

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/136754> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Torres Xirau, I.

Title: Patient-specific in-vivo QA in MRGRT: 3D EPID dosimetry for the Unity MR-linac

Issue Date: 2020-09-15

9.2. Samenvatting:

Radiotherapie behandelingen hebben adequate kwaliteitscontrole nodig om de correcte afgifte van de voorgeschreven bestralingsdosis aan het doelgebied te kunnen garanderen. Een van de meest uitgebreide veiligheidssystemen voor behandelingen met conventionele radiotherapie systemen is *in vivo* EPID (Electronic Portal Imaging Device) dosimetrie. Hierbij wordt de dosis die opgenomen wordt tijdens de behandeling door een EPID gebruikt om de afgegeven dosis aan de patiënt te reconstrueren. Nadat deze terug-projectie in de patiënt geometrie voltooid is, kan het resultaat in 2D of 3D vergeleken worden met de dosisverdeling van het treatment planning systeem (TPS). De gamma analyse methode wordt hierbij gebruikt om eventuele verschillen te kwantificeren. Deze methode kwantificeert verschillen in zowel dosis als afstand tussen 2D of 3D dosisverdelingen. Dit ondersteunt klinisch fysici bij de afweging of waargenomen verschillen acceptabel zijn en indien dat niet het geval is, actie te ondernemen.

Dit proefschrift heeft als doel om een methode te ontwikkelen en valideren voor radiotherapie behandelingen op een nieuw systeem: de Unity MRI-versneller. Dit apparaat, dat een stralingsbron (versneller)

combineert met beeldvorming (MRI), heeft als doel om tumoren nauwkeuriger te bestralen door nieuwe technieken die beschikbaar zijn dankzij de MRI beeldvorming voor en tijdens de bestraling. Voor de verificatie van zulke behandelingen kan gebruik gemaakt worden van beelden van de bestraling die gemaakt worden door de EPID die tegenover de stralingsbron gepositioneerd is, achter de cryostaat van de MRI scanner. De focus van dit project is de aanpassing van een algoritme dat ontwikkeld is voor conventionele versnellers, aan het ontwerp en de fysieke eigenschappen van de Unity MRI-versneller. De grootste uitdaging hierin vormt de aanwezigheid van de MRI scanner tussen de patiënt en de EPID. Deze verzwakt de stralingsbundel namelijk aanzienlijk en is tevens een extra bron van strooistraling.

Hoofdstuk 2 beschrijft de eerste stap van het project, wat als doel heeft om de extra strooistraling te modelleren die de EPID bereikt wanneer een fotonen bundel door een model van de MRI scanner (bestaande uit een 11 cm dikke aluminium constructie) gaat. De parameters van het aangepaste algoritme zijn geschat door EPID metingen te fitten aan ionisatiekamer (IC) dosismetingen voor verschillende configuraties, met en zonder de aluminium constructie. Het model is gevalideerd in 2D waarbij gebruik gemaakt is van 58 IMRT bundels afgestraald op een platenfantoom, zowel met als zonder de aluminium constructie. De EPID gereconstrueerde en geplande dosisverdelingen zijn vergeleken met de gamma evaluatie methode. De gemiddelde gamma waarden verkregen met het aangepaste algoritme waren vergelijkbaar met die van het conventionele algoritme. Dosis profielen van verschillende vierkante velden, gereconstrueerd met het aangepaste algoritme, lieten uitstekende overeenkomst zien met het planning systeem.

In **hoofdstuk 3** wordt een karakterisatie studie gepresenteerd van de EPID in de MRI-versneller om de geschiktheid van de detector voor dosimetrie te beoordelen. Een serie EPID beelden en IC metingen zijn

gebruikt om de invloed van het magneetveld, de strooistraling van de MRI die de EPID bereikt en de inhomogene verzwakking door de MRI te bestuderen. De dosis lineariteit en de dosis tempo afhankelijkheid zijn ook bepaald. Al deze resultaten zijn vergeleken met het gedrag van dezelfde EPID detector voor conventionele versnellers om eventuele verschillen vast te stellen. De resultaten lieten zien dat zowel de invloed van het magneetveld, de afhankelijkheid van het dosis tempo, als de dosis lineariteit in de MRI-versneller vergelijkbaar zijn met conventionele versnellers. Er werd echter ook vastgesteld dat het gantryhoek afhankelijke gedrag van de verzwakking van de bundel en de hoeveelheid strooistraling een serieuze uitdaging zou betekenen voor de implementatie van 3D *in vivo* dosimetrie.

Dewerking van het complete aangepaste algoritme wordt gedemonstreerd in **hoofdstuk 4**. Door gebruik te maken van de resultaten van hoofdstuk 2 en 3 kon de modellering van de fysica zodanig aangepast worden dat de voorgenoemde uitdagingen voor de MRI-versneller opgelost konden worden. Om de methode te valideren zijn 25 IMRT bundels afgestraald bij drie hoofdrichtingen (0°, 90° en 180° gantryhoek). De hierbij opgenomen EPID beelden zijn teruggeprojecteerd naar het vlak door het isocentrum. Deze 2D gereconstrueerde dosisverdelingen zijn vergeleken met dosis metingen van de 2D OCTAVIUS 1500 IC matrix (PTW, Freiburg, Duitsland). Verder is een methode geïntroduceerd om de gantryhoek afhankelijkheid veroorzaakt door de geometrie van de tafel, de brug en de cryostaat te verdisconteren.

In **hoofdstuk 5** zijn alle ingrediënten voor 3D *in vivo* EPID dosimetrie gecombineerd en wordt een functionerende omgeving voor verificatie van behandelingen met de MRI-versneller gepresenteerd. Daarnaast is een directe vergelijking van de gereconstrueerde dosis verdelingen met het planning systeem uitgevoerd. De methode is eerst gevalideerd met data van de klinische behandeling van 5 patiënten (2 prostaatkanker,

2 endeldarmkanker en 1 patiënt met een oligo uitzaaiing). ‘In lucht’ EPID beelden zijn gebruikt om 3D dosisverdelingen te reconstrueren die vergeleken zijn met het planning systeem en met gemeten dosisverdelingen (door het Octavius 4D systeem). De vergelijking met het planning systeem liet een gemiddelde gamma waarde van 0.41 ± 0.04 zien en gamma passrate van $98.4 \pm 0.1\%$. De vergelijking met het Octavius 4D systeem liet een gemiddelde gamma waarde van 0.37 ± 0.09 zien en gamma passrate van 97.4% met een 90% betrouwbaarheidsinterval van [95.2, 99.7]. Kortom, dit hoofdstuk laat zien dat verificatie van behandelingen op de Unity MRI-versneller met 3D EPID dosimetrie mogelijk is, zowel zonder patiënt aanwezig als *in vivo*.

Tot hiertoe heeft het project zich toegespitst op dosis reconstructie in het centrale deel van de bundel, waarin de verzwakking homogeen is. Een niet opgelost probleem bleef echter om accurate dosis reconstructie uit te voeren in de laterale gebieden met sterke en inhomogene verzwakking. Om dat probleem op te lossen is in **hoofdstuk 6** een studie uitgevoerd naar het gebruik van een diep neurale netwerk dat de artefacten in 2D dosis beelden kan corrigeren. Een speciaal U-Net van gereconstrueerde EPID beelden is getraind en 2D dosisverdelingen uit het planning systeem zijn daarbij als referentie waarden gebruikt. De klinische validiteit van de U-Net gereconstrueerde dosis beelden (de zogenaamde DEEPID beelden) is beoordeeld met *in vivo* verificatie data van 45 grote velden van endeldarmkanker IMRT bestralingen. De resultaten lieten zien dat door het gebruik van DEEPID accurate dosis reconstructie mogelijk is voor het gehele EPID beeld; hiermee is dosimetrische verificatie van velden tot wel $19 \times 22 \text{ cm}^2$ in het isocentrum mogelijk.