



Der Einfluss ausgleichsfilterloser Strahlerzeugung auf die 3D-konformale Strahlentherapie

Kretschmer M.¹, Blechschmidt A.¹, Heyden S.¹, Sabatino M.¹, Grünberg B.², Rönsch W.², Scholz T.², Dahle J.¹, Feine D.¹, Giro C.¹, Würschmidt F.¹

¹ Radiologische Allianz, Hamburg

² Klinikum Görlitz, Görlitz



Einleitung und Motivation

Durch ausgleichsfilterlose Strahlerzeugung (FFF, flattening filter free) können moderne Linearbeschleuniger eine Vervielfachung der klinisch üblichen Dosisrate gegenüber konventioneller Strahlerzeugung (FF, flattening filter) erreichen. Besonders vorteilhaft erscheint der Einsatz bei stereotaktischer und fluenzmodulierter Strahlentherapie [1]. Diese Studie untersucht den Einfluss der FFF-Technologie von ARTISTE-Linearbeschleunigern mit einer Dosisleistung von 20Gy/min im FFF-Modus auf die 3D-konformale Strahlentherapie in Bezug auf die Planqualität sowie die klinische Verwendbarkeit.

Material und Methode

Akquiriert wurden aus der klinischen Routine der Radiologischen Allianz Hamburg Patienten mit den Tumorentitäten Mamma-Ca (n=13), mediastinalen Tumoren (n=7), Neurocranium (n=11), Wirbelsäulenmetastasen (n=10) und Prostata-Ca (n=11). Kopien dieser konventionellen FF-Pläne wurden durch korrespondierende FFF-Photonenenergien (6MV→7MV, 10MV→11MV) ersetzt und durch Subfelder bis zum Erreichen der PTV-Dosisziele ergänzt. Angewendet wurde diese Feld-in-Feld Technik für FF- und FFF-Pläne. Die Bestrahlungsplanung erfolgte im Planungssystem Oncentra mittels ARTISTE (FF) der Radiologischen Allianz Hamburg und ARTISTE (FFF) des Klinikum Görlitz. Statistisch untersucht wurden DVH-Parameter von PTV und Risikoorganen sowie die Niedrigdosisbelastung. Die dosimetrische Verifikation von insgesamt 30 FFF-Plänen mit 95 Einzelfeldern erfolgte mittels 2D-Array und Oktavius Phantom im Klinikum Görlitz. Applikationszeiten für FFF-Pläne wurden in Görlitz, FF-Pläne in Hamburg gemessen.

Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der DVH-Analyse. Statistisch signifikante ($p < 0,05$) aber klinische irrelevante Unterschiede ergaben sich zwischen FF- und FFF-Plänen für PTV-Coverage und Niedrigdosisbelastung.

Parameter	Mamma	Neurocranium	BC	Wirbelsäule	Prostata
n	13	11	7	10	11
Volumen [cm ³]	922 ± 239	1329 ± 109	501 ± 318	175 ± 79	211 ± 94
Mean±SD [Gy]	50,2 ± 0,3 50,2 ± 0,4	30,9 ± 0,3 30,3 ± 0,2	50,3 ± 0,2 50,5 ± 0,4	37,9 ± 0,4 38,0 ± 0,3	66,6 ± 0,6 66,5 ± 0,6
p	0,495	0,009	0,408	0,230	0,622
V95 [%]	89,8 ± 1,6 89,1 ± 1,8	99,9 ± 0,0 99,4 ± 0,3	95,4 ± 3,3 94,3 ± 2,4	98,3 ± 3,3 97,7 ± 2,6	99,6 ± 0,3 99,2 ± 0,3
p	0,199	0,004	0,120	0,280	0,027
V107 [%]	0,0 ± 0,0 0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0 0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0 0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0 0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0 0,0 ± 0,0
p	0,166	0,000	0,234	0,133	0,459
HI	0,15 ± 0,01 0,17 ± 0,01	0,06 ± 0,01 0,08 ± 0,01	0,12 ± 0,02 0,13 ± 0,01	0,10 ± 0,03 0,11 ± 0,02	0,08 ± 0,02 0,09 ± 0,01
p	0,000	0,000	0,151	0,027	0,023
Normalgewebe					
V5Gy [%]	7,8 ± 1,1 7,7 ± 1,1	54,7 ± 10,0 54,3 ± 10,0	27,6 ± 9,5 27,7 ± 8,0	10,4 ± 2,4 10,2 ± 2,4	19,8 ± 8,3 20,0 ± 8,2
p	0,006	0,381	0,921	0,341	0,639
V10Gy [%]	6,2 ± 1,0 6,2 ± 1,0	50,8 ± 9,4 50,4 ± 9,4	20,0 ± 7,3 19,6 ± 6,4	6,2 ± 1,7 6,1 ± 1,7	14,4 ± 6,7 14,6 ± 6,5
p	0,963	0,359	0,553	0,202	0,293

Tabelle 1: Ergebnisse der DVH-Analyse für das PTV und Normalgewebe der untersuchten RT-Lokalisationen. FFF-Ergebnisse sind grau unterlegt. VxGy: Volumen das mindestens x Gy erhält, HI: Homogenitätsindex

Signifikante Unterschiede für verschiedene OAR wurden nachgewiesen, erscheinen klinisch aber bedeutungslos. Zum Erreichen der Planungsziele waren bei FFF-Plänen im Mittel 1,3 (Prostata) bis 2,1 (Neurocranium) mehr Monitoreinheiten (MU) notwendig, was durch eine im Mittel 2- bis 4,5-fache Erhöhung der benötigten Felder bedingt war (Abbildung 1). Die Unterschiede in der Dosiskalibration der korrespondierenden FFF- bzw. FF-Photonenenergien lagen unterhalb 1%.

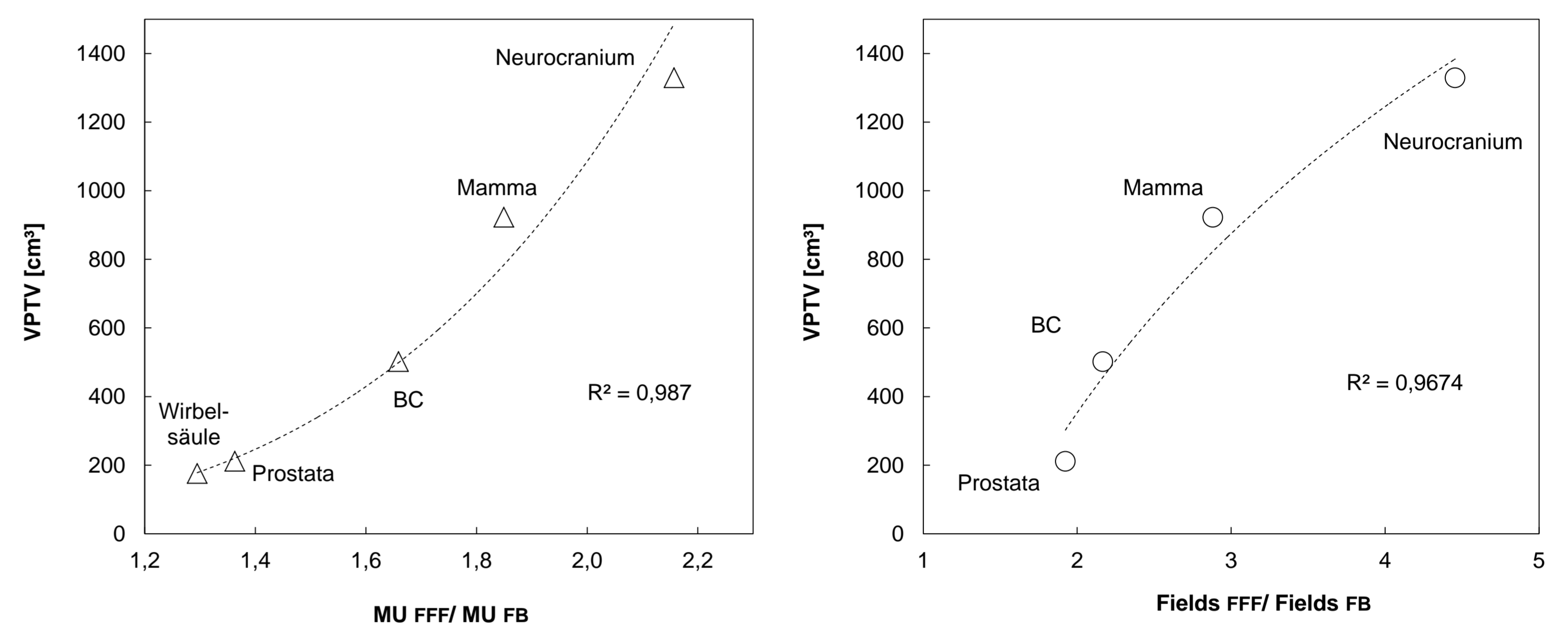


Abbildung 1: Das linke Diagramm zeigt die Korrelation zwischen lokalisationsabhängigen Koeffizienten der benötigten Monitoreinheiten FFF/FB und dem mittleren PTV-Volumen, das rechte Diagramm die Korrelation mit dem lokalisationsabhängigen Koeffizienten der benötigten Felder FFF/FB.

Die Behandlungszeit pro Fraktion bei FFF-basierter RT liegt in Abhängigkeit der untersuchten Tumorentität im Bereich von zusätzlichen 0,5 - 1,5 min. 2D dosimetrisch verfehlten hier im Mittel 0,3% der untersuchten modulierten Feldflächen das γ -Index-Kriterium (3%/3mm). Insgesamt wurden 96 modulierte Felder untersucht (Tabelle 2).

Parameter	Mamma	Neurocranium	BC	Wirbelsäule	Prostata
Gantry Positionen	2	2	3	4	5
Felder	5,2 ± 0,7 14,8 ± 2,0	3,0 ± 0,0 13,4 ± 1,2	6,9 ± 2,1 14,9 ± 5,1	4,1 ± 0,6 10,6 ± 2,5	5,9 ± 0,9 11,4 ± 1,7
MU	244,3 ± 9,0 451,8 ± 27,8	318,0 ± 2,3 686,1 ± 39,3	257,4 ± 13,6 427,0 ± 76,5	317,8 ± 11,8 411,5 ± 49,1	305,7 ± 17,8 416,7 ± 33,6
p	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
RT-Zeit [m:s] Δ FB - FFF	1:11	1:36	1:10	-	0:36
γ - Analyse					
Untersuchte Felder	12	12	18	24	30
$\gamma < 1$	99,9 ± 0,4	99,1 ± 0,7	100,0 ± 0,0	99,5 ± 2,2	100,0 ± 0,0

Tabelle 2: Analyse der technischen Parameter der untersuchten RT-Lokalisationen. FFF-Ergebnisse sind grau unterlegt. Für Felder, MU und $\gamma < 1$ sind die Mittelwerte \pm Standardabweichung angegeben.

Diskussion

Die 3D-konformale Bestrahlungsplanung mit FFF-Feldern ist für typische Bestrahlungslokalisationen möglich. Die Planqualität ist vergleichbar mit der von FF-Plänen. Erhöhte Feldanzahl und MU führen nur zu einem moderaten Anstieg der Behandlungszeit. Die Niedrigdosisparameter V5Gy und V10Gy sind nicht erhöht. Die Bestrahlungsplanung mit Feld-in-Feld Technik führt zu dosimetrisch stabilen Plänen.

Matthias Kretschmer

Radiologische Allianz Hamburg, 22767 Hamburg
matthias.kretschmer@radiologische-allianz.de
www.radiologische-allianz.de

[1] Current status and future perspective of flattening filter free photon beams, Georg et al., Medical Physics, Vol. 38, No. 3, March 2011