2022 GHMC Annual Report

2022年度 年報

2022 GHMC Annual Report

群馬大学 重粒子線医学研究センター

目次

++++<<<	•
HYF HØ	Ś
17/17	

QA/QC 運用変更等
GHMC における 2022 年のボーラス使用状況について13
RayStation を用いた Trilogy の CDR-VMAT の立ち上げ16
放射線治療におけるレファレンスクラス電位計の自己点検19
IMRT 治療計画数の推移
X 線治療用の CT シミュレーターの更新に関する CT 値電子密度変換テーブルの更新27
炭素イオン放射線治療における頭頸部癌の線量制約に関する文献レビュー32
動きを考慮した積層原体照射におけるスイープ数や呼吸周期、シンクロトロン周期が線
量分布に与える影響の評価
炭素線照射方法による照射野効果の比較43
2022 年度医学物理士試験対策用 WEB サイトの利用者に関する調査47
子宮癌に対する重粒子線治療の治療計画実施状況と作成方針の検討
学位論文要旨

業績	 	60	

挨拶

世界保健機関(WHO)のテドロス事務局長は、猛威を振るう新型コロナウイルス感染症 に対して、2020年1月に「国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態」を宣言しましたが、 2023年5月にその宣言を終了すると発表しました。国内では、令和5年5月から新型コロ ナウイルス感染症の感染症法上の位置付けが5類に移行し、国際的な人の往来も活発にな りつつあります。群馬大学では海外からの留学生(大学院生)が来日し、新たに研究生活を スタートさせました。また、当センターでは5月に中国浙江省癌センターの視察団を迎え て学術交流協定の対面調印式を、6月には韓国延世大学から重粒子線治療研修を受け入れる 予定です。2012年以来、QST病院と毎年共同開催してきた重粒子線治療国際研修コース (ITCCIR)も4年ぶりに対面で開催されることが決まりました。これまでのように、欧米 やアジア諸国から集まった放射線治療医、医学物理士、生物研究者らが重粒子線治療につい て研修・意見交換する機会になります。こうした対面での国際交流の機会が当センタースタ ッフの研究を活性化し、知の拠点としての躍進につながることを期待しています。

新型コロナウイルス感染症の蔓延下で培われたノウハウをこれからの研究活動に活かし ていくことも大切です。過去3年間で主流となったWeb 会議の長所は、移動に必要な時間 とコストを削減できる、お互い離れた場所で会話が可能、資料の共有にプロジェクターの必 要がない、などあります。自宅から国際会議への参加も可能で、働き方にも多様性が生まれ ました。一方で、議題にない自由な雑談をする機会はなくなり、発言者以外の表情や雰囲気 も読み取ることが難しくなりました。既知の仲間とのコミュニケーションは効率的かもし れませんが、新しい仲間を作る場にはなりにくいようです。

昨年度に始まった日立製作所との共同研究講座は順調なスタートを切ることができました。臨床現場への参加やリモートを活用した在宅勤務を取り入れるなど、講座教員の働き方 は私たちによい刺激となっています。今後は成果を具体的に発信し、将来の社会実装につな がることを期待しています。

診療報酬改訂で5つの疾患が新たに保険適用になった影響もあり、昨年の重粒子線治療 患者数は843人と過去最多になりました。治療患者数が増えても治療の質を保ち、安全か つ効率的な運用を行うには、職員どうし知恵を出し合いながら課題を解決していかねばな りません。技術革新を取り入れながらも、Patient oriented であることや多職種で専門性の 高い業務を連携させる協働の視点を忘れずに取り組みたいと思います。

2023年5月

重粒子線医学研究センター センター長 大野達也

メンバー

教員

センター長 教授 大野 達也

医学部門

教授	河村	英将
講師	松井	博
助教	佐藤	浩央
助教	大西	真弘
助教	宮坂	勇平
助教	武者	篤

生物学部門

教授	高橋 昭久
助教	吉田 由香里
研究員	王 禎
研究支援者	深見 敬子
研究支援者	八高 知子
客員教授	古澤 佳也
客員教授	柿沼 志津子
協力研究員	金ヶ崎 史朗
協力研究員	安藤 興一

物理学部門	刂	
教授	田代	睦 (副センター長)
助教	遊佐	顕
助教	島田	博文
助教	松村	彰彦
助教	川嶋	基敬
助教	酒井	真理
助教	中尾	政夫
助教	VARI	NAVA, Maria
客員教授	野田	耕司
協力研究員	久保E	田 佳樹
協力研究員	PARA	AJULI, Raj Kumar
協力研究員	荒川	和夫
協力研究員	金井	達明

協力部門

先端粒子線医科学共同研究講座(日立

製作所)

准教授	岡野 奈緒子
助教	山田 貴啓
助教	吉田 英恵

博士課程学生

D4	石居 隆義
	大崎 晃平
	安達 拓也
	ZHANG Shenke
D3	CHEN, Jing-Ni
D2	ZHANG Shangli
D1	稻垣 俊輔
	GERGUIS, Fady Nagy Lotfy
	長谷部 有希

修士課程学生

生命医科学専攻	
M2	浦部 直人
	SHAN, Panpan
	TSURAYYA, Afifah Hana
M1	水落 菜月
理工学府電子情	報理工学科(櫻井研)
M1	川上 雄大

学部学生

学部学生	
医学部医学科	(MD-PhD コース)
B6	須田 征樹
	服部 真由
	安田 うらら
	山本 大貴
B5	杉山 弘一

理工学部

B4	村田	裕士郎

2022 GHMC Annual Report

QA/QC 運用変更等

2022 GHMC Annual Report

重粒子線治療装置の運転統計

Operation Statistics of Heavy Ion Irradiation System

中尾政夫

Nakao Masao

Abstract: Increasing the availability of the entire treatment facility is important to promote the use of heavy particle therapy. Here are some operating statistics for FY2022. There is also explained some of the problems and the countermeasures that have been taken. Both tangible and intangible measures are necessary to prevent the decline in availability rate due to aging facility.

1. はじめに

群馬大学重粒子線医学研究センターは、普及型重粒子線治療装置による炭素イオンを用いた治療照射を2010年に開始した.施設の稼働率を高め、治療の遅延時間を短くすることが重粒子線治療に必要とされている.施設利用率を高めるため、2022年度より1月の集中 点検を廃止し、年に6回金曜日~月曜日に点検を行う分散点検とした.

本報告では 2022 年度の運転統計と、主なトラブルとその対処について報告する.

2. 統計の算出方法

稼働率の定義は、以前の統計との比較を容易にするために 2018 年度 [1], 2020-2021 年 度[2,3] のレポートと同様の定義を用いた.装置稼働率*R_{total}は*,

$$R_{total} = 1 - \frac{T_{fail}}{T_{avail} + T_{fail}}$$

 $(T_{fail}$ は故障時間, T_{avail} は正常稼働時間)で定義される.故障時間は,1室以上が正常に 使用できなかった時間,および使用はできるが異常の調査のために本来の目的に使用でき なかった時間を含む.また,治療稼働率 R_{treat} は,

$$R_{treat} = 1 - \frac{T_{delay}}{T_{treat} + T_{delay}}$$

(*T_{delay}*治療遅延時間,*T_{treat}*は治療時間)で定義される.故障により特定のコースが使用 不可能となったが、コース振り替えにより治療を実施した場合は遅延時間に含まれない.

装置稼働率・治療稼働率の算出に当たっては,装置ログノートおよび運転技術員より提 出された週報に基づいて算出した.

3. 2022 年度の運転統計

Fig.1 に月別の稼働時間, fig.2 に月別の装置稼働率・治療稼働率を示した. 1 月の前半は

定期点検のため治療が停止している.治療稼働率が装置稼働率よりも高くなっているのは, トラブルが治療には影響しなかったか,治療時間外に発生したトラブルを治療時間前に復 旧できたことを示している.2022年度より1月の集中点検を廃止し,年に6回金曜日~月 曜日に点検を行う分散点検の方式とした.従って2022年1月の定期点検が最後の集中点検 となっている.







Fig. 2. Monthly total availability (red) and treatment availability (blue).

4. トラブル事例

2022 年度の重要なトラブルとしては以下が挙げられる。 2022 年 11 月 10 日(木),朝から A 室 F 側の FPD に縦筋が見えていたが治療に問題にな るほどではないので治療を行っていたが 17 時に完全に使用不能の状態になった。当日夜に はメーカーの技術者により FPD の交換が必要と判明したが, FPD の交換は 12 日(土)とな った。当日の A 室残りの治療は B 室に振り替えたが, B 室も治療人数が多かったため翌日 11 日(金)の A 室の治療はほとんど翌週 14 日(月)に振り替えた。他にも位置決め用の X 線 装置のトラブルによる遅延が発生しており加速器だけでなく X 線機器も稼働率に大きく影 響している。

2022 年 7 月 28 日(木)と 2022 年 08 月 26 日(金)に,いずれも落雷が原因と思われる停 電が発生した。いずれも治療終了後であり,当日中に復旧できたため治療に影響は無かった。 これを機にオペレータが停電復旧のチェックリストを作成した。

電源やアンプの盤のファンが停止したことが検知されて制御上で重故障となり治療が停止した件が複数回発生した。いずれもファンを予備部品として保管してあった中古ファン に交換し,1時間以内で復旧している。現在使用中のファンと保管していた中古ファンは型 番が異なるため予備品を探すのに若干時間がかかった。予備部品について、同等品は同じ番 号で管理したり、予備部品の所在を検索できるようにしたりしておく必要がある。

5. トラブルデータベース PT-DOM

重粒子線治療装置のトラブルは、前節で記したような数十分以上治療が停止し速やかな 復旧が求められる大きなトラブルから、イオン源の放電のように数秒で自動復帰するもの の多発する場合に放置できないトラブルまで多岐にわたる。前者においてはオペレータが トラブル復旧作業にあたり過去の同様のトラブルを参照するために当時の報告書などを探 していると復旧までの時間が長くなってしまう。後者においては頻発するようになった場 合にメンテナンス日などに処置する必要がある。トラブルをデータベース化することでそ れらの問題に対処することが可能となる。

山形大学の想田氏によって開発された PT-DOM(Particle Therapy Database of Operation and Maintenance)は、トラブル事象を登録、分類、検索などができる Web アプリケーショ ンである[4]。PT-DOM は PostgreSQL によるデータベースと Django のフレームワークを 使用しており Ubuntu Linux サーバ上で動作し、ネットワークに接続した PC 上の Web ブ ラウザからアクセスする(fig. 3)。発生したトラブルは全て「トラブル事象」として登録され る。発生日時、発生デバイス、発生状況、応急処置、復旧時間等を運転員が登録する。登録 されたトラブルを物理当番が承認する運用としている。加速器のトラブルは同じトラブル が再発しやすく、そのトラブルの調査や修理対応などは 1 ページにまとめた方が分かりや すいため、「トラブル類型」として分類する。トラブル類型から紐付いたトラブル事象を確 認することで発生頻度を知ることができる。

山形大では 2021 年 1 月から運用を開始しているが,群大では 2023 年 3 月から仮運用を 開始し, 2023 年度より本格運用を開始した。サーバは重粒子線センター内に設置し,重粒 子センターのネットワーク内部のみ公開とした。昨年度までは Teams でトラブル情報をや りとりしていたが,この情報は Microsoft Power Automate によってエクスポートしてデー タベースに取り込んだ。ただし複雑な操作が必要であり,結局書き込みに対するリプライは 取り込めなかった。また,毎日の運転時間,治療時間,治療件数等を Excel シートに入力し ていたが,今後は PT-DOM に登録することで運転統計を自動的に算出することが可能とな る。

T-DOM	運転	状況 : 装置停止 (202	2-11-08 18:16	-) 変更		
Particl	e Therapy N	Databa ⁄Iainten	se of ance	Operatic	n ai	nd
群馬大学重粒	子線医学センター	- 重粒子線治	療装置 運	転・維持管理	データ	ベース
トラブル検索			トラブル	入力		
トラブル事象	検索	詳細検索 詳細検索	新規入力	分類		
お知らせ						
						お知らせ一覧
最近発生した	トラブル					
発生日時	題名	デバイスID	故障時間	トラブル類型		
2022/11/08(火) 18:29	テストーイオン源	L-ION-OTHERS	о		編集	再発
2022/11/08(火) 18:27	テストトラブル2-1	L-ION-OTHERS	None	テストトラブル2	編集	再発
2022/11/08(火) 18:23	テストトラブル3-1	AHC-OTHERS	None		編集	再発
2022/11/08(火) 17:50	★テストトラブル3	AHC-OTHERS	None		編集	再発

Fig. 3. A screenshot of PT-DOM (Particle Therapy Database of Operation and Maintenance)

6. まとめ

2022 年度の群馬大学重粒子線医学センター重粒子線治療装置の装置稼働率は 98.2%,治療 稼働率は 98.4%であり,翌営業日に治療を移動したのは 1 回のみであった。加速器,X 線 機器,建屋設備など全ての装置の稼働率を高めていく必要がある。加速器の運転開始から 14 年目となり,部品が経年劣化する一方で保守部品に生産中止となるものが発生し始めてい るので,サブシステムを更新していく必要がある。トラブルの予防,対処,再発防止のため にデータベース PT-DOM を生かしていこうとしている。

謝辞

重粒子線治療装置の運転記録の収集については加速器エンジニアリング株式会社の運転 技術員の皆様の多大なご協力を頂きました.

参考文献

[1] 想田光 「重粒子線治療装置の運転統計」2018 GHMC Physics Division Report

- [2] 中尾政夫 「重粒子線治療装置の運転統計」2020 GHMC Report
- [3] 中尾政夫 「重粒子線治療装置の運転統計」2021 GHMC Report

[4] 想田光 「粒子線治療装置運転・維持管理データベース PT-DOM の開発」 第19回加速 器学会年会 (2022)

GHMC における 2022 年のボーラス使用状況について

Usage Survey of Range Compensator at Gunma University Heavy Ion Medical Center in 2022

松村 彰彦

Akihiko Matsumura

Abstract: The range compensator (RC) made of high density polyethylene (HDPE) is used to adjust the range of carbon ions to the target in patient body at Gunma University Heavy Ion Medical Center (GHMC). There are two types of RCs. One is fabricated by drilling the HDPE block and the other is fabricated by punching HDPE plates and stacking them. The latter one can be prepared in a relatively short period of time. Some kinds of heights of RC can be used to fit the target size in clinical practice. In this report, the result of usage survey of RC at GHMC in 2022 is summarized.

1. はじめに

群馬大学重粒子線医学センター(GHMC)では、ボーラスと呼ばれる器具を使用して体 内での炭素線の飛程を調整している。ボーラスは、比較的水に密度が近く、加工・取り扱い が容易な高密度ポリエチレン(HDPE)で製作されている。GHMCでは、固体ボーラス(外 注、納期は中2営業日)とタレパンボーラス(病院1階で作成、発注翌日に納品可)という 2種類のボーラスを使用している。通常は固体ボーラスを使用するが、準備期間が短い症例 や、治療中に計画を変更した場合等にタレパンボーラスを使用している。

本報告では、2022年のボーラスの使用状況についてまとめる。

2. 方法

統合型放射線治療情報管理支援システム(IRIS)上にある、2022 年1月~12 月末までに 納品されたボーラスデータを月毎に集計した。この中には、三次元測定機での検査結果が NG であったボーラスや、研究用に作成されて臨床で使用していないボーラスも含まれる。 また、固体ボーラスで納品されたものの治療期間中に歪みが確認され、タレパンボーラスで 作り直した場合等のように、同一 ID で重複するものも区別せず集計した。これらはごく限 られた数であるため、結果に与える影響は少ないと考えられる。

3. 結果·考察

Fig.1 に 2022 年のボーラス納品数の内訳と月毎の納品数を示す。2022 年に納品されたボ ーラスは計 2,339 個で、治療患者の増加に伴い、2021 年の 1,941 個に比べおよそ 20.5 %増 加した。内訳は固体ボーラスが 2,155 個 (92.1 %) でタレパンボーラスは 184 個 (7.9 %) であった。タレパンボーラスは 2021 年 (190 個) とほぼ同等であり、増加分は固体ボーラ スで対応できていた。月毎の納品数を見ると、定期点検明けの 1 月はやや少なかったが、そ の後は大型連休のある 5 月を除いて大きな変動は無く、2 月~12 月の間は平均でおよそ 200 個であった。11 月には 245 個と月当たりの納品数で過去最大となった。また、2022 年度か らは分散点検を採用しているため、年始の治療休止期間が無く、12 月でも大きな減少はな かった。

タレパンボーラスの月平均の納品数は 15.3 個(80mm ワーク材:10.7 個/月、160mm ワ ーク材:4.7 個/月)であった。年間を通して大きな変動は見られなかった。また、ワーク材 は昨今の原油価格や光熱費の高騰を受けて単価がおよそ 30%値上がりした。

Fig.2 は高さ別のボーラス納品数を示している。ただし、タレパンは使用したワーク材の 高さではなく、設計データの高さを示している。固体ボーラスは前立腺で主に使用される 40mm と 60mm の割合が高く、この2種類で全体の8割近くを占めている。一方でタレパ ンは、例年と同様にほぼランダムに使用されていた



Fig. 1. 2022 年のボーラス納品数の内訳(左図)と月毎の納品数(右図)。



Fig. 2. 高さ別のボーラス納品数。タレパンは使用したワーク材の高さではなく、設計データの 高さを示している。

4. まとめ

患者数の増加に伴いボーラス納品数の年々増加している。2022年は分散点検の採用と保 険適応が拡大されたこともあり、ボーラス納品数も増えたが、タレパンボーラスの個数は 2021年とほぼ変化は無かった。安定した重粒子線治療を提供できるよう、引き続き余裕を 持って管理運営を進めていきたい。

RayStation を用いた Trilogy の CDR-VMAT の立ち上げ Commissioning CDR-VMAT in Raystation for Varian Trilogy

川嶋 基敬

Motohiro Kawashima

Abstract: Gunma University Hospital has started the operation of constant dose rate VMAT (CDR-VMAT) in clinical site. The treatment planning system is RayStation version 10.0.1, and the LINAC is a Varian Trilogy with 6 and 10 MV. For beam data commissioning, we adjusted parameters, such as MLC transmission factor, MLC x-position, Tongue and groove, and Leaf tip width. Treatment plans were created using the adjusted beam data for various cases; head and neck, whole pelvis, and brain tumor, and we performed patient specific QA. The calculations in a QA phantom were compared with measurements to verify the accuracy of the calculations. The point dose differences were within 3% for each case. In addition, for the comparison of dose distributions, percentage gamma passing rate with Delta4 were more than 95% with 3%/2 mm and a 10% dose threshold. Therefore, we determined that a stable treatment plan could be provided.

1. はじめに

群馬大学附属病院では、2022 年度より Varian 社製 Trilogy を用いて constant dose rate の Volumetric modulated arc therapy (CDR-VMAT)の治療を開始した。本稿では、運用を開始 するまでに行ったコミッショニングとなる beam parameter の調整作業について報告する。 また、コミッショニング作業後の CDR-VMAT を用いた治療計画の精度検証を行ったため、 その結果を報告する。

2. 方法

治療計画装置は RayStation version 10.0.1 (RaySearch Laboratories AB, Stockholm, Sweden)を使用した。対象とした LINAC は Varian 社製の Trilogy であり、この LINAC で 使用できるエネルギーは 6MV と 10MV である。治療計画を検証する際には、pinpoint チャ ンバー (PTW-Freiburg, Germany)を用いて、I'mRT Phantom (IBA dosimetry, GmbH, Germany)を用いて、点線量の比較を行った。分布測定には Delta4 (Scandidos, Uppsala, Sweden)を用いて行った。

2.1. Beam data とパラメータの調整

コミッショニングに用いる beam data は既存の Varian 社製の治療計画装置 Eclipse にイ ンストールされていたデータを用いた。RayStation で調整を検討したパラメータは MLC transmission factor, MLC x-position, Tongue and groove, Leaf tip width の4つとなる。調整前後 のパラメータの値を Table 1 に示す。

Energy	MLC transmission ^{$\times 1$}		MLC Tongue and		jue and	Leaf tip width ^{*2}		
			x-position ^{*2}		groove ^{**2}			
	Initial	Revised	Initial	Revised	Initial	Revised	Initial	Revised
6 MV	0.01390	0.01390	0.055	0.042	0.050	0.030	0.50	0.42
10 MV	0.01663	0.01663	0.057	0.040	0.050	0.035	0.50	0.40

Table 1. Beam parameters

*1MLC transmission は open 照射野と MLC 下での測定の比率のため無次元。

*²MLC x-position, Tongue and groove, Leaf tip width の単位は[cm]。

2. 2. Beam data の確認

Beam data を作成後、様々な症例において治療計画の作成を CDR-VMAT のテクニック を用いて行った。実臨床で用いた過去の症例に対して治療計画の作成および各プランに対 する検証を RayStation で行った。作成した治療計画は頭頸部腫瘍、脳腫瘍、子宮の全骨盤 照射の患者に対して行われた。頭頸部腫瘍と脳腫瘍の治療計画では 6MV のエネルギーのビ ームを用いた。また、全骨盤照射の患者の治療計画は 6 と 10MV のエネルギーを用いて治 療計画を作成した。これらの治療計画は、最適化により実臨床で用いた固定多門の IMRT の 治療計画と同等な DVH を保持したものとなった。

次に、作成した治療計画のビームデータを用いて各ファントムにおいて再度線量計算を 行った。点線量は I'mRT Phantom と Tough water phantom によって計算した結果と測定 を比較した。また、線量分布は Delta4 phantom を用いて計算した結果と測定を比較した。 比較結果はガンマ解析のパス率で示した。ガンマ解析では AAPM から発行されている TG-218 で推奨されているしきい値(Dose difference: 3%, DTA: 2 mm, and a 10% dose threshold) を用いた。[1]

3. 結果と考察

各部位症例における点線量の測定結果と計算結果の比較は以下の式を用いて、結果が3% 以内で一致するか評価を行った。

Diff. = (Meas. - Cal.) / Cal. * 100

6MV の治療計画に対して、-0.57%から 2.35%の範囲で収まり、平均は 0.49%であった。 また、10MV の治療計画に対して、-0.44%から 2.34%の範囲で収まり、平均は 0.73%であ った。全ての症例で3%未満の差異となった。

また、線量分布については、Delta4 で測定した結果と治療計画装置の計算値をガンマ解 析で比較した結果は、6MV と 10MV で作成した治療計画で最も低いパス率は各々95.9%と 96.1%であり、最低でも 95%以上のパス率を担保した。また、パラメータ調整前後の Delta4 による測定のプロファイルの一例を Fig. 1 に示す。Fig. 1 では dot で示したデータが Delta4 内のダイオードによる測定であり、実線が治療計画装置の計算結果となる。また、上側がパ ラメータ変更前のプロファイルを示し、下側がパラメータ変更後のプロファイルを示す。こ れらの比較よりパラメータ変更後により計算と測定が一致したことが分かる。



Fig. 1. Dose profiles measured using delta4

4. まとめ

全ての症例で点線量における結果が3%以内で一致し、Delta4を用いた線量分布測定でも パス率が高い基準を達成した。これにより、臨床で運用していく事に問題がない事が確認で きた。

参考文献

[1] Miften M, Olch A, Mihailidis D, Moran J, Pawlicki T, Molineu A, Li H, Wijesooriya K, Shi J, Xia P, Papanikolaou N, Low DA. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurementbased verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218. Med Phys. 2018 Apr;45(4):e53-e83.

放射線治療におけるレファレンスクラス電位計の自己点検

Verification of a method for self-inspection of reference-class electrometers in radiotherapy

川嶋 基敬, Varnava Maria, 田代 睦 Motohiro Kawashima, Maria Varnava, Mutsumi Tashiro

Abstract: The purpose of this study is to measure the electrometer correction factor (k_{elec}) with a charge generator at our institution and to evaluate variations over time. The measurements are compared with calibration data given by an Accredited Dosimetry Calibration Laboratory (ADCL). We used four reference-class electrometers. Each electrometer was connected to the charge generator, and the required charge was applied. From the measured charges at specific point, the k_{elec} was obtained from the slope of the linear regression function. The measurements were repeated over a three-month period to evaluate variations over time for each electrometer. The measured k_{elec} values agreed within 0.1% with those given by the ADCL. We found a small drift in the measurements for one electrometer. Stable k_{elec} values were obtained for four electrometers using a charge generator over a three-month period. The measured k_{elec} values were within the overall uncertainty stated in the electrometer guidelines.

1. はじめに

放射線治療における重要な項目の一つである線量の管理は水吸収線量を測定する事で行 われている。標準的な線量システムは電離箱における収集電荷を電位計で計測する事で求 められている。そのため、電位計は非常に重要な装置であり、電位計に対するガイドライン も発表されている。しかし、自施設で行うこれらの点検項目は電位計の特性を確認する項目 であり、測定の絶対値を確認する項目ではない。各施設では電位計校正定数のような絶対値 を測定する事は求められていない。

本研究では RT521R 型電位計(RTQM システム)の電荷発生装置を用いてリファレンスク ラス電位計の校正定数(kelec)を求めた。また、電位計校正定数の不確かさを検討して、3 か 月間継続的に測定を続ける事で経時的な変化を確認し、電位計の管理を行う方針を検討し た。

2. 方法

本研究では RT521R (RTQM system Inc. Hiroshima)、UNIDOS-E (PTW-Freiburg、

Schwarzenbruck, Germany)、Model 35040 (Fluke Electronics Co, Everett, WA, USA)、 RAMTEC Duo (Toyo medic, Tokyo)の種類の異なる 4 つの電位計の電位計校正定数 (k_{elec}) を測定した。読み取りのレンジを変更可能な電位計に対しては、Low (L)と Medium (M)の 両方のレンジで測定が行われた。

測定する電位計と RT521R の電荷発生装置を電流源として接続した(Fig. 1)。各電位計に 一定の既知の微小電流を流しその電荷量を測定したする事で kelec を求めた。



Fig. 1. An example of the setup used for measurements. RT521R is connected to RAMTEC Duo with a coaxial cable. In this case, the Output-2 terminal of RT521R is used.

測定時の環境は、室温は 24±3℃、相対湿度は 40±20%であった。測定点は Accredited Dosimetry Calibration Laboratory (ADCL)で電位計の校正を行った時と同様なものを用い て測定を行った。

2.1. RT521R を用いた測定・検討項目

最初に、本研究で用いた RT521R 電位計を用いて自己点検した際の精度を検討した。エ ラーバジェットを作成して、本研究の測定精度を検討した。

その後、前述したセットアップで各電位計の k_{elec}を測定した。測定はおよそ一週間に1回 行われ、3か月間繰り返した。その結果は ADCL で校正したデータから求めた k_{elec}と比較 して、評価を行った。

3. 結果

最初にエラーバジェットについてまとめたものを Table 1 に示す。

	Rudgets of uncertainty	Uncertainty	Comments	
_	Budgets of uncertainty	(%, k=1)	Comments	
_	Charge measurement of electometers	0.08	Provided by the ANTM*-accredited facility	
	Repeatability (measurements)	0.01	Obtained from measured data	
	Time linearity of output charge	0.01		
	Uncertainty of zero drift	0.1		
	Temperature coefficient of zero drift (/°C)	0.015	Obtained from catalog	
	Temperature coefficient of output current (/°C)	0.003		
	Combined Uncertainty (k=1)	0.13	Root Mean Square	

Table 1. Error budgets for this study.

* Association for Nuclear Technology in Medicine

Table 1 の不確かさをエラーバーとして各電位計に対して 3 か月間測定を繰り返した結果 を Fig. 2 に示す。



Fig. 2. Time variation of the electrometer correction factor (k_{elec}). The time stamp of each measurement is shown on the horizontal axis; one measurement was performed per week. The k_{elec} is shown on the vertical axis. Here, the solid line in all figures, except (e) and (f), correspond to the k_{elec} obtained from the data provided by the Association for Nuclear Technology in Medicine. The solid line in the figures (e) and (f) corresponds to the average of all measurements. The upper and lower limits shown in dotted lines take into account the 0.2% tolerance for long-term stability

reported in the electrometer guidelines.

また、Table 2 に測定の平均やばらつき、ADCL で校正した結果から求められた k_{elec}の値を纏める。

Table 2. The electrometer correction factor (Pelec) obtained from the measurement and calibration data.

		М	easurements	Calibrati	on data
Electrometer	Range	Pelec [nC/rdg]	Standard deviation [%]	Pelec [nC/rdg]	Uncertainty (k=2) [%]
RT5211R	-	1.0000	±0.02	0.9998	0.16
Model 35040	-	0.9992	±0.01	0.9993	0.20
RAMTEC Duo	L	1.0014	± 0.06	1.0009	0.15
	М	0.9999	±0.01	1.0002	0.15
UNIDOS-E	L	0.9994	±0.02	-	-
	М	0.9996	± 0.02	-	-

4. 考察

本研究で精度よく電位計校正定数を測定する事ができた。また、3か月の間で測定を行っ た結果は、全ての電位計とレンジでガイドラインが推奨する繰り返し性の割合である JCSS 認定を受けた施設が提示した値から 0.2%以内で一致した。電荷蓄積方式を採用した電位計 では、電位計の設置場所の温度や湿度などの環境条件を適切に管理する必要があり、特に高 い緻密さが要求される RAMTEC Duo のLレンジに関しては、ばらつきが大きくなったと 考えられる。

本研究で見積もった不確かさは k=2 で 0.26%となった。この値は電位計ガイドラインで 記載されている不確かさの合算が 0.35%である事から、ガイドラインで示している精度内 で電位計校正定数が求められると考えられる。

5. まとめ・謝辞

電位計のガイドラインで提唱されている精度で RT521R に内蔵された電荷発生装置を用 いて k_{elec}の測定ができる事が検証された。測定に関しては放射線技師の岡田大希さん、樋口 弘光さん、星野佳彦さんに色々とご協力いただきありがとうございました。また、RTQM システム株式会社の小澤修一さんには電位計の貸し出しや点検など色々なご協力をして頂 きました。ここで深く感謝を申し上げます。

参考文献

[1] 川嶋 基敬, Maria Varnava, 小澤 修一, 他. 放射線治療におけるリファレンスクラス電 位計の電位計校正定数の自己点検に関する検討. 日本放射線腫瘍学会第 35 回学術大会. Nov. 2022.

IMRT 治療計画数の推移 Number of IMRT treatment plans

酒井 真理

Makoto Sakai

Abstract: In Gunma university hospital, we prepare approximately 300 plans of Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) per year and reducing the workload has become an issue. The number of IMRT treatment plans is increasing. In addition, an increase in the workload associated with equipment upgrades is also expected. Therefore, we analyzed the number of treatment plans and the measurement results of patient QA to estimate the future workload and to study measures to reduce the workload.

1. はじめに

群馬大学放射線科では年間 300 件程度の IMRT 治療計画を作成しており、治療前に電離 箱と Delta4 を用いた品質保証(Quality Assurance, QA)測定を行っている。IMRT 実施件 数は増加傾向にあり、業務量の増加が問題となっている。これまでに標的体積内同時ブース ト(Simultaneous Integrated Boost: SIB)法の導入等による業務負荷低減を行ってきたが、今 年度は 6 月より処方線量 70 Gy 未満の頭頚部 SIB 法について、確認 CT の撮影を原則廃止 することとした。これは確認 CT による線量分布検証において、リプランが必要とされる症 例がほとんど見られなかったという実績に基づくものである。これらの結果を踏まえて、今 後の業務量を見積もるために治療計画作成件数等の推移を調査し、まとめることとした。

2. 調査方法

2.1. 治療計画の作成方針と件数の把握

IMRT 進捗管理シートのデータを元に群馬大学医学部附属病院で 2016 年 4 月から 2023 年 3 月までに治療が開始された IMRT の治療計画について評価を行った。治療計画は Eclipse (Varian Medical Systems)で作成した。頭頚部腫瘍に対する SIB 法の場合には、3~ 4 週間後に CT を再撮影し、線量分布の確認が行われた。ただし、2022 年 6 月以降は処方 線量 70 Gy 未満の頭頚部 SIB 法について、確認 CT の撮影を原則廃止することとした。線 量分布は担当医が確認し、顕著な悪化が見られる場合には再計画を行った。またそれ以外に も、治療中の患者状態変化を見て担当医が再計画を指示する場合や、固定具が患者に合わな くなった場合には、再計画が行われた。

2.2. QA 方法とデータの取得

治療計画は Eclipse で作成し、QA プランも同様に Eclipse を用いて計算した。QA は Pinpoint 型電離箱 (PTW31014)) および cube phantom (EasyCube, SUN NUCLEAR corp.) を用いた測定と Delta4 Phantom+ (ScandiDos)を用いた測定の2種類を行った。電離箱の 測定点は原則 PTV 内とし、Simultaneous Integrated Boost (SIB) の場合は最も高線量の部 位に置くこととした。Delta4 での測定では、実測値に Daily Correction での補正を行った のちに 3% / 3 mm の許容でパス率(%)を算出した。

3. 結果

各年度の積み上げ治療計画件数の推移を Fig. 1 に示す。過去6年間における1月当たりの 治療計画件数は24.4 ± 6.3 件で、季節変動や月毎の多寡の傾向等は見られなかった。

部位別の治療人数の推移を Fig. 2 に示す。2022 年度は 2021 年度までと比べると頭頚部 と胸部の治療計画件数が増加し、脳腫瘍の件数は減少した。従来であれば線量分布の検証を 行っていたであろう件数は 27 件であった。



QA の測定結果を Fig. 3,4 に示す。年度ごとの明確な違いは見られないが、今年度の電離 箱測定の結果は、例年よりわずかに低い傾向が見られた。また電離箱の測定結果は 3 月か ら 8 月にかけて正の方向に変化し、8 月から 3 月にかけては負の方向に変化する傾向が確認 された(各月の6年間平均値を黒実線で図に示す)。治療装置の季節的な変動の可能性があ り、今後の患者 QA で考慮する必要が有ると思われる。Delta4 での測定には明確な傾向は 見られなかった。



4. 考察

2022 年度は合計 301 件の計画を作成した。4~7 月までは、過去最も計画件数の多かった 2020 年度と同様の件数を計画していたが、8 月以降はやや低下が見られた。これは確認 CT を不要とした影響が現れているものと見られる。また 1 月にやや治療計画件数の低下(12 件)が見られるが、これは治療計画 CT の入れ替えに伴い、新規患者の受け入れを抑制した ためである。仮に確認 CT を例年通りに実施し(+27 件)、1 月も過去 6 年間の平均と同じ 件数を実施していた(+10 件)とすると 338 件程度となっていた可能性が有る。

JASTROの「第 5 回 COVID-19 全国実態調査結果報告」では、国内全体で見ると 2020 年度の新患件数へのコロナ禍の影響は見られない一方で、施設間で差が大きい結果となっ ていた^[1]。本院においても何らかの影響が出ていた可能性は有ると思われる。同報告書は「県 境を越えた患者移動が 2020 年は減少した」との推測を示している。このことが本院の 2020 年度の患者数の増加をもたらしていたと考えられるが、今年度はそれに近い件数であった。 特に頭頚部の治療件数の増加が顕著であり、確認 CT の削減の効果は大きかったと考えら れる。

5. まとめ

本院でのこの6年間では平均9件ずつの件数増加が見られる。また、2023年度は治療装置の更新に伴って、1件当たりの業務負担が増加することが見込まれるため、今後も業務削減の工夫が必要になってくるものと思われる。

参考文献

[1] JASTRO COVID-19 対策アドホック委員会. 第 5 回 COVID-19 全国実態調査結果報告. 2022; https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/news/20210816.pdf (参照 2022-04-22).

X線治療用の CT シミュレーターの更新に関する

CT 値電子密度変換テーブルの更新

Updating CT number to Electron Density Conversion Tables for Updating CT Simulators for X-Ray Therapy

酒井 真理

Makoto Sakaii

Abstract: This fiscal year, we updated its CT simulator for X-ray therapy, and created an electron density conversion table accordingly. In addition, since a diagnostic CT was temporarily used at the time of the renewal, a conversion table for it was created in the same way. The measurement results were compared with the values obtained with the previous equipment to confirm that there were no problems in use. The measurement results were good, and it was confirmed that there were no problems in using either of the CT systems for treatment planning. However, there was a marked difference in the CT values in the high electron density region, so care should be taken to avoid confusion when creating treatment plans.

1. はじめに

X線治療計画様 CT シミュレータの更新が行われた。その際、一時的に診断用の CT 装置 も利用されたため、診断用 CT 装置および新規に導入された CT シミュレータについて、そ れぞれの CT 装置で CT 値電子密度変換テーブルを作成し、その値について検証した。

2. 方法

2.1. 使用機器

使用した CT 装置は、更新前 CT シミュレータ: GE LightSpeed、 一次的に使用した診 断用 CT: Siemens SOMATOM Definition Flash、更新後 CT シミュレータ: Siemens SOMATOM go.Sim である。これらの装置を用いて Tissue Characterization Phantom Model 467 (Gammex, USA) (Fig.1)を測定し、CT-ED 変換 テーブルを作成した。中心上部は高密度物質のロッ ドを挿入した場合と、挿入していない (空気)の場合 の2通りを撮影・測定している。

2.2. 評価方法

ファントムの CT イメージを Fig. 2 に示す。撮影 された CT 内で 3 スライスを選択し、そのスライス 内の各 rod ファントム内領域に直径 1cm の ROI を



Fig.1 測定に用いたファントム

作成した(Fig. 2. 図中のマゼンダの領域が測定 ROI)。各 ROI 内の CT 値の平均値を Eclipse (ver. 15)を用いて取得し、比較した。空気領域およびファントムの本体部分の CT 値につい ては複数箇所の測定を行い、位置依存的な CT 値の変動が無いかの確認に用いた。



Fig. 2. 測定されたファントムの CT。マゼンダの円は CT 値取得のための ROI。

3. 結果

3.1. 治療実施状況

Fig. 3 に診断用 CT の測定結果を示す。再構成画像上にはわずかにリング状のアーチファクトやビームハードニングの影響が見られるが、CT 値のばらつきは僅かであった。CT 値から推定される電子密度の誤差は HU=0 付近では±1%以内(標準偏差)、高密度領域では±2%と高精度であったが、低密度領域(HU-0.3 付近)では±4%とやや大きくなっていた。



Fig. 3. 診断用 CT 撮影データにおけるファントムの公称電子密度と測定された CT 値との 関係。A: 中心上部ロッドが空気の測定値、B: 中心上部ロッドが高密度物質での測定値、C: 同じ電子密度の測定値を全て平均した値、D-F: A-C の HU=0 付近の拡大図。青・灰・橙色 の線は各測定スライスを表す。

Fig. 4 に新規 CT シミュレータの測定結果を示す。診断用 CT よりスライス間の差が小さく、リング状アーチファクトも見られなかった。



Fig. 4. 更新後 CT シミュレータ撮影データにおけるファントムの公称電子密度と測定された CT 値との関係。A: 中心上部ロッドが空気の測定値、B: 中心上部ロッドが高密度物質での測定値、C: 同じ電子密度の測定値を全て平均した値、D-F: A-C の HU=0 付近の拡大図。 青・灰・橙色の線は各測定スライスを表す。

Fig.5 はこれまでに使用していた Sim-CT の CT-ED テーブル (2018 年測定時) との比較である。形状に大きな違いは見られなかったが、光電子密度領域での CT 値に顕著な違いが見られた。



Fig. 5. 登録された CT 値-電子密度変換テーブルの比較

4. 考察

高電子領域で CT 値の違いが見られるが、これは実効エネルギーの違いが原因と思われ る。高信号領域での電子密度換算に違いが出ることから、線量計算時に変換テーブルを混同 しない様に注意する必要が有る。また、新しいシミュレーターではアーチファクト軽減機能 が有ることから、これを治療計画 CT として使用可能か検討したいと考えている。 2022 GHMC Annual Report

その他研究

炭素イオン放射線治療における頭頸部癌の線量制約

に関する文献レビュー

Dose–volume constraints for head-and-neck cancer in carbon ion radiotherapy: A literature review

Maria Varnava

Abstract: Carbon ion radiotherapy (CIRT) has been applied in cancer treatment for over 25 years. However, guidelines for dose–volume constraints have not been established yet. The aim of this review is to summarize the dose–volume constraints in CIRT for head-and-neck cancer that were determined through previous clinical studies based on the Japanese models for relative biological effectiveness.

1. はじめに

Head-and-neck (HN) tumors are ranked as the sixth most common malignancy worldwide. Compared with squamous cell carcinomas, non-squamous cell carcinomas have limited treatment options because they are usually resistant to chemotherapy and radiotherapy.

Carbon ion radiotherapy (CIRT) has a higher biological effectiveness than X-ray radiotherapy (XRT) and has already shown promising results for the treatment of resistant tumors. It can also deliver a localized high dose to the target while minimizing the dose delivered to organs at risk (OARs) due to the characteristic Bragg peak. The beam delivery technique and the distance between the target and OARs dictates the degree of complications and whether tumor control can be achieved. Therefore, it is important to establish constraints based on dose–volume histogram parameters so that treatment plans can be optimized for each patient.

Particle therapy is biologically and qualitatively different from XRT. RBE-weighted doses have been recommended for the clinical practice of particle therapy. In CIRT, the RBE models are more complex compared with the constant scaling factor of 1.1 used in proton therapy. This implies that even though the same constraints as X-ray intensity modulated radiotherapy can be used for proton therapy, they cannot be used for CIRT. Currently, three RBE models are used in the clinical practice of CIRT: the mixed-beam model, the modified microdosimetric kinetic model (MKM), which is an update of the mixed-beam model, and the local effect model (LEM). The mixed-beam model and MKM are performed at Japanese institutions, with the MKM being more widely used. The LEM is used at European and Chinese institutions. The models are different with regards to their physical and mathematical assumptions, and consider different endpoints.

This review provides an extensive list of constraints for HN cancer CIRT based on the

Japanese RBE models.

2. 方法

A literature review was conducted to identify all constraints determined for HN cancer CIRT that are based on the Japanese RBE models.

3. 結果

Table 1 summarizes the dose-volume constraints recommended by previous studies.

4. 考察

CIRT has shown promising results in cancer treatment. Establishment of dose–volume constraints will play an important role in assisting treatment plan optimization, ensuring complications are minimized, enabling multicenter studies and comparisons between different modalities, and facilitating adaptive radiotherapy.

The constraints in Table 1 are divided into hard and soft to help in deciding which constraints to prioritize or whether more weight should be given to tumor coverage or OAR sparing during optimization if necessary. The distinction was based on various factors including the severity of the complication, and whether there are methods to prevent the occurrence of a complication or treat the symptom.

The clinical experience in CIRT is limited; only Japan and Germany have extensive experience. Therefore, CIRT institutions can benefit from using the long-term clinical data of Japanese and German institutions. The constraints reported in this review are directly applicable to Japanese facilities. LEM-based CIRT institutions that wish to benefit from the Japanese data, including prescription doses and the list of constraints, will have to apply conversion factors for biological dose conversion. However, current studies on the conversion of Japanese constraints to LEM-based constraints are limited. Converting Japanese prescription doses and OAR constraints to the LEM would facilitate comparisons between Japanese institutions and other institutions worldwide leading to the improvement of the CIRT implementation.

Table 1 Dose-volume constraints suggested for clinical use

Organ	Parameter	Constraint	Clinical endpoint	Hard/soft
	i arameter	Constraint	omital endpoint	constraint
Brain	V50	<4.6 cm ³	Grade ≥2 radiation-induced brain injury	Soft
	D5cm ³	<55.4 Gy (RBE)	Grade ≥2 radiation-induced brain injury	
		(TD5)		
		<68.4 Gy (RBE)		
		(TD50)		
Brainstem	V30	<0.7 cm ³	Grade 1 brainstem necrosis	Hard
	V40	<0.1 cm3		
Parotid	V5	<41%	Parotid gland atrophy	Soft
Optic nerve	Dmax	<57 Gy (RBE)	Visual loss	Hard
	D20%	<60 Gy (RBE) (TD50)		
Eyeball	Dmax	<54.75 Gy (RBE)	Intraocular hemorrhage/vitreous hemorrhage	Hard
	V40	<0.83 cm ³	(grade 4 radiation retinopathy)	
Retina	Dmax	<54.58 Gy (RBE)	Intraocular hemorrhage/vitreous hemorrhage	Hard
	V40	<0.66 cm ³	(grade 4 radiation retinopathy)	
Iris-ciliary body	V50	<0.127 cm ³	Neovascular glaucoma	Hard
Optic disk	D50%	<50 Gy (RBE)	Neovascular glaucoma	Hard
Nasolacrimal duct	V40	<0.08 cm ³	Grade ≥1 nasolacrimal duct obstruction	Soft
Tongue	Dmax	<54.3 Gy (RBE)	Grade ≥2 acute radiation mucositis	Soft
Palate	Dmax	<43.0 Gy (RBE)	Grade ≥2 acute radiation mucositis	Soft
Masseter muscle	Dmax	<44.0 Gy (RBE)	Grade 2 radiation-induced trismus	Soft
Coronoid process	D10–50%	<47.0 Gy (RBE)	Grade 2 radiation-induced trismus	Soft
Maxilla	V50	<3.0 cm ³	Osteoradionecrosis	Soft
Mandible	V30	<16.5 cm ³	Osteoradionecrosis	Soft
Teeth	V30	<1.8 cm ³	Osteoradionecrosis	Soft
	Number of teeth	≤2	Oronasal fistula	
	irradiated with			
	≥50 Gy (RBE)			
	V50	<58.1%	Tooth loss	
Skin	S40	Determine based on	Acute radiation dermatitis	Soft
		NTCP models reported		

5. まとめ

The dose-volume constraints will provide assistance during treatment planning to ensure that radiation to OARs is minimized, and thus adverse effects are reduced. Although the constraints are given based on the Japanese RBE models, applying the necessary conversion factors will potentially enable their application by institutions worldwide that use the local effect model for RBE.

参考文献

- [1] Varnava M, Musha A, Tashiro M, et al. Dose–volume constraints for head-and-neck cancer in carbon ion radiotherapy: A literature review. *Cancer Med.* 2023. Epub ahead of print.
- [2] Shirai K, Fukata K, Adachi A, et al. Dose-volume histogram analysis of brainstem necrosis in head and neck tumors treated using carbon-ion radiotherapy. *Radiother Oncol.* 2017;125(1):36-40.
- [3] Koto M, Hasegawa A, Takagi R, et al. Risk factors for brain injury after carbon ion radiotherapy for skull base tumors. *Radiother Oncol.* 2014;111(1):25-29.
- [4] Kishimoto R, Mizoe JE, Komatsu S, et al. MR imaging of brain injury induced by carbon ion radiotherapy for head and neck tumors. *Magn Reson Med Sci.* 2005;4(4):159-164.
- [5] Park S, Demizu Y, Suga M, et al. Predicted probabilities of brain injury after carbon ion radiotherapy for head and neck and skull base tumors in long-term survivors. *Radiother Oncol.* 2021;165:152-158.
- [6] Morikawa T, Koto M, Hasegawa A, et al. Radiation-induced parotid gland atrophy in patients with head and neck cancer after carbon-ion radiotherapy. *Anticancer Res.* 2016;36(10):5403-5407.
- [7] Hasegawa A, Mizoe JE, Mizota A, et al. Outcomes of visual acuity in carbon ion radiotherapy: analysis of dose-volume histograms and prognostic factors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2006;64(2):396-401.
- [8] Nachankar A, Musha A, Kubo N, et al. Dosimetric analysis of intraocular hemorrhage in nonsquamous head and neck cancers treated with carbon-ion radiotherapy. *Radiother Oncol.* 2022;170:143-150.
- [9] Hirasawa N, Tsuji H, Ishikawa H, et al. Risk factors for neovascular glaucoma after carbon ion radiotherapy of choroidal melanoma using dose-volume histogram analysis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2007;67(2):538-543.

- [10] Kubo N, Kubota Y, Kawamura H, et al. Dosimetric parameters predictive of nasolacrimal duct obstruction after carbon-ion radiotherapy for head and neck carcinoma. *Radiother Oncol.* 2019;141:72-77.
- [11] Musha A, Shimada H, Shirai K, et al. Prediction of acute radiation mucositis using an oral mucosal dose surface model in carbon ion radiotherapy for head and neck tumors. *PLoS One*. 2015;10(10):e0141734.
- [12] Musha A, Shimada H, Kubo N, et al. Evaluation of carbon ion radiation-induced trismus in head and neck tumors using dose-volume histograms. *Cancers*. 2020;12(11):3116.
- [13] Musha A, Shimada H, Kubo N, et al. Clinical features and dosimetric evaluation of carbon ion radiation-induced osteoradionecrosis of mandible in head and neck tumors. *Radiother Oncol.* 2021;161:205-210.
- [14] Bhattacharyya T, Koto M, Ikawa H, et al. Assessment of risk factors associated with development of oronasal fistula as a late complication after carbon-ion radiotherapy for head and neck cancer. *Radiother Oncol.* 2020;144:53-58.
- [15] Kubo N, Sakai M, Kawamura H, et al. Dosimetric parameters predicting tooth loss after carbon ion radiotherapy for head and neck tumors. *Radiation*. 2021;1(3):183-193.
- [16] Sasahara G, Koto M, Ikawa H, et al. Effects of the dose-volume relationship on and risk factors for maxillary osteoradionecrosis after carbon ion radiotherapy. *Radiat Oncol.* 2014;9(1):92:1-6.
- [17] Li Y, Sakai M, Tsunoda A, et al. Normal tissue complication probability model for acute radiation dermatitis in patients with head and neck cancer treated with carbon ion radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2022;113(3):675-684.

動きを考慮した積層原体照射におけるスイープ数や呼吸周期、

シンクロトロン周期が線量分布に与える影響の評価

Evaluation of dose distributions for the effects of respiratory cycles, the number of sweeps, and synchrotron cycles in layer-stacking irradiation under respiratory motion

長谷部 有希、田代 睦、櫻井 浩 Yuki Hasebe, Mutsumi Tashiro, Hiroshi Sakurai

Abstract: This study aimed to evaluate the dose uniformity of layer-stacking irradiation with respiratory motion of the target by calculating the dose distributions taking into account the number of sweeps, respiratory cycles and synchrotron cycles. The effects of these parameters on dose uniformity were investigated. Without respiratory gating, dose uniformity changed significantly due to these parameters. With respiratory gating, the dose uniformity was high and acceptable under all conditions.

1. はじめに

積層原体照射は、標的をビーム軸方向に分割し、層ごとに照射野を標的形状に合わせて照 射する。そのため分割しない照射方法と比較して標的周囲の正常組織への高線量照射を低 減できる。しかし、照射中に標的の呼吸性移動が発生すると、層が計画通りの位置に照射さ れず、線量均一性が悪化する懸念がある^[1]。また、動きがもたらす線量分布への影響が十分 に検証されていないため、無視できない動きがある場合、実臨床では積層原体照射は実施さ れていない。標的の呼吸周期変化等を考慮した線量均一評価^[2]は既に行われているが、シン クロトロン周期は考慮されていなかった。そこで、本研究では新たにシンクロトロン周期を 組み込んだ線量分布計算とその評価を行った。さらに、標的の呼吸周期やスイープ数、シン クロトロン周期の変化に着目し、これらが線量分布に与える影響を調べた。

2. 方法

2.1. 標的設定と臨床線量分布計算の初期条件の設定

水中に直径 90 mm の水の球標的(CTV)を想定した。標的の呼吸性移動に関する初期条件 を Table1 に示す。現行の治療計画装置(Xio-N)では照射中の動きを考慮した線量分布計算 ができないため、独自に線量計算プログラムを作成し、臨床線量(= 物理線量×生物学的効 果比)分布^[3]を計算した。レンジシフタ等の治療計画情報は現行の治療手法^[4]と同様の設定 を用いた。臨床線量分布計算に使用した照射の初期条件を Table 2 に示す。

Table 1 Original conditions for respiratory movement of the spherical target.

Diameter / depth	90 mm / 130 mm at center
Lateral motion amount during irradiation	7, 20 mm
Beam axis motion amount during irradiation	4, 5 mm
Respiratory cycle	3.5 s
Phase difference in the motion directions	π/4

Table 2 Original irradiation conditions.

Prescribed dose	10 Gy(RBE)
Dose rate	5 Gy(RBE)
Beam extraction time / synchrotron cycle	1.0 s / 3.0 s
Range shifter switching time	1.0 s
The number of sweeps	1
Respiratory gating	Yes / No
Gating level	30%
Gating delay time	0.06 s

2.2. スイープ数変化に着目した臨床線量分布計算

初期条件下において、スイープ数を1から10まで変化させた場合の臨床線量分布計算を 行った。例えば、スイープ数3の時は、「1層から最終層までの照射」を3回繰り返した。 通常行われている照射方法はスイープ数が1の時である。スイープ数によらず、最終的な 積算線量はスイープ数1の時と同じとした。また、スイープ数変化時の線量分布の傾向が 他のパラメータ変化に影響を受けるかを調べるために、標的の呼吸性移動を2.0 s と 5.0 s に変化させた場合の臨床線量分布計算も行った。

2.3. 標的の呼吸周期変化に着目した臨床線量分布計算

初期条件のうち、ラテラル方向 7 mm かつビーム軸方向 4 mm の標的移動の条件に対し て、標的の呼吸周期を 1s から 10s まで変化させた場合の臨床線量分布計算を行った。呼吸 同期について、実際の治療では呼吸振幅の呼気側 30%位置から 0.06 s の遅延後に同期が開 始・終了する。この遅延が考慮された変動量を照射内変動量として定義した。そのため、標 的の呼吸周期の変化は照射内変動量をわずかに変化させる。しかし、この変化は小さくほと んど無視できるため、本研究では、初期条件の呼吸周期 3.5 s に対する照射内変動量に統一 した。また、同じ呼吸周期の条件下でのスイープ数に対する傾向を確認するために、2 スイ ープの場合の臨床線量分布計算も行った。

2.4. シンクロトロン周期に着目した臨床線量分布計算

初期条件のうち、ラテラル方向 7 mm かつビーム軸方向 4 mm の標的移動の条件に対し て、シンクロトロン周期を 3 s から 10 s まで変化させた場合の臨床線量分布計算を行った。 ビームの強度は一定(ビームの取り出し時間が 1 s)とした。重粒子の加速に少なくとも 2 秒 を要するため、シンクロトロン周期は最も短くて 3 s となる。また、2 スイープの場合の臨 床線量分布計算も行った。

2.5.線量均一性の評価方法

線量均一性評価の指標として、CI (Conformity Index) = (V95-V105)/CTV を用いた。これは処方線量の±5%が照射される標的体積の割合を示す。通常の治療では CI \geq 95%が許容 されることから、動きを伴う積層原体照射ではさらに 5%の変動を考慮して、CI \geq 90%を合格とした。

3. 結果

3.1. スイープ数変化時の線量均一性

CI の結果を Fig. 1(a)、(b)および(c)に示す。初期条件の呼吸周期 3.5 s では、呼吸同期無 しでは 2-3 スイープにおいて CI が悪化し、その後向上した。呼吸同期有りでは全ての条の CI が合格となった。呼吸周期を変化させた結果、同期無しでは全条件の CI が 90%近く、 もしくはそれ以上となり、初期条件を再現しなかった。呼吸同期有りでは初期条件と同様に CI は全て合格となった。

呼吸同期無しの条件において、呼吸周期が2sと5sの場合のCIは、3.5sの場合のCIの 傾向を再現せず、特に3.5s以下の呼吸周期ではCIが大きく向上し、合格した。呼吸同期 有りの条件においては、一部合格しない条件があったが、全体としてはスイープ数や呼吸周 期により大幅なCIの変化は見られなかった。



Fig. 1. CI values by changing the number of sweeps from 1 to 10. The conditions without "gated" denote ungated conditions. For example, "7_4" represents the motion amount during irradiation of 7 mm in the lateral direction and 4 mm in the beam axis direction without gating.

3.2. 標的の呼吸周期変化時の線量均一性

CIの結果を Fig. 2(a)および(b)に示す。呼吸同期無しでは初期条件の呼吸周期で CI が最 も悪化し、他の呼吸周期では合格する条件がほとんどを占めた。呼吸同期有りでは、すべて の条件の CI が合格しており、呼吸周期による変化が見られなかった。また、スイープ数が 1と2の時、同じ呼吸周期では CI は同様の傾向を示した。



Fig. 2. CI values by changing the respiratory cycle from 1 s to 10 s. The respiratory cycle of "0 s" means that the target is at a static state. The motion amount of the target during irradiation is 7 mm in the lateral direction and 4 mm in the beam axis direction.

3.3. シンクロトロン周期変化時の線量均一性

CI の結果を Fig. 3(a)および(b)に示す。呼吸同期無しではシンクロトロン周期が 4.5 s 以下の場合に CI に大きく変動した。また、同じシンクロトロン周期では CI はスイープ数の変化によらず同じ傾向を示した。呼吸同期有りでは全ての条件の CI が合格し、シンクロトロン周期の違いによらず CI は安定した。



Fig. 3. Cl values by changing the Synchrotron cycle from 3 s to 10 s. The motion amount of the target during irradiation is 7 mm in the lateral direction and 4 mm in the beam axis direction.

4. 考察

本研究では、標的の呼吸性移動を考慮した積層原体照射の臨床線量分布計算において、新 たにシンクロトロン周期を考慮した計算を可能にしている。また、その際のスイープ数や標 的の呼吸周期、シンクロトロン周期を変更した場合の影響を初めて調べている。

スイープ数変化の検証については、スイープ数を増加させて 1 層あたりのウエイトを小 さくすることにより、動きの影響を小さくできるのではないかとの考えから本検証を行っ ている。しかしながら、スイープ数の増加はむしろ CI を悪化させるか、または CI の顕著 な向上をもたらさない。これは、1 つの層をさらに分割したことにより、動きに対して影響 を分散可能な場合がある一方、照射や標的の動きのタイミングによっては各層が重なり合 い、1 スイープの時よりも過大線量、もしくは過小線量が発生していることが考えられる。

Fig. 1 の結果からより CI に大きな影響をもたらすのは、照射タイミングや標的の呼吸周 期のような時間要素ではないかと考え、これらにフォーカスした検証も行っている。Fig. 2(a)と Fig. 3(a)より、呼吸同期無しでは初期条件において最も CI が低く、それ以外の条件 では合格になる場合もあるが、全体としては不安定な値をとる。一方、呼吸同期有りの場合、 スイープ数、呼吸周期、シンクロトロン周期によらず CI は安定した値をとり、全て合格し ている。これは、照射内での標的の時間当たりの滞在分布の違いが原因あると考えられる。

先行研究^[2]では、呼吸同期無しでは標的の呼吸周期が大きくなるほど線量均一性が良くなっており、呼吸同期有りでは線量均一性は高く、呼吸周期の影響を受けない。本研究と比較

すると、呼吸同期有りの時は先行研究と同様の傾向となったが、呼吸同期無しでは本研究結 果の CI は不安定であり先行研究の結果と全く異なっている。この要因として考えられるの は、臨床線量分布計算において新たにシンクロトロン周期を考慮したことである。照射のタ イミングが限定されたことにより、標的の呼吸周期との相性が悪い場合には線量均一性が 悪化したと考えられる。今後は、線量均一性の悪化を引き起こすシンクロトロン周期と標的 の呼吸周期の条件の調査などが求められる。

5. まとめ

標的の呼吸性移動を伴う積層原体照射について、新たにシンクロトロン周期を考慮した 臨床線量分布計算と標的内の線量均一性評価を行った。呼吸同期無しではスイープ数や標 的の呼吸周期、シンクロトロン周期の変化により線量均一性が大きく変動した。同期有では 全ての条件で高い線量均一性を示し合格となった。

本報告は AOCMP2022(22nd Asia-Oceania Congress on Medical Physics, 2022)の学術集 会にて発表した内容をまとめたものである。

参考文献

- [1] S. Tajiri, et al. Margin estimation and disturbances of irradiation field in layer-stacking carbonion beams for respiratory moving targets. *J. Radiat. Res.* 2017;58(6):840-848.
- [2] S. Mori, et al. Four-dimensional layer-stacking carbon ion beam dose distribution by use of a lung numeric phantom. *Radiol Phys Technol.* 2015;8;232-242
- [3] T. Kanai, et al. Irradiation of mixed beam and design of spread-out Bragg peak for heavy-ion radiotherapy, *Radiation Research*. 1997;147:78-85.
- [4] M Tashiro, et al. Technical approach to individualized respiratory-gated carbon-ion therapy for mobile organs. *Radiol Phys Technol.* 2013;6:356-366.

炭素線照射方法による照射野効果の比較

Comparison of Field Size Effect by Irradiation Method with Carbon beam

松村 彰彦

Akihiko Matsumura

Abstract: There are two major types of irradiation methods in carbon ion radiotherapy: broad beam and scanning. The purpose of this study is to perform the measurement of field size effect using the two different irradiation methods and to clarify the difference between them. Experiments were carried out using carbon beams at Gunma University Heavy Ion Medical Center. In order to confirm the field size and shape with both irradiation methods, the beam profiles were measured by the scintillator screen. The depth dose profiles and field size effect were measured by Advanced Markus chamber. The influence of the field size effect was larger for the scanning method. We plan to evaluate the volume averaging effect and the variation of radiation quality in the future.

1. はじめに

炭素線治療は、生物学的効果比や線量集中性に優れた治療法である。照射方法は大きく分けて、拡大ビーム法とスキャニング法の2種類がある。前者は散乱体やリッジフィルター などの各種ビームライン機器を使用し、後者は電磁石を使用してビーム位置を制御し、3次 元線量分布を形成する。そのため、患者表面での炭素ビームの散乱角や核破砕片の量も異な り、線量と線質に差が生じると考えられる。本研究の目的は、この2つの異なる照射方法を 用いて照射野効果効果の測定を行い、両者の違いを明らかにすることである。

2. 方法

実験は、群馬大学重粒子線医学センターで炭素線を用いて行った。治療室 C では、臨床 でも使用されている拡大ビーム法を用いた。治療室 D では、研究で利用されているスキャ ニング法を用い、照射野の一片が 2cm から 15cm の範囲の複数の点で照射野効果を測定し た。エネルギーは 290MeV/n を使用し、6cm に広げた拡大ブラッグピークの中心の深さで 測定を行った。最初に、両照射法による照射野サイズと形状を確認するため、シンチレータ スクリーン^[1,2]を用いてビームプロファイルの測定を行った(Fig. 1)。 深さ方向の線量プロ ファイルと照射野効果効果は、Advanced Markus chamber (TN34045, PTW, Freiburg, Germany)を用いて測定した。



Fig. 1. Experimental setup. (a) Schematic, and (b) scintillator box.



3. 結果·考察

Fig.2は、一辺が2cmのビームプロファイルイメージを、拡大ビーム法(左)とスキャニ ング法(右)についてシンチレータスクリーンで測定した結果を示す。拡大ビーム法では、 幅3.75 mmの多葉コリメータによって水平方向のプロファイルが決定されるため、非対称 なビームプロファイルが観察された。同じ条件で照射野効果を測定するために、スキャニン グ法によるビームプロファイルが拡大ビーム法によるビームプロファイルと同等になるよ うにスポット位置を調整した(Fig.3)。



Fig. 2. SOBP 中心での照射野形状。(左) 拡大ビーム法、(右) スキャニング法



Fig. 3. 拡大ビーム法の線量プロファイルと調整前後のスキャニング法の線量プロファイル

拡大ビーム法とスキャニング法の両方で測定した照射野効果を Fig. 4 に示す。照射方法 による照射野効果の差は、照射野サイズが小さいほど大きく、照射野サイズが大きい場合は ほとんど差がないことがわかる。照射方式による照射野効果の影響はスキャニング法でよ り大きく、これは拡大ビーム法ではコリメータで散乱する二次放射線の量が多くなるため と考えられる。コリメータでの散乱がビームのエネルギーやコリメータからの距離によっ て変化するため、今後様々な条件下でのデータ収集を行う予定である。また、本研究で使用 したスキャニング法はレンジシフタースキャニング法を用いており、ペンシルビームのプ ロファイルが広くなるため、照射野効果が大きくなる可能性が考えられる。ただし、スポッ トあたりの照射量を調整し、より平坦な分布を形成することによって影響を低減できる可 能性があり、今後の検討課題であると考えている。



Fig. 4. 拡大ビーム法とスキャニング法の照射野効果

4. まとめ

照射方法の違いによる照射野効果の差を測定し、比較を行った。照射野効果の影響は、ス キャニング法でより大きかった。なお、本研究で使用したスキャニング法のペンシルビーム 幅は、一般に臨床で使用されているエネルギースキャン法やハイブリッドスキャン法より 広いと考えられる。今後、有感体積の小さいピンポイント電離箱や半導体検出器等を用いて 体積平均化効果や線質の影響評価を行う予定である。

参考文献

- [1] Yogo K, Tatsuno Y, et al.: Scintillator screen for measuring dose distribution in scanned carbonion therapy, *Radiat. Meas.* 129, 106207, 2019.
- [2] Yogo K, Tatsuno Y, et al.: Scintillator screen for measuring low-dose halo in scanning carbon-ion therapy, *Radiat. Meas.* 133, 106299, 2020.

2022 年度医学物理士試験対策用 WEB サイトの利用者に関する調査

FY2022 Analysis of the Users of the Test-Preparation Web-Site for Medical Physicist

酒井 真理

Makoto Sakai

Abstract: To provide a ubiquitous system to study the coverage, I launched a website "Testpreparation for Accreditation Exam of Medical Physics using Past Exams" in 2017. To assess the need and the improvement of the website, the information on user and utilization situation was studied using registration information, a questionnaire, and access data analytics. This year, with the support of the Gunma University Science and Technology Promotion Foundation, the paid service of learningBox (https://learningbox.online/) could be used. Although the percentage of survey respondents taking the exam was somewhat low, the pass rate was high. The examination rate was also higher for those who used the learningBox.

1. はじめに

本邦において医学物理士となるためには医学物理士認定機構の試験に合格する必要があ る。認定試験は内容が物理学・生物学・医学と広範に及び、臨床的な知識も要求されるが、 その教科書とできるものが少なく、試験全体をカバーできる講習会も東京での開催に限ら れている。簡便でユビキタスな学習の機会を提供するため、2017 年 7 月 1 日より認定試験 過去問を使用した学習用 WEB ページ「過去問で学ぶ医学物理士試験対策」(http://sakaim.showa.gunma-u.ac.jp/)を作成・公開している。本 WEB ページでの過去問および解答解 説案の公開については医学物理士認定機構との間で利用許諾契約書を交わして本年度の公 開を承諾いただき、サイトの利用については登録制としている。

今後の WEB ページ運用を継続する必要性やその際の課題についての基礎資料とするた め、アクセス解析を行い利用者情報や利用状況を集計している。また毎年 2 月下旬にアン ケートを実施し、利用者の状況を把握している。今年度もこれらの結果及び登録時の情報を まとめ解析した。

2. 調査方法

評価に用いた患者情報を本サイトの利用登録時に伺っている所属機関や職種、および google analytics を用いたアクセス解析の結果を集計した。さらに、昨年度の試験日から今 年度の試験日までに利用者登録されていた 175 名に対して、2/15 にメールにてアンケート 依頼文を送付した。WEB 上での回答を基本として依頼し、PDF での回答も受け付けた。ID 記名式で下記項目のアンケートを行った。締め切りは 2 週間後の 2/28 とした。

・ID (必須)・アカウントの継続希望 (必須)・職種・取得済み関連資格

- ・勉強環境・受験の有無・合否・サイトを知ったきっかけ・主なアクセス方法
- ・利用頻度・満足度・改善点/要望等

アンケートは 88 名から回答をいただいた。登録 ID と利用継続の希望のみを必須とした が、回答いただいた全ての方が他の項目についても回答を下さった。ただし、一部に未記入 の項目もあり、項目ごとに回答数は若干の違いがある。

3. 結果

3.1. 利用登録情報の集計結果

3.1.1. 利用登録人数

2017/7/6 に利用客契約が締結され、2017/7/7 に WEB ページを公開した。その後今年度 まで継続して過去問利用許諾をいただき、WEB ページの公開を続けている。2022 年度医学 物理士認定試験の試験日(10/8)までの登録者数は 1239 名となった。その後も緩やかに登 録者数は増加し、3/31 時点では 1287 名となっている。今年度の登録者数は 3/31 時点で 180 名であった。



3.1.2. 職種

登録時の情報をもとに、利用者の職種を医療職・学生・教員/研究職・民間企業の4項目 に分類した。利用者からの申請時には職種を自由に記載いただいているため、当方で適宜分 類した(例えば医療職には診療放射線技師や医師、医学物理士が含まれている)。昨年度ま でと構成比率はおおよそ変わらないものの、学生の割合は昨年に引き続いて増加傾向が見



られ 28%に上昇した(新規登録者の 43.2%が学生であった)。

Fig. 2. User's Occupation.

3.2. アクセス解析結果

3.2.1. アクセス数

2017/8/15 よりアクセス解析を開始した。年度別の日別アクセス数の推移を Fig. 3 に示 す。試験日の位置が合うように、2017~2021 年度分はグラフをシフトさせている。本年 度のアクセス数はがコロナ禍以前と同程度となった。またアクセス時間も平日の昼間と夜 間に集中する傾向が見られ、これも 2020 年度以前と同様の傾向となった。ただし、やや 平日午後のアクセス数が増加しており、学生の増加が影響している可能性が有る。



Fig. 4. Hourly session number by day of the week.

3.2.2. 利用端末と地域

本WEBサイトを利用するために用いられているデバイスを解析した。今年度の全アク セスにおける、PC・スマホ・タブレットの割合を示す(Fig 5 左)。デスクトップPCの 割合がやや増加した。また、東京からのアクセス割合が急激に増加した。原因は不明であ るが、アクセス解析の処理方法が変更された可能性も有る。(Fig 5 右) 。



Fig. 5. Device (left) and access region (right).

3.3.アンケート解析結果

3.3.1.試験の合否及び利用継続の希望

27 名の方が認定試験を受験しており、合格者は 15 名であった(合格率 56%)。本 WEB サイト利用者の合格率は全体の合格率よりかなり高い結果となった。回答者の内 82/87 名 が継続を希望すると回答した。ただし、継続を希望しないとした 5 名全員が認定試験に合 格していた。

3.3.2.取得済み資格

取得済みの資格について、複数回答可で伺ったところ、63 名の方が診療放射線技師資格 を有していた(Table 1)。また半数以上の方が主任者 1 種資格を取得され、また 6 割以上の 方が(診療放射線技師以外の)何らかの資格を有していた。

Qualification	No
Radiological technologist	76
Professional Radiotherapy technologist	21
senior radiation protection supervisor	47
junior radiation protection supervisor	2
Radiotherapy quality manger	1
Medical physicist	4
Other	5

Table 1.	Acquired	qualification.
----------	----------	----------------

3.3.3.満足度

満足度については総合的な満足度、操作性・使いやすさ(操作性)・読みやすさ(可読性)・ 解説の質・解説の量の5項目について満足(5点)から不満(1点)までの5段階で評価を いただいた。総合的には高い満足度(4.4)と昨年度同様に評価いただいた。ただし、IDの みとはいえ、記名式のアンケートである点や、比較的満足度の高い方ほどアンケート回答率 が高くなると考えられることから、解釈には注意が必要である。解説の質や量に対する評価 はやや向上した。



4. 考察

利用登録者数は現在も一定のペースで増加している。曜日/時間別のアクセス数をみると 平日午後のアクセスがやや増加している(Fig.4)。学生の利用割合が増加していることと関 係が有ると考えている。アクセス地域は東京で多くなっていたが、新規利用登録者は東京に 集中はしておらず、学生の増加からも説明できない。何らかの解析手法の変化が原因の可能 性もあるため、この点は評価が難しい。

満足度についてのアンケート結果からはおおむね良好な返答をいただけており、解説が 不十分とのコメントはこれまでに比べて大幅に減少していた。ただし、ID のみとはいえ記 名式のアンケートである点や、比較的満足度の高い方ほどアンケート回答率が高くなると 考えられることから、解釈には注意が必要である。

今年度は公益財団法人群馬大学科学技術振興会の支援をいただき、WEB サービス 「learningBOX」の有料プランを利用した。このサービスでは利用者の成績をクラウド上に 保存できるため、複数の端末で学習状況を共有できる。また利用時間や成績の記録も残せる ため、利用者の利便性が向上する。learningBOX の利用可能者は予算の都合から 100 名に 限定した。learningBOX の利用者では、受験率が向上しており、利用者に占める合格者の割 合が増加(20%→29%)していた。また学習履歴や成績管理機能により学習意欲が向上した との回答も得ている。次年度以降も何らかの予算を獲得して、継続できる様にしたいと考え ている。

5. まとめ

昨年度に引き続き、同様のアンケートを行い、変化を確認した。今年度は受験者数が減少 しており、アクセス数も同様の減少が見られた。今後もWEBサイトの運営継続を求める声 が多いことから、2023年度についても認定機構に契約をお願いしたいと考えている。また 人材育成・教育・医学物理等の関連する助成について、今後も継続できるようにしていきた いと考えている。

子宮癌に対する重粒子線治療の治療計画実施状況と作成方針の検討

A review of treatment planning and planning policy of carbon ion radiotherapy for Uterine Cancer

酒井 真理、円谷 遼 Makoto Sakaii, Ryo Tsumuraya

Abstract: GHMC performs carbon ion radiotherapy for uterine cancer. The uterus is surrounded by the intestinal tract and bladder, which can easily change the dose distribution. In addition, the intestinal tract has a low tolerance to radiation, so strict dose constraints are required. In the latter half of the treatment planning, priority is given to dose control to the organs at risk (OAR). In addition, a confirmatory CT scan is taken before the start of treatment to confirm the dose distribution. However, there are many cases in which OAR doses are high due to interfractional changes on the confirmatory CT. In such cases, the treatment plan needs to be re-created, and a response is required in a short period of time. In this study, we assessed the status of treatment planning in 2022 and discussed the appropriate treatment planning policy. *その結果、*13 件中9件で最計画が必要となっていた。再計画が必要となっ た理由は主に sigmoid D2ce: (6 件) と rectum D2ce: 6 件に対する線量超過であった。治療計 画作成開始時にこれらの OAR に対して 1cm のマージンを取り、これを PTV から除外する ことで、再計画リスクを低減できる可能性が示唆された。

1. はじめに

群馬大学重粒子線医学研究センターでは子宮頸がんに対する重粒子線治療を行っている。 基本的なプロトコルでは前半として3 GyE・12 回、後半として4.8 GyE・4 回を照射する。 その際、前半はターゲットのカバーを優先し、後半では organ at risk (OAR)線量を抑制す ることが優先される。後半プランの作成時は、前半の36 GyE が OAR に照射されているも のと仮定し、また、子宮頸部付近ではその後の腔内照射の影響も考慮する必要があることか ら、厳しい線量制約が求められる。

子宮は消化管や膀胱などの形状や体積が変化しやすい臓器に取り囲まれており、、腔内ガ スの移動によっては重粒子線の飛程にも影響を与える。また、これらの臓器の中には放射線 耐性の低いものも含まれる。その結果、線量分布が大きく変化し、確認 CT 上での OAR へ の線量が許容線量を超えてしまうことも多い。その場合には治療計画を再作成することと なり、ボーラスの作成や新患測定などを含めて、治療開始までの短期間に対応する必要が生 じる。特に後半プランでは、治療中に計画作成と検証を行なっていることや、確認 CT 撮影 からその治療計画を用いての照射までに 2 日しかないことから、再計画となった場合の負 担は大きい。また Interfractional な変化はランダムに生じるため、偶然に確認 CT において も線量分布が制約を逸脱してないという事が起こりうる。つまり、再計画率が高いという事 は、有害事象の発生につながる高線量照射が起こりやすいという事にもつながる。そこで、 2022 年度の治療実施状況を把握し、適切な治療計画作成方法について検討した。

2. 調查方法

2.1. 患者と治療計画方針

2022 年 4 月~2022 年 11 月までに子宮癌の治療に用いた 13 件のデータを検証した。子 宮後半プランの処方線量は 19.2 GyE (4.8 Gy・4 回)である。これに対して、OAR の線量 制約は HR (high-risk)-CTV (子宮頸部周辺のターゲット) +1.5cm の範囲内で Intestine: D2cc < 10 GyE、Sigmoid / Rectum: D2cc < 4 GyE、とされている。

まず Leaf margin 5mm、スメアリング 3mm、distal margin 0mm と設定して治療計画を 作成する。また、この設定で線量制約を満たせない場合は PTV 形状・MLC 形状・ボーラ ス形状を修正し、OAR の線量制約を満たせる様にしている。

2.2. 評価方法

治療計画時に OAR 線量を抑制するために取られた処置(PTV・MLC・ボーラス形状の 加工)を確認し、PTV から消化管までの最短距離を測定した。次に再計画の有無を確認し、 再計画を行なった場合にはその理由と再計画時に OAR 線量を抑制するために取られた処 置等を確認した。

2.3. 最計画削減手法の検討

上記の結果をもとに、OAR+1cm の領域を Planning organ at Risk Volume (PRV)として PTV から除外する新しい治療計画方針を策定した。この方針について、従来方針で再計画 が必要なかった1件と再計画が必要となった2件について、ロバスト性の検証を行なった。

3. 結果

3.1. 治療実施状況

治療計画作成時に OAR 線量を抑制するために取られた処置を Table 1 に示す。治療計画 時に取られた処置は各計画でバラバラであった。13 件中9 件で最計画が必要となっていた。 また、最計画が不要とされた 1 件においても、sigmoid D2cc が僅かに治療計画時の許容線量 (4 Gy)を超えていた。再計画が必要となった理由(線量超過)は、intestine D2cc: 2 件、 sigmoid D2cc: 6 件、rectum D2cc: 6 件(重複有)であった。再計画時にボーラスの再作成を 行ったものは 3 件あり、リーフ調整やディスタルマージンの調整を行ったものはそれぞれ 6 件ずつ有った(重複有り)。

計画	再計画	ターゲット	ボーラス	ターゲットから消化管の
番号	の有無	の加工	の編集	最低距離 (mm)
0		有		6
1	- 無 - 無	有		6
2			有	0
3				1
4		有	有	6
5	_	有		5
6	_	有		6
7	_	有		10
8	有	有		5
9	_	有		5
10	-	有		5
11	-		有	0
12	-			0

 Table 1. OAR dose suppression procedures at the time of treatment planning.

3.2.1 cm の PRV 領域を用いた場合のロバスト性

OAR に対して1 cm の PRV 領域を確保して治療計画を作成し、3 件の治療計画に対して そのロバスト性を評価した。その結果、従来の治療計画で再計画とならなかった1 例は、同 様に再計画の必要が無かった。一方従来の治療計画で再計画が必要となった2 件は、1 cm の PRV 領域を確保する手法でも OAR 線量が線量制約を超える結果となった。ただし、片 方の計画では制約をわずかに超えるのみであったため、実際には再計画とならなかったと 考えられた。

4. 考察

今回の検証では13件中9件(69%)で再計画となっており、再計画率が高いことが確認 された。これらの治療計画を作成する際、OARの線量を抑制するために取られた処置は各 計画でバラバラであったため、必要なマージンを統計的に推定することは困難であった。特 にボーラス形状を編集した場合には、具体的にどのような編集が行われたのかが分からず、 評価を困難にした。

再計画が必要だった計画を確認すると、sigmoid や rectum に対する線量が問題とされて いた。これらの OAR では D2cc <4 GyE が求められる。処方箋量に対して役 20%以下の線 量に抑える必要があり、広いマージンが必要と考えられる。再計画となった治療計画を確認 すると、いずれも 5~6 mm 程度の PRV 領域では不十分だったと考えられた。またそれぞ れの線量分布を見ると、ディスタルサイドでは線量が処方線量の 95%から 20%まで低下す るのに必要な距離はいずれも 10 mm 程度であった。これらのことから OAR に対して 10 mm の PRV 領域を確保して治療計画を作成し、そのロバスト性を評価した。今回の検証で は 10 mm の PRV 領域で再計画率を下げられる可能性が示唆されたが、実際の効果につい ては今後の検証が必要である。

5. まとめ

子宮癌に対する重粒子線治療について、後半分の治療計画についての検証を行った。その 結果、再計画率が高いことが確認された。再計画率を抑制するため、OAR に対して 10 mm の PRV 領域を確保し、これを PTV から除外する新しい計画方針を策定した。 2022 GHMC Annual Report

学位論文要旨

動物 CT の炭素線阻止能の評価

専攻分野名 重粒子線医学物理学 氏名 浦部 直人

【序論】重粒子線はブラッグピークを持ち多重散乱が小さいため線量集中性が高い。こ れを動物照射に適用し、打ち込み深さを精度よく制御するためには、動物体内の炭素線 の阻止能を精密に把握する必要がある。本研究では、動物に対してより高精度な重粒子 線照射を可能とするために、動物 CT の CT 値に対する炭素線阻止能比変換の妥当性を 調べることを目的とする。また、臨床適用されている校正方法による CT 値-阻止能比 変換の精度を調べた。さらに、より作成が簡便な代替物質に置換する校正方法の適用可 能性を調べた。

【方法】最初に、動物 CT で用いる校正用のファントムを作成した。これは、動物の撮 影部位に相当するサイズを持つ。校正方法として実臨床と同じものを動物 CT に適用し た。その後、このファントムを用いて動物 CT 撮影を行い、CT 値に対する炭素線阻止 能比を表す変換校正曲線を作成した。検証のために数種の生体物質等の炭素線阻止能比 を水等価厚から実験的に求めた。そして、実験的に得られたものと、計算値を比較する ことで、CT 値から炭素線阻止能比変換の精度検証を行い、校正法の評価を行った。ま た、校正用物質の代替として、市販のタフボーンを検討し、CT 値から炭素線阻止能比 への変換校正曲線を比較した。

【結果と考察】動物 CT に対して CT 値-炭素線阻止能比変換の校正方法の検証を行い、 その精度が 95%程度であることがわかった。そして、校正用代用物質であるリン酸水 素二カリウム 40%水溶液をタフボーンに代替した場合、3%以内の精度で従来法と一致 した。それぞれ校正曲線が変わってくる理由として、本校正法では、撮影対象を変えた ときに、物質の種類や大きさが変わることによる、X 線エネルギー分布の変化が考慮さ れていないことが一因と考えられる。

【結論】動物 CT に実臨床と同じ校正方法を適用することで、動物 CT の CT 値に対す る炭素線阻止能比変換の精度を求めることができた。また、校正用物質を代替した場合 の、従来法との比較を行うことができた。CT 値の低い範囲では、従来とほとんど同じ 校正曲線が得られたが、CT 値の高い範囲においては、誤差が大きくなることがわかっ たため、CT 値の高い生体物質を用いるなどしてさらなる検討が必要である。

【今後の課題】校正法のさらなる詳細な評価のために、条件や物質を増やして測定し、 CT 値から炭素線阻止能比への変換校正曲線を比較し、評価する。 Development of A Deep Learning-Based Auto-contouring System for Prostate cancer patients Medical Physics and Biology for Ion Therapy PANPAN SHAN

Background:

Prostate cancer is one of the most common cancers in today's world. In radiation therapy, it is an important step to contour the target and organ at risk in CT images. However, manual contouring of the prostate and adjacent organs on CT images is time-consuming with considerable inter-observer variability caused by the low soft-tissue contrast of the images. Our aim is to develop of a deep learning based auto-contouring system and rapidly obtain the contour of the prostate, bladder, rectum, and patient's body in CT images.

Materials and Methods:

Our system is based on a customized UNET++ architecture which is a model in segmentation task using deep learning. We gathered CT images of 28 prostate cancer patients. These images contain the manual contour of organs (prostate, bladder, rectum, and the patient's body). They are preprocessed to get data for training, testing, and validation. Six hundred fifty-four (17 patients) of these images are used to train the model, 178 (5 patients) to test the model, and 212 (6 patients) to validate the model.

Results & discussions:

We got the ideal model by training for 100 epochs with deep learning. The model was able to obtain segmentations of the patient's body, bladder, rectum, and prostate from CT images. These contours had pixel-weighted averages of for the dice similarity coefficient 0.99, 0.97, 0.85, and 0.83, compared to manual segmentation by qualified radiation oncologists, respectively. The method we proposed can automatically, and rapidly obtain the contour of the prostate, and adjacent organs in CT images. However, the accuracy of our method still needs to be improved by increasing the image data.

Conclusions:

Our method could not only identify the contour of the prostate and adjacent organs but also achieve satisfactory accuracy. This system can help radiation oncologists to provide fast, accurate, and automatic segmentation of the prostate and its adjacent organs in CT images. Provide strong support for the formulation and implementation of subsequent radiotherapy plans.

Keywords: computer tomography; prostate; deep learning; image segmentation; UNET++

Accuracy improvement of carbon ion range estimation in human body using dual-energy computed tomography

(Afifah Hana Tsurayya)

ABSTRACT

X-ray computed tomography (CT) allows us to anticipate carbon-ion beam dose distributions and ranges in the human body by translating CT numbers into SPR. However, single-energy CT has been shown to have errors of over 3% in estimating SPRs. This study aims to evaluate a more accurate way of SPR conversion using dual-energy CT by comparing it with the SPR obtained by experiments using carbon-ion beams.

In principle, this study refers to the DEEDZ-SPR method introduced by Saito and Sagara (2017) to be applied to DECT machines at Gunma University Hospital. Some parameters to convert CT numbers into SPR values need to determine with scannerspecific characterization. Gammex phantom was employed for calibration phantom, then Kyoto Kagaku phantom and biological materials are for validation.

As a result, dual-energy CT (DECT) method, both single-source CT (SSCT) and dual-source CT (DSCT), showed better results in the SPR estimation compared to SECT. As expected, it can reduce uncertainty to below 3%. However, there are some materials producing uncertainty of more than 3%, especially bone materials in the Kyoto Kagaku phantom. In the case of biological materials, only the chicken material showed an uncertainty of about 4.5%.

Keywords:

Carbon ion therapy, dual-energy CT, stopping power.

2022 GHMC Annual Report

業績

論文

- Osu N, Musha A, Yumisaki H, Okada K, Kubo N, Okano N, Takayasu Y, Shino M, Nikkuni O, Ida S, Kawamura H, Chikamatsu K, Ohno T. The Efficacy of Radiotherapy without Surgery for External Auditory Canal Squamous Cell Carcinoma. J Clin Med. 2022 Oct 6;11(19):5905. doi: 10.3390/jcm11195905. PMID: 36233771; PMCID: PMC9571158.
- Nachankar A, Musha A, Kubo N, Kawamura H, Okano N, Sato H, Okada K, Adachi A, Ohno T. Dosimetric analysis of intraocular hemorrhage in nonsquamous head and neck cancers treated with carbon-ion radiotherapy. Radiother Oncol. 2022 May;170:143-150. doi: 10.1016/j.radonc.2022.02.032. Epub 2022 Mar 4. PMID: 35257851.
- Musha A, Kubo N, Kawamura H, Okano N, Sato H, Okada K, Osu N, Yumisaki H, Adachi A, Takayasu Y, Shino M, Nikkuni O, Ida S, Shirai K, Saitoh JI, Yokoo S, Chikamatsu K, Ohno T. Carbon-ion Radiotherapy for Inoperable Head and Neck Bone and Soft-tissue Sarcoma: Prospective Observational Study. Anticancer Res. 2022 Mar;42(3):1439-1446. doi: 10.21873/anticanres.15614. PMID: 35220237.
- 4. Musha A, Hirai C, Kitada Y, Tsunoda A, Shimada H, Kubo N, Kawamura H, Okano N, Sato H, Okada K, Adachi A, Yokoo S, Chikamatsu K, Ohno T. Relationship between oral mucositis and the oral bacterial count in patients with head and neck cancer undergoing carbon ion radiotherapy: A prospective study. Radiother Oncol. 2022 Feb;167:65-71. doi: 10.1016/j.radonc.2021.12.010. Epub 2021 Dec 10. PMID: 34902372.
- 5. Musha A, Kubo N, Okano N, Kaminuma T, Kawamura H, Sato H, Takayasu Y, Shino M, Nikkuni O, Ida S, Shirai K, Saitoh JI, Ogawa M, Yokoo S, Chikamatsu K, Ohno T, Working Group on Head and Neck Tumors. Prospective observational study of carbon-ion radiotherapy for non-squamous cell carcinoma of the head and neck in Gunma University. J Oral Maxillofac Surg Med Pathol. 2022 May;34(3):280-286. doi: 10.1016/j.ajoms.2021.10.012
- Varnava M, Musha A, Tashiro M, Kubo N, Okano N, Kawamura H, Ohno T. Dose-volume constraints for head-and-neck cancer in carbon ion radiotherapy: A literature review. Cancer Med. 2023. https://doi.org/10.1002/cam4.5641. Epub ahead of print.
- Tashiro M, Yoshida Y, Oike T, Nakao M, Yusa K, Hirota Y, Ohno T. First Human Cell Experiments With FLASH Carbon Ions. Anticancer research 42(5) 2469-2477. DOI: 10.21873/anticanres.15725
- Tashiro M, Kawashima M. Linear energy transfer-independent calibration of radiochromic film for carbon-ion beams. Physics and Imaging in Radiation Oncology 23 140-143. DOI: 10.1016/j.phro.2022.08.001
- Ohtaka T, Shiba S, Shibuya K, Okazaki S, Miyasaka Y, Tomizawa K, Okamoto M, Ohno T. Long-term survivor of hepatocellular carcinoma treated with repeated carbon ion radiotherapy and transarterial chemoembolization: a case report Clin J Gastroenterol. 2022

Aug;15(4):771-775. doi: 10.1007/s12328-022-01642-4. Epub 2022 Jun 9.

- Darwis NDM, Horigome E, Li S, Adachi A, Oike T, Shibata A, Hirota Y, Ohno T. Radiosensitization by the Selective Pan-FGFR Inhibitor LY2874455 Cells. 2022 May 24;11(11):1727. doi: 10.3390/cells11111727.
- Adachi A, Oike T, Tamura M, Ota N, Ohno T. Radiotherapy With Hydrogen Peroxide-Soaked Gauze for Preauricular Sebaceous Carcinoma Cureus. 2022 Jul 29;14(7):e27464. doi: 10.7759/cureus.27464. eCollection 2022 Jul.
- Okano N, Yumisaki H, Saito S, Kubo N, Okada K, Kawamura H, Yasuda M, Ohno T. Definitive Radiotherapy Using Electron Beam and Intensity-modulated Radiotherapy for Unresectable Angiosarcoma of the Scalp Anticancer Res. 2022 Dec;42(12):5991-5997. doi: 10.21873/anticanres.16110.
- Kubo N, Okano N, Kawamura H, Uchiyama A, Ohno T. Radiotherapy for Epstein-Barr Virus-Positive Mucocutaneous Ulcer at the Lower Leg Skin: A Case Report Cureus. 2022 Oct 31;14(10):e30936. doi: 10.7759/cureus.30936. eCollection 2022 Oct.
- Murakami N, Ohno T, Toita T, Ando K, Ii N, Okamoto H, Kojima T, Tsujino K, Masui K, Yoshida K, Ikushima H. Japanese Society for Radiation Oncology Consensus Guidelines of combined intracavitary and interstitial brachytherapy for gynecological cancers J Radiat Res. 2022 May 18;63(3):402-411. doi: 10.1093/jrr/rrac011.
- 15. Takahashi D, Demizu Y, Koto M, Kubo N, Suefuji H, Ikawa H, Ohno T, Shioyama Y, Okimoto T, Tsuji H; Japan Carbon-Ion Radiation Oncology Study Group. Multicenter study of reirradiation using carbon-ions for head and neck malignancies after photon radiotherapy Cancer Med. 2022 Oct;11(19):3593-3601. doi: 10.1002/cam4.4741. Epub 2022 Apr 7.
- 16. Murakami N, Ando K, Murata M, Murata K, Ohno T, Aoshika T, Kato S, Okonogi N, Saito AI, Kim JY, Yoshioka Y, Sekii S, Tsujino K, Lowanichkiattikul C, Pattaranutaporn P, Kaneyasu Y, Nakagawa T, Watanabe M, Uno T, Umezawa R, Jingu K, Kanemoto A, Wakatsuki M, Shirai K, Igaki H, Itami J. An Asian multi-national multi-institutional retrospective study comparing intracavitary versus the hybrid of intracavitary and interstitial brachytherapy for locally advanced uterine cervical carcinoma J Radiat Res. 2022 May 18;63(3):412-427. doi: 10.1093/jrr/rrac014.
- 17. Murakami N, Watanabe M, Uno T, Sekii S, Tsujino K, Kasamatsu T, Machitori Y, Aoshika T, Kato S, Hirowatari H, Kaneyasu Y, Nakagawa T, Ikushima H, Ando K, Murata M, Yoshida K, Yoshioka H, Murata K, Ohno T, Okonogi N, Saito A, Ichikawa M, Okuda T, Tsuchida K, Sakurai H, Yoshimura R, Yoshioka Y, Yorozu A, Okamoto H, Inaba K, Kato T, Igaki H, Itami J.

Large volume was associated with increased risk of acute non-hematologic adverse events in the hybrid of intracavitary and interstitial brachytherapy for locally advanced uterine cervical cancer: preliminary results of prospective phase I/II clinical trial Jpn J Clin Oncol. 2022 Aug 5;52(8):859-868. doi: 10.1093/jjco/hyac072.

- Sakai M, Sohda M, Uchida S, Yamaguchi A, Watanabe T, Saito H, Ubukata Y, Nakazawa N, Kuriyama K, Sano A, Ogawa H, Yokobori T, Noda SE, Ohno T, Shirabe K, Saeki H. Concurrent Chemoradiotherapy With Docetaxel, Cisplatin, and 5-Fluorouracil (DCF-RT) for Patients With Potentially Resectable Esophageal Cancer Anticancer Res. 2022 Oct;42(10):4929-4935. doi: 10.21873/anticanres.15999.
- Kanbe M, Sunaga N, Hara K, Sawada H, Wakamatsu I, Hara K, Muto S, Sawada Y, Masubuchi H, Sato M, Miura Y, Tsurumaki H, Yatomi M, Sakurai R, Koga Y, Ohtaki Y, Nagashima T, Okano N, Kubo N, Maeno T, Hisada T. Durable response to afatinib rechallenge in a long-term survivor of non-small cell lung cancer harboring EGFR L858R and L747V mutations Thorac Cancer. 2022 Nov;13(22):3225-3228. doi: 10.1111/1759-7714.14678. Epub 2022 Oct 4.
- Murakami N, Watanabe M, Uno T, Sekii S, Tsujino K, Kasamatsu T, Machitori Y, Aoshika T, Kato S, Hirowatari H, Kaneyasu Y, Nakagawa T, Ikushima H, Ando K, Murata M, Yoshida K, Yoshioka H, Murata K, Ohno T, Okonogi N, Saito AI, Ichikawa M, Okuda T, Tsuchida K, Sakurai H, Yoshimura R, Yoshioka Y, Yorozu A, Kunitake N, Okamoto H, Inaba K, Kato T, Igaki H, Itami J. Phase I/II prospective clinical trial for the hybrid of intracavitary and interstitial brachytherapy for locally advanced uterine cervical cancer J Gynecol Oncol. 2023 May;34(3):e24. doi: 10.3802/jgo.2023.34.e24. Epub 2022 Dec 21.
- Sunaga N, Miura Y, Sakurai R, Ohshima S, Uno S, Muto S, Sato M, Tsurumaki H, Yatomi M, Koga Y, Ohtaki Y, Nagashima T, Okano N, Kubo N, Maeno T, Hisada T. Sustained antitumor response to lenvatinib with weekend-off and alternate-day administration in chemotherapyrefractory thymic carcinoma: a case report Anticancer Drugs. 2023 Apr 1;34(4):605-608. doi: 10.1097/CAD.000000000001474. Epub 2022 Dec 5.
- Zhang S, Adachi T, Zhang S, Yoshida Y, Takahashi A. A new type of simulated partial gravity apparatus for rats based on a pully-spring system Front Cell Dev Biol. 2022 Aug 31;10:965656. doi: 10.3389/fcell.2022.965656. eCollection 2022.
- Parajuli RK, Sakai M, Parajuli R, Tashiro M. Development and Applications of Compton Camera-A Review Sensors (Basel). 2022 Sep 28;22(19):7374. doi: 10.3390/s22197374.
- Ju Z, Thomas TN, Chiu YJ, Yamanouchi S, Yoshida Y, Abe JI, Takahashi A, Wang J, Fujiwara K, Hada M. Adaptation and Changes in Actin Dynamics and Cell Motility as Early Responses of Cultured Mammalian Cells to Altered Gravitational Vector Int J Mol Sci. 2022 May 30;23(11):6127. doi: 10.3390/ijms23116127.
- Puspitasari A, Squarcio F, Quartieri M, Totis C, Hitrec T, Takahashi A, Yoshida Y, Hanamura K, Yako T, Cerri M, Simoniello P, Durante M, Tinganelli W. Synthetic torpor protects rats from exposure to accelerated heavy ions Sci Rep. 2022 Sep 30;12(1):16405. doi: 10.1038/s41598-022-20382-6.

- 26. Hirayama J, Hattori A, Takahashi A, Furusawa Y, Tabuchi Y, Shibata M, Nagamatsu A, Yano S, Maruyama Y, Matsubara H, Sekiguchi T, Suzuki N. Physiological consequences of space flight, including abnormal bone metabolism, space radiation injury, and circadian clock dysregulation: Implications of melatonin use and regulation as a countermeasure J Pineal Res. 2023 Jan;74(1):e12834. doi: 10.1111/jpi.12834. Epub 2022 Oct 17.
- Li Y, Sakai M, Tsunoda A, Kubo N, Kitada Y, Kubota Y, Matsumura A, Zhou Y, Ohno T. Normal Tissue Complication Probability Model for Acute Radiation Dermatitis in Patients With Head and Neck Cancer Treated With Carbon Ion Radiation Therapy Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2022 Jul 1;113(3):675-684. doi: 10.1016/j.ijrobp.2022.03.002. Epub 2022 Mar 9.

学会発表

- 堀込瑛介,武者 篤,久保亘輝,岡野奈緒子,河村英将,大野達也.舌根部腺様嚢胞 癌の照射野内再発に対する炭素イオン線再照射の経験.第 35 回日本放射線腫瘍学会 学術大会 2022 年 11 月 10-12 日,広島.(示説)
- 塩井美希,関口慶仁,大西真弘,久保亘輝,武者 篤,岡野奈緒子,河村英将,大野 達也. 中咽頭癌における p16 の照射後予後因子としての検討. 第 35 回日本放射線腫 瘍学会学術大会 2022 年 11 月 10-12 日,広島. (示説)
- 岡野奈緒子,関口慶仁,塩井美希,大西真弘,久保亘輝,武者 篤,河村英将,大野 達也. 上咽頭癌に対する強度変調放射線治療を用いた交替療法の5年治療成績.第35 回日本放射線腫瘍学会学術大会 2022年11月10-12日,広島.(示説)
- 4. 武者 篤, 久保亘輝, 岡野奈緒子, 河村英将, 大野達也. 頭頸部重粒子線治療時の口腔 細菌数と口腔粘膜炎発症に関する前向き観察研究. Relationship between the oral bacterial count and oral mucositis in head and neck cancer patients undergoing carbon ion radiotherapy: A prospective study 第 60 回日本癌治療学会 October 20-22, 2022 神戸コンベンションセ ンター, 神戸. (示説)
- 5. 武者 篤,久保亘輝,岡野奈緒子,河村英将,大野達也.頭頚部重粒子線治療における口腔粘膜炎の発現と口腔細菌数の関連.第 59 回日本放射線腫瘍学会生物部会学術大会・第 50 回放射線による制癌シンポジウム 2022 年 6 月 24-25 日,札幌市民交流 プラザ or web 開催.(口演)
- 6. 武者 篤,横尾 聡. 頭頸部重粒子線治療における下顎骨骨髄炎発症線量の解析. 第 76回 日本口腔科学会学術集会(Hybrid 開催)2022年4月21~23日,福岡国際会議場, 福岡市(示説)
- 田代 睦,吉田 由香里,尾池貴洋,中尾 政夫,遊佐 顕,廣田 由香,大野 達也.
 FLASH 炭素イオン照射システムの構築と細胞照射試験.第124回日本医学物理学会学 術大会 2022 年 9 月 16 日,長崎市.
- 8. Tashiro M, Yoshida Y, Oike T, Nakao M, Yusa K, Hirota Y, Ohno T. FLASH carbon-ion

irradiation system establishment and human cell experiments. Flash Radiotherapy & Particle Therapy Conference (FRPT 2022) 2022 年 11 月 30 日, Online

- 9. Tashiro M. FLASH Carbon-Ion Irradiation System Development for Human Cell Experiments. The 2nd Annual Conference of the Asia-Oceania Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOF-AO 2022)) 2022 年 12 月 3 日, Jeju, Kore, 口頭発表(招待)
- 10. 川島康弘,田代睦,渋谷直樹,佐藤鈴絵,久保田義明,佐藤良祐,野口崇志,穴倉麻衣, 井上美鈴,徳世由美子,嘉納恵美,大森香穂,清原浩樹,渡邉寿徳.VMAT 治療計画に おける効率的なコリメータ角度の検討.日本放射線腫瘍学会第 35 回学術大会 (JASTRO2022),2022年11月10日,広島市
- Hasebe Y, Mutsumi T, Hiroshi S, Evaluation of dose distributions for the layer-stacking conformal irradiation under internal anatomical structural changes, 第123回日本医学物理学 会学術大会, 神奈川, 2022年4月17日、現地発表
- 12. 長谷部有希,田代睦,櫻井浩,呼吸性移動を伴う重粒子線積層原体照射の線量分布評価,第124回日本医学物理学会学術会議,長崎,2022年9月16日、現地ポスター発表
- Hasebe Y, Mutsumi T, Hiroshi S, Evaluation of Dose Distributions for Layer-Stacking Conformal Carbon-Ion Radiotherapy under Respiratory Movement, AOCMP2022, Taiwan, Dec 12th, 2022, Web
- 14. 福田 光宏,依田 哲彦,神田 浩樹,安田 裕介,中尾 政夫,畑中 吉治,齋藤 高嶺, 田村 仁志,森信 俊平,永山 啓一,吉田 英智,阿野 真治,友野 大,鎌野 寛之,青 井 考,嶋 達志,井手口 栄治,大田 晋輔,小林 信之,古野 達也,今城 想平,村田 求基,山本 康崇,鈴木 智和,今 教禎,森田 泰之,武田 佳次朗,原 隆文,荘 浚謙, Zhao Hang,橘高 正樹,松井 昇大朗 RCNP AVF サイクロトロンにおけるビームコミ ッショニング 第 19 回日本加速器学会年会
- 15. 山崎 敦博,松田 洋平,伊藤 正俊,足立 智,服部 幸平,米倉 章平,篠塚 勉,福田 光宏,神田 浩樹,依田 哲彦,武田 佳次朗,原 隆文,倉島 俊,宮脇 信正,涌井 崇 志,中尾 政夫 高強度小型サイクロトロンの実現に向けた LEBT の研究 第 19 回日 本加速器学会年会
- 16. 原 隆文,福田 光宏,神田 浩樹,依田 哲彦,武田 佳次朗,荘 浚謙,篠塚 勉,伊藤 正俊,倉島 俊,宮脇 信正,涌井 崇,中尾 政夫,松田 洋平 自動サイクロトロン共 鳴加速法を用いた陽子加速器のテストベンチ開発状況 第19回日本加速器学会年会
- 17. 服部 幸平,伊藤 正俊,足立 智,米倉 章平,篠塚 勉,今間 可奈子,林 拓夢,細谷 弦生,山崎 峻平,松田 洋平,山崎 敦博,福田 光宏,神田 浩樹,依田 哲彦,中尾 政夫,倉島 俊,宮脇 信正,涌井 崇志 東北大 CYRIC における大強度負イオン加速に 向けたサイクロトロン加速器入射系のビーム軌道計算 第 19 回日本加速器学会年会
- 18. 武田 佳次朗,福田 光宏,神田 浩樹,依田 哲彦,篠塚 勉,伊藤 正俊,倉島 俊,宮 脇 信正,涌井 崇志,中尾 政夫,松田 洋平,森田 泰之,原 隆文,荘 浚謙 サイク ロトロンの高エネルギー効率化に向けた高温超伝導加速空洞の物理設計 第19回日本

加速器学会年会

- 19. 神田 浩樹, 福田 光宏, 依田 哲彦, 安田 裕介, 原 隆文, 武田 佳次朗, 篠塚 勉, 伊藤 正俊, 宮脇 信正, 倉島 俊, 中尾 政夫, 松田 洋平, 涌井 崇志 自動サイクロトロン共鳴加速用回転 TE111 モード RF 共振空洞の設計 第19回日本加速器学会年会
- 20. 中尾 政夫, 遊佐 顕, 島田 博文, 松村 彰彦, 川嶋 基敬, 酒井 真理, Varnava Maria, 野田 耕司, 田代 睦 群馬大学重粒子線医学センターの現状 第 19 回日本加速器学会 年会

受賞

- 1. 武者 篤 令和3年度日本歯科放射線学会:学術奨励賞 2022年6月
- 2. 武者 篤 第76回日本口腔科学会学術集会:学会賞優秀ポスター賞 2022年6月
- 3. 宮坂 勇平 第 60 回日本癌治療学会学術集会 Young Oncologist Award 切除不能骨軟部 腫瘍に対する重粒子線治療:前向き臨床試験 (GUNMA0904)の長期成績 2022 年 10 月
- 4. 柴 慎太郎 第 60 回日本癌治療学会学術集会 Young Oncologist Award 直腸癌術後骨盤 内再発に対する重粒子線治療の前向き臨床試験における長期観察の検討 2022年10月
- 5. 安藤 謙 第 60 回日本癌治療学会学術集会 Young Oncologist Award 局所進行子宮頸部 腺癌に対する重粒子線治療の多施設前向き登録研究 2022 年 10 月

獲得資金

- 助成金の種類:民間助成金 研究種目:公益社団法人日本放射線腫瘍学会 2021・2022 年度研究課題 研究期間:2021-2022
 研究課題:頭頚部癌患者における放射線治療室内の空気汚染について 研究代表者:武者 篤 助成金総額:600千円(2021 年度分 300千円,2022 年度分 300千円)
 助成金の種類:科学研究費
- 研究種目:基盤研究(C)
 研究期間:2021年-2023年
 研究課題:頭頚部放射線治療時の口腔粘膜炎発症予測情報の共有による新規介入方法の検討
 研究代表者:武者 篤
 助成金総額:4,030千円(直接経費3,100千円,間接経費930千円)
- Varnava Maria Development of a real-time markerless tracking system for pancreatic cancer in carbon ion radiation therapy using deep learning 科学研究費 若手研究 2022 年 4 月 -2025 年 3 月
- 4. 田代 睦(研究代表者) 定位炭素線治療(カーボンナイフ)照射技術の開発 科学研

究費 基盤研究(C) 2022年4月 - 2025年3月

- 5. 田代 睦(研究代表者) 複数体積分割照合法を用いた位置決め患者の治療照射影響評 価に関する研究 科学研究費 基盤研究(C) 2018年4月 - 2024年3月
- 6. 鈴木 宏輔、伊藤 直史、Varnava Maria、田代 睦、酒井 真理、櫻井 浩 高エネルギーX 線用符号化開口を用いたコンプトン散乱 X 線イメージングの高度化 科学研究費 基 盤研究(B)(一般) 2022 年 4 月 -2025 年 3 月
- 5. 鈴木 宏輔、櫻井 浩、伊藤 直史、田代 睦、酒井 真理、Varnava Maria 高空間分解能を 有するオペランドコンプトン散乱 X 線顕微分光分析法の開発 科学研究費 国際共同 研究加速基金(国際共同研究強化(B)) 2021 年 10 月 - 2025 年 3 月
- 8. 長谷部 有希 JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム研究費 2022 年 4 月 2023 年 3 月
- 9. 稲垣 俊輔 JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム研究費 2022 年 4 月 2023 年 3 月
- Jing-Ni CHEN JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム研究費 2022 年 4 月 2023 年 3 月
- 11. 浦部 直人 2022 年度研究活動活性化プログラム研究費 2022 年 10 月 2023 年 3 月

2022 GHMC Annual Report

2022 年度 群馬大学重粒子線医学研究センター 年報

2022 GHMC Annual Report

2024年2月14日発刊(Publication on February 14, 2024)

編集 中尾 政夫 (Masao Nakao) 田代 睦 (Mutsumi Tashiro) 発刊 群馬大学重粒子線医学研究センター Gunma University Heavy Ion Medical Center 住所 〒 371-8511 群馬県前橋市昭和町 3-39-22

© 2024 Gunma University Heavy Ion Medical Center