Original Article

การประเมินความถูกต้องในการสร้างภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ 4 มิติ สำหรับระบบการจัดการตำแหน่งตามเวลาจริง

สุมาลี ยับสันเทียะ

Evaluation of Reconstruction Accuracy of 4-D CT Images for Real-Time Position Management™ System.

Sumalee Yabsantia

Department of Radiological Technology, Faculty of Allied Health Sciences, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, 65000, Thailand.

E-mail: sumaleey@nu.ac.th

Songkla Med J 2015;33(2):93-101

บทคัดย่อ:

ก้อนมะเร็งที่มีการเคลื่อนที่ตามการหายใจเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญสำหรับการรักษาโรคมะเร็ง โดยการสร้างภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ 4 มิติ สามารถช่วยให้การรักษามะเร็งที่เคลื่อนที่ตามการหายใจนี้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในปัจจุบันสัญญาณการหายใจถูกรวมกับภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพื่อการสร้างภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ 4 มิติ โดยระบบจัดการตำแหน่งตามเวลาจริงก็เป็นระบบหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ และเพื่อความถูกต้องในการรักษาโรคมะเร็งให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดจำเป็นต้องมีการตรวจสอบระบบดังกล่าว ดังนั้น วัตถุประสงค์ในการศึกษานี้เพื่อประเมินความถูกต้องของระบบการเก็บข้อมูลสัญญาณการหายใจในการสร้างภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ 4 มิติ ของระบบการจัดการตำแหน่งตามเวลาจริง โดยใช้เม็ดโลหะทรงกลมและหุ่นจำลองการหายใจยี่ห้อ Modus รุ่น QUASAR™ ที่จำลองการเคลื่อนที่ของก้อนมะเร็งในทิศทางหัวเท้าเป็นระยะทาง 2 เซนติเมตร และเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการหายใจ 10 15 และ 20 ครั้งต่อนาที ความถูกต้องของระบบการสร้างภาพใหม่ประเมินได้จากค่าความคลาดเคลื่อนของระยะการเคลื่อนที่ของเม็ดโลหะที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริง และปริมาตรก้อนมะเร็งจำลองที่ได้จากข้อมูลภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ผลที่ได้พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของระยะการเคลื่อนที่ของเม็ดโลหะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.44±0.10 มิลลิเมตร และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของปริมาตรก้อนมะเร็ง 0.07±0.06 ลูกบาศก์เซนติเมตร และอัตราการหายใจที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่าไม่มีผลต่อ

ภาควิชารังสีเทคนิค คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

รับต้นฉบับวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2558 รับลงตีพิมพ์วันที่ 28 เมษายน 2558

ความถูกต้องในการสร้างภาพใหม่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระบบเก็บข้อมูลสัญญาณการหายใจแบบระบบจัดการตำแหน่งตามเวลาจริงให้ความถูกต้องในการสร้างภาพเอกซเรย์ 4 มิติ ในช่วงอัตราการหายใจ 10-20 ครั้งต่อนาที ซึ่งเหมาะสมในการใช้งานทางคลินิก

คำสำคัญ: การสร้างภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ 4 มิติ, ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ 4 มิติ, ระบบการจัดการตำแหน่งตามเวลาจริง, หุ่นจำลองการเคลื่อนที่ตามการหายใจ

Abstract:

Moving target volume is a significant problem for cancer treatment. Four-dimensional computed tomography was developed to improve the treatment of this target volume. In the present, respiratory signal are combined with computed tomography images to create the 4 Dimensional Computed Tomography (4-D CT) images. Also, Real-Time Position Management™ (RPM) system is the most of choice for 4-D CT imaging. For the most accuracy of the treatment, the system has to be evaluated. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the accuracy of reconstructed of 4-D CT images for RPM. 4-D CT images of moving phantom (QUASAR™) with Computed Tomography skin markers (metal beads) were performed by using three different respiratory rates: 10, 15, and 20 beats per minute (BPM). The plastic sphere (simulated tumor) of the moving phantom was simulated to move 2 cm in a longitudinal direction. The accuracy of reconstruction for those images was evaluated in terms of distance error (the displacement of metal bead from the exact position) and volumetric error (the different between the actual and the measured volumes). Results indicated that the accuracy of reconstruction RPM system was acceptable with mean distance and volumetric errors of 0.44±0.10 mm and 0.07±0.06 cm^3, respectively. In addition, respiratory rates had no effect on the accuracy of reconstruction. Therefore, the respiratory data acquisition of RPM system in 4-D CT could reconstruct accurate images for moving targets with the respiratory rate of 10-20 BPM which should be suitable for clinical treatment.

Keywords: 4D Computed Tomography, 4-D CT Images, Real-Time Position Management™, respiratory motion phantom

บทนำ

จุดประสงค์หลักของการรักษาผู้ป่วยมะเร็งด้วยวิธีทางรังสีรักษา คือ ต้องการฉายรังสีปริมาณสูงตามที่กำหนดให้กับก้อนมะเร็ง ขณะที่เนื้อเยื่อปกติที่อยู่ล้อมรอบได้รับปริมาณรังสีน้อยที่สุด โดยไม่เกินค่าความทนต่อรังสีของแต่ละอวัยวะ ดังนั้น ความถูกต้องของตำแหน่งในการฉายรังสีจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ ซึ่งปัญหาหนึ่งที่ท้าทายอย่างยิ่งสำหรับงานทางรังสีรักษา คือ ก้อนมะเร็งที่มีการเคลื่อนที่ตามการหายใจ โดยเฉพาะมะเร็งปอดหรือมะเร็งช่องท้องที่อยู่ใกล้กับกะบังลม ซึ่งการเคลื่อนที่ของก้อนมะเร็งนั้น

มีความสัมพันธ์กับการหายใจ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะหาขอบเขตของก้อนมะเร็งได้อย่างถูกต้อง นอกเสียจากทราบการเคลื่อนที่ที่แท้จริงของก้อนมะเร็ง โดยขอบเขตพื้นที่ของก้อนมะเร็งที่ต้องการฉายรังสีนั้นได้มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาและใช้วิธีการจัดการการหายใจในแบบต่างๆ เช่น ใช้การกลั้นหายใจของผู้ป่วยขณะทำการสแกนภาพ[1] และการใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ 4 มิติ (4 Dimensional Computed Tomography; 4-D CT)[2] ซึ่งช่วยเพิ่มความถูกต้องในการฉายรังสีก้อนมะเร็งที่เคลื่อนที่ และจากคำแนะนำตามมาตรฐานสากลของ American Association of Physicists in Medicine Task Group 76[3] (AAPM TG 76) หากก้อนมะเร็งมีการเคลื่อนที่เป็นระยะทางมากกว่า 5 มิลลิเมตร ควรใช้วิธีการในการจัดการการหายใจ โดยที่ผู้ป่วยจะต้องสามารถให้ความร่วมมือได้ และการใช้วิธีจัดการการเคลื่อนที่ของก้อนมะเร็งที่เกิดจากการหายใจดังกล่าวสามารถช่วยป้องกันเนื้อเยื่อปกติไม่ให้ได้รับรังสีที่มากเกิน โดยการใช้ 4-D CT เป็นวิธีสำหรับการเลือกใช้เพื่อหาขอบเขตของก้อนมะเร็งที่เคลื่อนที่จากการหายใจ โดยสามารถหาขอบเขตของก้อนมะเร็งที่เคลื่อนที่ทั้งหมดเพื่อฉายรังสีให้ครอบคลุมก้อนมะเร็ง ทำให้ช่วยกำหนดขอบเขตในการฉายรังสีได้ดีขึ้น ภาพ 4-D CT เป็นภาพที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ร่วมกับระบบติดตามสัญญาณการหายใจ ใช้เพื่อแสดงขอบเขตการเคลื่อนที่ของก้อนมะเร็งในรูปแบบสามมิติในระยะเวลาต่างๆ หรือตามเฟสของการหายใจ[4] โดยจากการศึกษาการเคลื่อนที่ของก้อนมะเร็งโดยใช้ 4-D CT นั้นสามารถช่วยเพิ่มการหาขอบเขตของก้อนมะเร็งที่ต้องการรักษาซึ่งสามารถช่วยลดขอบเขตพื้นที่ฉายรังสี (Planning Target Volume; PTV) เพื่อป้องกันไม่ให้เนื้อเยื่อปกติ (normal tissue) ได้รับปริมาณรังสีเกินความจำเป็น โดยสามารถลด internal margins จาก 1 เซนติเมตร เหลือ 0.5 เซนติเมตร[5]

สำหรับการสร้างภาพ 4-D CT สัญญาณการหายใจเป็นสิ่งที่สำคัญในการสร้างภาพซึ่งโดยส่วนใหญ่นั้นสัญญาณการหายใจสามารถเก็บข้อมูลได้จากตำแหน่งภายนอกตัวผู้ป่วย (external signal) ด้วยการประเมินการเคลื่อนที่ขึ้นลงบริเวณหน้าอกและตำแหน่งท้องจากช่วงลิ้นปี่ (xyphoid) จนถึงสะดือ (umbilicus) ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการหายใจและการเคลื่อนที่ของก้อนมะเร็ง[6]

ในปัจจุบันระบบการเก็บข้อมูลสัญญาณการหายใจแบบ 4 มิติ มีหลายระบบ และที่มีใช้ในโรงพยาบาลจุฬาภรณ์ ได้แก่ ระบบการจัดการตำแหน่งตามเวลาจริง (Real-Time Position Management™; RPM) และระบบเข็มขัดลูกสูบตามการหายใจ (Respiratory Bellows Belt) โดยระบบการจัดการตำแหน่งตามเวลาจริง[7] เป็นระบบหนึ่งที่นิยมใช้ในการสร้างภาพ 4-D CT ซึ่งระบบการจัดการตำแหน่งตามเวลาจริงประกอบด้วยกล่องพลาสติกที่ใช้สะท้อนสัญญาณการเคลื่อนไหจากการหายใจ (reflective external marker) ซึ่งมีน้ำหนักเบาและโปร่งรังสี เป็นอุปกรณ์ที่มีจุดสะท้อนอินฟราเรดที่วางไว้บนตัวของผู้ป่วยและกล้องวิดีโออินฟราเรด (infrared video camera) ในการบันทึกการเคลื่อนที่ของจุดสะท้อนอินฟราเรดบนกล่องพลาสติกดังกล่าวตามจังหวะการหายใจ โดยหลักการทำงานของระบบจัดการตำแหน่งตามเวลาจริงนั้นจะวางกล่องพลาสติกที่ใช้สะท้อนสัญญาณการเคลื่อนไหวจากการหายใจไว้ที่ตำแหน่งท้องจากช่วงลิ้นปี่จนถึงสะดือ และใช้กล้องวิดีโออินฟราเรดในการจับสัญญาณจากจุดสะท้อนอินฟาเรดที่กล่องพลาสติก ดังนั้นจะได้สัญญาณ sine wave ที่สอดคล้องกับการหายใจของผู้ป่วยและส่งต่อข้อมูลไปยังเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพื่อเข้าสู่กระบวนการสร้างภาพ 4-D CT ต่อไป

เพื่อทดสอบความถูกต้องของการสร้างภาพ 4-D CT จากระบบดังกล่าว ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินความถูกต้องของระบบการเก็บข้อมูลสัญญาณการหายใจในการสร้างภาพ 4-D CT สำหรับระบบการจัดการตำแหน่งตามเวลาจริงที่สัมพันธ์กับอัตราการหายใจที่แตกต่างกันของผู้ป่วย

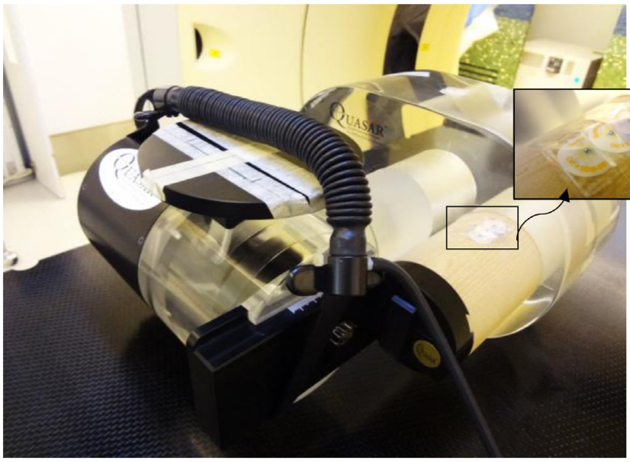
วัสดุและวิธีการ

การวิจัยนี้ได้ศึกษาความถูกต้องของระบบการเก็บข้อมูลการหายใจในการสร้างภาพ 4-D CT ของระบบ RPM ระบบการสร้างภาพดังกล่าว ดังแสดงรูปที่ 1 โดยระบบ RPM ยี่ห้อ Varian® มีอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบด้วย Infrared illuminator/CCD camera และ Reflective external marker จำนวน 6 จุด

ในขั้นตอนการศึกษาผู้วิจัยเลือกใช้หุ่นจำลองการหายใจยี่ห้อ Modus รุ่น QUASAR™ ดังแสดงรูปที่ 2 เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของก้อนมะเร็งจาก

ก ข

รูปที่ 1 แสดงระบบ RPM ยี่ห้อ Varian® (ก) CCD camera และ (ข) กล่อง Reflective external marker ที่วางบนหุ่นจำลอง



รูปที่ 2 แสดงหุ่นจำลองการหายใจยี่ห้อ Modus รุ่น QUASAR™ การติดเม็ดโลหะบนหุ่นจำลองการหายใจ

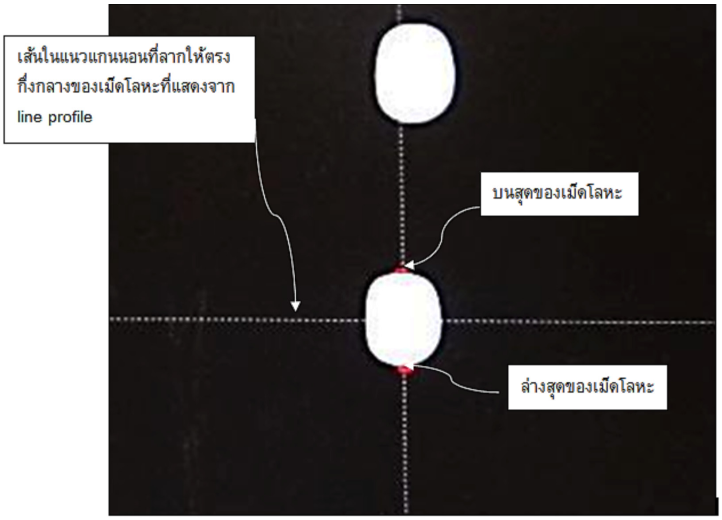
การหายใจ โดยภายในหุ่นจำลองมีก้อนมะเร็งจำลองปริมาตร 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ปริมาตรของก้อนมะเร็งจากภาพ 4-D CT โดยขั้นตอนการเก็บข้อมูลได้จากการสร้างภาพหุ่นจำลองแบบ 4 มิติ ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จำลองการรักษายี่ห้อ Philips รุ่น Brilliant Big Bore โดยทำการจับสัญญาณการหายใจจากระบบ RPM

ขั้นตอนการทดสอบประกอบด้วยการจัดตำแหน่งหุ่นจำลองบนเตียงเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ และนำเม็ดโลหะขนาด 1 มิลลิเมตร จำนวน 3 เม็ด ติดตามแนวยาวของหุ่นจำลองการหายใจ โดยมีระยะห่างระหว่างเม็ดโลหะเท่ากับ 1 เซนติเมตร ดังแสดงรูปที่ 2 ตั้งค่าข้อมูลการหายใจและการเคลื่อนที่ของก้อนมะเร็งจำลองของหุ่นจำลองการหายใจ โดยกำหนดให้มีระดับการหายใจด้วยอัตราเร็ว 10 15 และ 20 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ และกำหนดให้มีระยะการเคลื่อนที่ของก้อนมะเร็งในทิศทางหัวเตียงไปยังปลายเตียงเป็นระยะทาง 2 เซนติเมตร ซึ่งระยะดังกล่าวเป็นระยะเฉลี่ยที่ก้อนมะเร็งสามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุดระหว่างการหายใจ[3,8,9] เก็บข้อมูลตำแหน่งของเฟสการหายใจ ร้อยละ 0 ซึ่งเป็นตำแหน่งของเฟสการหายใจเข้าสุดและเฟสการหายใจที่ร้อยละ 50 ซึ่งเป็นตำแหน่งของเฟสการหายใจออกสุด กำหนดให้แนวการสแกนที่ตำแหน่งเม็ดโลหะเม็ดแรกเป็นตำแหน่งเตียงเท่ากับค่าศูนย์ ควบคุมให้หุ่นจำลองเคลื่อนที่ตามที่กำหนด จากนั้นเก็บข้อมูลภาพ 4-D CT โดยเก็บข้อมูลแบบทุกช่วงการหายใจ (retrospective mode) ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ในการทดสอบระบบประกอบด้วยเวลาที่ใช้ในการสแกนเพื่อสร้างภาพเท่ากับ 31.111 วินาที ความต่างศักย์ (kVp) 120 กิโลโวลต์ ค่ากระแสหลอดเอกซเรย์ (mAs/mA) เท่ากับ 250/38 ความหนาของสไลซ์ (slice) ภาพ เท่ากับ 2 มิลลิเมตร ช่วงความห่างของสไลซ์ เท่ากับ 1 มิลลิเมตร เวลาในการหมุนของแกนตรี (gantry) 1 รอบ เท่ากับ 0.5 วินาที และตั้งค่าพิทช์ตามอัตราการหายใจ 10 15 และ 20 ครั้งต่อนาที ซึ่งเท่ากับ 0.075 0.11 และ 0.15 ตามลำดับ หลังการสแกนนำข้อมูลดิบที่ได้มาทำการสร้างภาพใหม่ (image reconstruction) ที่มีเฟสการหายใจระดับ ร้อยละ 0 และร้อยละ 50 ซึ่งเป็นเฟสการหายใจที่นิ่งที่สุด จะได้ภาพ 4-D CT ของหุ่นจำลองการหายใจ โดยทุกภาพจะเห็นเม็ดโลหะทั้ง 3 เม็ด ได้อย่างชัดเจน

ความคลาดเคลื่อนของเม็ดโลหะสามารถหาได้ด้วยการวัดระยะห่างจากจุดกึ่งกลางของเม็ดโลหะที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งเตียง 0 ในแนวแกน z (แนวหัว-เท้า ของการสแกน) ด้วยโปรแกรม line profile จากเครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา ยี่ห้อ Eclipse-A10 โดยปรับภาพให้ค่า window width และ window level เท่ากันทั้งหมดในทุกการวัด เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการมองเห็นในการปรับแต่งภาพ ทำการวัดจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ 3 มิติ ในระนาบหน้าหลัง (coronal plane) สำหรับภาพในเฟสการหายใจที่ร้อยละ 0 วัดในเม็ดโลหะที่ 1 และเฟสร้อยละ 50 วัดในเม็ดโลหะที่ 3 หลังจากนั้นลากเส้นในแกนนอน (เป็นเส้นที่สัมพันธ์กับแกน z) ไปที่จุดกึ่งกลางของเม็ดโลหะที่เห็นจาก line profile ดังแสดงรูปที่ 3 ซึ่งถือได้ว่าจุดกึ่งกลางของเม็ดโลหะที่เห็นจาก line profile นี้ เป็นจุดกึ่งกลางที่แท้จริงที่เห็นได้จากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้น โดยหากไม่เกิดความคลาดเคลื่อนจุดกึ่งกลางของเม็ดโลหะนั้นควรจะอยู่ที่ตำแหน่งเตียงเท่ากับ 0 (z=0) ดังนั้น ค่าที่อ่านได้จากแนวแกน z จึงเป็นค่าที่แสดงถึงความคลาดเคลื่อนของเม็ดโลหะที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งเตียงที่ศูนย์

วัดปริมาตรของก้อนมะเร็งในหุ่นจำลองการหายใจ สำหรับการหาปริมาตรของก้อนมะเร็งจำลองทำได้โดยการวาดขอบเขตของก้อนมะเร็งจำลองจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ในแนวตัดขวางของทุกสไลซ์ โดยใช้โปรแกรมการวาดขอบเขตแบบอัตโนมัติ (auto contour) จากเครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา เมื่อวาดเสร็จแล้วโปรแกรมจะสามารถคำนวณปริมาตรของก้อนมะเร็งจำลองนี้ได้



รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการวัดระยะทางที่คลาดเคลื่อนไปของเม็ดโลหะโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา โดยเส้นในแนวแกนนอนในภาพจะสามารถบอกถึงค่าที่คลาดเคลื่อนไปของเม็ดโลหะตามแนวแกน z

การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สถิติ ใช้ one way ANOVA ในการทดสอบถึงผลของอัตราการหายใจที่มีต่อระยะทางที่คลาดเคลื่อนของเม็ดโลหะและปริมาตรของก้อนมะเร็งจำลองในหุ่นจำลองการหายใจ โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษา

ผลของระยะทางที่คลาดเคลื่อนไปของเม็ดโลหะและปริมาตรของก้อนมะเร็งในหุ่นจำลอง จากการหาค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง แสดงผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 1 จากผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยของระยะที่คลาดเคลื่อนของเม็ดโลหะ เท่ากับ 0.44±0.10 มิลลิเมตร โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดเท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยของปริมาตรของก้อนมะเร็งจำลองจากภาพ 4-D CT เท่ากับ 10.05±0.08 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยที่ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรจากภาพ 4-D CT เมื่อเทียบกับปริมาตรจริงเท่ากับร้อยละ 0.54±0.8 โดยที่เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มากที่สุด คือ ร้อยละ 1.6 ที่เฟสการหายใจร้อยละ 50 และอัตราการหายใจ 20 ครั้งต่อนาที

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองเมื่อจำแนกในแต่ละอัตราการหายใจ โดยพบว่าระยะทางที่คลาดเคลื่อนของเม็ดโลหะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น จะมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น และปริมาตรของก้อนจะมีความแตกต่างจากปริมาตรจริงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าระยะทางที่คลาดเคลื่อน และปริมาตรของก้อนมะเร็งจำลองในอัตราการหายใจทั้ง 3 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติด้วยค่า p-value เท่ากับ 0.150 และ 0.818 ตามลำดับ

วิจารณ์

ระบบการเก็บข้อมูลภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างภาพใหม่โดยสัมพันธ์กับการหายใจนั้นมีหลายระบบ เช่น ระบบ RPM และระบบเข็มขัดลูกสูบตามการหายใจ แต่ในงานวิจัยเลือกใช้ระบบ RPM เนื่องจาก

เป็นระบบที่สามารถใช้ร่วมกับเครื่อง 4-D CT ได้ทุกชนิด ซึ่งต่างจากระบบเข็มขัดลูกสูบตามการหายใจที่ผลิตขึ้นจากบริษัท Philips ที่สามารถใช้ได้เฉพาะเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ยี่ห้อ Philips เท่านั้น จากผลการวิจัยพบว่าระบบ RPM ให้ความถูกต้องในการสร้างภาพทั้งในด้านของตำแหน่งและปริมาตรของภาพที่ได้ ถึงแม้ว่าระบบ RPM ไม่ใช่ระบบที่ติดมากับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จำลองการรักษา แต่ก็สามารถใช้ในการเก็บข้อมูลได้ถูกต้อง โดยพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของระยะเฉลี่ยมีค่าไม่เกิน 0.6 มิลลิเมตร และปริมาตรของก้อนมะเร็งในหุ่นจำลองที่วัดได้มีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับปริมาตรจริงไม่เกิน 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ 1 แสดงผลของระยะทางที่คลาดเคลื่อนเฉลี่ย และปริมาตรเฉลี่ยที่วัดได้จากการสร้างภาพ 4-D CT จากระบบจัดการตำแหน่งตามเวลาจริง

อัตราการหายใจ (ครั้งต่อนาที)	เฟสการหายใจ (ร้อยละ)	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความคลาดเคลื่อนของปริมาตร (ลบ.ซม.)	ร้อยละความแตกต่างของปริมาตรที่แตกต่างจากปริมาตรจริง
10	0	0.43	9.97	0.03	0.27
	50	0.33	10.09	0.09	0.93
15	0	0.47	10.01	0.01	0.10
	50	0.33	10.12	0.12	1.17
20	0	0.60	9.97	0.03	0.30
	50	0.47	10.16	0.16	1.60
ค่าเฉลี่ย		0.44	10.05	0.07	0.73
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.10	0.08	0.06	0.60

ตารางที่ 2 สรุปการแสดงผลของอัตราการหายใจที่มีต่อระยะทางที่คลาดเคลื่อนไปของเม็ดโลหะ และปริมาตรของก้อนมะเร็งจำลองที่วัดได้จากการสร้างภาพ 4-D CT

อัตราการหายใจ (ครั้งต่อนาที)	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน			ปริมาตร		
	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	P-value	ค่าเฉลี่ย (ลบ.ซม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	P-value
10	0.38	0.15	0.150[a]	10.03	0.09	0.818[a]
15	0.40	0.13		10.06	0.08	
20	0.53	0.17		10.07	0.12	

[a]One-way ANOVA

ในการสร้างภาพ 4-D CT นั้นความสามารถของระบบการเก็บข้อมูลภาพที่สัมพันธ์กับการหายใจไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพ อัตราการหายใจที่สัมพันธ์กับค่าพิทช์เป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญเช่นกัน จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าที่ตำแหน่งของเฟสการหายใจร้อยละ 0 และเฟสการหายใจที่ร้อยละ 50 เป็นตำแหน่งเฟสการหายใจที่ให้ภาพของเม็ดโลหะมีขอบเขตของก้อนมะเร็งจำลองเหมือนจริงมากที่สุด ในขณะที่ภาพจากเฟสการหายใจอื่นๆ จะมี motion artifact เกิดขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อการรักษาที่ผิดพลาด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากค่าพิทช์ที่มีค่ามากเกินไป ดังนั้นในศึกษาครั้งต่อไปควรจะทำการศึกษาหาค่าอัตราส่วนพิทช์ที่เหมาะสมกับแต่ละอัตราการหายใจ สำหรับตำแหน่งของเฟสการหายใจร้อยละ 50 พบว่ามีค่าเฉลี่ยระยะทางที่คลาดเคลื่อนของเม็ดโลหะน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่าเฟสการหายใจที่ร้อยละ 50 เป็นตำแหน่งหายใจออกสุดซึ่งจะมีการเคลื่อนของก้อนมะเร็งที่เกิดจากการหายใจน้อยที่สุด จึงนิยมเลือกใช้เฟสการหายใจช่วงร้อยละ 50 หรือช่วงการหายใจออกมาใช้ในการฉายรังสีด้วยเทคนิค respiratory gating[4]

สำหรับการเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจที่ระดับ 10 ครั้งต่อนาที 15 ครั้งต่อนาที และ 20 ครั้งต่อนาที พบว่าเมื่ออัตราการหายใจเพิ่มขึ้น เม็ดโลหะมีค่าเฉลี่ยระยะทางที่คลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น โดยอัตราการหายใจ 20 ครั้งต่อนาทีมีค่าเฉลี่ยระยะทางที่คลาดเคลื่อนของเม็ดโลหะและปริมาตรของก้อนมะเร็งมากที่สุด แต่เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการปรับอัตราส่วนพิทช์ที่แตกต่างกันในแต่ละอัตราการหายใจอยู่แล้ว ดังนั้นผลที่ได้จึงพบว่าอัตราการหายใจไม่มีผลต่อตำแหน่งของเม็ดโลหะและปริมาตรของก้อนมะเร็งจำลอง

ผลการวิจัยที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chang และคณะ[9] ที่ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องในการติดตามการเคลื่อนไหวและควบคุมการฉายรังสีในระบบ gating ของระบบ RPM และระบบ Brain Lab ExacTrac Gating ในเครื่องฉาย Novalis Tx ของบริษัท Varian® ซึ่งพบว่าทั้งสองระบบมีความถูกต้องไม่แตกต่างกัน ดังนั้น ถึงแม้ระบบ RPM จะต่างยี่ห้อกับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ หรือเครื่องฉายรังสีก็สามารถให้ความถูกต้องในการติดตามการเคลื่อนไหวจากการหายใจได้เช่นเดียวกัน

สรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การสร้างภาพ 4-D CT จากระบบ RPM ให้ความถูกต้องในการสร้างภาพ โดยการเคลื่อนที่ของเม็ดโลหะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.44±0.10 มิลลิเมตร และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของปริมาตรก้อนมะเร็ง 0.07±0.06 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยระยะทางที่คลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.6 มิลลิเมตร และปริมาตรผิดพลาดไม่เกิน 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการหายใจช่วง 10-20 ครั้งต่อนาทีไม่มีผลต่อความถูกต้องของปริมาตรของก้อนมะเร็งที่ได้จากภาพ 4-D CT อย่างไรก็ตามเมื่อมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นตำแหน่งของก้อนมะเร็งอาจมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงเพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ยังควรพิจารณาเพื่อปรับตั้งค่าพิทช์ในการสร้างภาพ 4-D CT ให้สัมพันธ์กับอัตราการหายใจด้วยเช่นกัน

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายจีรศักดิ์ คำฟองเครือ นางสาวกนกวรรณ สระมุณี นางสาวนงค์นุช คำตา และนางสาววโรชา แสนกล้า ในการช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Mageras GS, Yorke E. Deep inspiration breath hold and respiratory gating strategies for reducing organ motion in radiation treatment. Semin Radiat Oncol 2004; 14: 65 - 75.
2. Underberg RW, Lagerwaard FJ, Slotman BJ, et al. Benefit of respiration-gated stereotactic radiotherapy for stage I lung cancer: an analysis of 4-D CT datasets. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2005; 62: 554 - 60.

3. American Association of Physicists in Medicine. AAPM Report No.91: The management of respiratory motion in radiation oncology. Maryland: AAPM; 2006.
4. Saw CB, Brandner E, Selvaraj R, et al. A review on the clinical implementation of respiratory-gated radiation therapy. Biomed Imaging Interv J 2007; 3: e40.
5. Deshpande S. To study tumor motion and planning target volume margins using four dimensional computed tomography for cancer of the thorax and abdomen regions. J Med Phys 2011; 36: 35 - 9.
6. Varian Medical Systems. Real-time Position Management^{TM} System comprehensive system for total motion management. Palo Alto: Varian Medical Systems; 2007.
7. Morin RL, Serago C, Vallow L. Respiratory gating for radiotherapy. J Am Coll Radiol 2006; 3: 372 - 4.
8. Klahr P, Subramanian PS, Yanof JH. Respiratory correlated multislice CT for radiation therapy planning: imaging and visualization methods. Medicamundi 2005; 49: 34 - 7.
9. Chang Z, Liu T, Cai J, et al. Evaluation of integrated respiratory gating systems on a Novalis Tx system. J Appl Clin Med Phys 2011; 12: 3495.