

「医療における放射線利用の最適化に向けての課題」

米倉義晴（大阪大学 放射線科学基盤機構）

緒言

医療における放射線の利用が急速に拡大する中で、放射線による障害のリスクを考慮した最適化が重要な課題となっている。放射線の医学利用においては、放射線の利用により得られる便益が放射線による障害やリスクを上回ることを前提に、線量限度は設けられていない。しかし、放射線防護の視点からは、診療における放射線利用の正当化（放射線診療による便益が障害のリスクを上回ること）と、防護の最適化（放射線利用によって得られる便益を損なわない範囲で無用な被ばくを避けること）が重要であるとされている。しかし、実際の医療現場では、撮影プロトコールに従った画一的な放射線診療が行われていることが多く、また逆に放射線に対する過度の恐れから放射線検査を受けることを拒否するといった事態もしばしばみられる。そのために、放射線診療に携わる医師などからは、放射線防護の基本となっているいわゆる「閾値なし直線（LNT）モデル」に対する批判も出されている¹⁾。そこで、医療における放射線利用の最適化のために何が求められているのかを考え直すきっかけとして、問題点を洗い出すことを試みた。

医療における放射線防護

放射線防護の基本的な単位として用いられている実効線量（Effective Dose）は、放射線の生体影響が直線的に増加するとするLNTモデルに基づいており、これに放射線の線質による影響を考慮した放射線荷重係数と、身体の臓器や部位による影響を考慮した組織荷重係数を乗ずることによって、あらゆる放射線に対して共通のリスク指標となる実効線量が計算される。LNTモデルを採用することによって、外部被ばくや内部被ばくなどさまざまな状況における影響を単一の指標で評価できるメリットがあり、職業被ばくや公衆被ばくの管理に利用されている。

放射線医療では、患者の受ける放射線量がきわめ不均一であり、そのリスクをどのように評価するかが重要な課題となる。一般に放射線防護の目的で利用される実効線量は、医療における放射線のリスク評価に利用するには問題が多い。実効線量の計算は、標準的な体格のモデルを仮定しており、これを個人のリスク

評価には使ってはならないことは、ICRP 自身が表明している²⁾。各個人の受ける線量を求めることはできるが、繰り返して検査を受けた時のリスクをどのように評価すればよいかの明確な指標はない。放射線医療を受ける患者にとって、そのリスクについてきちんと説明を受けるのは当然の権利である。逆に、医療従事者から見ても、そのリスクをきちんと説明できていないのが現状である。LNTモデルに替わるリスク評価のためのモデルを構築することが求められている。

新しい治療法のもたらす課題

近年、放射線治療の目覚ましい進歩によって、安全かつ効果的ながん治療が達成されている。しかしながら、新しい治療法の拡大は、治療による新たなリスクへの懸念を生じている。

<高精度放射線治療>

多方向からコンピュータで制御したエクソ線照射を行うことによって、標的となる腫瘍に線量を集中することが可能になり、治療成績の向上につながっている。これによって、治療後も長期間の生存が期待されるようになったが、放射線による二次がんのリスクに対する懸念が広がっている。高精度放射線治療では、周囲の健常組織に比較的低い線量の放射線が広く照射されることになり、その影響を評価することが求められている³⁾。

<粒子線治療・BNCT>

陽子線や炭素イオン線を照射する粒子線治療は、そのエネルギーに対応した深さに線量を集中できるので、標的となる腫瘍への線量分布はさらによくなる。特に炭素イオン線のような高 LET 放射線は、生物学的効果比 (RBE) が高く、低酸素組織など放射線抵抗性のがん細胞に対する治療効果も期待できる⁴⁾。

中性子捕獲療法 (BNCT) では、前もって投与したホウ素薬剤が腫瘍に集積した時点で中性子を照射することによって、局所でアルファ線や ${}^7\text{Li}$ 粒子が発生する。いずれも飛程が極めて短いことから、周囲の正常細胞を障害することなく、腫瘍を選択的に治療できる利点がある。

これらの新しい治療法では、腫瘍に限局して高 LET の放射線を照射できる利点があり、高い抗腫瘍効果が期待できる。一方、炭素イオンや中性子など高 LET 放射線が健常組織にもある程度の線量が照射されるので、将来の二次がんのリスクについての評価が重要である。

<核医学治療>

放射性核種を治療に用いる試みは比較的長い歴史があるが、最近は、腫瘍に特異的に集積する薬剤の開発が進み、優れた治療効果が得られるようになってきている。これまでは、主としてベータ線核種が治療に利用されてきたが、最近になって生物効果の高いアルファ線核種や Auger 電子の利用が注目されている。

高 LET 放射線の導入によって、腫瘍と正常組織への線量をきちんと評価し、個人ごとに適切な投与量を決定する治療計画の重要性が増している⁵⁾。

将来への課題

医療における放射線の利用は、これまでは長年の経験に基づいてプロトコールが決定されてきた経緯がある。その中で、放射線防護の立場からは、診断に必要な線量を確保しながら、無駄な被ばくをなくすという考え方が防護の「最適化」として求められてきた。しかしながら、実際の医療現場では、放射線による診療を受ける患者さん個人レベルでの最適化が必要だが、そのためのリスクを評価する指標がないことが問題である。

一方、高い線量を照射する放射線治療では、標的となる腫瘍組織に十分な線量を照射し、その近傍の組織への障害を避けるための治療計画が実施されている。これに加えて、比較的低い線量を受ける周辺組織の長期的な影響を考慮したりリスクを評価する必要がある。

放射線を使った医療の進歩とその拡大に対応するためには、これらの課題に対応できる新しいモデルの確立が求められている。

参考文献

- 1) Siegel JA, Brooks AL, Fisher DR, et al: A critical assessment of the linear non-threshold hypothesis: Its validity and applicability for use in risk assessment and radiation protection. Clin Nucl Med, 44 (7), 521-525, 2019.
- 2) ICRP: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann ICRP, 37 (2-4), 2007.
- 3) Hall EJ, Wu CS: Radiation-induced second cancers: The impact of 3D-CRT and IMRT. Int J Radiat Oncol Biol Phys 56 (1), 83-8, 2003.
- 4) Yonekura Y, Tsujii H, Hopewell JF, et al: Radiological Protection in Ion Beam Radiotherapy. ICRP Publication 127, Ann ICRP, 43 (4): 5-113, 2014
- 5) Yonekura Y, Mattsson S, Flux G, et al: Radiological Protection in Therapy with Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 140, Ann ICRP, 48 (1) (in press)