

Spot-Scanning mit Protonen

experimentelle Resultate und Therapieplanung

Doctoral Thesis

Author(s):

Scheib, Stefan Georg

Publication date:

1993

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000945359>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

DISS. ETH Nr. 10451

**Spot-Scanning mit Protonen:
Experimentelle Resultate und Therapieplanung**

ABHANDLUNG

Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Stefan Georg Scheib

Dipl. Phys. der Universität Karlsruhe

geboren am 16. Juni 1962

in Karlsruhe, Bundesrepublik Deutschland

Angenommen auf Antrag von:

Professor Dr. M. Anliker, Referent

Professor Dr. P. Rügsegger, Korreferent

Dr. E. Pedroni, Korreferent

1993

Zusammenfassung

Wesentliche Zielsetzung einer verbesserten Strahlentherapie ist die Erhöhung der komplikationsfreien, lokalen Tumorkontrolle. Ein vielversprechender Weg liegt in der Beschränkung der Hochdosisregion auf das Zielvolumen, wobei möglichst wenig Dosis an das umliegende, gesunde Gewebe abgegeben wird. Protonen sind, aufgrund ihrer herausragenden, physikalischen Eigenschaften, bestens geeignet, dreidimensional konformierende Dosisverteilungen im Patienten zu erzeugen. Ihre Tiefendosisverteilung zeigt, im Gegensatz zu Elektronen und Photonen, eine starke Erhöhung am Ende der Reichweite, den sogenannten Bragg-Peak.

Am Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen, Schweiz, wurde eine neue Applikationstechnik für die Strahlentherapie mit Protonen, das diskrete Spot-Scanning, entwickelt. Diese Technik gestattet es, dreidimensional konformierende Bestrahlungen beliebig geformter, tiefliegender Tumoren durchzuführen. Eine Zielsetzung dieses Projektes ist die Bereitstellung eines Prototyps für zukünftige, weitgehend automatisierte, klinikbasierte Protonentherapieanlagen. Durch magnetische Fokussierung und Ablenkung des Protonennadelstrahles kann die abgegebene Dosis auf ein kleines Volumen von ca. 1 - 2 cm³ konzentriert und der Dosisspot (Bragg-Peak) praktisch beliebig im Patienten, unter vollständiger Computerkontrolle, plaziert werden. Gegenwärtig wird eine kompakte, isozentrische Gantry für das Spot-Scanning im Bestrahlungsraum des PSI installiert, um Mehrfeldbestrahlungen unter verschiedenen Einstrahlungswinkeln vorzunehmen.

Die praktische Durchführbarkeit des diskreten Spot-Scannings konnte 1992 in Testexperimenten gezeigt werden. Das Spot-Scanning basiert auf der dreidimensionalen Überlagerung einzelner Dosisspots. Um die räumliche Dosisverteilung eines Nadelstrahles zu berechnen wurde ein physikalisches Modell entwickelt, das die gemessenen Daten gut wiedergibt. Das Modell basiert auf dem Energieverlust der Protonen in Wasser, deren Reichweitenstreuung, dem primären Energiespektrum, der Teilchenflußreduktion durch inelastische Kernreaktionen und der Strahlaufweitung durch die Coulombvielfachstreuung der Protonen in Wasser.

Für das Spot-Scanning mit Protonen wurde ein vollständiges, dreidimensionales Therapieplanungssystem entwickelt. Die Dosisberechnung basiert auf der Superposition der gemessenen, dreidimensionalen Dosisverteilung der Nadelstrahlen. Die Position und Bestrahlungszeit der bis zu 10.000 Dosisspots kann individuell gewählt werden. Dies gestattet die Konstruktion dreidimensional konformierender Dosisverteilungen, die außerhalb des Zielvolumens distal und lateral rasch abfallen. Inhomogenitäten werden entlang der beliebig geneigten Strahlachsen durch die Verwendung der dreidimensionalen Dichteverteilung des Patienten in Form von kalibrierten CT-Daten berücksichtigt. Schließlich werden Steuerdaten für die unter vollständiger Computerkontrolle ablaufende Therapie erzeugt. Im Rahmen der Testexperimente konnte ein dreidimensionaler Therapieplan für ein oktaederförmiges Zielvolumen in Wasser verifiziert werden. Gegenwärtig werden Resultate des entwickelten Therapieplanungssystems für das Spot-

Scanning mit Protonen mit den Resultaten eines Therapieplanungssystems für Photonen verglichen, um den möglichen Vorteil einer Protonenbestrahlung für unterschiedliche Indikationen aufzuzeigen.

Die vorliegende Arbeit stellt im Hinblick auf vergleichende Therapieplanungsstudien, insbesondere aber im Blick auf künftige Patientenbestrahlungen, einen wesentlichen Beitrag im Rahmen des Protonentherapieprojektes am PSI dar.

Abstract

A major goal for further improvements in radiation therapy is to achieve a better complication-free local control of the primary tumour. A possible way to reach this goal is to tailor the high dose region to the target volume while decreasing the dose to the surrounding healthy tissues. Due to their excellent physical characteristics, protons are well suited to conforming the dose to the target volume in three dimensions. In comparison to electrons and photons the depth dose distributions of these heavy charged particles are characterized by a sharp rise and subsequent fall-off at the end of their range, the so-called Bragg peak.

At the Paul Scherrer Institute (PSI) in Villigen, Switzerland, a new dose application technique, discrete spot scanning, has been developed which permits the three-dimensional, conformal irradiation of arbitrarily shaped, deep seated tumours. One goal of this proton therapy project is to investigate the possibility of a largely automated hospital-based proton therapy facility. Through magnetic focusing of a proton pencil beam the applied dose can be concentrated in a small spatial region of about 1 - 2 cm³ and can be positioned within the patient through magnetic deflections of the beam under computer control. Currently a compact, isocentric gantry for spot scanning is being assembled in the treatment room at PSI which will allow multiple field irradiations.

Test experiments were performed in 1992 which demonstrated the feasibility of the spot scanning technique. Spot scanning is based on the three-dimensional deposition of single beam spots. In order to calculate the spatial dose distribution of a single proton pencil beam, a physical model has been developed which shows good agreement with the measured data. It is based on the energy loss of the protons in water, their range straggling, the energy spectrum of the primary beam, the flux reduction due to inelastic nuclear reactions and the effect of beam spreading due to multiple Coulomb scattering of the protons in water.

A whole three-dimensional treatment planning system for spot scanning has been developed. The 3D conformal dose calculation is based on the superposition of the measured, three-dimensional dose distribution of pencil beams. The position and irradiation time of up to 10.000 beam spots can be chosen individually. This enables the construction of a homogeneous dose distribution which conforms in all three dimensions to the target volume and which exhibits a steep lateral and distal fall-off. The treatment planning system is capable of handling arbitrary, three-dimensional beam incidences. Inhomogeneities on the beam axes are taken into account by using the patient's 3D calibrated CT-data. Finally steering data for the computerized dose application system are generated. During the test beam period a 3D treatment plan for an octahedral shaped target volume in a water phantom could be verified. Currently, results of the developed treatment planning system are being compared to those from conventional radiation therapy to investigate the potential benefits of using protons for several indications.

In relation to the comparative treatment planning studies and especially to the planning of patient irradiations in the future, the submitted thesis represents an essential part of the proton therapy project at PSI.