DOSIMETRIC INVESTIGATION OF PROTON THERAPY ON CT-BASED PATIENT DATA USING MONTE CARLO SIMULATION

THANAPHAT CHONGSAN 5637826 RAMP/M

M.Sc. (MEDICAL PHYSICS)

THESIS ADVISORY COMMITTEE : PUANGPEN TANGBOONDUANGJIT, Ph.D., THIANSIN LIAMSUWAN, Ph.D.

ABSTRACT

The aim of radiotherapy is to deliver high radiation dose to the tumor with low radiation dose to healthy tissues. Conventional radiotherapy has limitation because photons have exit dose to healthy tissues behind the tumor. In contrast, protons have Bragg peaks that give high radiation dose to the tumor but low exit dose or dose tail. Therefore, proton therapy is a promising candidate for the treatment of deep-seated tumors and tumors locating close to organs at risk. Moreover, the physical characteristic of protons is suitable for treating cancer in pediatric patients, especially primary brain tumor such as high-grade glioma (HGG) that has aggressive and high recurrent rates in pediatric patients. In this work, a computational approach was developed for calculating proton dose distribution from the pencil beam scanning method for treating primary brain tumor (HGG) in a pediatric patient using the Monte Carlo technique and the patient's anatomical data. Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS) was used for calculating the proton dose distribution in the pediatric patient with a primary brain tumor. The CT-DICOM files were converted to the PHITS input file using the DICOM2PHITS program and the accuracy was tested against known values of electron densities in the Tissue Characterization Phantom Gammex^{TM} 467. A MATLAB-based proton therapy treatment planning program was used to create the beam delivery control file for the patient-specific Monte Carlo simulation. The treatment planning program required the patient's anatomical data, the depth dose distributions of monoenergetic (pencil beam) protons, the proton range-energy relationship, the stopping power ratios to water for protons in different materials and the scattering characteristics of protons in different materials. Most of these data were calculated using analytical formulas and their accuracy was tested against literature data or Monte Carlo simulations of monoenergetic protons carried out in this work, before the delivery control file was used by the Monte Carlo simulation. The Monte Carlo simulation gave a proton dose distribution output, which was compared with the proton dose distribution obtained from the MATLAB-based proton beam optimization program. The point dose verification technique was used for the comparison with a criterion of having dose difference in pixel-to-pixel of GTV of not exceeding 3% for at least 95% of the result. From this study, the DICOM2PHITS program was found to be suitable for converting CT-DICOM files to Monte Carlo inputs. The analytical functions used for calculating the proton beam data were found to be sufficiently accurate. The proton dose distribution comparison were not operate because some parameter was inaccurate from analytical function. This work was a pilot project for the development of a computational platform for dosimetric investigation of proton therapy using Monte Carlo simulation and patient CT data. The approach as carried out in this work could be interesting for researchers aiming to preliminarily investigate proton dose distribution in patients but do not have access to proton therapy machines and related equipment.

KEY WORDS: PROTON THERAPY / MONTE CARLO SIMULATION / PHITS

90 pages

การศึกษาการกระจายของปริมาณรังสีโปรตอนบนภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของผู้ป่วยโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล
DOSIMETRIC INVESTIGATION OF PROTON THERAPY ON CT-BASED PATIENT DATA USING MONTE CARLO SIMULATION

ธนพัฒน์ ช่องสาร 5637826 RAMP/M

วท.ม. (ฟิสิกส์การแพทย์)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : พวงเพ็ญ ตั้งบุญดวงจิตร, ปร.ด., เธียรสิน เลี่ยมสุวรรณ, ปร.ด.

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของรังสีรักษาคือการให้ปริมาณรังสีไปยังเป้าหมายหรือก้อนมะเร็งให้มากที่สุด ในขณะเดียวกันนั้นก็ต้องมีปริมาณรังสีไปยังเนื้อปรกติโดยรอบให้น้อยที่สุด แต่ในปัจจุบันการใช้รังสีโฟตอนยังไม่สามารถทำได้ดีเพียงพอ เนื่องจากรังสีโฟตอนยังมีปริมาณรังสีขาออก (exit dose) ไปยังเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านหลังก้อนมะเร็ง ในทางตรงกันข้ามอนุภาคโปรตอนที่มีแบรกก์พีค (Bragg peak) สามารถให้ปริมาณรังสีสูงสุดที่ก้อนมะเร็งและมีปริมาณรังสีเล็ดลอดในระดับที่ต่ำมาก ดังนั้นอนุภาคโปรตอนจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการรักษามะเร็งที่วางตัวอยู่ใกล้กับอวัยวะที่มีสำคัญ (organ at risk) และเหมาะสมสำหรับผู้ป่วยเด็กที่ต้องได้รับการฉายรังสี เช่น มะเร็งสมองที่มีความรุนแรงอย่างมากในผู้ป่วยเด็ก ในการศึกษานี้จะนำการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลโดยใช้โปรแกรม Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS) มาใช้ในการศึกษาการกระจายตัวของปริมาณรังสีโปรตอนบนภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของผู้ป่วยมะเร็งสมองในเด็ก โปรแกรม DICOM2PHITS ถูกนำมาใช้ในการแปลงข้อมูลภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จากไฟล์ DICOM มาเป็นข้อมูลป้อนเข้าที่ใช้ในแบบจำลองมอนติคาร์โล ผู้วิจัยได้ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม DICOM2PHITS โดยเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของหุ่นจำลอง Gammex™ 467 ที่คำนวณได้ กับค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ระบุในเอกสารข้อมูล ในการจำลองการกระจายปริมาณรังสีโปรตอนด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ผู้วิจัยใช้พารามิเตอร์สำหรับการฉายลำอนุภาคโปรตอนที่คำนวณมาจากโปรแกรมวางแผนการรักษาด้วยอนุภาคโปรตอนเพื่อการศึกษาวิจัย (MATLAB-based proton therapy treatment planning program) ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้สร้างข้อมูลคุณสมบัติของลำอนุภาคโปรตอนพื้นฐาน (proton pencil beam) ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ และทดสอบความถูกต้องก่อนใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับโปรแกรมวางแผนการรักษาดังกล่าว โปรแกรมวางแผนการรักษาจะให้ข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับการฉายลำอนุภาค เช่น ทิศทางแรกเข้า ตำแหน่ง พลังงาน และความเข้มของลำอนุภาคพื้นฐาน อีกทั้งจะคำนวณการกระจายปริมาณรังสีโปรตอนในเป้าหมายและอวัยวะใกล้เคียง พารามิเตอร์สำหรับการฉายลำอนุภาคถูกใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นในการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล เพื่อสร้างรูปแบบการกระจายปริมาณรังสีโปรตอน โดยรูปแบบการกระจายปริมาณรังสีโปรตอนจากทั้งสองเทคนิค (แบบจำลองมอนติคาร์โล และโปรแกรมวางแผนการรักษา) จะถูกนำมาเปรียบเทียบกันแบบจุดภาพต่อจุดภาพ (pixel-to-pixel) โดยความแตกต่างของปริมาณรังสีในแต่ละจุดภาพจะต้องไม่มากกว่าร้อยละ 3 สำหรับจุดภาพจำนวนไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของบริเวณของก้อนมะเร็งแท้จริง (gross tumour volume, GTV) โดยการเปรียบเทียบการกระจายตัวของปริมาณรังสีไม่สามารถดำเนินการได้ เนื่องจากข้อมูลบางประการมีความผิดพลาดจากสมการที่ใช้ใน MATLAB-based treatment planning program สำหรับผลการทดสอบโปรแกรม DICOM2PHITS และฐานข้อมูลโปรตอนนั้นมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษานี้ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นการศึกษานำร่องเพื่อสร้างแพลตฟอร์มทางคณิตศาสตร์สำหรับผู้สนใจศึกษาด้านอนุภาคโปรตอนในทางรังสีรักษา

90 หน้า