体に骨軟骨・肝臓・頭頸部、といった部位の治療を行った。今年度からは、前立腺が保険適用されたこともあり、がんセンター内の連携をさらに強化し、前立腺以外の部位、特に呼吸同期性移動をともなう臓器（肝臓に加えて肺）に対しても積極的に重粒子線治療を適応していく。さらに、直腸術後照射など、新たなプロトコルを院内にて整備しつつ年間受け入れ患者数の増強を図る予定である。

3. 呼吸同期照射

呼吸同期照射とは、患者の呼吸波形を常時監視し、臓器の動きがある閾値以内に入った時のみビームを照射する技術である。スキャンング照射は動的な照射野形成技術であるがゆえに、腫瘍の動きとスキャンする動きが干渉を生み、塗りムラが生じる事で線量分布が劣化する可能性が懸念されてきた。そこで、放医研では、スキャンスピードの高速化と、ビーム強度を照射中に変化させる位相制御リスキャンング法の開発によって呼吸同期照射の実現に至った[3]。さらに、位相制御リスキャンング法によって、少ないリスキャンング回数でも線量分布劣化を防げることを事前にシミュレーションで証明しており、実際の治療照射に於いても十分効果を得られる事が分かっている。

3.1 呼吸同期システム

患者の呼吸波形監視用ツールとして、安西メディカル社製の体外センサ検知型の呼吸同期システムを用いている。Figure 3 に既存の呼吸同期システムの比較を示す。当センターで採用した IRP センサー (AZ-733VI) は、他のセンサーに比べて遅延時間が非常に短く、患者の実呼吸により近いタイミングで呼吸同期ゲートを得ることができる。さらに、現場で実際に使用する放射線治療技師の意見を積極的に取り入れることでユーザーインターフェイスの向上を図り、使い勝手の良さを追求することによりセットアップ時間の短縮化に成功した。Figure 4 に呼吸同期システムを実際に使う際のセットアップ例を示す。

	RPM	ANZAI (AZ-733V)	Exactrac	VisionRT	IRP sensor (AZ-733VI)
Gating technique	Amplitude Phase	Amplitude	Amplitude	Amplitude Phase	Amplitude
Delay time [msec]	70~90	100~110	170~200	~200	6~20
Detector / sensor	IR camera Block Marker	Displacement sensor	IR camera Marker	Depth camera	PSD
Interference	○	△	△	○	○
Easy for use	○	○	○	○	○

Figure 3: Comparison with specifications of several sensors.



Figure 4: Setup example of simulation in CT room.

参考文献

- [1] T. Furukawa *et al.*, Med. Phys. 34 (2007) 1085.
- [2] Y. Iwata *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. A 572 (2007) 1007.
- [3] T. Furukawa *et al.*, Med. Phys. 37 (2010) 4874.

3.2 X線透視システム

照射ポートに併設された斜め X 線撮像装置を用いて、照射中でも透視撮像を行うことができるため、リアルタイムに体内臓器の動きを確認しながら照射することが可能となっている (Fig. 5 参照)。将来的には、同システムを用いた体内トラッキングによる呼吸同期照射も視野に入れており、随時、クリニカルコミッションングを実施して実運用を目指す。

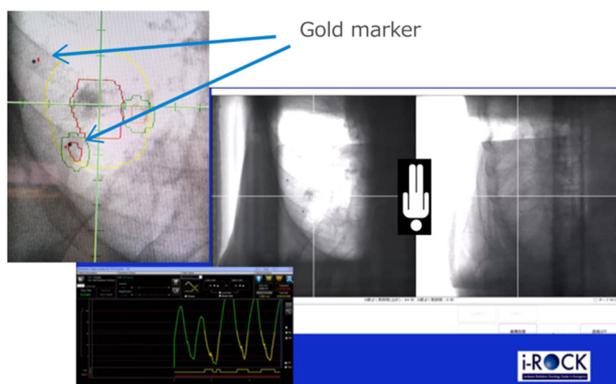


Figure 5: Printed template that is calculated in TPS is put on the monitor screen. Contours indicate the acceptable region of the motion during gate-on.

4. 今後

当センターでは 2015 年 12 月の治療開始以来、大きなトラブルにも見舞われず順調なスタートを切っている。今後、前立腺がんのみならず、保険適応のある骨軟部腫瘍や、難治性の高い頭頸部がん、さらには呼吸性移動のある臓器（肺、肝臓、膵臓）も含めて適応部位の拡大を図っていく。症例拡大につれ治療件数も増加する見通しであり、治療システム全体のさらなる安定性や高効率化が望まれる。よって、残る 2 つの治療室も今年度中には整備を完了し、来年度以降の患者受け入れ体制の強化を図る。