

食道癌に対する VMAT の有用性と課題

南東北がん陽子線治療センター ○島田 星良 (Shimada Seira)
遠藤 浩光 小森 慎也 新井 一弘 廣垣 智也
太田 裕樹 辻 眞也 中野渡 優志 真崎 敬大
福島県立医科大学 加藤 貴弘

【はじめに】

近年、食道癌の化学放射線療法の治療成績は向上している。化学放射線療法は放射線療法を単独で施行するよりも有意に生存率が向上することが知られおり、食道癌の標準治療の一つになってきている¹⁾。しかし、その一方で抗癌剤自体の毒性や、肺や心臓といった周辺リスク臓器への照射に伴う晩期合併症のリスクが高まるとされ、有害事象の軽減などさらなる質改善も求められているのが実情である。

頸部食道癌では従来の3D Conformal Radiotherapy (3D-CRT)と比べてIntensity Modulated Radiotherapy (IMRT)、Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT)に優位性があることはすでに報告されている²⁾。また、食道癌のうち約半数は胸部領域に発生するものであり、胸部食道癌では肺や心臓、脊髄などのリスク臓器が照射領域近傍に存在することに加え、呼吸性移動の影響をより受けることも懸念される。そこで、本研究では胸部食道癌における3D-CRTとVMATの線量分布を比較し、VMATの有用性や課題点を見出すことを目的とした。さらに、VMATの線量分布をさらに改善させる方法についても検討を行った。

【方法】

当院で3D-CRTを施行した胸部食道癌7例(年齢:70-81歳)を対象とし、本研究では予防領域のリンパ節への照射を含めない症例を扱った。治療計画装置はEclipse ver 11 (Varian Medical Systems)を用いた。処方線量は2 Gy/fr.とし、総線量を60 Gy/30fr.とした。3D-CRT、VMAT (Full 1 Arc)計画はD₉₅処方 で統一し、Dose Volume Histogram (DVH)を用いてPTV、全肺、心臓、脊髄に関するパラメータを評価した。さらに、VMATの線量分布改善方法として下記の3項目について検討し、VMAT (Full 1 Arc)と比較した。

- ① 非照射領域 (Avoidance Sector:AS)を両側に40度ずつ設けた計画 (AS-VMAT)
- ② 2 Gy/fr.の照射を前後対向2門照射 (30%)+VMAT (70%)で行うHybrid-VMATの計画
- ③ 2 Gy/fr.の照射を前後対向2門照射 (30%)+AS-VMAT (70%)で行うAS-Hybrid-VMATの計画

【結果】

パラメータの比較を (3D-CRT vs. VMAT)で示す。PTVのConformity IndexはVMAT (Full 1 Arc)で改善されていることが確認できた (2.98 vs. 1.10)。また、3D-CRTとVMAT (Full 1 Arc)のリスク臓器線量を比較した結果をFig.1に示す。肺のV₂₀ (19.76% vs. 14.25%)はVMATで低減できたが、V₅ (37.28% vs. 77.73%)はVMATで大きく増加した。心臓の平均線量 (31.07 Gy vs. 19.35 Gy)、V₂₀ (62.50% vs. 37.91%)、V₄₀ (45.50% vs. 10.60%)はVMATで低減し、脊髄の最大線量 (D_{2cc})もVMATで低減した (41.12 Gy vs. 34.12 Gy)。

VMATの計画手法別にDVHパラメータを比較した結果をFig.2に示す。ASを設けた計画ではVMAT (Full 1 Arc)と比較し、肺のV₅が20%程度低減した (77.59% Full 1 Arc vs. 58.59% AS-Hybrid-VMAT)。

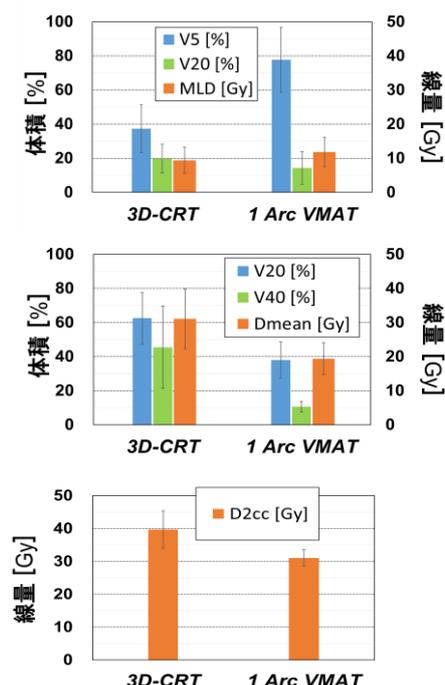


Fig.1 3D-CRTとVMATのリスク臓器線量比較 (上:全肺、中:心臓、下:脊髄)

【考察】

放射線肺臓炎の発生リスクを20%程度に抑えるために $V_5 \leq 65\%$ 、 $V_{20} \leq 30 \sim 35\%$ 、 $MLD \leq 20$ Gyと各種ガイドラインで目標値が定められている^{3,4)}。本検討のVMAT (Full 1 Arc)の結果では $V_{20} \leq 20\%$ 、 $MLD \leq 15$ GyでありVMATに有用性が示された一方で、 V_5 は70~80%となり課題点も示唆された。また、心臓に関する晩期合併症のリスク低減のために心臓 $V_{40} \leq 50\%$ 、 $D_{mean} \leq 35 \sim 40$ Gyといった線量制約も示されているが、心毒性を伴う化学放射線療法では心臓線量は極力低減されるべきである⁵⁾。本検討のVMAT (Full 1 Arc)の結果では心臓 V_{40} や D_{mean} は3D-CRTと比較して大きく低減され、心臓 V_{40} は10%程度、 D_{mean} は20 Gy以下に抑えることができた。この点はVMATに大きな優位性があると考えられる。さらに、脊髄の線量制約として化学療法併用時には脊髄最大線量 < 44 Gyと推奨されている⁶⁾。VMAT (Full 1 Arc)では全周性に照射を行っていることから3D-CRTと比較して脊髄線量が上昇してしまうことが懸念される。今回の検討ではVMAT (Full 1 Arc)における脊髄最大線量(D_{2cc})は36 Gy以下となり、十分に脊髄線量も抑えられていることを確認できた。

また、Full Arc VMATと比較してASを用いたPartial Arc VMATでは肺 V_5 を20%も低減することが可能で、合併症リスクの低減にも繋がる有用な手段であると考えられる。さらに、Hybrid-VMATでは3D-CRT (前後対向2門)が30%分の線量を補っているため、呼吸性移動に伴うInterplay effectの影響を軽減できるメリットがある。AS-Hybrid-VMATのDVHパラメータを目標値と比較すると、すべての項目において制約を達成し、PTVに対する線量集中性を高め、リスク臓器線量を3D-CRTよりも低減できる治療が可能であると示唆された (Table 1)。

【まとめ】

VMATでは3D-CRTと比較して線量集中性が向上し、肺の V_{20} や心臓の V_{40} といった合併症発生リスクに関わるパラメータを低減できた。しかし、相反して肺の低線量域 (V_5)は増加し、VMAT (Full 1 Arc)では課題点が残る結果となった。そのうえで、AS-Hybrid-VMATでは肺の V_5 や、他のリスク臓器線量も低減可能となり、今回は限局性の胸部食道癌ではあるがパイロットスタディとしてVMATの有用性が示唆された。

【参考文献】

- 1) al-Sarraf M, et al. : Progress report of combined chemoradiotherapy versus radiotherapy alone in patients with esophageal cancer : an intergroup study. J Clin Oncol, 15, 277-284, 1997
- 2) L H Wang, et al. : Comparison of conformal and intensity-modulated techniques for simultaneous integrated boost radiotherapy of upper esophageal carcinoma. World J Gastroenterol, 10(8), 1098-102, 2004
- 3) NCCN.org : Non-Small Cell Lung Cancer NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology ver.3, 2016
- 4) S L Wang , et al. : Investigation of clinical and dosimetric factors associated with postoperative pulmonary complications in esophageal cancer patients treated with concurrent chemoradiotherapy followed by surgery. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 64, 692-699, 2006
- 5) S. Howaed, et al. : A phase III trial evaluation the addition of trastumab to trimodality treatment of HER2-overexpressing esophageal adenocarcinoma. RTOG, 1010, 2010
- 6) 日本放射線腫瘍学会編 : 放射線治療計画ガイドライン2012年版 金原出版 2012

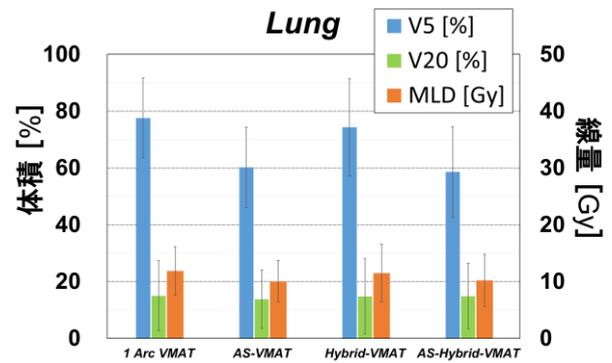


Fig.2 VMATの計画手法別DVHパラメータ比較 (左から1 Arc VMAT、AS-VMAT、Hybrid-VMAT、AS-Hybrid-VMAT)

Table 1 AS-Hybrid-VMATにおけるDVHパラメータの目標値と結果

OAR	DVH Parameter	結果	目標値
肺	V_5 Gy	58.6%	$\leq 65\%$
	V_{20} Gy	14.8%	$\leq 30 \sim 35\%$
心臓	D_{mean}	12.9%	$\leq 50\%$
	V_{40} Gy	22.3 Gy	$\leq 35 \sim 40$ Gy
脊髄	D_{2cc}	40.0 Gy	< 44 Gy

※ OAR : Organ at Risk