

厚生労働科学研究費補助金（がん対策推進総合研究事業）  
（総括・分担）研究報告書

放射線療法の提供体制構築に資する研究（23EA1012）  
（分担課題名：日本診療放射線技師会の立場から適切な放射線治療提供体制を検討）

研究分担者 太田誠一  
研究協力者 安井啓祐、尾方俊至、森祐太郎、西尾禎治、遠山尚紀、岡本裕之、黒岡将彦、  
霜村康平、小島徹、大西洋

### 研究要旨

本研究は、日本国内の粒子線治療施設におけるRTMP（放射線治療関連の医学物理士および診療放射線技師等）の業務内容、業務負荷（所要時間と人員数の積として定義）、およびFTE（Full-Time Equivalent）あたりの患者数の実態を明らかにすることを目的とした。2022年に全国調査を実施し、25施設中21施設（回答率84%）から回答を得た。光子線治療のIMRTとの業務負荷比較に加え、FTEあたり患者数に基づく欧州の粒子線治療施設との国際比較も行った。

その結果、IGRT・治療実施、日常QA/QC、個別線量検証において、粒子線施設はIMRT施設より有意に業務負荷が高かった（ $p < 0.05$ ）。治療計画について、有意差は認められなかったが、特にスキャニング法において業務負荷が高い傾向がみられた。加えて、ボラス作成など粒子線特有の業務も確認され、小児症例への対応の実態も明らかになった。粒子線治療を提供する施設でのFTEあたり患者数は、粒子線のみの施設で29.4人、光子線併用施設で50.0人と、光子線治療の大規模（105.0人）・超大規模施設（84.0人）より有意に低かった。これは、光子線治療施設の患者数には、IMRT以外に通常照射が含まれていることに起因すると考えられる。一方、欧州の粒子線施設（21.4人）と比較すると高く、日本では限られた人員で効率的に運用されていると考えられた。

21施設の回答に基づくアンケートでは、治療計画において95%（20施設）、線量検証・QAにおいて86%（18施設）が人員増加の必要性を示した。RTMPの業務は専門的かつ多岐にわたり、人的体制の強化が求められる。

### A. 研究目的

本研究は、粒子線治療（陽子線および重粒子線）を提供する医療施設におけるRTMP（放射線治療に関わる医学物理士および診療放射線技師等）の業務内容および業務負荷（所要時間と従事者数の積として定義）、ならびにFTE（Full-Time Equivalent）あたりの患者数に関する実態を把握することを目的とした。加えて、光子線治療のうち特にIMRTとの比較、および国際的な人員基準との比較を通じて、本邦における現状の特徴を明らかにするものである。

### B. 研究方法

2022年に日本国内の放射線治療施設を対象として、RTMPに関する業務内容、業務負荷（所要時間と人員数の積として定義）、年間患者数、FTE数等について調査を実施した。サブ解析として、粒子線治療施設における業務負荷について、光子線治療の中でも特にIMRTとの比較を行った。対象となったのは、調査時点で国内25施設のうち、回答を得た21施設（回答率84%）である。

また、年間患者数750名以上の国内大規模光子線治療施設（IMRTおよび通常照射を提供）との間で、年間患者数/FTEの比較を行った。さらに、欧州における粒子線治療施設との国際比較も併せて実施した。

（倫理面への配慮）

本研究の手続きは、国立がん研究センター中央病院（東京都）の倫理審査委員会により承認されている（承認番号：2021-476）。氏名、メールアドレス、各業務の遂行能力等の要配慮個人情報取得するにあ

たり、「人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針」に基づき、研究対象者から適切な同意を得た。

### C. 研究結果

IMRTと粒子線治療で共通する業務項目のうち、患者位置照合（IGRT）および治療実施、毎日の装置QA/QC（始業点検）、ならびに治療前の個別線量検証（検出器アレイを使用）において、粒子線治療施設ではいずれも有意に業務負荷が高かった（ $p < 0.05$ ）。各業務における平均業務負荷は以下のとおりである。

- IGRTおよび治療実施
  - ・ IMRT：34.8分
  - ・ 粒子線治療：48.3分
- 毎日の装置QA/QC
  - ・ IMRT：43.6分
  - ・ 粒子線治療：77.9分
- 個別線量検証（検出器アレイ使用）
  - ・ IMRT：37.6分
  - ・ 粒子線治療：44.1分

また、粒子線治療施設における週次および月次で実施される装置QA/QCの平均業務負荷は以下のとおりであった。

- 週次：162.1分
- 月次：376.9分

治療計画に要する時間については、有意差は認められなかったが、IMRTに比べて粒子線治療の方が長く、とくにスキャニング法において顕著であった。

- IMRT：165.6分
- 粒子線治療（パッシブ法）：195.4分（IMRTの約1.2倍）

- 粒子線治療（スキヤニング法）：291.3分（IMRTの約1.8倍）

その他、粒子線治療に特有の業務および小児例への対応として、以下の業務が挙げられた。

- パッシブ法でのボース・コリメータ準備：62.5分
- 小児症例におけるプリパレーション（固定具作成の説明、装置見学など）：90分
- 治療時に鎮静が必要な場合の追加対応時間：84.5分

今回の対象となった21施設中、12施設（57%）は光子線治療も提供しており、9施設（43%）は粒子線治療のみを提供していた。これらの施設におけるRTMPのFTE当たり患者数（患者数/FTE）は以下のとおりであった。

- 光子線併用施設：50.0人（範囲：6.7～84.5）
- 粒子線治療のみの施設：29.4人（範囲：17.0～62.5）

一方、国内の光子線治療施設の患者数/FTE（IMRTと通常照射両方を含む）は次のとおりであった。

- 大規模施設（年間患者数750～1000名）：105.0人（範囲：75.3～137.9）
- 超大規模施設（年間患者数1000名以上）：84.0人（範囲：58.3～121.6）

統計解析の結果、光子線治療と粒子線治療の両方を提供する施設は大規模光子線施設と比較して有意に患者数/FTEが低く（ $P < 0.001$ ）、粒子線治療のみの施設も同様に大規模施設と比較して有意に低かった（ $P < 0.0001$ ）。さらに、粒子線治療のみの施設は超大規模光子線施設と比較しても有意に低い値を示した（ $P < 0.05$ ）。

また、国際比較として、欧州の15施設における粒子線治療施設の患者数/FTEは以下のとおりであった。

- 欧州施設：21.4人（範囲：2.4～47.4）

これに対し、日本の光子線併用施設における患者数/FTE（平均50.0人）は欧州と比較して有意に高かった（ $P < 0.01$ ）。

最後に、RTMPの増員に関するアンケート（21施設回答）では、以下の領域で人員増加の必要性が多く報告された。

- 治療計画：20施設（95%）
- 線量検証・装置QA/QC：18施設（86%）

#### D. 考察

本調査により、粒子線治療に従事するRTMPの業務負荷は、IMRTを提供する光子線治療施設と比較して同等あるいはそれ以上であることが明らかとなった。特に治療計画および装置の品質保証（QA/QC）といった工程において、作業時間が長く、より高度な専門性が求められていた。

粒子線治療では、ブラッグピークを有するビーム特性を有効に活用するため、照射角度の選択に加え、体内構造物の阻止能を考慮した治療計画が必要となる。これに伴い、CT画像上の金属アーチファクト除去等の物理学的精度に基づいた前処理作業も発生する。さらに、治療計画完成した後、治療時の標的の位置不確実性に対応するため、計画CTから標的がずれた複数のシナリオに基づく線量の再計算とその評価を必要とする。その結果、計画立案から承認までの作業工程は複雑化し、業務負荷が大きくなると考えられる。

また、粒子線治療においては、小児症例におけるプリパレーション（治療室見学、固定具の説明、家族への対応等）や、鎮静を伴う症例に対する事前準備や治療中の対応も含まれ、非技術的な業務にも対応の時

間が割かれている。これらの対応は、患者の不安軽減や治療中の協力体制確保に有効であり、治療の円滑な実施に貢献する重要な工程である。

FTE当たりの患者数に着目すると、粒子線治療施設は、国内の大規模および超大規模光子線治療施設と比較して明らかに低い値を示した。一見すると、RTMP一人あたりの業務負担が軽いように見える。しかし、光子線施設では、治療前の個別線量検証を行わない通常照射症例が含まれており、光子線治療施設において、FTEあたりの患者数が相対的に多い要因の一つと考えられる。また、粒子線治療では、治療計画や線量検証においてIMRTと同等、あるいは症例によってはそれ以上の業務負荷が生じており、さらに装置QA/QCや小児症例対応などの非技術的業務も加わることで、業務全体は複雑かつ多岐にわたる。このため、単純な患者数/FTEではRTMPの実質的な業務負担を適切に評価することは難しく、業務の質的側面を含めた指標の導入が求められる。

国際比較では、日本の粒子線治療施設、特に光子線との併用施設における患者数/FTEは、欧州の粒子線治療施設より有意に高く、限られた人員で効率的に運用されていることが示唆された。

本調査ではRTMPの増員に関するアンケートも実施し、治療計画、装置QA/QC、患者個別線量検証の各領域において、多くの施設が人員増加の必要性を認識していた。

これらの結果は、粒子線治療におけるRTMPの業務が専門的かつ継続的であり、人的体制の強化が今後の重要課題であることを示している。

#### E. 結論

粒子線治療施設におけるRTMPの業務負荷はIMRTと比較して同等以上であり、特に治療計画やQA/QCといった工程において業務負荷が高い。患者/FTE比からは一見すると光子線施設よりも負担が軽減されているように見えるが、粒子線治療における業務の質的な複雑性を含めて考慮する必要がある。

#### G. 研究発表

以下の通り、学術論文として発表済みである。

Clinical workload profile of medical physics professionals at particle therapy Centers: a National Survey in Japan, *Journal of Radiation Research*, Volume 66, Issue 1, January 2025, Pages 52-64

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

（予定を含む。）

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし