

VU Research Portal

Volumetric modulated arc therapy for stereotactic body radiotherapy

Ong, C.L.

2012

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Ong, C. L. (2012). *Volumetric modulated arc therapy for stereotactic body radiotherapy: Planning considerations, delivery accuracy and efficiency*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Samenvatting

Intensity modulated radiotherapy (IMRT) is een relatief nieuwe benadering van bestralingstechniek, geïntroduceerd in de vroege jaren 90 van de vorige eeuw. Intensiteit gemoduleerde radiotherapie (IMRT) biedt de mogelijkheid om zeer conforme dosisverdelingen te creëren, maar kan tevens diverse nadelen hebben, zoals langere behandel tijden, hoge integrale doses en problemen bij het kiezen van de optimale bundelconfiguratie. RapidArc™ (Varian Medical Systems), een vorm van volumetrisch gemoduleerde arc therapie is een uitbreiding van IMRT die de dosis tijdens één of meer gehele of gedeeltelijke gantry rotaties aflevert. Tijdens de bestraling kan een IMRT dosisverdeling worden gegenereerd door het variëren van de intensiteit van de gegenereerde straling, de snelheid van de gantrybeweging, en openingen van de multileaf collimator (MLC). Het gebruik van RapidArc maakt het mogelijk de dosis in veel kortere tijd toe te dienen, en is daardoor bijzonder geëigend voor stereotactic body radiotherapy (SBRT). SBRT is een vorm van radiotherapie waarbij een uiterst precieze afgifte van een hoge stralingsdosis in slechts één of enkele fracties wordt uitgevoerd voor doelgebieden van beperkte grootte. Tot 2008 werd in het VU medisch centrum SBRT uitgevoerd gebruikmakend van niet-IMRT technieken, bestaande uit meervoudig niet-coplanare statische bundels. Met de invoering van de nieuwe RapidArc techniek werd het optimaliseren van de treatment planning, alsook het evalueren van de kwaliteit van de plannen met een sterke inhomogeniteit, essentieel.

Jarenlang was het gebruikelijk SBRT behandelingen uit te voeren met een van de volgende drie technieken: 3-dimensionale conforme radiotherapie (3D-CRT), dynamische conforme arc (DCA), and IMRT. In **Hoofdstuk 2**, beschrijven we een studie naar de vergelijking van dosisverdelingen en bestralingstijden tussen RapidArc en andere technieken bij kleine en middelgrote (<70 cm³) stadium I non-small cell lung cancer (NSCLC). Om rekening te houden met de tekortkomingen in de nauwkeurigheid van het optimalisatie algoritme in media met lage dichtheid in een eerdere versie van de software, werden de RapidArc plannen geoptimaliseerd door gebruik te maken van 5-10% hogere dosisvoorschriften in de optimalisatie dan de voorgeschreven dosis voor het planning target volume (PTV). Bovendien maakten alle plannen gebruik van 2 bogen, waar de tweede boog werd geoptimaliseerd door te refereren aan de door het anisotropic analytical algorithm (AAA) berekende dosisverdeling van de eerste boog. De uitkomst van deze vergelijkende studie was dat met RapidArc de hoogste dosisconformiteit en de kortste bestralingstijden bereikt konden worden. Echter, vergeleken met 3D-CRT, werd het volume van de contralaterale long dat 5 Gy of meer ontvangt (V₅), groter. Om deze dosis te verlagen werd hoge prioriteit gegeven aan het optimaliseren van de doelstellingen voor de contralaterale long. Dit werd meestal

gedaan in combinatie met het gebruik van een sector in de boog zonder dosisafgifte zodat niet direct door deze long gestraald wordt of gebruik van een gedeeltelijke boog.

Klinische toxiciteit is ongebruikelijk na SBRT bij tumoren van 70 cm^3 of kleiner. In **hoofdstuk 3** werd de vroege klinische toxiciteit bij patiënten met grote tumoren (PTV binnen grenzen van $87 - 286 \text{ cm}^3$), na SBRT met RapidArc onderzocht, en gerelateerd aan verschillende dosimetrische parameters. De kans op symptomatische radiatie pneumonitis (RP) was hoger dan voor kleine tumoren (28% vs. <10%). De V_5 van de contralaterale long (V_{5cl}) bleek de beste voorspeller. Alle patiënten met $V_5 > 26\%$ RP ontwikkelden, terwijl het bij geen van de patiënten met een lagere V_5 optreedt. Door beperking van de bestraling vanuit de contralaterale richting kan de V_5 effectief worden beperkt, maar mogelijk vergroot dit de dosis in de borstwand. De analyses maakten aannemelijk dat behandelplannen voorrang aan het sparen van de contralaterale long moeten geven, waarbij de beperking van de doses voor de andere risico lopende organen op de tweede plaats komt, mede omdat de data in ons instituut een zeer beperkte borstwand toxiciteit laat zien bij long SBRT.

Bij IMRT bestraling van bewegende tumoren is het belangrijk om te weten dat gelijktijdige beweging van de tumor en beweging van de multileaf collimator (MLC) geen effect heeft op de dosis in de tumor. Tijdens IMRT of RapidArc bestraling zijn zowel de MLC-bladen als de tumor voortdurend in beweging, wat mogelijk tot lokale onder- of overdosering in het PTV kan leiden. In **hoofdstuk 4** evalueren we de dosimetrische nauwkeurigheid tussen de berekende en geleverde dosisverdelingen en de dosimetrische effecten van mogelijke samenspel van RapidArc bestraling voor patiënten met een stadium I long kanker. Filmdosimetrie bevestigde dat RapidArc de berekende dosis accuraat afleverde. Voor de meeste klinische behandelplannen kan het dosimetrische gevolg van het samenspel effect worden genegeerd. Behandelplannen met een hogere modulatie in combinatie met een grote tumor kunnen mogelijk dosimetrische fouten in een enkele boog vertonen, maar het gebruik van 2 bogen per fractie reduceert die fouten doordat er een middelend effect optreedt, daar de dosis worden toegediend gedurende tenminste 33 ademcycli.

Sinds de introductie in 2008, heeft de RapidArc treatment planning software een aantal verfijningen en verbeteringen ondergaan. **Hoofdstuk 5** analyseert de nauwkeurigheid van het AAA algoritme voor een variëteit van kleine velden in homogene en heterogene media, en voor RapidArc behandelplannen. Bestralingsplannen werden in twee software versies (AAA versie 8.6.15 (AAA8) en AAA versie 10.0.25 (AAA10)), berekend, met gebruikmaking van berekeningsresoluties van 2.5 mm en 1.0 mm. Beide berekenden de dosis nauwkeuriger in aan spierweefsel gelijkend dan in aan longweefsel gelijkend materiaal. AAA10 verbeterde de

nauwkeurigheid van de dosisberekeningen, en een berekeningsresolutie van 1.0 mm was beter dan een resolutie van 2.5 mm. Behandelplannen die een groot aantal kleine MLC segmenten bevatten, met daardoor een grotere modulatie en een groter aantal monitor eenheden (MU), en een PTV volume met een relatief groot gebied van weefsel met lage dichtheid, leiden tot fouten in de berekening. Berekeningen die gebruik maken van een 1 mm berekeningsresolutie worden aanbevolen voor deze behandelplannen, hoewel hierdoor de berekeningstijden met een factor 5 langer kunnen worden. Gedurende de optimalisatie moet sterke modulatie worden vermeden door passende beperkingen voor het maximum aantal MU te gebruiken.

De kans op kleine bewegingen van de patiënt tijdens een bestraling wordt vergroot door langere behandelzeiten, zoals die voorkomen bij SBRT. Een kortere bestralingstijd kan leiden tot een grotere nauwkeurigheid van de behandeling. In de meeste lineaire versnellers is een filter in de behandelkop geplaatst om een afgevlakte en meer homogene stralingsbundel te vormen. Deze functie was nodig bij conventionele planning technieken. De invoering van IMRT leidde tot het gebruik van een computergeoptimaliseerde planning met inhomogene bundels, waardoor deze filter niet langer noodzakelijk is. Zonder filter kan een hoger dosistempo worden afgegeven waardoor de behandelzeit sterk kan worden verkort. **Hoofdstuk 6** gaat over het gebruik van afvlakkingsfilter vrije (FFF) bundels in RapidArc bestraling voor SBRT van kleine longtumoren en wervelmetastasen. Vergeleken met behandelplannen die werden gegenereerd met standaard afgevlakte (FF) bundels, verminderen FFF plannen de stralingstijd met maximaal een factor 2.5, met het grootste effect voor SBRT van wervelmetastasen en bestralingen met hoge fractiedosis. Een fractiedosis van 18 Gy kan worden afgeleverd in 3 minuten. Er werden geen grote dosimetrische verschillen gevonden tussen deze twee technieken en de gemeten FFF plannen lieten een grote overeenstemming zien met de berekende dosisverdelingen. Deze uitkomsten suggereren dat een snellere bestraling, gebruik makend van FFF, beter is voor patiënten aangezien de kwaliteit van de behandelplannen er niet door wordt aangetast.

Bij een snelle bestralingsbehandeling met behulp van RapidArc en FFF stralingsbundels is het noodzakelijk een stabiele positie van de patiënt goed te monitoren gedurende de bestraling omdat een grote dosis in een zeer korte tijd wordt toegediend. Elke intrafractie beweging, zelfs verplaatsingen van een millimeter gedurende enkele seconden, kan al leiden tot grote dosimetrische fouten. **Hoofdstuk 7** handelt over een studie naar de mogelijke dosimetrische gevolgen op het ruggenmerg en de tumor, veroorzaakt door kortdurende intrafractie verschuivingen tijdens RapidArc behandelingen van wervelmetastasen met FFF en FF bundels. Bij verschuivingen van 1-5 mm gedurende 5-30 seconden tijdens gebruik van

FFF bundels werden steeds grotere dosimetrische afwijkingen gezien dan met FF bundels. Bij verschuivingen van 5 mm gedurende 10 seconden tijdens een FFF boog kan de maximale dosis in het ruggenmerg met meer dan 50% doen toenemen. Dit is een factor twee groter dan de toename die we zien in een vergelijkbare FF boog. Dit onderstreept het belang van een nauwkeurige controle van de patiënt positionering gedurende de bestralingsbehandeling met FFF bundels bij SBRT en elke onverwachte beweging zal snel moeten worden gecorrigeerd.

Hoofdstuk 8 bespreekt de rol van RapidArc bij conventionele en stereotactische radiotherapie, en de samenhang van de verschillende onderzoeken in deze thesis. Veel studies hebben rotationele IMRT vergeleken met andere methoden, waaronder conventionele IMRT, Tomotherapy en Cyberknife. Hoewel de dosimetrische verschillen niet consistent waren, vertoonde RapidArc steeds een veel grotere efficiëntie van bestraling. Daarnaast heeft de klinische implementatie van deze techniek voor verschillende tumoren discussie uitgelokt over de optimale configuratie, zoals het aantal bogen, coplanaire of niet coplanaire bundels, volledig of gedeeltelijk roterende bogen. Een beter begrip van de kwaliteit van het behandelplan, de bestralingsnauwkeurigheid en de toxiciteitspatronen zouden het treatment planningproces kunnen ondersteunen. Terwijl bestraling, gebruik makend van FFF bundels, de behandeltime verder kan beperken, moet ook het mogelijke risico dat gepaard gaat met hoge dosis bestraling in aanmerking worden genomen, zoals het mogelijke samenspel effect, en dosimetrische fouten, veroorzaakt door intrafractiebeweging van de patient. Gedurende de bestraling is snel reageren essentieel om iedere intrafractie beweging te registreren en eventueel de positie van de patient te corrigeren.