Ⅱ Beyond Precision：高精度放射線治療のさらなる展開

6. VMAT時代のPTV内線量の工夫

澤田　将史　慶應義塾大学医学部放射線科学教室（治療）

放射線外照射において，標的内の線量均一性よりも標的外への急峻な線量低下を重視する考え方の嚆矢（こうし）の一つは，Leksellが1951年に提唱したstereotactic radiosurgery（SRS）に求めることができる。その後，1960年代に開発されたガンマナイフでは，多数の細いビームを標的に収束させる照射geometryにより，標的中心部に高線量が形成される一方，標的外では急峻な線量低下が得られた。古典的なガンマナイフでは，最大線量の50％isodoseを標的辺縁に合わせて処方することが多く，その結果として，標的内には大きな線量不均一性が生じる。これは，従来の通常分割照射で重視されてきた標的内線量の均一性とは対照的な線量分布であり，標的内の高線量を許容しつつ，標的外の線量低下を重視するSRSの線量設計思想につながった。

一方で，同じく1990年代には強度変調放射線治療（IMRT）が登場し，1999年にはBulterらが，頭頸部がんを対象に，同一プラン内で原発病変と予防領域とで2段階の線量を処方する照射法の成績を発表した[1]。今で言うsimultaneous integrated boost（SIB）である。現在では頭頸部がんのほか，原発性脳腫瘍や前立腺がんなど，さまざまな領域で用いられている。

本稿では，これらの思想や技術から発展した計画標的体積（PTV）内の線量分布を最適化する近年のさまざまな試みを紹介する。

前立腺がんに対するfocal boost

PTV内で局所の線量増加の有効性を示した報告としては，中～高リスク前立腺がんを対象としたFLAME trialがある[2]。この第Ⅲ相試験では，標準群の全前立腺に，均一に77Gy/35回に対し，boost群では同線量に加えて，MRIでの可視病変へSIBで最大95Gyまで線量増加した。10年生化学的無再発生存率は標準群71％，boost群86％と，boost群が優位に優れた結果であり，グレード2以上，グレード3以上の毒性に有意差はないことが報告された。さらに，第Ⅱ相試験のhypo-FLAME trialでは，このSIBの有効性を体幹部定位放射線治療（SBRT）で検証している。本試験では，全前立腺35Gy/5回に加えて，MRIでの可視病変へSIBで最大50Gyまで線量増加した。5年生物学的無再発生存率は93％，グレード2以上の尿路毒性が12％，消化管毒性が4％と，こちらも良好な成績が報告されている[3]。前立腺がんの放射線治療は，IMRT・強度変調回転放射線治療（VMAT）によるPTV内の局所的な線量増加の工夫の明確な成功例の一つであろう。2026年現在，慶應義塾大学病院では，限局性前立腺がんにおいて，MRIで病変を指摘できる場合には原則SBRT with SIBを行っており，前立腺がん症例のおよそ7～8割に当たる。その典型的線量分布を示す（図1）。

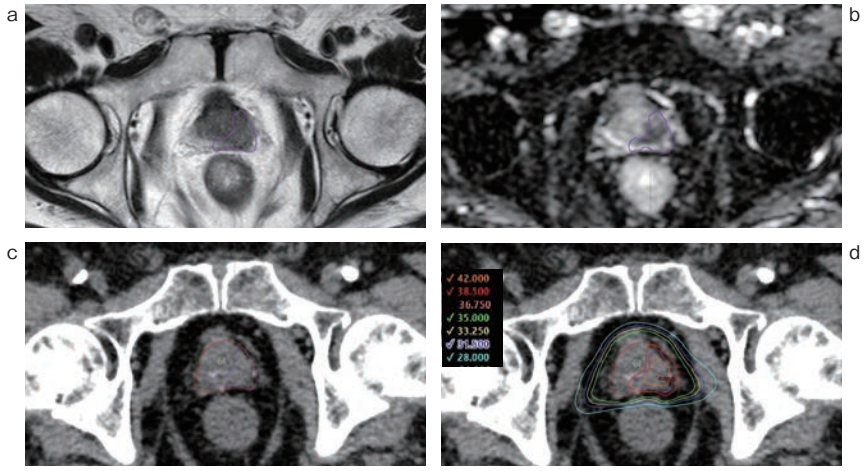


図1　前立腺がんに対するSBRT with SIBの治療例
紫：MRIによるブースト領域，赤：前立腺，薄緑：尿道
a：診断時のMRI T2強調画像，b：診断時のMRI ADC map，c：治療計画CT，d：線量分布。
前立腺のPTVには35Gy/5回，ブースト領域には線量増加をしている。

局所進行非小細胞肺癌におけるPTV内の不均一線量増加

手術不能局所進行非小細胞肺癌における標準治療は，同時化学放射線治療

〈0913-8919/26/￥300/論文/JCOPY〉