

Stereotactische radiotherapie van wervelmetastasen op een Novalis Tx lineaire versneller

Ingrid T. Kuijper¹ MSc, Wilko F.A.R. Verbakel² PhD, PDEng, MSc, Max Dahele³ MBChB, MSc, FRCP, FRCR

¹ Research/all-round MBB'er (radiotherapeutisch laborant), ² klinisch fysicus, ³ radiotherapeut

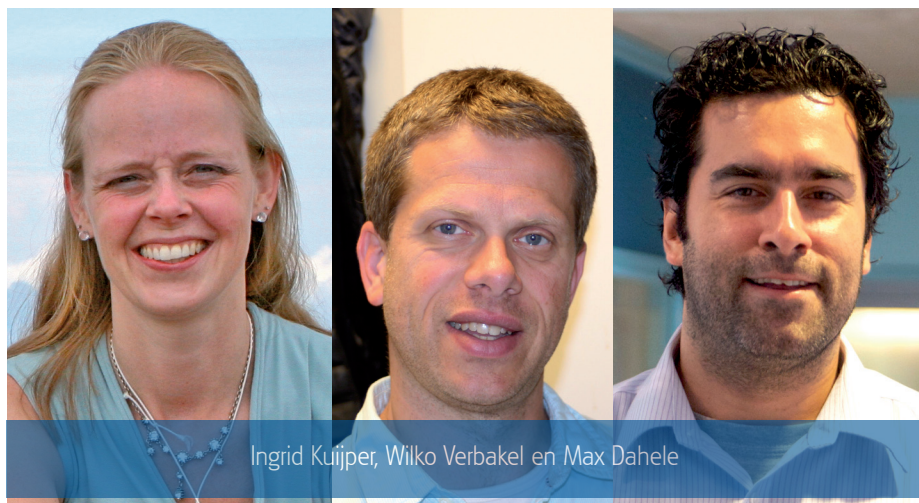
Stereotactische radiotherapie van wervelmetastasen vereist een hoge precisie in alle stappen van de behandeling. Deze techniek werd in het VU medisch centrum in 2009 geïntroduceerd. Data met betrekking tot de behandeling van de eerste 17 klinische patiënten is geëvalueerd. Deze patiënten werden behandeld op een Novalis Tx versneller die beschikt over zowel een kilovolt (kV) cone beam CT (CBCT) scan als het ExacTrac® kV röntgensysteem. De gebruikte methode van de verschillende beeldmodaliteiten voor positionering en verificatie, de behandelingstijd en de intra-fractie beweging worden in dit artikel beschreven.

Het VU medisch centrum heeft een research overeenkomst met Varian Medical Systems Inc en BrainLAB AG.

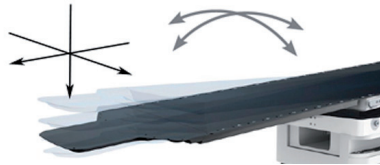
Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het VU Medisch Centrum te Amsterdam en in het kader van de opleiding Msc Radiation Oncology (juli 2011) aan de Hogeschool Inholland te Haarlem.

Introductie

Wervelmetastasen komen bij ongeveer 30-50% van alle kankerpatiënten voor [6]. De verwachting is dat symptomatische wervelmetastasen bij kankerpatiënten zullen toenemen aangezien de laatste jaren de overleving van kanker sterk is verbeterd. Daarnaast komt steeds meer ruimte voor geïndividualiseerde behandeling, mede als gevolg van nieuwe diagnostische methoden en behandelingstechnieken. Een van deze nieuwe technieken is stereotactische radiotherapie, dat zich de afgelopen jaren heeft ontwikkeld als een optie voor geselecteerde patiënten met wervelmetastasen [2,14]. De meeste studies zijn gedaan in één instituut en beschrijven voor deze behandeling een hoog percentage van pijnbestrijding met beperkte neveneffecten [12]. Sinds 2009 is een fase II/III klinische trial vanuit meerdere instituten (RTOG 0631) gestart die stereotactische bestraling (1 x 16 Gy) van wervelmetastasen vergelijkt met conventionele radiotherapie (1x 8 Gy) [11]. Bij stereotactische bestraling wordt gebruik gemaakt van meerdere bestralingsvelden en een geavanceerde



Ingrid Kuijper, Wilko Verbakel en Max Dahele



Figuur 1. Foto van de Novalis Tx zoals deze in het VU medisch centrum staat. Op de tafel is een masker te zien met IR- markers en de referentie ster is aan de bestralingstafel bevestigd. Rechts is een afbeelding te zien van de Robotic® tafel van het ExacTrac systeem die naast translatie ook rotatie correcties kan uitvoeren (pitch en roll).

planningstechniek, zoals conventionele intensiteitsgemoduleerde RT (IMRT) of volumetrische gemoduleerde arc (boog) therapie om de dosis in de kritieke structuren zoveel mogelijk te beperken [8,13]. Vanwege de hoge dosis die bij stereotactische radiotherapie wordt gegeven en de nabijheid van het ruggenmerg (myelum), is een hoge precisie vereist in elke stap van het behandelproces van diagnostische beeldvorming, radiotherapie planning, patiënten set-up (on-line beeldvorming) tot de uiteindelijke bestralingsafgifte. Dit betekent bijvoorbeeld dat bewaking van de intra-fraction beweging van de patiënt essentieel is voor een accurate dosisaanbreng aan het doelvolume.

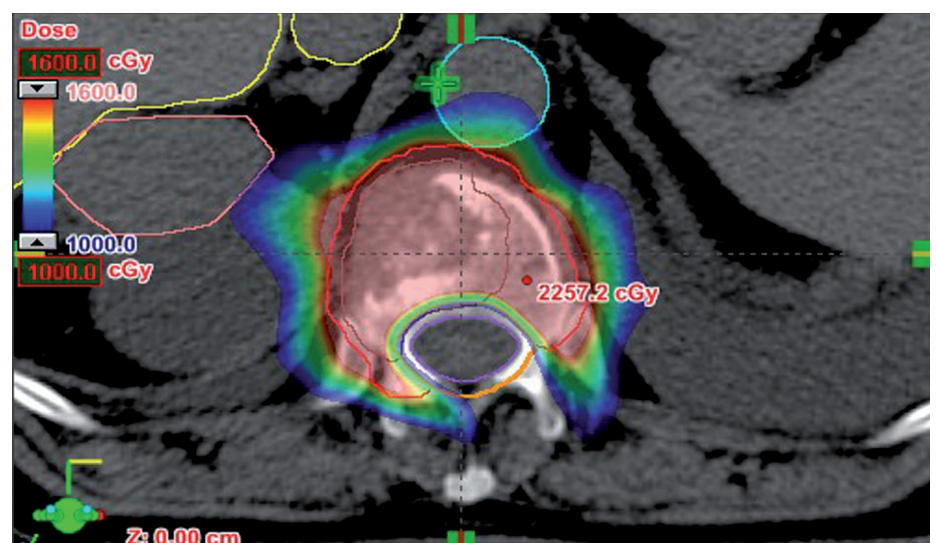
Sinds september 2009 wordt in het VU Medisch Centrum (VUmc) in Amsterdam stereotactische radiotherapie van wervelmetastasen uitgevoerd als een routine klinische behandeling voor geselecteerde patiënten met wervelmetastasen (huidig gemiddelde ongeveer 1-2 / maand). De bestraling vindt plaats op een Novalis Tx lineaire versneller (figuur 1, BrainLAB / Varian Medical Systems). De keuze voor de meest optimale behandeling voor een patiënt wordt gemaakt vanuit een multidisciplinaire setting waarbij de radiotherapeut samenwerkt met MBB'ers (radiotherapeutisch laboranten), klinische fysica, neuro-radiologie, internist-oncologen en neurochirurgie. Sommige patiënten kwamen in aanmerking voor re-irradiatie of hadden een complexe palliatieve behandeling nodig, anderen hadden een beperkte metastasering (oligometastasen) en hierbij was dosisescalatie van belang voor een zo goed mogelijke lokale controle. Patiënten werden zowel vanuit het VU medisch centrum als uit externe ziekenhuizen doorverwezen. Na en tijdens de behandeling van de eerste bestraalde patiënten werd voortdurend de nauwkeurigheid van de techniek, de gebruikte apparatuur en het bestralingsproces bekeken [10].

In dit artikel zal een evaluatie aan bod komen met betrekking tot het klinische beeldvormingprotocol, de tijdsduur van de behandeling, de patiëntenpositionering en de beweging van de patiënt tijdens een fractie.

Methoden and Materialen

Een retrospectieve evaluatie werd uitgevoerd van de eerste 17 behandelde patiënten tijdens het eerste jaar van het programma (totaal 35 fracties) gebaseerd op anonieme routine klinische informatie. Alle patiënten hadden spinale of paraspinale metastasen en werden geselecteerd voor stereotactische RT aan de hand van factoren als conditie van de patiënt, de levensverwachting, eerdere behandelingen en de mogelijkheid tot herbestraling. Voorafgaand aan de bestraling kregen alle patiënten een 'magnetic resonance imaging' (MRI) scan volgens een speciaal protocol

waarbij gecorrigeerd wordt voor vervorming (2D distortie correctie) [3]. Daarna werd een plannings 'computed tomography' (CT) scan gemaakt met 1.25 mm coupedikte, met aanvullende reconstructies voor meer details. Alle patiënten kregen een RapidArc® volumetrisch gemoduleerde arc therapie (Varian Medical Systems, figuur 2) waarbij de dosis werd afgegeven met 2-3 bogen voor een optimale dosisverdeling en om frequente bewaking van intra-fraction beweging mogelijk te maken [8]. Een marge van 2-3 mm (behalve in het wervelkanaal) werd gebruikt voor het zogenoemde doelvolume, het planning target volume (PTV) en 1-2 mm voor het planning risk volume (PRV) van het myelum/cauda equina. De fractionering die werd toegepast, bestond uit ofwel 1 fractie van 16 Gy, of 2-3 fracties van 9 Gy. De huidige fractionering is 1x 20 Gy, 3x 10 Gy, 5x 7 Gy of een ander aangepast individueel schema bij patiënten die al eerder zijn bestraald in deze regio. Het streven was een minimale dekking van 90% van het PTV met de voorgeschreven dosis met zoveel mogelijk beperking van de dosis in het myelum. Bij sommige patiënten werd juist een minimale myelum dosis gegeven indien epidurale uitbreiding zichtbaar was. De maximale dosis in het PTV werd beperkt tot 150% van de voorgeschreven dosis. De behandeling werd uitgevoerd met een dosis tempo van 600 MU/min (n = 4) of 1000 MU/min (n = 13).



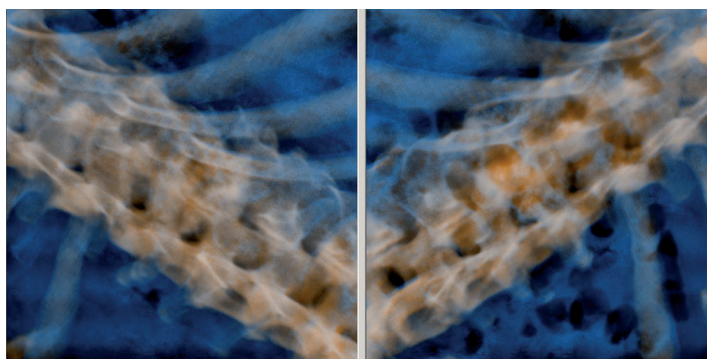
Figuur 2. Een voorbeeld van een RapidArc® dosisverdeling van een patiënt met een metastase ter hoogte van de 12^e thoracale wervel. In rood de voorgeschreven dosis van 16 Gy of meer, in blauw de 10 Gy dosis. Zie de steile dosisgradiënt op de overgang tussen PTV (rode contour) en spinale kanaal (paarse contour).

ExacTrac® systeem

Het ExacTrac (ET) röntgensysteem (BrainLAB) bestaat uit twee infrarood (IR)-camera's en twee diagnostische kV röntgenbuizen gemonteerd in de vloer en twee bijbehorende amorfe silicium digitale detectoren gemonteerd aan het plafond (figuur 1). De IR-camera's worden gebruikt voor detectie van de IR-markers op het lichaam van de patiënt of een IR-referentie-ster welke is bevestigd aan de zijkant van de bestralingstafel. Het stereoscopische ExacTrac röntgensysteem wordt gebruikt voor positieverificatie op basis van botstructuren [16]. Na het maken van twee stereoscopische beelden worden deze vergeleken met behulp van een 6D-fusie softwareprogramma met verschillende sets van digitale gereconstrueerde röntgenbeelden (DRRs), afgebeeld in figuur 3. Dit levert een 6D-offset (3 translatie- en 3 rotatierichtingen) op. Wanneer de match akkoord is bevonden, wordt de tafel verschoven naar de juiste positie, waarbij gebruik wordt gemaakt van het IR-systeem en de zogenaamde robotic® tafel (BrainLAB figuur 1) die naast translaties ook rotaties kan uitvoeren, waaronder de draaiing rondom de laterale en longitudinale as (respectievelijk pitch en roll beweging, figuur 1). De correcties worden weergegeven in honderden van millimeters, maar in de klinische praktijk is de nauwkeurigheid tienden van millimeters [16]. De IR-markers kunnen als gevolg van ademhaling van de patiënt bewegen waardoor een mogelijke onnauwkeurigheid in de tafelcorrectie ontstaat. Als de IR-markers teveel bewegen, wordt een IR-referentie-ster gebruikt om de tafelverschuiving nauwkeurig uit te voeren. Nadat de tafel is verschoven, kunnen de ExacTrac röntgenopnamen worden herhaald om de uiteindelijke patiëntpositie nogmaals te controleren. Indien nodig kan er nogmaals een tafelverschuiving worden uitgevoerd totdat de waarden van de match binnen een vooraf gedefinieerde tolerantie vallen [7]. Verificatie van de positie van de patiënt is tijdens de behandeling mogelijk aan de hand van de IR-markers op het lichaam van de patiënt en na elke boog met behulp van het ExacTrac röntgensysteem. Dit systeem wordt gebruikt voor verificatie van de intra-fractiebeweging, omdat de stereoscopische opnamen en de geautomatiseerde botmatch snel kan worden uitgevoerd (1-2 minuten).

Cone Beam CT (CBCT) scan

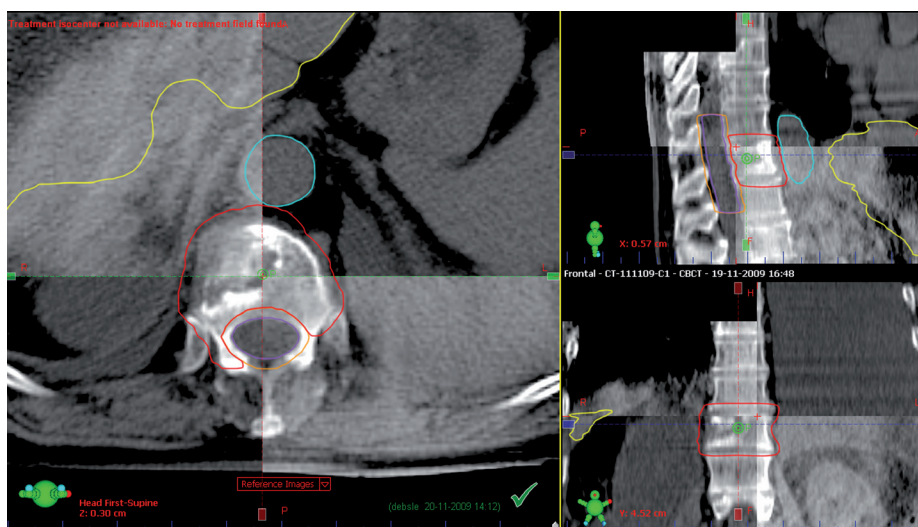
De on-board-imager (OBI, Varian Medical Systems), bestaande uit een kV-bron met een grote vlakke amorfe silicium (aSi1000) detector en is met robotarmen bevestigd aan de lineaire versneller [1]. Een CBCT-scan wordt gemaakt door met de OBI 365-655 röntgenprojecties op te nemen over 200°-360° aan gantry-rotatie. Na reconstructie



Figuur 3. ExacTrac (ET) röntgenbeelden van de thoracale wervelkolom die de matching van het ET röntgenbeeld (blauw) laat zien met de DRR van de planning CT-scan (oranje).

worden volumetrische beelden van de anatomie van de patiënt verkregen. Voor de CBCT-scan van patiënten met wervelmetastasen werden full fan opnamen gebruikt over een gantry rotatie van 200°. De CBCT-beelden werden voornamelijk gereconstrueerd met behulp van de pelvic spotlight modus met 1.5 mm coupedikte en een 512x512 matrix om een zo groot mogelijke spatiale resolutie te verkrijgen (figuur 4). Na volumetrische registratie van de CBCT-scan met de plannings CT-scan, geeft de Novalis Tx versneller de tafelcorrecties weer met afronding op hele millimeters en de tafel kan ook met een nauwkeurigheid van een millimeter verschoven worden. Registratie vindt doorgaans plaats op de wervels van het PTV. De registratie wordt gecontroleerd, en indien nodig handmatig aangepast door de MBB'ers op het toestel, meestal in aanwezigheid van een fysicus of radiotherapeut.

De correcties worden automatisch doorgestuurd naar de lineaire versneller en de bestralingstafel wordt in de juiste positie verschoven [7]. Doordat de CBCT-scan niet is gekoppeld aan de robotic tafel, zijn verschuivingen alleen in 4 richtingen mogelijk (3 translaties en de tafelrotatie-as richting). De pitch en roll waren dan al gecorrigeerd door het gebruik van het ExacTrac systeem. Omdat het ExacTrac systeem geen volumetrische beelden geeft en de CBCT-scan wel een volumetrische visualisatie geeft van het PTV en de omringende kritieke organen, wordt de CBCT-scan gebruikt als de uiteindelijke beeldvorming voordat de bestraling werd gestart. De CBCT-scan werd ook gebruikt ter controle van de positionering als de ExacTrac verificatiebeelden aangaven dat de patiënt meer was verschoven dan de tolerantiewaarde (1.0 mm en 1.0°).



Figuur 4. CBCT-scan van een patiënt met een split window. Linksboven en rechtsonder is de CBCT-scan te zien, rechtsboven en linksonder de planning CT-scan. Omringende kritieke organen zijn goed te zien op de CBCT-scan.

Patiënt positionering, behandelingstijd, beeldvorming (IGRT) protocol en intra-fractie beweging

De patiënt werd zo comfortabel mogelijk in rugligging gepositioneerd op een dun matras en kniesteun, met (indien mogelijk) beide armen omhoog in een Posirest steun (Sinmed). Een fixatiemasker werd gebruikt bij bestraling van hoger gelegen wervels (hoog thoracaal en cervicaal). Indien nodig werd vlak voor de bestraling pijnstilling gegeven.

De ExacTrac IR-markers werden geplaatst op het masker, op de borstwand of op uitwendige benige structuren van het bekken, afhankelijk van de tumor locatie. De positie van de markers werd gemarkeerd door een kleine tattoo te zetten vlak na de CT-scan. Indien de markers op de huid teveel bewogen, werd tijdens de bestraling gebruik gemaakt van een referentie-ster met vaste IR-markers die werd bevestigd aan de bestralingstafel (beschreven in paragraaf ExacTrac systeem). Tevens werden op de huid van de patiënt lange laser lijnen met inkt getekend om het positioneren van de patiënt in de behandelingspositie, vooral in laterale en longitudinale richting te optimaliseren. De tolerantiewaarden die in het VUmc worden gehanteerd voor stereotactische wervelbestraling voor beweging van de patiënt zijn: ≤ 1 mm en $\leq 1^\circ$ in respectievelijk een translatie- en rotatie richting. Voor elke patiënt werd per fractie gekeken naar enerzijds de totale tijdsduur van een behandelingsfractie en anderzijds naar de tijdsduur van de verschillende onderdelen van de behandeling. Hierbij werd de behandelingstijd opgedeeld in twee fasen: Fase I bestond uit de tijd nodig van het omkleden van de patiënt tot het begin van de CBCT-scan. Fase I was onderverdeeld in fase Ia; het omkleden van de patiënt tot de eerste ExacTrac opname en fase Ib de tijd nodig voor de ExacTrac opnamen tot de start van de CBCT-scan. Fase II bestond uit de tijd vanaf de start van de CBCT-scan tot het einde van de bestraling en was onderverdeeld in fase IIa de tijd nodig voor het maken van de CBCT-scan, het matchen en monitoren van de patiënt met behulp van het ExacTrac röntgensysteem (= 'imaging' tijd) en IIb de werkelijke bestralingstijd ('beam-on' tijd).

Het klinische beeldvormingsprotocol bestond uit:

- (1) Patiëntpositionering met behulp van inktlijnen / IR-markers en röntgenbeelden met 6 dimensionale tafelcorrecties uitgevoerd met de robotic® tafel. Een tweede paar röntgenbeelden werd gemaakt ter verificatie van de tafelcorrecties/mogelijke beweging van de patiënt.

- (2) Een CBCT-scan voor de uiteindelijke positionering. Indien de tafelpositie werd gecorrigeerd na de CBCT-scan, dan werd een nieuwe set van verificatie ExacTrac röntgenbeelden gemaakt om een zogenaamde basis ('baseline') vast te stellen nodig voor het kunnen monitoren van de patiëntbeweging. Indien geen verdere correctie nodig was na de CBCT-scan, beschreven de ExacTrac coördinaten van (1) de baseline positie.
- (3) ExacTrac röntgenbeelden na elke bestralingsboog om verschuivingen van de patiënt te detecteren. Bij verplaatsing van de patiënt van meer dan 1.0 mm of 1.0° ten opzichte van de ExacTrac baseline, werd een nieuwe CBCT-scan gemaakt en deze werd zonnodig gecorrigeerd, waarna een geactualiseerde ExacTrac baseline werd vervaardigd.

Om de beweging van de patiënt tijdens een fractie weer te geven werd het verschil gemeten tussen de ExacTrac 'baseline' positie waarden en ExacTrac verificatie beelden die werden gemaakt tussen de bestralingsbogen door en na de bestraling. Indien de positie moest worden gecorrigeerd tijdens

één fractie werd een nieuwe 'baseline' berekend en gebruikt voor het bepalen van elke verdere beweging die nog optrad tijdens deze fractie.

Resultaten

Van de 17 patiënten was de PTV locatie thoracaal (n=7), thoracaal en lumbaal (n=2), lumbaal (n=5), sacraal (n=3) of cervicaal (n=2). Twee patiënten werden bestraald op 2 PTV's. Drie patiënten werden geïmmobiliseerd met een masker. De lengte van het PTV varieerde van 1-6 wervellichamen (mediaan = 1). Het mediaan PTV volume was 120 cm³ (5-831 cm³). Op het bestralingstoestel werkten de arts, de klinisch fysicus en de MBB'ers nauw samen om het proces van beeldvorming te controleren met betrekking tot verificatie van de positionering en bewaking van de beweging van de patiënt.

Behandelingstijd

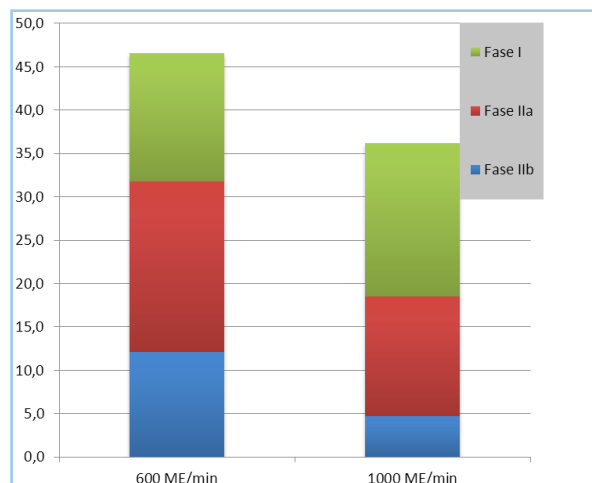
De resultaten van de verschillende onderdelen van de behandelingstijd wordt weergegeven in tabel 1. De gemiddelde totale behandelingsduur (fase I+II) was 39 (range 23-67) minuten. De tijd nodig voor alle beeldvorming (imaging in Fase Ib + fase IIa) was gemiddeld 24 (10-54) minuten en nam het grootste

Tabel 1. Onderverdeling van totale behandelingstijd in fase I en II in minuten voor de 17 patiënten. Fase I is de tijd vanaf het ophalen van de patiënt tot aan het maken van de CBCT-scan en onderverdeeld in fase Ia = Omkleden-eerste ExacTrac beeld, fase Ib = ExacTrac beeld tot CBCT-scan, fase IIa (IGRT tijd) = de CBCT-scan tot eind van de bestraling minus de 'beam-on tijd en fase IIb = 'Beam-on' tijd.

	Totale tijd	Phase I tot	Phase Ia	Phase Ib	Phase II tot	Phase IIa	Phase IIb	Phase IIb
	Fase I+II	(kleedkamer-CBCT)	(kleedkamer-ET)	(ET-CBCT)	(CBCT-eind)	(IGRT tijd)	(Beam-on) 600 MU/min	(Beam-on) 1000 MU/min
	n=17	n=17	n=17	n=17	n=17	n=17	n=4	n=13
Gem.	39	17	9	8	22	16	12	5
Range	23-67	10-26	4-7	3-22	9-48	7-32	10-15	3-11
Mediaan	37.7	16.5	10.0	6.5	20.9	17.1	11.4	4.1

Figuur 5.

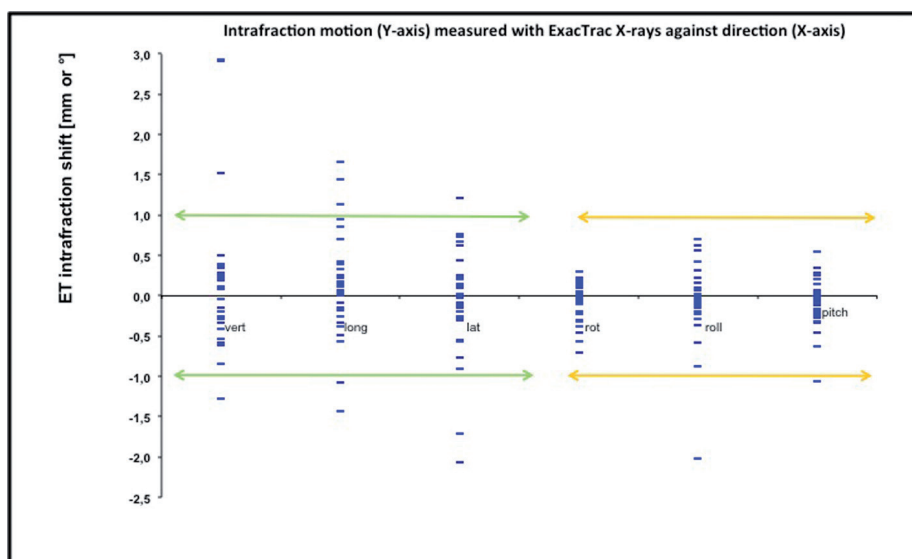
Vergelijken van tijden voor fase I (initiele positionering en imaging), fase IIa (imaging) en fase IIb bestralingstijd (beam-on tijd) voor verschillende dosistempo's van 600 ME/min (n=4) en 1000 ME/min (n=13).



deel in beslag van de totale behandelingsduur. De gemiddelde beam-on tijd (fase II b) kon worden verkleind van 12 (10-15) naar 5 (3-11) minuten door verhoging van het dosistempo van 600 ME / min (n=4) naar 1000 ME/min (n=13). Deze tijd was afhankelijk van het aantal monitoreenheden, wat afhangt van de fractiedosis en de complexiteit van het bestralingsplan. Een overzicht van de verhouding tussen de verschillende behandelings tijden bij verschillende dosistempo's wordt weergegeven in figuur 5.

Intra-fractie beweging

De intra-fractie beweging werd gemeten in de tijdsduur van fase II. Eén patiënt is buiten beschouwing gelaten omdat geen ExacTrac beelden zijn gemaakt. De data van 16 patiënten werden geanalyseerd aan de hand van de ExacTrac beelden voor 30 fracties met in totaal 80 metingen per translatie en rotatie richting (figuur 6). Een overzicht van het gemiddelde, standaarddeviatie en het bereik wordt weergegeven in tabel 2. De patiëntpositie was zelden buiten de tolerantie: 16/240 (7%) translatiemetingen waren groter of gelijk aan 1.0 mm en 4/240 (2%) rotatiemetingen waren groter of gelijk aan 1.0°. Van deze in totaal 20 waarden buiten de tolerantie was gemiddeld 30 % na de laatste bestralingsboog gemeten en 45 % was kleiner dan 1.1 mm / °. Een extra CBCT-scan is gemaakt in 4 van de 30 fracties om de positie van de patiënt te verifiëren naar aanleiding van de ExacTrac röntgenbeelden. In drie van de vier gevallen vond een correctie plaats van 1-2 mm. Als de waarde ≤ 1.1 mm / ° was en nog één bestralingsboog gegeven moest worden, is bij sommige patiënten besloten om ten behoeve van de snelheid van de behandeling en de conditie van de patiënt geen extra CBCT-scan meer te maken. De verschillen tussen de translaties die de ExacTrac beelden en de CBCT-scan berekenden, waren in alle gevallen in de orde van grootte van



Figuur 6. Intrafractie-beweging gemeten met ExacTrac röntgen opnamen in mm of graden. 95% van de metingen (2 SD) was < 1.0 mm and 95% $< 1.0^\circ$ (n= 16 patiënten, 80 metingen per richting). Tolerantie waarden waren 1 mm (groene pijlen) en 1 graden (gele pijlen).

1-2 mm. Dit hing samen met de afronding van de CBCT-scan op hele millimeters, terwijl het ExacTrac systeem de correctie berekent tot op submillimeter niveau.

Discussie

Stereotactische radiotherapie van wervelmetastasen is succesvol geïntroduceerd als een routine klinische behandeling in het VU medisch centrum. Een samenwerking bestaande uit specialisten van radiotherapie, oncologie, radiologie en orthopedische/neurochirurgie is belangrijk voor de keuze van de meest optimale behandeling voor de individuele patiënt. Vanwege de complexiteit van de behandelplannen van de patiënten was een goede samenwerking van de radiotherapeut, de fysicus en de MBB'ers

noodzakelijk om op het bestralingstoestel snel keuzes te maken. Uit de resultaten van de stereoscopische ExacTrac beelden blijkt dat patiënten, zonder externe fixatie, goed stil lagen tijdens de bestraling, met tolerantiewaarden van 1.0 mm in translatierichting en 1.0° in rotatierichting. Frequentie beeldvorming speelt een grote rol bij het bewaken van de positie van de patiënt, aangezien een beweging van de patiënt van meer dan 1 mm gevolgen kan hebben voor de dosis in het myelum. Doordat meerdere bogen (2-3) werden gegeven tijdens één fractie, was er mogelijkheid voor positieverificatie tijdens de fractie.

De totale behandelingsduur was gemiddeld 39 minuten met grote onderlinge verschillen in tijd. De grote spreiding werd veroorzaakt door de vaak complexe doelgebieden en de lastige interpretatie van beeldvorming zoals bijvoorbeeld in geval van vervorming van het doelvolume. Een andere oorzaak was dat soms storingen in de software / apparatuur optraden. In andere studies wordt een vergelijkbare of hogere gemiddelde behandelingsduur beschreven van 45-60 minuten [4-5]. De daadwerkelijke bestralingsduur kon bij ons verder worden verminderd door het verhogen van het dosistempo naar 1000 ME / min. In de huidige situatie gebruiken we nu voor geselecteerde patiënten de TrueBeam™ (Varian Medical Systems), die met een flattening filter free (FFF) modus een maximaal dosistempo tot 2400 ME / min (met een 10 MV bundel) kan bereiken waarbij de bestralingsduur nog verder gereduceerd kan worden. De TrueBeam beschikt

Tabel 2. Intra-fractie beweging gemeten met stereoscopische ExacTrac röntgenbeelden (in mm, in °) voor n=16 patiënten (30 fracties) in fase II van de behandelingsduur. De verschillen tussen de baseline ExacTrac waarden en de berekende ExacTrac waarden werden na een boog of aan het eind geanalyseerd. Een nieuwe baseline ExacTrac werd gemaakt indien de patiënt beweging werd gecorrigeerd, waarna opnieuw ExacTrac verificatiebeelden werden gemaakt en vergeleken.

	Vert	Longit	Lat	3D vector (translaties)	Tafelrot	Roll	Pitch
Gem	-0.03	0.07	-0.04	0.09	-0.03	0.02	0.00
SD	0.52	0.44	0.40	0.79	0.19	0.41	0.30
Max -	-1.38	-1.43	-2.07	-	-0.71	-2.02	-1.06
Max +	1.53	1.66	1.22	-	0.50	1.12	1.05

over een hogere nauwkeurigheid van de CBCT-scan op submillimeter niveau en de mogelijkheid om de bestralingstafel te verschuiven met een gespecificeerde nauwkeurigheid van 0.1 mm. In de toekomst zal deze machine uitgerust worden met een 6D-tafel, maar in de huidige situatie is nu een 4D-tafel beschikbaar.

Het grootste deel van de behandelingstijd werd in beslag genomen door het maken en beoordelen van de CBCT-scan en ExacTrac beelden. Dit betekent dat het misschien mogelijk is om de behandeltijd te verkorten door het proces van beeldvorming voor positionering en verificatie efficiënter te maken. Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van snelle en exacte beeldverificatie kunnen hier mogelijk aan bijdragen. Het combineren van de verschillende

beeldmodaliteiten op de Novalis Tx biedt voordelen voor een volumetrische beoordeling en een snelle positieverificatie, echter beide systemen gaven niet altijd precies dezelfde oplossing bij het vergelijken van de verificatiebeelden met de plannings CT-scan. Andere studies zijn hierover al gepubliceerd [1,9]. Een aanbeveling kan zijn om de overeenkomsten tussen het ExacTrac systeem en de CBCT-scan verder uit te zoeken met behulp van fantoom onderzoek. Daarnaast wordt gekeken naar nieuwe technologische ontwikkeling van hoog dosistempo bestralingen en het gebruik van verificatiebeelden (imaging) tijdens het bestralen [15]. Bij het gebruik van dergelijke imaging-systemen zijn dagelijkse en wekelijkse kwaliteitscontroles van groot belang om de hoge nauwkeurigheid van de verschillende beeldmodaliteiten te garanderen.

Conclusie

Stereotactische radiotherapie van wervelmetastasen is met succes geïntroduceerd in de routine klinische praktijk van het VU medisch centrum, waarbij de technische ontwikkelingen en nieuwe behandelingsmethoden steeds opnieuw worden geëvalueerd om de nauwkeurigheid van positieverificatie en een snelle behandelingstijd te garanderen. **Y**

Correspondentie

Ingrid Kuijper, Afdeling Radiotherapie,
VU Medisch centrum,
de Boelelaan 1117, 1081 HV Amsterdam
E-mail: it.kuijper@vumc.nl

Referenties

- [1] Chang Z, Wang Z, Ma J, O'Daniel JC, Kirkpatrick J, Yin FF. 6D image guidance for spinal non-invasive stereotactic body radiation therapy: Comparison between ExacTrac 6D with kilo-voltage cone-beam CT. *Int J Radiation Oncology Biol Phys*. 2010; 95(1):116-121.
- [2] Dahele M, Fehlings MG, Sahgal A. Stereotactic radiotherapy: an emerging treatment for spinal metastases. *Can J Neurol Sci*. 2011 Mar;38(2):247-50.
- [3] Dahele M, Zindler JD, Sanchez E, Verbakel WF, Kuijper JP, Slotman BJ, Senan S. Imaging for stereotactic spine radiotherapy: clinical considerations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2011 Oct 1;81(2):321-30.
- [4] Foote M, Letourneau D, Hyde D, Massicotte E, Rampersaud R, Fehlings M, Fisher C, Lewis S, Macchia NL, Yu E, Laperriere NJ, Sahgal A. Technique for stereotactic body radiotherapy for spinal metastases. *J Clin Neuroscience* 2011; 18(2):276-279.
- [5] Gerszten PC, Novotny J Jr, Quader M, Dewald VC, Flickinger JC. Prospective evaluation of a dedicated spine radiosurgery program using the Elekta Synergy S system. *J Neurosurg*. 2010;113:236-241.
- [6] Hamilton A J, Lulu, B A, Fosmire H. Preliminary Clinical Experience with Linear Accelerator-based Spinal Stereotactic Radiosurgery. *Neurosurgery* 1995; 36(2): 311-319.
- [7] Kim J, Jin JY, Walls N, Nurushev T, Movsas B, Chetty IJ, Ryu S. Image-guided localization accuracy of stereotactic planar and volumetric imaging methods for stereotactic radiation surgery and stereotactic body radiation therapy: a phantom study. *Int J. Radiation Oncology Biol*. 2011; 1;79(5):1588-1596.
- [8] Kuijper IT, Dahele M, Senan S, Verbakel WF. Volumetric modulated arc therapy versus conventional intensity modulated radiation therapy for stereotactic spine radiotherapy: a planning study and early clinical data. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 2010; 94:224-228.
- [9] Ma L, Sahgal A, Hossain S, Chuang C, Descovich M, Huang K, Gottschalk A, Larson DA. Nonrandom intra-fraction target motions and general strategy for correction of spine stereotactic body radiotherapy. *Int Journal Radiation Oncology Biological Physics* 2009; 75(4):1261-1265.
- [10] National Patient Safety Agency (NHS). Principles for Best Practice in Clinical Audit 2002. <http://www.hqip.org.uk/revised-principles-of-best-practice-in-clinical-audit-set-for-january-launch/>
- [11] Radiation Therapy Oncology Group RTOG 0631. Phase I/II study of image-guided radiosurgery/SBRT for localized spine metastasis. Last accessed 20 November 2010. <http://www.rtog.org/members/protocols/0631/0631.pdf>
- [12] Sahgal A, Bilsky M, Chang EL, Ma L, Yamada Y, Rhines LD, Letourneau D, Foote M, Yu E, Larson DA, Fehlings MG. Stereotactic body radiotherapy for spinal metastases: current status, with a focus on its application in the postoperative patient. *J Neurosurg Spine*. 2011;14(2):151-166.
- [13] Sahgal A, Larson DA, Chang EL. Stereotactic body radiosurgery for spinal metastases: a critical review. *Int J. Radiation Oncology Biol Phys*. 2008; 71(3):652-665.
- [14] Steenland E, Leer JW, van Houwelingen H, Post WJ, van den Hout WB, Kievit J, de Haes H, Martijn H, Oei B, Vonk E, van der Steen-Banasik E, Wiggensraad RG, Hoogenhout J, Wárlám-Rodenhuis C, van Tienhoven G, Wanders R, Pomp J, van Reijn M, van Mierlo I, Rutten E. The effect of a single fraction compared to multiple fractions on painful bone metastases: A global analysis of the Dutch Bone Metastasis Study. *Radiotherapy Oncology* 1999;52:101-109.
- [15] Verbakel W, Dahele M, van Sornsens de Koste JR, Senan S. Online Intrafraction Spine Motion Monitoring Using Digital Tomosynthesis: Preliminary Phantom Results. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, Volume 81, Issue 2, Supplement, 1 Oct 2011, Pages S772-S773. W.
- [16] Verbakel WF, Lagerwaard FJ, Verduin AJ, Heukelom S, Slotman BJ, Cuijpers JP. The accuracy of frameless stereotactic intracranial radiosurgery. *Radiother Oncol*. 2010 Dec;97(3):390-4.