Intensitätsmodulierte Protonentherapieplanung mit CMS

Dr. Gustav Meedt AK IMRT, Heidelberg, 30. März 2007





Protontherapie: Vorteile





Protonentherapie - Prinzipien



- Charakteristische Tiefendosiskurve
- "Bragg" Maximum ist energieabhängig

Passive Scattering

- **Blende** mit projizierten Zielvolumen
- Kompensator
 (Patientenkontur bzw. Dichterverteilung)

Energiemodulation

 (z.B. Modulation-wheel
 -> Spread Out Bragg Peak)

• Keine Berücksichtigung von Risikoorganen!

Intensitäts- und Energiemodulierte Protonentherapie:

Magnet

Das RPTC in München

Rinecker Proton Therapy Center

- CMS entwickelte Therapiplanungssoftware.
- 4 Gantries, ein Fixedbeam Raum.
- Augen und H&N Planung Passive Scattering.
- Gantries: IMPT Therapieplanung.
- Kommissionierung der 1. Gantry: (02 05 2006).
- CE zertifizierte Software installiert.

IMPT

Spot Scanning Planung: Dosis-Berechnung mit erweiterten Nadelstrahl

Dosisberechnungsalgorithmus: Spot-scanning

Nadelstrahl-Verfahren Soukup et al.

Prinzipiell ähnlich zu Hogstroms Nadelstrahlverfahren:

$$T(x, y, z) = f(E, \rho) \cdot T(z_{\text{eff}}) \cdot L(x, y; z_{\text{eff}})$$

f(E,ρ) – Stoppingpower-ratio

•

- T(z) Integral Depthdose measured in water.
- L(x,y;z) Lateral distribution (2 D Gaussian with $\sigma_x(z), \sigma_y(z)$)

"Multiple Coulomb scattering of 160 MeV protons" by B. Gottschalk, A. M. Kohler, R. J. Schneider, J.M. Sisterson, and M.S Wagner, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* B74 (1993), p. 467-490. "Cosmic-Ray Theory, Rossi et al., *Reviews of Modern Physics*, 13/1941

Z_{eff} – Effective (radiologische equivalente) Tiefe im Patient.

(*) M. Fippel, M. Soukup (2004): "A Monte Carlo dose calculation algorithm for proton therapy", Med. Phys 31(8) 2263-73

Dosisberechnungsalgorithmus: Spot-scanning

Dosisberechnungsalgorithmus: Spot-scanning

Laterale Inhomogenitäten: Zerlegung der Nadelstrahlen in Subspots

Beitrag der nuklearen Wechselwirkungen an lateraler Streuung

Martin Soukup, Universität Tübingen 2004

Basisdaten

 Integrale Tiefendosiskurve f
ür ausreichend viele Energien

 Spot-Profile im Zentralstrahl: Gauss'sche Sigma f
ür x, y und alle Energien

Gemessenes Profil

2D Gauss- Fit

Differenz-Plot

Basisdaten

- Abhängigkeit der Spotgröße von Ablenkung
- MU-Kalibrierung für jede Energie
- Maschinendefinition (Magnetposition)
- Integrale Tiefendosiskurve für Modifiers
 - (Rangeshifter, Ripplefilters)
- Spot Divergenz in Luft
- CT-Kalibrierung auf Massendichte

Therapieplanung in XiO: Beamsetup

Therapieplanung in XiO: Beamsetup

2	XiO - Referen 4:12 - HEAtlandNECK(Brain' HeadAKech Case) T	emporary Plan 75	1970				-			
Eile Edit View Contour Been Port	Dase Taols Optimize Reports Help	Corne I	Inlune Persenters	1						
3 ▲ ① ♥ # # 戸 戸 田 明 # # 単 間 × 巻 『 1011 Alt 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11	(80)	event Custon Renge Rippl Align	Bhifter: a Filter(g/cm ⁻²) ment Shift(cm)	0.00	Scan	Bistal Ex Provinal Peak Vidt Layer Tabl	tent of Target Extent of Target b Multiplier a	tig/cw*8) petig/cw*8) 4.00	10.90 0.40	
	9.11T	Laya	Destroit Bonne lg/cm*21	Prescribed Range(o/cm*2)	Auts All	Spot Stone (cn)	Spot Socion(ca)	Rusher of Paints	Status	Intensity Mao
Inuvalues (0y)		1	10.90	10.90	Auto	0.30	0.50	1	00	Edit
			10.10	10.10	Auto	0.30	0.50	1	00	Edit
	Isovalues (Gv)	2	9.30	9.38	Auto	0.30	0.50	1	0n	Edit
			9.50	B 50	Auto	0.30	0.50	1	0n.	Edit
	La service a ser	5	7.70	T TO	Auto	0.30	0.50	1	00	Edit
		6	6.90	3802	Auto	0.30	0.50	1	0n.	Edit
		T	9.10	6.10	Auto	0.30	0.50	1	00	Edit
Tr-117(51(m))	4.35	B	5.00	5.30	Auto	0.30	0.50	1	0n.	Edit
Harm Alas		9	4.50	4.50	Auto	0.30	0.50	1	00	Edit
	190	10	1.70	3.70	Auto	0.30	0.50	1	0n.	Edit
		- 11	2.90	2.90	Auto	0.30	0.50	1	00	Edit
Engyaluar(Gy)		17	1.10	2.10	Auto	0.30	0.50	1	0n.	Edit
		17	1.00		Auto	0.30	0.50	1	orr	Edit
B+ -1,50(cm) Scat++3		I DK	LANCEL							
	2.98 Northern Adam									
Apr 04 2006 10:09 AM House: Scale the Mi	ndoa		Dose ()	(alid				1		CMS
and the second se									-	

Therapieplanung in XiO: Verschreibung

Isovalues(Gy)

Scale=1: 3.98

1. Beispiel: Nur primäres Zielvolumen

• Anfangsfluenz aller Spots: 100 MU

- Vorgewichtung der Spotfluenzen
- Hier: Keine Optimierung

- Optimierung aller Spot-Fluenzen
- Conjugate gardient

Therapieplanung in XiO: Verschreibung

Planung in XiO: Spotpositionen

▲●●//# / ● ■ ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	Range i Ripple Aligner	Ruifter Filter(g/tm-2) ent Shift(cm)	p 60	Scan.	Distal Ent Provinsl I Peak Vioth Layar Table	ent of Tacget Mant of Tacg Multiplier	(g/cm*2) . et(g/cm*2) : 1.00	11.74 0.50	
	Layer	Desized Booge (g/uw'2)	Freetrihed Range (g/cer2)	Auto All	Spot Signa(cm)	Spot. Specing(cm)	Number of Points	Status	Intensity Hop
	5	9.64	9.34	Auto	0.30	0.40	1.2	06	Edit
	-	9.04	E.TA	aute	0.30	0.40	1	00	Edit
	T	8 44	8.14	Auto	0.30	0.40	1	06	Edit
	-	2.84	7.54	aute	0.30	0.40	1	00	Edit
		7.24	6.94	Auto	0.30	0.40	1	00.	Edit
sovalues(%)	10	6.64	6.34	aute	0.30	0.40	1	00	Edit
10.0	11	6.04	5.14	Auto	0.30	0.40	1	06	Edit
82.8	12	II.44	5.34	aute	0.30	0.40	1	00	Edit
55.5	-11	4 84	4,54	Auto	0.30	0.40	1	06.	Edit
28.2	-14	4.94	3.54	aute	0.30	0.40	1	00	Edit
1.0	- 15 -	3 64	3.34	Auto	0.30	0.40	1	06.	Edit
	- 16	3.04	2 14	aute	0.30	0.40	1	00	Edit
	17	1.44	8.14	Auto	0.30	0.40	1 -	00.	EOL
A REAL PROPERTY AND A REAL	-18	1.84		aute	0.30	0.40	1	0ff	Edit

Planung in XiO: Intensitäten

£dit 2) 5. 74 0. 30 0. 40 To 76 To 76 To 76 To 76 To 76 20 840 252 279 285 279 285 279 285 279 285 279 285 279 285 279 285 279 285 206 208	Intensi olumi 5 216 127 282 216 155	17 17 13 14 15 13 13 13 15 15 10 19 14 18 11 11	la ntanui ty 8 210 205 337	Table 3 247 149	10	11	18.	13	14	15
2) E 74 8 30 0 40 To % To % 10 6 10 6 10 6 10 7 10 6 258 279 255 172 166 202 202	5 216 127 282 216 137 282 282	17 17 18 19 19 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	la ntanui ty 8 210 105 137	Tshla 3 247 149 114	10	11	18.	13	14	15
To Po To Co Update 4 840 858 858 855 865 172 865 172 166 208	5 2104 5 216 127 288 216 218 216 158	17 17 natity Tah 6 7 220 [215 132 [155 139]141 82 [110	la ntanoni ty 8 210 105 137	Tehla 3 247 149 114	10 306 162	11	18	12	14	15
4 240 252 279 265 172 166 202 255	5 216 137 282 282 282 216 152	6 7 220 211 138 159 109 141 81 110	8 210 105 137	3 247 149 114	10 306 162	11	15	13	14	15
240 252 279 265 172 166 202	816 187 887 288 816 158	220 219 138 159 109 141 81 119	210 105 137	547 149	306	274	297	264	-	
252 279 265 172 166 202	187 887 888 816 198	138 159 109 141 82 113	105 137	149	162	100		1004	322	ņ
879 865 172 166 802	237 283 216 153	109 141 81 111	137	1 114	and the second second	1468	143	215	284	ņ
265 172 166 202	282 216 152	R1 110			1:25	153	151	67	199	721
172 166 202	216 152		131	65	139	59	132	65	199	320
166	152	132 101	104	65	42	4.0	44	0	135	320
202	1	58 125	161	87	41	83	43	266	343	357
0.00	86	117 138	149	91	69	31	113	142	175	294
202	120	141 114	.92	99	31	85	168	118	182	26.9
25.9	139	143 114	84	13	90	102	185	86	192	292
298	169	139 138	18	59	89	66	102	105	204	269
139	170	106 138	84	88	106	TL	16	142	228	270
175	136	108 123	106	99	110	17	17	176	233	270
328	203	149 121	116	111	103	100	64	118	221	244
402	337	177 143	134	113	111	-91	82	76	202	269
D	431	208 194	129	141	1 307	703	BL	96	210	294
0	400	366 231	148	109	19	177	54	162	235	311
D	0	0 365	276	200	161	173	189	238	270	360
	175 328 402 0 0 0	175 136 328 200 402 337 0 421 0 400 0 0	175 136 106 123 328 203 149 127 402 337 177 143 0 421 208 194 0 400 366 230 0 0 0 0 365	175 136 108 123 306 328 803 149 127 116 402 337 177 142 134 0 421 208 194 129 0 400 366 230 148 0 0 0 362 276	175 136 108 123 106 99 328 803 149 127 116 111 402 337 177 143 134 113 0 421 208 394 129 141 0 400 366 230 148 109 0 0 0 362 276 200	175 136 108 123 306 99 110 328 803 149 137 116 111 163 402 337 177 142 134 113 111 0 421 208 194 129 141 107 0 400 366 230 148 109 79 0 0 0 362 276 200 167	175 136 108 123 306 99 110 17 328 803 149 127 116 111 163 60 402 337 177 143 134 113 111 91 0 421 208 394 129 141 307 303 0 400 366 230 148 109 79 17 0 0 0 362 276 200 167 173	175 136 108 123 106 99 110 17 17 328 803 149 127 116 111 163 80 64 402 337 177 143 194 113 111 91 82 0 421 208 394 129 141 107 103 81 0 400 366 230 148 109 79 177 54 0 0 0 362 276 300 167 173 189	175 136 108 123 106 99 110 17 17 176 328 803 149 127 116 111 163 86 64 110 402 337 177 143 194 113 111 91 82 76 0 421 208 394 129 141 107 103 81 96 0 400 366 230 148 109 79 177 54 168 0 0 0 362 876 800 167 173 189 838	175 136 108 123 106 99 110 17 17 176 333 282 203 149 127 116 111 163 90 64 110 221 402 337 177 142 134 113 111 91 80 76 202 0 421 208 194 129 141 107 107 81 96 210 0 400 366 230 148 109 79 77 54 162 235 0 0 0 362 276 200 167 173 189 238 270

Planning in XiO: Komplexere Verschreibung

- Alle Risikoorgane in Strahlrichtung müssen berücksichtigt werden.
- Optimierung aller Einstrahlrichtungen:
 - Einzeln (Einfrieren aller anderen)
 - Simultan

Planung in XiO: Komplette Optimierung

Planung in XiO: QA des Gesamtplanes

Film

 Ionisationskammern (Dosismessungen)

 Ionisationskammer-Array (2-D Dosisinformation)

Messungen in unterschiedlichen PMMA Tiefen mit Inhomogenitätsphantom

- Zielvolumen: 1.8 l (15 x 15 x 8 cm³)
- PMMA phantom mit Inhomohgenitätsphantom (Knochen, W.t.g, Lunge)
- 13 Energieschichten
- Gesamtdosis 10Gy/ 10 fx
- 2 Einstrahlrichtungen, 0° and 90°, 1 Gy pro Feld

Plan:

- -"L" förmiges Zielvolumen, 0.36 l
- PMMA Phantom, Inhomogenitätsphantom
- 18 Energieschichten
- ≈ 2000 Spots
- 10 Gy/10 fx

Dosis [Gy]

- gemessen
- berechnet

max. Abweichung: 7.4%
(Dosisgradienten!)

	Tiefe				
0 / 800.0	0.379 / 0.376	0.779 / 0.748	0.882 / 0.919	0.952 / 0.927	6 cm
0.030 / 0	0.750 / 0.698	1.035 / 1.033	1.025 / 1.024	1.007 / 1.007	14.5 cm
0.002 / 0	0.007 / 0.002	0.046/ 0.040	0.845 / 0.881	1.008 / 1.010	19.5 cm

Zusammenfassung – IMPT

- Aus den Erfahrungen des Passive Scattering Verfahrens und der Photonen IMRT: Großes Potential der IMPT, hochkonformale Radiotherapie
- CMS erweiterte XiO-IMRT mit der Option für Intensitätsmodulerte Protonentherapie (IMPT)
- IMPT Planung analog zur IMRT Planung
- IMPT ähnlich wie IMRT verlangt nach IGRT oder ART
- Klinische XiO Version (4.3.2) für Spot Scanning wurde am RPTC/München installiert
- Erste Ergebnisse zeigen gute Übereinstimmung zwischen XiO und Messungen.

Danksagung

- Dr. Jürgen Heese
- Accel Team in München
- RPTC-Physikern
- Dr. Martin Soukup, Universität Tübingen

