

# Nieuwe behandelmogelijkheden met tomotherapie

## New treatment options with tomotherapy

**Auteurs** E.J.A. Vonk, P. Bouma en V.G.M. Althof

**Trefwoorden** bijzondere indicaties, IMRT, tomotherapie

**Key words** IMRT, special indications, tomotherapy

### Samenvatting

Bij bestraling van maligne tumoren wordt gestreefd naar het geven van een zo hoog mogelijke dosis bij het zoveel mogelijk sparen van het gezonde weefsel teneinde een goede lokale controle te verkrijgen met zo weinig mogelijk acute en late toxiciteit. De grote technische vooruitgang in de radiotherapie de afgelopen jaren heeft dit doel een stap dichterbij gebracht. Met name de toepassing van intensiteitsgemoduleerde radiotherapie heeft hierbij een belangrijke rol gespeeld.

De Hi-Art® Tomotherapy-unit is speciaal ontwikkeld om intensiteitsgemoduleerde radiotherapie op een gebruikersvriendelijke, maar ook zeer geavanceerde manier mogelijk te maken. Dit artikel beschrijft de basisprincipes van het Hi-Art® Tomotherapy-systeem, de technische mogelijkheden en de toepassingsgebieden. Er worden enkele voorbeelden gegeven van situaties die in het verleden met conventionele technieken niet op een adequate manier konden worden behandeld.

*(Ned Tijdschr Oncol 2009;6:307-13)*

### Summary

In the treatment of malignant tumours with radiation the aim is to give a maximum dose to the tumour with sparing of healthy tissue to reach a good local control with low risk of acute and late toxicity. Technical developments in radiation oncology in recent years have made it possible to bring this goal closer. The implementation of intensity-modulated radiation therapy has played a major role to achieve this goal.

The Hi-Art® Tomotherapy unit has been developed especially for intensity-modulated radiation therapy. The system makes it possible to use intensity-modulated radiation therapy in a very practical but also advanced manner. This article describes the basic principles of the Hi-Art® Tomotherapy unit, the technical possibilities and area of clinical application. Some clinical examples will be shown in which the use of tomotherapy has made it possible to treat patients in situations where other radiation therapy systems were not able to deliver an acceptable treatment plan.

### Inleiding

Ongeveer de helft van de patiënten met kanker komt op enig moment in aanmerking voor radiotherapie. Afhankelijk van het stadium van de ziekte is het doel van de behandeling het bereiken van lokale controle met kans op genezing dan wel vermindering van klachten. In beide gevallen is het van belang de bijwerkingen en het risico op late effecten te beperken. Radiotherapie heeft de laatste 15 jaar een grote ontwikkeling doorgemaakt. Tot het midden van de jaren 90 van de vorige eeuw werden patiënten behandeld met relatief eenvoudige technieken met beperkte mogelijkheden om het bestraalde volume

qua vorm en grootte aan te passen aan het tumorvolume. De technische mogelijkheden werden vergroot met het beschikbaar komen van bestralingstoestellen met computergestuurde automatische 'multileaf' collimatoren (MLC) voor het aanpassen van de veldvorm en geavanceerde applicaties voor visualisatie en dosisberekening in 3 dimensies (3D). Een en ander heeft geleid tot de invoering van 3D conformatietherapie. Veel in de literatuur gepubliceerde gegevens zijn op deze techniek gebaseerd. De verbeterde mogelijkheden van beeldvorming met integratie van onder andere MRI en PET-CT binnen de radiotherapie, hebben geleid tot een betere definitie van



Figuur 1. Hi-Art® Tomotherapie in het Radiotherapeutisch Instituut Stedendriehoek en Omstreken.



Figuur 2. Schema met linksboven het 6 megavolt (MV)-bestralingstoestel en rechtsonder de CT-detector.

de doelgebieden en kritieke structuren.

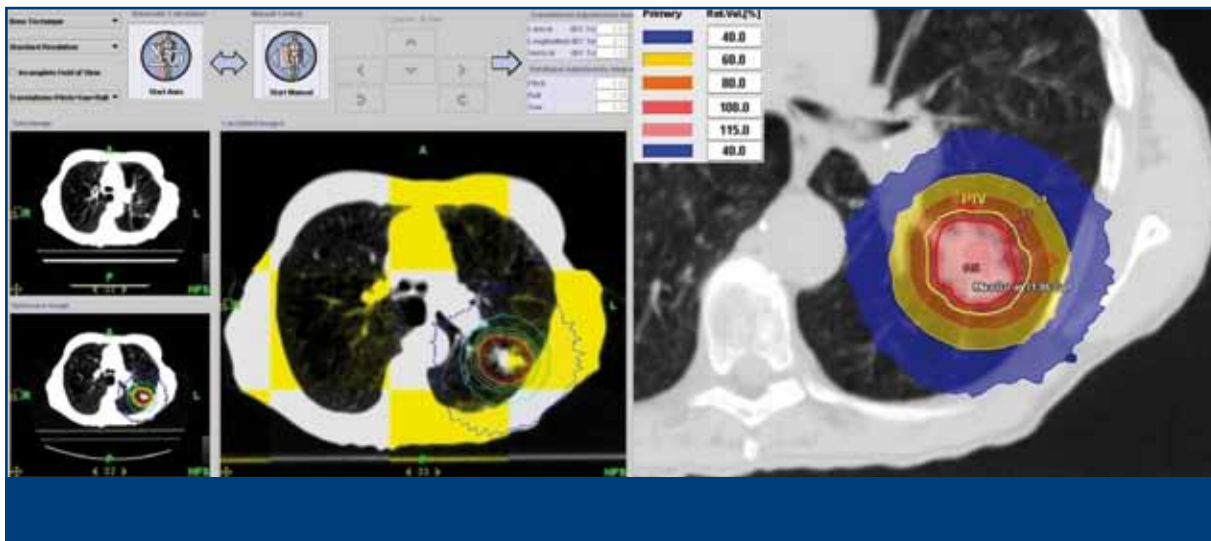
Door het innovatieve gebruik van MLC is, sinds midden jaren 90 van de vorige eeuw, intensiteitsmodulatie van de bestralingsbundel mogelijk geworden. Met intensiteitsgemoduleerde radiotherapie ('intensity-modulated radiation therapy', IMRT) is een grote conformiteit van de dosisverdeling aan het tumorvolume mogelijk, met tegelijkertijd de mogelijkheid de dosis in de normale weefsels te beperken. Dit verkleint het risico op complicaties en er kan een hogere tumordosis gegeven worden met mogelijk een betere lokale controle en een grotere kans op curatie. IMRT kan uitgevoerd worden met een regulier bestralingstoestel, waarbij gebruikgemaakt wordt van verscheidene (doorgaans 5-9) bestralingsvelden. Binnen elk bestralingsveld wordt de bestralingsintensiteit aangepast door met segmenten aanvullende doseringen te geven. Dit gebeurt door tussentijdse, computer-gestuurde aanpassing van de MLC. De laatste jaren is IMRT op de meeste afdelingen ingevoerd. Een veilige en adequate invoering van IMRT is echter niet eenvoudig omdat, naast klinische randvoorwaarden, het vinden van het optimale dosisplan en de controle van positie en dosis ingewikkelde vraagstukken zijn. Helaas wordt IMRT hierdoor over het algemeen toegepast voor een te beperkt aantal indicaties.

### Tomotherapie

De Hi-Art® Tomotherapy-unit (TomoTherapy Inc., Madison, WI, Verenigde Staten) is speciaal ontworpen voor IMRT.<sup>1,2</sup> In vergelijking met een andere

lineaire versneller ('linear accelerator', linac) zoals een Novalis Tx® of Cyberknife®, heeft tomotherapie een volstrekt ander werkingsmechanisme van intensiteitsmodulatie. Het is een op CT-principes geënt bestralingstoestel (zie *Figuur 1*). Het bestralingsveld is sleufvormig en heeft een lengte van 40 cm en een breedte in cranio-caudale richting van 1,0, 2,5 of 5,0 cm (alle getallen in het isocentrum, op 85 cm van de bestralingsfocus). Het bestralingsveld wordt geblokt door een MLC met 64 pneumatisch aangedreven 'leaves' die onafhankelijk van elkaar open of dicht staan (leafopeningstijd 0,02 sec). De 6 megavolt (MV)-versneller is gemonteerd in een CT-ring (zie *Figuur 2*), waardoor de versneller continu kan draaien (roteren) en bovendien vanuit alle richtingen, verdeeld in 51 hoeksegmenten, kan bestralen. De rotatiesnelheid is variabel, maar constant per bestralingsplan. Tijdens de bestraling beweegt ook de tafel met een constante snelheid. Door het gelijktijdig bewegen van het bestralingstoestel en de tafel, draait de stralenbundel in een spiraal rond de patiënt. Afhankelijk van de tafelsnelheid en de breedte van de bundel, wordt elk punt van de patiënt door overlap van de bundel gedurende 2 tot 5 rotaties bestraald. Per hoeksegment kan elk van de 64 'leaves' eenmaal open en dicht. Dit heet een 'beamlet'. In een behandelplan worden vele (tienduizenden) 'beamlets' gebruikt, die in intensiteit worden gemoduleerd door variatie van de openingstijd van de 'leaf'.

Het Tomotherapie Hi-Art®-systeem is geschikt voor zeer uiteenlopende indicaties. Grote bestralingsvolumina zijn mogelijk, omdat de bestralingstafel



Figuur 3. Stereotactische radiotherapie bij stadium I-longtumor, links controle MV-CT-scan, rechts dosisverdeling.

tijdens de bestraling een afstand van 160 cm kan afleggen. Hiermee kan de patiënt op de craniospinale as (myelum + schedelinhoud) worden bestraald zonder de problematiek van aansluiting van velden.<sup>3,4</sup> De smalste bestralingsbundel (1 cm) daarentegen, wordt gebruikt voor het toepassen van zeer kleine bestralingsvelden zoals die nodig zijn bij craniële stereotactie. Door de adequate afscherming is de lek- en stroostraling zeer laag. De dosis buiten het bestralingsveld is hierdoor, ondanks de relatief lange tijd dat de bundel aanstaat, niet groter dan bij IMRT met een conventioneel bestralingstoestel.<sup>5,6</sup>

De bestralingstijden variëren van 2 tot 10 min bij een fractiedosis van respectievelijk 2 tot 18 Gy. De totale behandelingstijden per fractie, inclusief hierna beschreven correcties ten behoeve van 'image-guided radiation therapy' (IGRT), bedragen hierbij respectievelijk 15 tot 37 min.

### 'Image-guided' en adaptieve radiotherapie

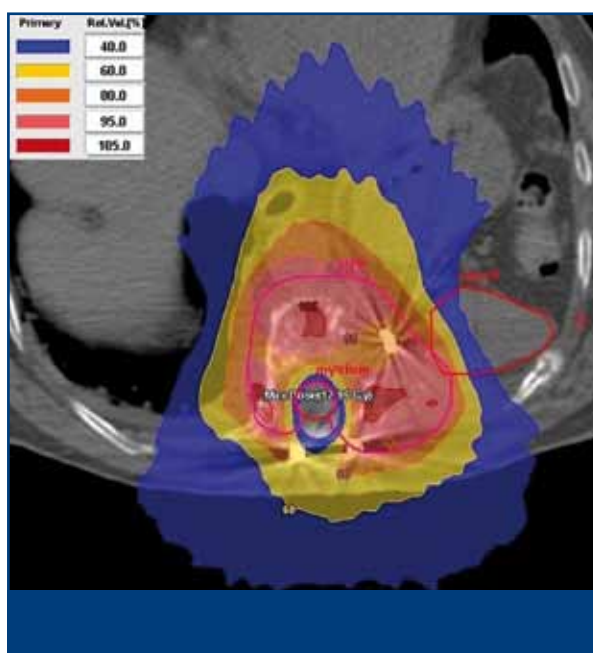
Door de ingebouwde MV-CT-scanner is tomotherapie een volledig IGRT-systeem. Ter controle van de patiëntpositie wordt, direct voorafgaand aan elke bestralingsfractie, een MV-CT-scan gemaakt (zie *Figuur 3*).<sup>7</sup> De dosis (2 cGy) die nodig is voor een dergelijke studie, is kleiner dan of vergelijkbaar met beeldvormingssystemen op conventionele bestralingstoestellen zoals de 'electronic portal imaging devices' (EPID) en de kilovolt (kV) 'cone beam' CT-systemen. De MV-CT (zie *Figuur 3*, geel) wordt automatisch gematched met de CT-scan (grijs) die gemaakt is in het voorbereidingstraject. Het systeem bepaalt de ver-

plaatsingsgegevens die nodig zijn om de patiënt exact in te stellen: de lengte-, hoogte- en breedteverplaatsing en rotaties in de vorm van een 'pitch' (helling), 'yaw' (draaiing) en 'roll' (kanteling).<sup>8</sup> Door de beperkingen van de tafel kan er geen correctie uitgevoerd worden voor de 'pitch' en de 'yaw'. De rollrotatie wordt adequaat gecorrigeerd doordat het systeem niet op de vooraf berekende gantryhoek begint te stralen, maar op het aantal graden van deze positie ter grootte van de gevonden correctie. De match wordt door de arts of laborant gecontroleerd door middel van een visuele controle in 3 richtingen en op meerdere coupes. Hierbij wordt tevens de ligging van het doelgebied (bijvoorbeeld longtumor) en van de kritieke organen beoordeeld aan de hand van de oorspronkelijke intekening, eventueel aangebrachte markers en de op de MV-CT-studie geprojecteerde isodoselijnen van het bestralingsplan.

De voor of na de behandeling gemaakte MV-CT-scan wordt, indien gewenst, gebruikt voor herberekening van de daadwerkelijk gegeven dosis.<sup>9</sup> Dit is met name van belang bij niet-corrigeerbare positieafwijkingen en contourveranderingen (door bijvoorbeeld gewichtsverlies of tumorreductie). Indien voornoemde herberekening niet voldoet aan de van te voren gestelde criteria, wordt op basis van de laatste MV-CT-scan een nieuw plan opgesteld voor de volgende behandelingen; men spreekt in deze situatie van adaptieve radiotherapie.

### Toepassingen

Doordat het Hi-Art<sup>®</sup> Tomotherapy-toestel speciaal



Figuur 4. Herbestraling (2 x 8=16 Gy) met adequate sparing van het myelum en de linkernier.

ontworpen is voor IMRT, met geïntegreerde hulpmiddelen voor 'image-guidance' en 'dose-guidance', is de implementatie van IMRT als nieuwe techniek met tomotherapie gemakkelijker dan met een ander bestralingstoestel. Dit is een belangrijk gegeven, gezien de relevantie van de invoering van een superieure techniek als IMRT in de Nederlandse radiotherapie. Tomotherapie is geschikt voor alle toepassingen die thans gebruikelijk zijn voor IMRT. Dit betreft hoofd-halstumoren, prostaatcarcinoom, endometriumcarcinoom, hersentumoren en stadium III-longtumoren.<sup>10-12</sup> Bij de behandeling van KNO-tumoren kan een grote sparing van de speekselklieren worden bereikt.<sup>13-16</sup> Hierdoor worden late bijwerkingen zoals een droge mond, beperkt. Bij het endometriumcarcinoom kan door het sparen van de dunne darm een vermindering van de acute bijwerkingen in de vorm van diarree verkregen worden.<sup>17,18</sup> In vergelijking met 3D conformatieradiotherapie wordt bij longtumoren een meer homogene bestraling van het tumorgebied verkregen, terwijl het volume gezond weefsel dat een hoge dosis krijgt, wordt verkleind.<sup>19</sup> Doordat een goede sparing van de slokdarm kan worden verkregen, is de ernst van de radiatie-oesofagitis verminderd en is de noodzaak van sondevoeding kleiner. Doordat er van alle kanten kan worden bestraald, wordt het volume longweefsel dat een lage dosis krijgt, wel vergroot. De exacte implicaties hiervan zijn niet bekend. Willner toonde in een studie



Figuur 5. Dosisverdeling bij een patiënt met cancer en cirrose.

onder 49 patiënten aan, dat het risico op radiatiepneumonitis afneemt bij een toename van het volume met een lage dosis (<10 Gy) met gelijktijdige afname van het hoge (>40 Gy) dosisvolume, oftewel dat spreiding van de dosis over een groot gebied met een lage dosis waarbij het volume met een hoge dosis afneemt, gunstig is.<sup>20</sup> Gezien de afname van de acute toxiciteit is naar verwachting een dosisescalatie mogelijk met naar alle waarschijnlijkheid een betere lokale controle en curatie.<sup>21</sup>

Door de hoge mechanische en dosimetrische precisie is tomotherapie geschikt voor radiochirurgie van hersenmetastasen of andere intracraniale processen en stereotactische bestraling van stadium I-longtumoren (zie *Figuur 3*). Hiervoor zijn geen extra voorzieningen nodig op het systeem. De bestralingstijd kan door de hoge dosis oplopen tot 30 min. Dit is vergelijkbaar met stereotactie bij een conventioneel bestralingstoestel of gamma knife.

Bij hersenmetastasen kunnen adequaat verscheidene metastasen in één behandelsessie in één totaalplan bestraald worden. Hierbij wordt gebruikgemaakt van een collimatorbreedte van 1 cm. Door de voorafgaande MV-CT-controle is er een optimale positionering mogelijk. Samen met de fixatiemethode HeadFix<sup>®</sup> van de firma Medical Intelligence (Schwabmünchen, Duitsland), is een variatie in patiëntpositionering behaald die minder is dan 1 mm (2 standaarddeviaties). Planningsstudies hebben aangetoond dat met tomotherapie vergelijkbare dosisverdelingen, met betere homogeniteit, behaald kunnen worden dan bij andere linac- en gamma knife-technieken.<sup>22-25</sup> Bij stereotactische radiotherapie voor patiënten met





Figuur 6. Dosisverdeling in het coronale, saggitale en transversale vlak: vlak bij bestraling van de schedelhuid en halsklierregio's.

een stadium I niet-kleincellig longcarcinoom, wordt de patiënt gefixeerd in een vacuümkussen.<sup>26-29</sup> Rekening houdend met de beweging van de tumor tijdens de ademhaling, wordt gebruikgemaakt van een 4D plannings-CT. Met deze techniek wordt de tumor gevisualiseerd als functie van de ademhalingscyclus. Voorafgaand aan de bestraling wordt niet alleen de positie van de patiënt ten opzichte van het bestralingstoestel op basis van botstructuren gecontroleerd en zo nodig aangepast, maar ook via directe visuele controle van de longtumor (longsetting) in 3 richtingen ten opzichte van de plannings-isodoselijnen, zodat er voor de start van de bestraling zekerheid is over een goede positionering van de tumor ten opzichte van het berekende bestralingsplan. Door na de behandeling een tweede controlescan te maken, kan er gecontroleerd worden of de tumor ook daadwerkelijk op de beoogde plaats is gebleven en kunnen zo nodig aanpassingen worden gedaan voorafgaand aan een volgende bestralingssessie.

## Speciale indicaties

### Herbestraling

Tomotherapie is bij uitstek geschikt voor de herbestraling van bijvoorbeeld een paravertebraal gelegen recidief van een longtumor of (solitaire) metastasen in de wervels gelegen nabij kritieke structuren, waarbij een goede sparing van het myelum kan worden bereikt (zie *Figuur 4*, pagina 310).<sup>30</sup> Hierbij kan een dosisreductie in het myelum worden verkregen tot 30% van de voorgeschreven dosis, bij een goede dekking van de omringende wervel en wekedelenuitbreiding van de tumor.

### Cancer en cuirasse (zie *Figuur 5*, pagina 310)

Patiënten met een uitgebreid recidief van mammacarcinoom in de thoraxwand vormen vaak een groot klinisch probleem. De tumoruitbreiding door lymfangitis carcinomatosa in de huid van de thoraxwand reikt in veel gevallen tot ver richting de rug waardoor met reguliere technieken geen goede oplossing gevonden kan worden.

Conventioneel worden combinaties van fotonen- en elektronenbestralingen gebruikt met gebruikmaking van meervelden- of rotatietechnieken. Het gebruik van verschillende velden geeft hierbij grote onzekerheden in dosisverdeling en aantoonbare onder- en overdoseringen in de aansluitgebieden van deze velden. Tomotherapie kent deze nadelen niet.<sup>31,32</sup> Hierdoor is het mogelijk het gehele gebied inclusief eventuele kliergebieden te bestralen, met een adequate sparing van de onderliggende organen zoals long, lever en hart.

### Totale schedelhuid

Een planningstechnisch grote uitdaging vormt de bestraling van de gehele schedelhuid, eventueel gecombineerd met bestraling van halsklierregio's. Conventionele bestraling met fotonen leidt tot een onacceptabele hersendosis en aantoonbare onder- en overdoseringen in het doelvolumen. Bestraling met elektronen beperkt de dosis in de hersenen, maar kent dezelfde problemen met de dosisverdeling. Planning met tomotherapie levert een uitstekende homogene dosisverdeling in het tumorgebied met een goede sparing van de hersenen, ogen en andere kritieke structuren.<sup>33</sup> *Figuur 6* toont de dosisverdeling bij een patiënt met een snel groeiend recidief van een

## Aanwijzingen voor de praktijk

1. Met tomotherapie is hoogwaardige intensiteitsgemoduleerde radiotherapie (IMRT) beschikbaar gekomen voor een breed spectrum aan indicaties. IMRT is de techniek van eerste keuze voor patiënten bij wie de bestralingsdosis voor het bereiken van lokale controle wordt beperkt door de noodzaak tot het sparen van kritieke organen.
2. Patiënten die behandeld moeten worden op grote irreguliere gebieden en bij wie aansluitproblemen ontstaan bij de conventionele bestralingstechnieken, komen in aanmerking voor behandeling met tomotherapie.

plaveiselcelcarcinoom op het hoofd en een merkelcelcarcinoom met satellietmetastasen en lymfekliermetastasen in de hals. Vrijwel de gehele schedelhuid en halsklierregio's ontvingen een electieve dosis van 50 Gy, terwijl macroscopisch tumorgebied een dosis ontving van 70 Gy. Bij controle 6 maanden na de behandeling was de patiënt tumorvrij, waren er geen klachten en was er, afgezien van alopecia, een cosmetisch fraai herstel van de hoofdhuid.

### Conclusie

Met tomotherapie is een brede implementatie van IMRT mogelijk. Met IMRT kunnen kritieke structuren beter worden gespaard en de tumor beter bestraald in vergelijking met 3D conformatieradiotherapie. Dit leidt tot minder toxiciteit en geeft de mogelijkheid tot dosisescalatie met waarschijnlijk een betere lokale tumorcontrole en genezing. Door de geïntegreerde MV-CT-beeldvorming (IGRT) is het tomotherapiesysteem geschikt om de dagelijkse positionering van de patiënt en de tumor te controleren en voor elke bestraling te corrigeren. Adaptieve radiotherapie wordt in de kliniek toegepast op basis van een dosisplanoptimalisatie op de MV-CT-scan die is gemaakt tijdens de bestralingsfractie. Het Hi-Art<sup>®</sup> Tomotherapie-systeem is geschikt voor toepassing in de radiochirurgie. Een bijzondere indicatie is de herbestraling van tumoren, met name tumoren gelegen nabij kritieke structuren. Bij de bestraling van grote oppervlakkige gebieden zoals de schedelhuid of thoraxwand met cancer en cuirasse, zo nodig gecombineerd met lymfekliergebieden, is tomotherapie superieur.

### Referenties

1. Mackie TR, Olivera GH, Kapatoes JM, Ruchala KJ, Balog JP, Tome WA, et al. Helical tomotherapy in intensity-modulated

radiation therapy: the state of the art. *Proceedings AAPM summer school, Palta JR, Mackie TR, editors. American Association of Physicists in Medicine: College Park MD; 2003. p. 247-84.*

2. Mackie TR. History of tomotherapy. *Phys Med Biol* 2006;51:R427-53.

3. Penagaricano JA, Papanikolaou N, Yan Y, Youssef E, Ratana-tharathorn V. Feasibility of cranio-spinal axis radiation with the Hi-Art tomotherapy system. *Radiother Oncol* 2005;76:72-8.

4. Bauman G, Yartsev S, Coad T, Fisher B, Kron T. Helical tomotherapy for craniospinal irradiation. *Br J Radiol* 2005;78:548-52.

5. Baechler S, Bochud FO, Verellen D, Moeckli R. Shielding requirements in helical tomotherapy. *Phys Med Biol* 2007;52:5057-67.

6. Ramsey C, Selbert R, Mahan SL, Desai D, Chase D. Out-of-field measurements for a helical tomotherapy system. *J Appl Clin Med Phys* 2006;7:1-11.

7. Schubert LK, Westerly DC, Tomé WA, Mehta MP, Soisson ET, Mackie TR, et al. A comprehensive assessment by tumor site of patient setup using daily MVCT imaging from more than 3,800 helical tomotherapy treatments. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2009;73:1260-9.

8. Kaiser A, Schultheiss TE, Wong JY, Smith DD, Vora NL, Pezner RD, et al. Roll and yaw variations in patient positioning. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006;66:1949-55.

9. Woodford C, Yartsev S, Dar AR, Bauman G, Van Dijk J. Adaptive radiotherapy planning on decreasing gross tumor volumes as seen on megavoltage computed tomography images. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007;69:1316-22.

10. Ramsey CR, Scaperoth D, Selbert R, Chase D, Byrne T, Mahan S. Image-guided helical tomotherapy for localized prostate cancer: technique and initial clinical observations. *J Appl Clin Med Phys* 2007;8:2320.

11. Keiler L, Dobbins D, Kulase R, Einstein D. Tomotherapy for prostate adenocarcinoma: a report on acute toxicity. *Radiother Oncol* 2007;84:171-6.

12. Cozzi L, Clivio A, Bauman G, Cora S, Nicolini G, Pellegrini R, et al. Comparison of advanced irradiation techniques with photons for benign intracranial tumours. *Radiother Oncol* 2006;80:268-73.

13. Saibishkumar EP, Scrimper RA, MacKenzie MA, Daly H, Field C, Fallone G, et al. Sparing the parotid glands and the surgically transferred submandibular gland with helical tomotherapy in post-operative radiation of head and neck cancer: a planning study. *Radiother Oncol* 2007;85:98-104.
14. Fiorino C, Dell'Óca I, Pierelli A, Broggi S, De Martin E, Di Muzio N, et al. Significant improvement in normal tissue sparing and target coverage for head and neck cancer by means of helical tomotherapy. *Radiother Oncol* 2006;78:276-82.
15. Van Vulpen M, Field C, Raaijmakers CP, Parliament MB, Terhaard CH, Mackenzie MA, et al. Comparing step-and-shoot IMRT with dynamic helical tomotherapy IMRT plans for head-and-neck cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;62:1535-9.
16. Voordeckers M, Everaert H, Tournel K, Verellen D, Baron I, Van Esch G, et al. Longitudinal assessment of parotid function in patients receiving tomotherapy for head-and-neck cancer. *Strahlenther Onkol* 2008;184:400-5.
17. Lian J, Mackenzie M, Joseph K, Dundas N, Urtasun R, Pearcey R. Assessment of extended-field radiotherapy for stage IIIC endometrial cancer using three-dimensional conformal radiotherapy, intensity-modulated radiotherapy, and helical tomotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2008;70:935-43.
18. Lian J, Mackenzie M, Joseph K, Pervez N, Dundas G, Urtasun R, et al. Assessment of extended-field radiotherapy for stage IIIC endometrial cancer using three-dimensional conformal radiotherapy, intensity-modulated radiotherapy, and helical tomotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2008;70:935-43.
19. Cattaneo GM, Dell'Óca I, Broggi S, Fiorino C, Perna L, Pasetti M, et al. Treatment planning comparison between conformal radiotherapy and helical tomotherapy in the case of locally advanced-stage NSCLC. *Radiother Oncol* 2008;88:310-8.
20. Willner J, Jost A, Baier K, Flentje M. A little to a lot or a lot to a little. *Strahlenther Onkol* 2003;8:548-56.
21. Adkinson JB, Khuntia D, Bentzen SM, Cannon GM, Tomé WA, Jaradat H, et al. Dose escalated, hypofractionated radiotherapy using helical tomotherapy for inoperable non-small cell lung cancer: preliminary results of a risk-stratified phase I dose escalation study. *Technol Cancer Res Treat* 2008;7:441-7.
22. Baisden JM, Benedict SH, Sheng K, Read PW, Larnier JM. Helical Tomotherapy in the treatment of central nervous system metastasis. *Neurosurg Focus* 2007;22:E8.
23. Peñagaricano JA, Yan Y, Shi C, Linskey ME, Ratanatharathorn V. Dosimetric comparison of helical tomotherapy and gamma knife stereotactic radiosurgery for single brain metastasis. *Radiat Oncol* 2006;1:26.
24. Han C, Liu A, Schultheiss, Pezzner RD, Chen YJ, Wong JY. Dosimetric comparisons of helical tomotherapy treatment plans and step-and-shoot intensity-modulated radiosurgery treatment plans in intracranial stereotactic radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006;65:608-16.
25. Holmes TW, Hudes R, Dziuba S, Kazi A, Hall M, Dawson D. Stereotactic image-guided intensity modulated radiotherapy using the HI-ART II helical tomotherapy system. *Med Dosim* 2008;33:135-48.
26. Baisden JM, Rommey DA, Reish AG, Cai J, Sheng K, Jones DR, et al. Dose as a function of lung volume and planned treatment volume in helical tomotherapy intensity-modulated radiation therapy-based stereotactic body radiation therapy for small lung tumors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007;68:1229-37.
27. Hodge W, Tomé WA, Jaradat HA, Orton NP, Khuntia D, Traynor A, et al. Feasibility report of image guided stereotactic radiotherapy (IG-SBRT) with tomotherapy for early stage medically inoperable lung cancer using extreme hypofractionation. *Acta Oncol* 2006;45:890-6.
28. Joyner M, Salter BJ, Papanikolaou N, Fuss M. Stereotactic body radiation therapy for central located lung lesions. *Acta Oncol* 2006;45:802-7.
29. Ramsey CR, Langen KM, Kupelian PA, Scaperoth DD, Meeks SL, Mahan SL, et al. A technique for adaptive image-guided helical tomotherapy for lung cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006;64:1237-44.
30. Mahan SL, Ramsey CR, Scaperoth DD, Chase DJ, Byrne TE. Evaluation of image-guided helical tomotherapy for the retreatment of spinal metastasis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;63:1576-83.
31. Orton N, Jaradat H, Welsh J, Tomé W. Total scalp irradiation using helical tomotherapy. *Med Dosim* 2005;30:162-8.
32. Khuntia D, Jaradat H, Orton N, Tomé W, Mehta MP, Welsh JS. Helical tomotherapy as a means of administering total or partial scalp irradiation: in regards to Bedford et al. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006;64:1288-9.
33. Hardcastle N, Soisson E, Metcalfe P, Rosenfeld AB, Tomé WA. Dosimetric verification of helical tomotherapy for total scalp irradiation. *Med Phys* 2008;35:5061-8.

Ontvangen 24 juni 2009, geaccepteerd 14 september 2009.

## Correspondentieadres

Dhr. drs. E.J.A. Vonk, radiotherapeut-oncoloog  
Dhr. dr. P. Bouma, radiotherapeut-oncoloog  
Dhr. drs. V.G.M. Althof, klinisch fysicus

Radiotherapeutisch Instituut Stedendriehoek en Omstreken (RISO)  
Postbus 123  
7400 AC Deventer  
Tel.: 0570 646 900  
E-mailadres: e.vonk@risomail.nl

Correspondentie graag richten aan de eerste auteur.

Belangenconflict: geen gemeld.  
Financiële ondersteuning: geen gemeld.