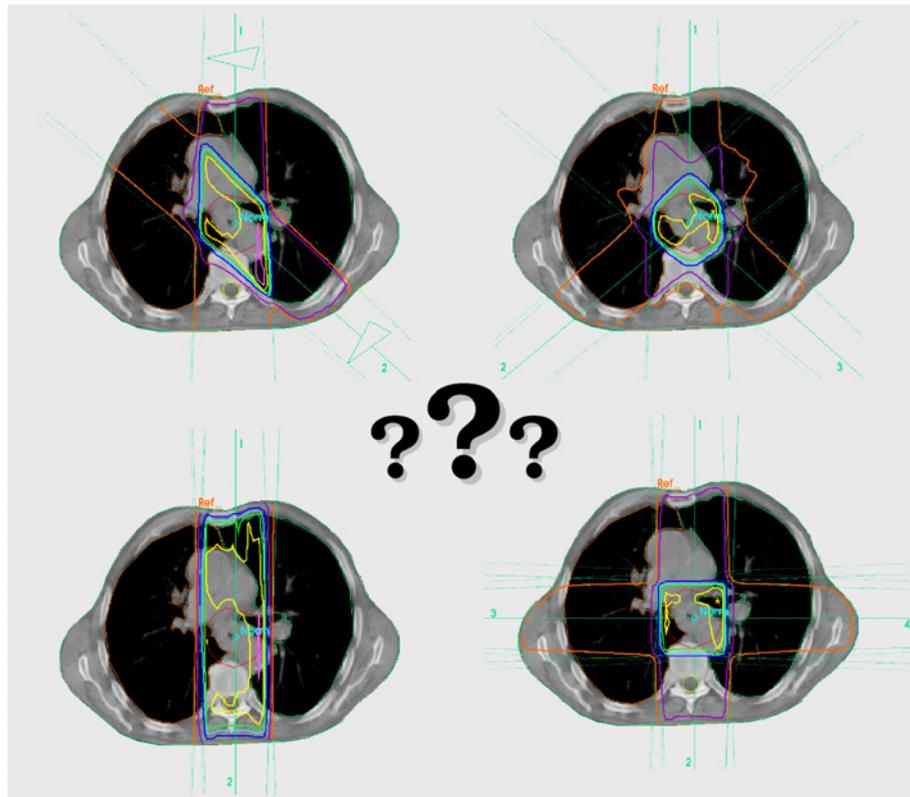


Bewertung perkutaner Bestrahlungspläne mittels physikalischer und biologischer Kriterien



Inauguraldissertation

eingereicht am
Fachbereich Physik
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Jens Heufelder
aus Berlin

Berlin 2001

Betreuer: Dr. K. Welker
Prof. Dr. K. Zink

1. Gutacher: Prof. Dr. K.D. Kramer

2. Gutachter: Prof. Dr. M. Tautz

Datum der Disputation: 3.12.2001

für Karin

Abstrakt

Um im Rahmen einer perkutanen Strahlentherapie für den Patienten einen geeigneten Bestrahlungsplan zu finden, werden mehrere Planvarianten erstellt. Die daraus resultierenden Dosisverteilungen und Dosis-Volumen-Histogramme (DVH) werden miteinander verglichen. Da ein Bestrahlungsplan durchschnittlich aus 30 bis 40 CT-Schichten besteht, ist folglich das Vergleichen ein sowohl aufwendiger als auch zeitintensiver Vorgang und darüber hinaus höchst subjektiv.

Durch die Einführung physikalische und biologischer Modelle wird versucht, die Planauswahl objektiver zu gestalten. Der im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellte Index vereint erstmals sowohl physikalische als auch biologische Kriterien zur Bewertung von Dosisverteilungen. Basierend auf Dosis-Volumen-Histogrammen lässt sich der Bewertungsindex aus den folgenden vier Kriterien berechnen: ICRU-Konformität (Betrachtung der Dosisabweichungen im Planungszielvolumen von den ICRU-Empfehlungen), Mittelwert und Homogenität der Dosis im Planungszielvolumen, relative Planungszielvolumendosis bzw. inverse relative Restvolumendosis und einem Produkt aus Tumorkontrollwahrscheinlichkeit (TCP) und der Normalgewebe-Komplikationswahrscheinlichkeit (NTCP).

Um die Bewertung mittels der oben dargestellten Kriterien durchführen zu können, musste ein Programm entwickelt werden, das anhand von importierten Dosis-Volumen-Histogrammen eines kommerziellen Bestrahlungsplanungssystems die einzelnen Kriterien berechnet und zum Bewertungsindex verknüpft. Für die Evaluation des Index wurden 8 Bestrahlungspläne unterschiedlicher Qualität in einem Testphantom bewertet. Im zweiten Schritt fand die Analyse von 108 klinisch relevanten Plänen basierend auf Daten von 21 Patienten mit einem Karzinom im Thorax und von 169 klinisch relevanten Plänen basierend auf Daten von 34 Patientinnen mit Mammakarzinom statt. Zur Auswertung der Patientendaten wurde ein Verfahren entwickelt, welches ermöglicht, Unterschiede aufgrund der individuellen Anatomie der Patienten zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse der Simulation im Phantom zeigen, dass man mittels des Bewertungsindex leicht zwischen guten und schlechten Bestrahlungsplänen unterscheiden kann. Bei der Bewertung der klinischen Bestrahlungspläne sieht man, dass mittels des Index die Pläne objektiver beurteilt werden können. Eine Bewertung minimaler Variationen von Bestrahlungsplänen wird erst durch die Kombination von physikalischen und biologischen Kriterien ermöglicht. Darüber hinaus erhält man durch die Rechner gestützte Auswertung der Daten eine nicht zu vernachlässigende Zeitersparnis bei der Planauswahl.

Abstract

In order to find an ideal treatment plan for the patient using external beam radiotherapy, quite a number of plans have to be calculated. For each plan isodose plots and dose-volume-histograms (DVH) have to be compared. Usually a treatment plan consists of 30-40 CT-slices, therefore the comparison of all plans is a difficult and time-consuming task, being highly subjective.

The introduction of physical and biological models is an attempt to make the treatment plan selection more objective. The evaluation index, presented in this work, combines physical and biological models for the first time. Using dose-volume-histograms, the following four criteria are calculated: ICRU-criteria (taking dose differences to the ICRU recommendations into account), mean-value and homogeneity of planning target volume dose, relative planning target volume dose or better inverse relative residual volume, and the product of tumour control probability (TCP) and normal tissue complication probability (NTCP).

Using dose-volume-histograms of a commercial treatment planning system, a computer program had to be developed to import the histograms and calculate the criteria forming the evaluation index. During the index's evaluation period, 8 treatment plans from poor to good quality were calculated in a phantom. In a second step, 108 clinical dose plans of 21 patients with a tumour in the thorax region and 169 clinical dose plans of patients with Mamma carcinoma were tested. For the interpretation of the results, a method taking anatomical differences into account had to be developed.

As a result of the phantom calculation the index differentiates easily between poor and good treatment plans. From the evaluation of the clinical treatment plans it can be seen that the use of the index makes the selection of the best plans more objective. Even small differences in treatment plans can be detected by the index. This is achieved by combining physical and biological models. Furthermore, using a computer to compare the dose plans one saves a lot of time, which can be used to produce better treatment plans.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Grundlagen	3
2.1. Physikalische Grundlagen	3
2.1.1. Erzeugung von Strahlung	3
2.1.2. Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	6
2.1.3. Dosisbegriffe und Dosisseinheiten	9
2.1.4. Dosismessverfahren	11
2.2. Bestrahlungsplanung	12
2.2.1. Planungsgrundlage	12
2.2.2. Bestrahlungsplanung	13
2.2.3. Berechnung der Dosisverteilung	15
2.2.4. Bewertung der Planvarianten	15
2.3. Biologische Modelle	17
2.3.1. Das linear-quadratische Modell	17
2.3.2. α/β korrigierte Dosis-Volumen-Histogramme	18
2.3.3. Wechselwirkung von Strahlung mit Organen	18
3. Bewertungskriterien & Bewertungsindex	25
3.1. Physikalische Bewertungskriterien	25
3.1.1. Minimum/Maximum-Kriterium	26
3.1.2. Mittelwert und Homogenität der Dosisverteilung im Planungszielvolumen	27
3.1.3. Relative Planungszielvolumendosis	27
3.1.4. Relative Restvolumendosis	28
3.2. Biologische Bewertungskriterien	28
3.2.1. Erfolgswahrscheinlichkeit	28
3.2.2. Inverse relative reduzierte Restvolumendosis	30
3.3. Bewertungsindex	31
3.4. Der Bewertungsindex in der klinischen Anwendung	32
3.4.1. Das Bestrahlungsplanungssystem	32
3.4.2. Das Bewertungsprogramm	34
3.5. Auswertungsverfahren	35
3.5.1. Bewertung aller Bestrahlungspläne einer Tumor- lokalisation	36
3.5.2. Patientenbezogene Auswertung	36

4. Ergebnisse & <i>Diskussion</i>	39
4.1. <i>Wasserphantom</i>	39
4.1.1. Bestrahlungstechniken und Isodosenverteilungen	40
4.1.2. Ergebnisse der physikalischen Bewertung	44
4.1.3. Ergebnisse der biologischen Bewertung	45
4.1.4. Bewertungsindex	48
4.2. <i>Thorax</i>	51
4.2.1. <i>Übersicht</i>	51
4.2.2. <i>Ergebnisse</i>	51
4.2.3. <i>Abschätzung der Koeffizienten</i>	52
4.2.4. <i>Beispiel einer Planbewertung</i>	54
4.2.5. <i>Zusammenfassung</i>	58
4.3. <i>Mamma</i>	59
4.3.1. <i>Übersicht</i>	59
4.3.2. <i>Ergebnisse</i>	60
4.3.3. <i>Abschätzung der Koeffizienten</i>	61
4.3.4. <i>Beispiel einer Planbewertung</i>	63
4.3.5. <i>Zusammenfassung</i>	65
4.4. <i>Diskussion</i>	65
5. <i>Zusammenfassung & Ausblick</i>	67
<i>Literaturverzeichnis</i>	69
<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	77
<i>Glossar</i>	81
<i>Publikationen mit Teilen dieser Arbeit</i>	85
<i>Publikationen</i>	87
<i>Publikationen zu Konferenzen</i>	88
<i>Vorträge</i>	90
<i>Poster</i>	90
<i>Lebenslauf</i>	91
<i>Danksagung</i>	93