

肝臓癌に対する体幹部定位放射線治療と陽子線治療の線量分布比較

南東北がん陽子線治療センター ○新井 一弘 (Arai Kazuhiro)

遠藤 浩光 小山 翔 阿部 良知 小森 慎也 廣垣 智也
太田 裕樹 辻真也 中野渡 優志 島田 星良 真崎 敬大
福島県立医科大学 加藤 貴弘

【はじめに】

近年、肝臓癌に対する高精度外部放射線治療として体幹部定位放射線治療(SBRT)や粒子線治療が行われている。両者の線量分布の特徴は用いられる線種の物理特性によって異なり、臨床における治療方法の選択は両者の線量分布の特徴を把握した上でなされるべきである。Saumilらは、肝臓内に設定した模擬腫瘍を対象としてVMATによるSBRTおよび陽子線治療の比較を行い、多くの腫瘍の大きさや位置のケースで、陽子線治療を選択することで、よりリスク臓器の線量が低減できることを報告している¹⁾。しかし、実臨床例におけるビームアレンジや腫瘍の局在の違いによる影響は十分に明らかにされていない。そこで本研究では、実臨床例を用いて肝臓癌に対するSBRTと陽子線治療の線量分布を比較し、それぞれの特徴を明らかにした。

【方法】

当院で陽子線治療を施行した肝臓癌10例を対象とした。同一のCTおよび輪郭情報に基づき、SBRTとして3D-CRTおよびVMAT、陽子線治療として2門および3門照射の計4種類の治療計画を症例毎に立案した。SBRTの治療計画は、使用エネルギーを10MV、線量計算アルゴリズムはAAA(Anisotropic Analytical Algorithm)とした。照射方法は、3D-CRTでは7門照射とし、VMATでは1isocenter 2rotationとした。陽子線治療の治療計画は、使用エネルギーを150MeVおよび210MeVとし、線量計算アルゴリズムはペンシルビーム法を、照射野形成方法はパッシブ散乱法(ワブラー法)を用いた。陽子線治療においては、皮膚や肋骨の線量低減を図るため、3門以上で照射を行うことが多い。そのため、照射方法は2門および3門照射の治療計画をそれぞれ作成して比較を行った。線量処方 $50\text{ Gy}/5\text{ fraction}$ を想定し、PTVに対して D_{95} 処方に統一した。また、全体積内の最大線量は115%以下とし、Table 1に示す線量制約を満たすように全治療計画を作成した。線量評価指標として正常肝のスペアリング(正常肝体積 - $V_{15\text{Gy}}$)、脊髄の最大線量、腸管の $D_{2\text{cc}}$ を用いてリスク臓器線量について比較検討した。

【結果・考察】

Fig.1(a)に3D-CRT、VMAT、陽子線治療の2門、3門照射における患者10例平均の肝臓のスペアリングを、(b)に脊髄の最大線量を示す。3D-CRTと比較してVMATおよび陽子線治療では、肝臓のスペアリングが良好であり、脊髄の線量も大幅に低減することが可能であった。また、陽子線治療では、2門と3門照射の間に大きな差はみられなかった。

Fig.2(a)に肝臓のスペアリングの様子がわかりやすい症例を、(b)にターゲットが脊髄に近い症例の線量分布を示す。特に陽子線治療では正常肝に照射される範囲が限局しており、より多く正常肝を温存できることが確認できた。また、陽子線治療では、脊髄を避けた照射が可能な場合があり、脊髄線量低減に非常に有用である可能性が示唆された。

Table 1 全治療計画における線量制約

対象臓器	線量制約
脊髄	$D_{\text{max}} < 25\text{Gy}$
食道	$V_{19.5\text{Gy}} < 5\text{cm}^3$
心臓	$V_{32\text{Gy}} < 15\text{cm}^3$
大腸	$V_{25\text{Gy}} < 20\text{cm}^3$
胃	$D_{\text{max}} < 27.5\text{Gy}$ $V_{18\text{Gy}} < 10\text{cm}^3$
正常肝	$D_{\text{mean}} < 14\text{Gy}$ $V_{\text{正常肝}} - V_{15\text{Gy}} > 700\text{cm}^3$

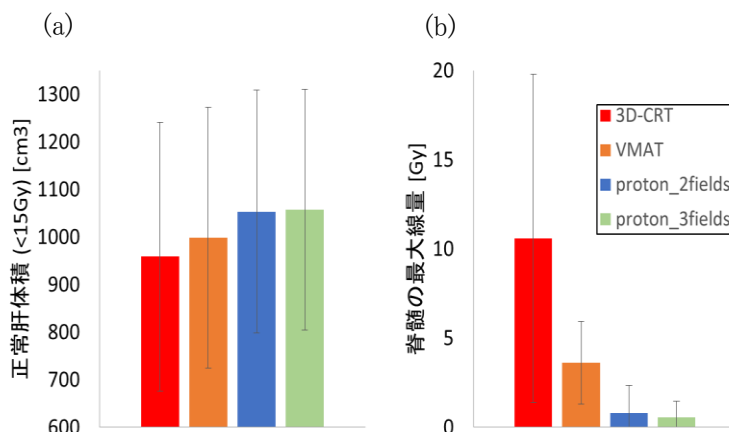


Fig.1 3D-CRT、VMAT、陽子線治療の2門、3門照射における患者10例平均の(a)肝臓のスペアリングおよび(b)脊髄の最大線量

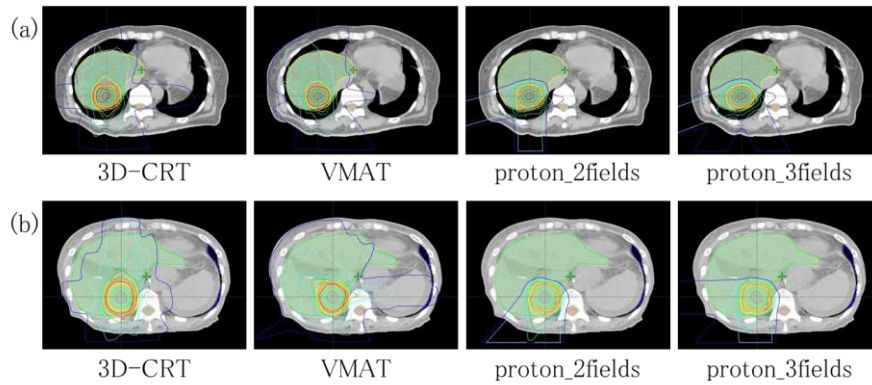


Fig.2 3D-CRT、VMAT、陽子線治療の2門、3門照射における、(a)肝臓のスペアリングがわかりやすい症例、(b)PTVが脊髄に近い症例の線量分布

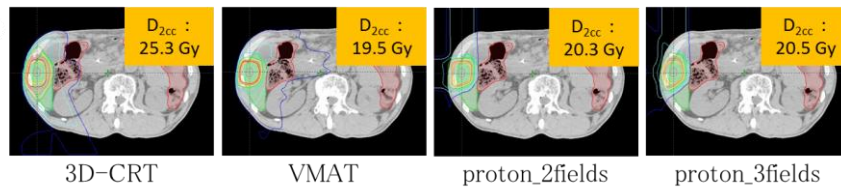


Fig.3 3D-CRT、VMAT、陽子線治療の2門、3門照射における、PTVが腸管に近い症例の線量分布および腸管のD_{2cc}

Fig.3にPTVが腸管に近い症例の線量分布および腸管のD_{2cc}を示す。3D-CRTと比較してVMATや陽子線治療ではD_{2cc}が減少していることが確認できるが、VMATでは低線量域が腸管側に広がっていることが確認できた。一方、陽子線治療では低線量域の広がりはなく、限局した照射ができています。Fig.4に同一症例の腸管のDVHを示す。DVHからも、3D-CRTと比較してVMATでは高線量域は減少したが、低線量域の増加がみられた。特に陽子線治療では、中低線量域が大きく減少したが、いずれの照射方法においても一部高線量域が存在することが確認できた。また、腸管線量においても陽子線治療では、2門および3門照射の間に大きな差はみられなかった。

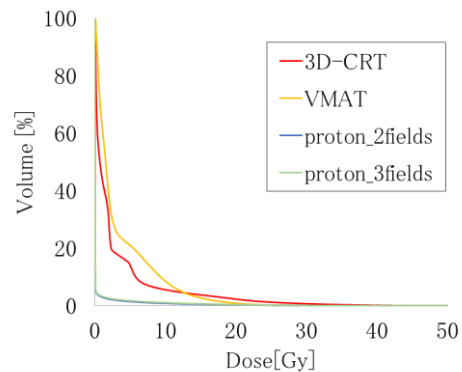


Fig.4 3D-CRT、VMAT、陽子線治療の2門、3門照射における、PTVが腸管に近い症例の腸管のDVH

以上の結果より、VMATや陽子線治療を選択することで、3D-CRTと比較して、より正常肝を温存することができ、脊髄線量の低減も可能であることが示唆された。実臨床例による検討においても、Saumilらの模擬腫瘍による先行研究の結果と同様に、特に陽子線治療は限局した照射が可能であり、脊髄を避けた照射が可能であることから、リスク臓器の線量低減に非常に有用であることが確認できた。しかし、腸管などのリスク臓器がPTVと近接している場合には、いずれの照射方法においても一部高線量が照射されてしまうケースが存在した。また、本研究では、線量分布に基づいた比較のみを行っているため、治療方法の決定の際には、呼吸性移動対策や画像照合方法等も含めて総合的に判断する必要があると考えられる。

【まとめ】

本研究では、肝臓癌に対して線種の物理特性やビームアレンジによる線量分布の比較を行った。3D-CRTと比較してVMATでは、リスク臓器の線量の低減がみられたが、一部、低線量域の広がりがみられた。陽子線治療では、SBRTと比較して中低線量域の低減が顕著であり、正常肝の機能温存や照射歴のある症例に対する照射時に有用性を発揮するものと考えられる。

【参考文献】

1) SJ Gandhi, X Liang, X Ding, et al. : Clinical decision tool for optimal delivery of liver stereotactic body radiation therapy: Photons versus protons. Pract Radiat Oncol, 5, 209-218, 2015