

# Portal dosimetry in radiotherapy

## Citation for published version (APA):

Nijsten, S. M. J. J. G. (2009). *Portal dosimetry in radiotherapy*. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht.

## Document status and date:

Published: 01/01/2009

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## 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.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## SUMMARY

The goal of radiotherapy is to irradiate tumor tissue to a high dose value while limiting the dose to surrounding normal tissue as much as possible. In external megavolt photon beam treatment, radiotherapy is administered in a fractionated manner, which implies that every fraction should be given in a reproducible way and that the dose delivery in a patient should be as close as possible to the prescribed dose.

This work describes dose verification methods based on portal dose measurements using electronic portal imaging devices (EPIDs). Methods and application of both point dose verification and two-dimensional transit dosimetry in clinical routine are discussed.

### **Point dose verification methods and application**

Point dose verification procedures have been investigated and applied clinically in our department to verify treatment parameter transfer, machine output and dose delivery to a patient. All procedures were based on EPID images that were acquired, analyzed and evaluated by radiation therapy technicians.

Dose values could be measured within 1-2% compared to a reference dose measurement in water using a dosimetric calibration model for video-based EPIDs. These measured portal dose values were compared to predicted reference point dose values, which in general showed differences smaller than 3%. However, this discrepancy could in some cases be larger due to limitations of the prediction models.

False positive dose delivery errors could be related to acquisition errors, user errors, implementation errors and procedure limitations. Using the recognized error sources, possible improvements of the verification procedures were discussed which should minimize all errors besides real dose delivery errors. Transfer and machine errors were found for 1% of all pre-treatment measurements. It was estimated that a true positive dose delivery error was found in 12% of all imaged treatment sessions during treatment. These patient related dose delivery errors were caused by set-up errors or organ motion, particularly in case of breast treatments but also for lung, and head and neck irradiations.

### **Two-dimensional transit dosimetry methods and application**

A procedure for two-dimensional transit dosimetry has been developed which compares a predicted reference dose distribution in the EPID plane with a measured portal dose image, using the gamma evaluation method.

The extension of the point dose prediction model for transit dose values to a 2D portal dose prediction model has been discussed and its accuracy tested elaborately in an experimental study. The model is based on pencil beam scatter kernels, which are solely derived from phantom measurements. The model is able to predict 2D portal dose images behind a patient, based on a portal dose image without the patient in the beam in combination with the radiological thickness of the patient. If the radiological

midplane of an irradiated object coincides with the isocenter plane, the accuracy of the model is better than 2% (mean difference). If this assumption is not valid, larger deviations will occur that can, however, be corrected. By using the 2D portal dose prediction model, a number of limitations encountered by the point dose prediction models could be solved.

A global dosimetric calibration procedure for indirect-detection  $\alpha$ -Si EPIDs has been implemented to convert grayscale EPID images into full-scatter portal dose images. The model corrects for ghosting effects, field size dependence, beam profile loss, photon energy dependence and long-term drift of the EPID response. All phantom verification measurements satisfied gamma evaluation criteria of 3% and 3 mm across the entire EPID plane inside the radiation field. Out-of-field, larger dose differences were observed that could be minimized by deriving an energy dependent scatter kernel based on transmission values.

The ghosting effects for  $\alpha$ -Si EPIDs were more elaborately studied by performing a comparison of ghosting effects for three commercial  $\alpha$ -Si EPIDs. For all EPIDs, a relative under-response was observed at shorter irradiation times due to charge trapping, suggesting that the ghosting effects are a fundamental property of indirect-detection  $\alpha$ -Si EPIDs.

The two-dimensional transit dosimetry procedure from this work has been applied to all patients treated with curative intent in our department. For conventional breast cancer treatment, a model has been developed that predicts dose-volume histogram (DVH) changes due to set-up errors using measured portal transit dose images for the planning target volume (PTV). Correlations between DVH changes and 2D gamma parameters have been investigated for different simulated set-up errors and described by a binomial logistic regression model. Clinical accuracy has been determined by applying the predictive model to clinically measured portal dose images. Changes in the mean PTV dose,  $V_{90}$  and  $V_{95}$  could be predicted based on a set of 2D gamma parameters. Most pronounced changes in the three DVH parameters were found for set-up errors in the lateral-medial direction. Clinical accuracy was decreased due to the occurrence of patient rotations or breast deformations during treatment, but the overall reliability of the predictive model remains high in those cases.

The work described in this thesis shows that routine portal dosimetry is feasible with a high accuracy. Furthermore, a wider variety of dose delivery errors can be found compared to the use of traditional point dosimeters. This is because portal dose images are two-dimensional, which solves the positioning problems of point dosimeters, and in addition also allows for the detection of dose differences in the entire EPID plane.

## SAMENVATTING

Het doel van radiotherapie is het bestralen van tumorweefsel tot een hoge stralingsdosis waarbij de dosis in het omringende normale weefsel zo veel mogelijk beperkt dient te worden. In het geval van bestraling met uitwendige bundels megavolt röntgenstraling wordt de radiotherapie in fracties uitgevoerd, waarin elke bestralingsfractie op reproduceerbare wijze gegeven moet worden om de verschillen tussen voorgeschreven en afgegeven dosis in een patiënt zo klein mogelijk te maken.

Dit proefschrift beschrijft dosisverificatiemethodes die gebaseerd zijn op dosismetingen met “Electronic Portal Imaging Devices” (EPID’s). Methodieken en de toepassing in de klinische praktijk van zowel punt dosisverificatie als tweedimensionale transmissiedosimetrie zijn besproken.

### Methodes en toepassing van punt dosisverificatie

Procedures voor punt dosisverificatie zijn onderzocht en klinisch toegepast om de overdracht van bestralingsparameters, de output van een behandelmachine en de dosisafgifte aan een patiënt te controleren. Alle procedures waren gebaseerd op EPID-afbeeldingen die door radiotherapeutische laboranten werden gemaakt, geanalyseerd en geëvalueerd.

Dosiswaarden konden gemeten worden door gebruik te maken van een kalibratiemodel voor “video-based” EPID’s waarbij de dosisverschillen tussen EPID- en referentiedosimetrie in water binnen 1-2% lagen. Een gemeten EPID-dosiswaarde werd vergeleken met een voorspelde dosiswaarde waarbij de verschillen over het algemeen kleiner waren dan 3%. Echter, door beperkingen van de voorspellingsmodellen konden deze verschillen in bepaalde gevallen ook groter zijn.

Een fout-positieve dosisafgifte kon veroorzaakt zijn door acquisitiefouten, gebruikersfouten, implementatiefouten en beperkingen in de procedures. Op basis van deze oorzaken zijn mogelijke verbeteringen van de verificatieprocedures besproken. Hierdoor zou de frequentie van een gedetecteerde fout-positieve dosisafgifte geminimaliseerd kunnen worden. Fouten in overdracht van bestralingsparameters en in de output van een behandelmachine werden gevonden voor 1% van alle pre-treatment metingen. Voor 12% van alle afgebeelde bestralingsfracties werden fouten opgespoord in de dosisafgifte aan een patiënt. Deze patiëntgerelateerde fouten werden veroorzaakt door onzekerheden in de positionering van een patiënt of interne orgaanbeweging. Met name bij borstbestralingen, maar ook bij bestralingen van het long- en hoofd/halsgebied, werden deze fouten gevonden.

### Methodes en toepassing van tweedimensionale transmissiedosimetrie

Een procedure voor het uitvoeren van tweedimensionale transmissiedosimetrie is ontwikkeld waarbij een voorspelde dosisverdeling in het vlak van de EPID is vergeleken met een gemeten dosisbeeld. Voor de vergelijking werd de gamma evaluatiemethode gebruikt.

De uitbreiding van het voorspellingsmodel voor transmissiedosiswaarden in een punt naar een 2D dosisvoorspellingsmodel is besproken en de nauwkeurigheid ervan uitvoerig getest in een experimentele studie. Het model is gebaseerd op “pencil-beam scatter kernels” die zijn bepaald met fantoommetingen. Het model was in staat om 2D dosisbeelden achter een patiënt te voorspellen door gebruik te maken van een dosisbeeld zonder de patiënt in de bundel en de radiologische dikte van de patiënt. De nauwkeurigheid van het model was beter dan 2% (gemiddelde verschil) als het vlak met het radiologische midden van de patiënt samenviel met het isocentrumvlak. Indien dit niet het geval was, konden grotere verschillen ontstaan die echter gecorrigeerd konden worden. Door het toepassen van het 2D dosisvoorspellingsmodel zijn een aantal beperkingen van de voorspellingsmodellen voor punt dosiswaarden opgelost.

Een generiek dosimetrisch kalibratiemodel voor indirecte detectie  $\alpha$ -Si EPID's is geïmplementeerd om grijswaarden in EPID-afbeeldingen te converteren naar “full-scatter” dosisbeelden ter plekke van de EPID. Het model houdt rekening met “ghosting” effecten, afhankelijkheden van veldgrootte en energie, bundelprofielverlies en lange termijn verloop van het EPID-sigitaal. Alle verificatiemetingen met fantomen voldeden aan gamma evaluatiecriteria van 3% en 3 mm over het gehele EPID-oppervlak binnen de veldgrenzen. Buiten de veldgrenzen werden grotere dosisverschillen gevonden die verminderd kunnen worden door een energie-afhankelijke “scatter kernel” af te leiden op basis van transmissiewaarden.

De “ghosting” effecten voor  $\alpha$ -Si EPID's zijn uitvoeriger bestudeerd door deze te vergelijken voor drie commerciële  $\alpha$ -Si EPID's. Een relatieve signaalvermindering werd waargenomen voor alle EPID's in het geval van kortere bestralingstijden. Deze vermindering kon verklaard worden door “charge trapping”, hetgeen suggereert dat de “ghosting” effecten een fundamentele eigenschap zijn van indirecte detectie  $\alpha$ -Si EPID's.

De in dit werk beschreven procedure voor tweedimensionale transmissiedosimetrie is in ons instituut toegepast bij alle patiënten die behandeld werden met curatieve intentie. Een model werd ontwikkeld dat veranderingen in een dosis-volume histogram (DVH) voorspelt voor het “Planning Target Volume” (PTV) ten gevolge van set-up fouten voor de conventionele behandeling van borstkanker. Dit model was gebaseerd op gemeten transmissiedosisverdelingen met een EPID. Correlaties tussen DVH-veranderingen en 2D gammaparameters zijn onderzocht voor verschillende gesimuleerde “set-up” fouten, en zijn gemodelleerd met een binomiaal logistisch regressiemodel. De klinische nauwkeurigheid werd bepaald door het predictieve model toe te passen op klinisch gemeten EPID-dosisbeelden. Veranderingen in de gemiddelde PTV-dosis,  $V_{90}$  en  $V_{95}$  konden voorspeld worden op basis van een reeks 2D gammaparameters. De grootste veranderingen in de drie DVH-parameters werden gevonden voor “set-up” fouten in latero-mediale richting. De klinische nauwkeurigheid was lager in het geval van patiëntrotaties of vervormingen van de borst tijdens de behandeling, maar de globale betrouwbaarheid van het predictieve model bleef desalniettemin hoog.

Het werk beschreven in dit proefschrift laat zien dat routine dosisverificatieprocedures gebaseerd op EPID-metingen mogelijk zijn met een hoge nauwkeurigheid. Bovendien kan een grotere verscheidenheid aan fouten in dosisafgifte gevonden worden in vergelijking met het gebruik van traditionele puntdosimeters. Door de vaste positie van de EPID worden de positioneringsproblemen van puntdosimeters vermeden. Tenslotte zijn de EPID-dosisverdelingen tweedimensionaal waardoor detectie van dosisverschillen over het gehele EPID-oppervlak mogelijk is.