

การคำนวณปริมาตรเนื้อตับด้วยโปรแกรม 3D Slicer : กรณีศึกษาผ่าตัดตับกลีบขวาหลังอุดหลอดเลือดดำพอร์ทัลในผู้ป่วยมะเร็งลำไส้ใหญ่ระยะแพร่กระจาย

สุรวุฒิ เจริญจรชัย พ.บ.*, มนต์ มีแก้ว พ.บ.**

บทคัดย่อ

การทำผ่าตัดตับ (hepatectomy) มีภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญคือภาวะตับวายหลังผ่าตัดเนื่องจากปริมาตรเนื้อตับที่เหลือหลังผ่าตัด (future liver remnant) ไม่เพียงพอ การคำนวณปริมาตรเนื้อตับที่จะเหลือหลังผ่าตัดมีส่วนช่วยป้องกันภาวะแทรกซ้อนนี้ได้ เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณปริมาตรเนื้อตับได้แก่โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ภาพสามมิติ ซึ่งมีทั้งแบบคำนวณด้วยตัวเองแบบกึ่งอัตโนมัติและแบบอัตโนมัติ ในราคาที่แตกต่างกัน ทั้งยังมีโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีประสิทธิภาพสูงให้ใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และสามารถทำโดยรังสีแพทย์ หรือแพทย์สาขาอื่น ปัจจุบันโปรแกรมเหล่านี้สามารถติดตั้งให้ใช้งานได้โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล การศึกษานี้แนะนำการใช้โปรแกรม 3D Slicer ซึ่งเป็น open source software และมีประสิทธิภาพดีพอที่จะช่วยให้ศัลยแพทย์คำนวณปริมาตรตับก่อนผ่าตัดได้อย่างปลอดภัยเพิ่มขึ้น โดยนำเสนอเป็นกรณีผู้ป่วยมะเร็งลำไส้ใหญ่แพร่กระจายไปตับกลีบขวาหลายตำแหน่ง ถ้าเลือกทำผ่าตัดตับกลีบขวา (right hepatectomy) ตั้งแต่แรกจะเหลือปริมาตรตับจากการคำนวณเพียง 37% ซึ่งอาจเสี่ยงต่อภาวะตับวาย แต่หลังจากทำอุดหลอดเลือดดำพอร์ทัลด้านขวา (right portal vein embolization : PVE) ทำให้ตับกลีบซ้ายขยายขึ้น และคำนวณปริมาตรตับหลังผ่าตัดได้ 44% จึงทำผ่าตัดได้อย่างปลอดภัย

คำสำคัญ : ปริมาตรเนื้อตับ, โปรแกรม 3D Slicer, ผ่าตัดตับ, อุดหลอดเลือดดำพอร์ทัล

Liver Volumetry with 3D Slicer : A Case Study of Right Hepatectomy after Portal Vein Embolization in Metastasis Colon Cancer

Surawut Charoenkajonchai M.D.*, Mon Meekaew M.D.**

Abstract

Post-hepatectomy liver failure due to inadequate future liver remnant (FLR) is a fatal complication. Liver volumetry is an important tool to estimate the FLR thus, prevent the complication. Three-dimensions computer software could estimate liver volume, resection volume and tumor volume by analyzing the data from CT scan. Many of software packages are available for personal use. There are automate, semi-automate or manual software. Some are commercial and some are open-source software. This report presents 3D Slicer program which is an open-source freeware. It has ability to analyze and calculate liver volume from CT scan image. The presentation shows in a report of a patient with multiple large liver metastasis of sigmoid cancer. The operation of choice is right hepatectomy. The 3D Slicer is used to calculate %FLR. At first, %FLR was calculated to 37% which is risk for post-hepatectomy liver failure. After right portal vein embolization (PVE), %FLR was increasing to 44%. Right hepatectomy was safely performed.

Keywords : liver volumetry, 3D Slicer, hepatectomy, portal vein embolization

* นายแพทย์เชี่ยวชาญ แผนกศัลยกรรม โรงพยาบาลชลบุรี

* Surgical Unit, Chonburi Hospital

** นายแพทย์ชำนาญการพิเศษ หน่วยรังสีวิทยาและรังสีร่วมรักษา
โรงพยาบาลมะเร็งชลบุรี

** Vibaharam Amata Nakam Hospital, Chonburi

บทนำ

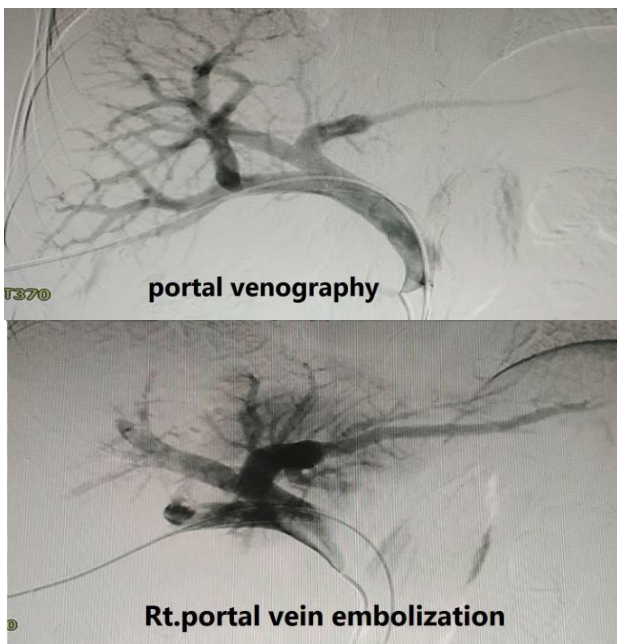
การคำนวณปริมาตรเนื้อตับที่คาดว่าจะเหลือหลังผ่าตัด ถือเป็นกฎเกณฑ์สำคัญที่ช่วยประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนตับวายหลังผ่าตัด ถ้าคำนวณแล้วพบว่าปริมาตรเนื้อตับที่จะเหลือหลังผ่าตัดน้อยเกินไปแสดงว่ามีความเสี่ยงสูง ก็ควรเลี่ยงการผ่าตัดนั้นหรืออาจเลือกทำ PVE เพื่อเพิ่มปริมาตรเนื้อตับ เมื่อปริมาตรเนื้อตับเพิ่มขึ้นถึงระดับที่ปลอดภัยจึงทำการผ่าตัดตับได้ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ปริมาตรเนื้อตับต้องมีความแม่นยำดีพอเพราะค่าจากการคำนวณจะมีผลต่อการตัดสินใจรักษา โปรแกรมคุณภาพของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ยี่ห้อต่าง ๆ จะมีฟังก์ชันการทำงานพิเศษที่ต้องซื้อเพิ่มเติมให้สามารถวิเคราะห์สร้างภาพสามมิติและใช้คำนวณปริมาตรได้ และบางครั้งสามารถใช้วางแผนช่วยผ่าตัดตับได้ แต่โปรแกรมดังกล่าวจำเป็นต้องติดตั้งในระบบของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์และใช้งานได้ในแผนกรังสีเท่านั้นและยังมีค่าใช้จ่ายสูง โปรแกรมคุณภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของแพทย์ทั่วไปจึงมีเพียงเครื่องมือใช้ดูและวัดระยะแบบสองมิติ ซึ่งสามารถใช้วัดเปรียบเทียบระยะทางได้แต่ไม่สามารถวัดพื้นที่หรือวัดปริมาตรได้ ดังนั้นโปรแกรมคุณภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันจึงไม่เพียงพอสำหรับประเมินความเสี่ยงก่อนทำผ่าตัดตับ จนกระทั่งในปัจจุบันเริ่มมีโปรแกรมคุณภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ที่สามารถวิเคราะห์สร้างภาพสามมิติโดยอาศัยข้อมูลจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ โปรแกรมเหล่านี้สามารถติดตั้งในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับระบบของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ทำให้มีความสะดวกคล่องตัวสำหรับแพทย์ทั่วไปที่ต้องการใช้งานดังกล่าวได้ โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพที่ช่วยในการคำนวณปริมาตรเนื้อตับ เช่นโปรแกรม iNtuition® ซึ่งทำงานแบบ autosegmentation และโปรแกรม OsiriX® ซึ่งทำงานแบบ manual segmentation สำหรับโปรแกรม OsiriX® มีโปรแกรมตัวทดลองสามารถใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย แต่ยังมีเฉพาะระบบปฏิบัติการ Mac OS เท่านั้น นอกจากนี้ยังมีโปรแกรม open source ที่ให้ใช้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายและติดตั้งได้ทุกระบบปฏิบัติการได้แก่ ImageJ, MIPAV และ 3D Slicer เป็นต้น¹⁻⁴ ความเข้าใจหลักการการทำงานและเรียนรู้การใช้งานโปรแกรมจะเป็นเครื่องมือช่วยให้ศัลยแพทย์ผ่าตัดตับได้อย่างปลอดภัยยิ่งขึ้น แต่ศัลยแพทย์จะเลือกใช้โปรแกรมใดขึ้นกับความชอบของแต่ละคน โปรแกรม 3D Slicer นับเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพราะมีประสิทธิภาพตรงกับความต้องการ สามารถเรียนรู้การใช้งานได้ด้วยตนเอง สามารถติดตั้งในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ทุกระบบปฏิบัติการโดย

ไม่มีค่าใช้จ่าย ความแม่นยำในการคำนวณน่าเชื่อถือได้ มีการพัฒนาต่อยอดโปรแกรมอย่างต่อเนื่องโดยชุมชนในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

กรณีศึกษา

ผู้ป่วยหญิงไทยอายุ 49 ปี มาโรงพยาบาลด้วยอาการปวดท้องน้อยด้านซ้าย เอกซเรย์คอมพิวเตอร์พบก้อนเนื้ออกบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนปลายร่วมกับการแพร่กระจายไปหลายตำแหน่งในตับ จากนั้นได้ทำผ่าตัดลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย (sigmoidectomy) ผลตรวจชิ้นเนื้อพบเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ร่วมกับการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลือง (moderately differentiated adenocarcinoma with lymph node metastasis 4/19) จากนั้นให้ยาเคมีบำบัด mFOLFOX6 + Bevacizumab และติดตามด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ในอีก 5 เดือนถัดมาพบการลดลงของการแพร่กระจายไปตับเหลือเพียงบริเวณตับกลีบขวา จึงวางแผนจะทำผ่าตัด right hepatectomy แต่จากการใช้โปรแกรม 3D Slicer คำนวณหา future liver remnant (%FLR) ได้ 37% เสี่ยงต่อการเกิดภาวะตับวาย จึงปรึกษาแพทย์รังสีร่วมรักษาเพื่อทำ PVE (ภาพที่ 1) ในผู้ป่วยรายนี้ทำ portography พบเป็น Cheng classification type III (right posterior portal vein as the first branch of main portal vein)⁵ จึงทำ PVE ที่ right posterior portal branches จนถึง main trunk และ peripheral branches of right anterior portal vein โดยเทคนิค ipsilateral approach ด้วย reverse curve catheter และอุดเส้นเลือดด้วย Polyvinyl alcohol ซึ่งเป็น permanent embolic agents หลังทำ PVE ไม่พบผลข้างเคียงใดๆ

หลังทำ Right PVE ผ่านไป 4 สัปดาห์จึงทำการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์พบว่ามีการขยายขึ้นของตับกลีบซ้าย เมื่อใช้โปรแกรม 3D Slicer คำนวณ %FLR ได้ 44% ร่วมกับผลตรวจเลือดทางเคมีเพื่อดูการทำงานของตับได้แก่ total bilirubin และ ALT เท่ากับ 0.56 และ 40 ตามลำดับ พิจารณาแล้วพบว่ามีความปลอดภัย ลดความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะตับวาย จึงได้ทำผ่าตัด right hepatectomy หลังผ่าตัดผู้ป่วยพักในหอผู้ป่วยวิกฤต 1 วัน และจากนั้นฟื้นตัวได้ตามปกติในหอผู้ป่วยธรรมดา ผล total bilirubin และ ALT หลังผ่าตัดวันที่ 1,3,5,8 ได้เท่ากับ 1.39,1.80,1.85,0.93 และ 286,180,123,69 ตามลำดับ ผู้ป่วยอาการดีขึ้นจนสามารถกลับบ้านได้ใน 8 วันหลังผ่าตัด ผลการตรวจทางพยาธิพบเป็น multiple metastasis adenocarcinoma of liver (5 mass), free margin, specimen size : 17x12x7 cm. , weight 600 gm.



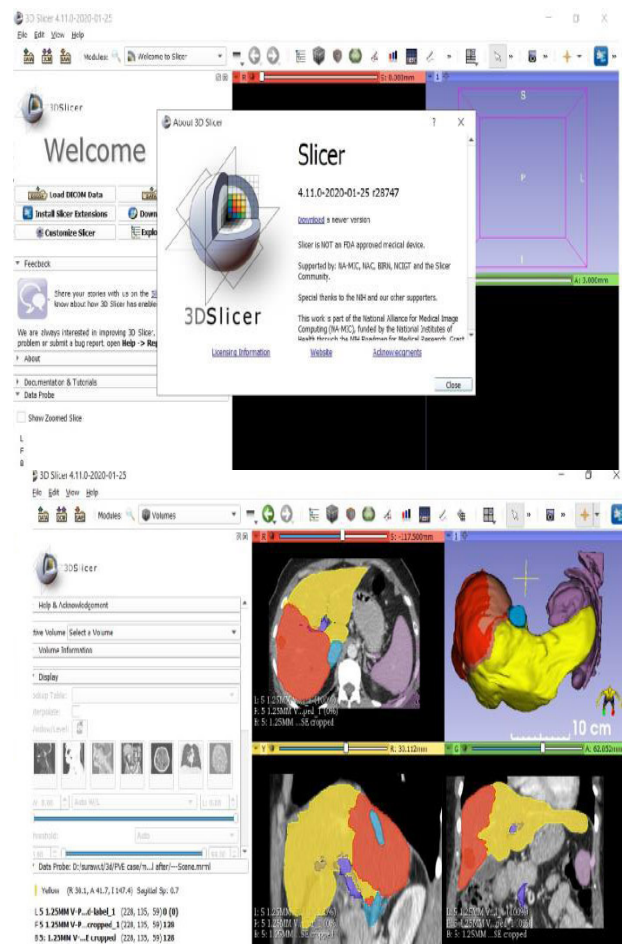
ภาพที่ 1 portal vein embolization

ผู้ป่วยกลับมาตรวจตามนัดติดตามในระยะห่าง 2 สัปดาห์ ไม่พบอาการผิดปกติและได้รับยาเคมีบำบัดต่อจนครบตามแผนที่กำหนด จากนั้นตรวจติดตามด้วยอัลตราซาวด์และเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ในระยะ 3 เดือน และ 6 เดือน ยังไม่พบโรคกลับเป็นซ้ำและผู้ป่วยมีอาการปกติดี

โปรแกรม 3D Slicer (ภาพที่ 2)

เป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์สามารถสร้างแบบจำลองภาพ 3 มิติ มีฟังก์ชันช่วยแยกส่วนอวัยวะเพื่อนำไปประยุกต์งานที่หลากหลายเกือบทุกสาขาสามารถใช้กับภาพทางการแพทย์ทั้งอัลตราซาวด์, เอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์, การตรวจด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, การถ่ายภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์รวมถึงการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ด้วย อีกทั้งเป็นโปรแกรม open source ใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ตัวโปรแกรมมีการพัฒนาต่อเนื่องโดยอาสาสมัครทั่วโลก ทำให้มีโมดูลใหม่ๆ ที่เหมาะกับความต้องการของแพทย์ผู้ใช้ที่หลากหลาย จะมีข้อจำกัดอยู่บ้างที่ความซับซ้อนของตัวโปรแกรมทำให้การเรียนรู้ให้ถึงจุดที่นำไปใช้ได้จริงค่อนข้างยาก แม้จะมีแหล่งเรียนรู้มากมายที่เผยแพร่ทางสื่อสาธารณะ แต่การเรียนรู้เพื่อนำไปใช้ตรงสาขาที่สนใจก็เป็นไปไม่ได้ภายในระยะเวลาอันสั้น ทำให้มีโอกาสล้มเลิกไปเสียก่อนที่จะสะสมความรู้จนถึงจุด

ที่จะนำไปใช้ได้ ยิ่งไม่ต้องกล่าวถึงการพัฒนาต่อยอดให้ใช้งานโปรแกรมให้หลากหลายความต้องการหรือหลายสาขามากขึ้น บทความนี้ต้องการนำเสนอว่า ศัลยแพทย์สามารถเรียนรู้การใช้งานด้านภาพสามมิติทางการแพทย์และประยุกต์ใช้งานในการเตรียมผ่าตัดด้วย โดยโปรแกรม 3D Slicer นับเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจและเหมาะสมสำหรับการใช้งาน ตัวโปรแกรมสามารถติดตั้งในคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กสำหรับพกพาที่ไม่จำเป็นต้องมีความเร็วและหน่วยความจำสูงมากได้ สำหรับกรณีศึกษานี้ได้ใช้คอมพิวเตอร์รุ่นที่มี CPU INTEL CELERON N4000 และ RAM 4GB ซึ่งแม้ว่าการทำงานอาจมีช้าหรือหน่วงบ้างแต่ก็สามารถทำงานได้จนสำเร็จ



ภาพที่ 2 หน้าต่าง welcome screen และหน้าต่างการใช้งานของโปรแกรม 3D Slicer version 4.11.0

การใช้งานโปรแกรม 3D Slicer สำหรับการคำนวณหาปริมาตรเนื้อตับ อาศัยโมดูลหลักของโปรแกรมได้แก่ DICOM,

crop volume, segment editor และ segment statistics โดยเรียงลำดับการทำงานดังนี้

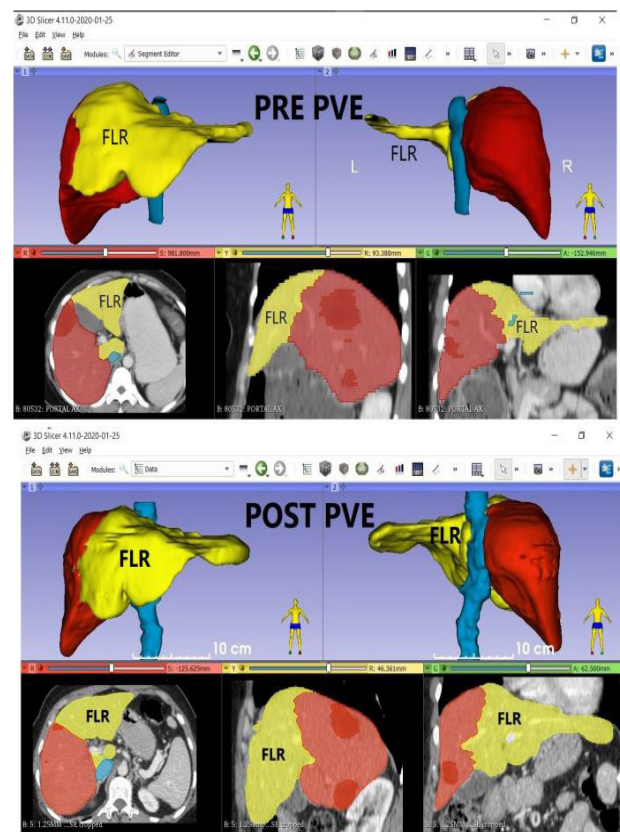
1. เริ่มจากเรียกใช้โมดูล DICOM เพื่อนำแฟ้มข้อมูลภาพเอ็กซเรย์จากแผ่นซีดีเข้าสู่การวิเคราะห์ เมื่อนำภาพเข้าแล้วก็สามารถดูอวัยวะและรอยโรคต่างๆได้เหมือนการดูภาพเอ็กซเรย์ตามปกติ ตัวโปรแกรมจะสามารถจำลองภาพสามมิติขึ้นจากชุดข้อมูลที่ได้ (volume rendering) ชุดข้อมูลที่ประกอบเป็นภาพสามมิตินี้เรียกว่า volume ซึ่งอาจมีข้อมูลขนาดใหญ่ จึงต้องเรียกใช้โมดูลต่อไป

2. โมดูล crop volume ช่วยตัดภาพสามมิติเฉพาะส่วนที่ครอบคลุมเนื้อตับทำให้ชุดข้อมูลมีขนาดเล็กลง สามารถประมวลผลได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่ประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์จำกัด ถ้าไม่ตัดลดขนาดข้อมูลลงอาจไม่สามารถทำงานให้สำเร็จได้เพราะอาจเกิดข้อผิดพลาดระหว่างที่คอมพิวเตอร์ประมวลผลจนหยุดชะงักไปได้ และแม้ว่าคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง การลดขนาดข้อมูลก็ทำให้ประหยัดเวลาในการประมวลผลได้มาก ในกรณีศึกษาปริมาตรข้อมูลก่อนและหลังทำ crop volume มีขนาดข้อมูลลดลงถึง 3 เท่า

3. จากนั้นใช้โมดูล segment editor ช่วยแยกตัวออกจากอวัยวะอื่นและวางแผนผ่าตัดเพื่อแยกเนื้อตับที่คาดว่าจะเหลือหลังผ่าตัด (future liver remnant) ออกจากเนื้อตับได้ หลักการของโมดูล segment editor คือการสร้างและออกแบบแบบจำลองสามมิติใหม่ซ้อนลงบนภาพสามมิติของผู้ป่วย โดยใช้ภาพของผู้ป่วยเป็นโครงร่างในการขีดขอบเขตของแบบจำลองใหม่นั้น แบบจำลองใหม่ที่สร้างขึ้นนี้เรียกว่า segment แล้วตั้งชื่อแบบจำลองใหม่ตามอวัยวะหรือส่วนของอวัยวะนั้น โดย segment แต่ละอันอาจจะซ้อนกันหรือไม่ก็ได้ เช่น ในกรณีศึกษานี้ได้ตั้งชื่อ segment และกำหนดสีให้แตกต่างกันดังนี้ liver, IVC, PV, spleen, background, right hepatectomy, FLR และ tumor ดังนี้แล้วก็จะมี right hepatectomy, FLR และ tumor เป็น segment ที่ซ้อนกับ liver ส่วน segment อื่นไม่ซ้อนทับกันเลย จากนั้นเรียกใช้เครื่องมือที่อยู่ในโมดูลกำหนดขอบเขตของแต่ละ segment เครื่องมือเหล่านี้คืออุปกรณ์สำคัญในการปรับแต่งรายละเอียดของ segment ตัวอย่างการใช้งานเครื่องมือเหล่านี้ เช่น ชีตเขียน(draw) ลบ(erase) ระบาย(paint)

เลือกตามความเข้ม(threshold) ทำขอบให้เรียบ(smoothing) ลบชิ้นส่วนเล็ก(islands) ปลูกขยายจากส่วนเล็ก(grow from seed) เป็นต้น การเรียกใช้เครื่องมือเหล่านี้มีเทคนิคหลากหลายตามแต่ความถนัดและความชำนาญของผู้ใช้งาน ภาพที่ 3 แสดงผลงานที่ได้จากการทำ segment editor โดยให้แสดงเฉพาะ segment ส่วน right hepatectomy, FLR, tumor และ IVC

4. สุดท้ายจึงใช้โมดูล segment statistics ในการคำนวณหาปริมาตรของตับและเนื้อตับที่คาดว่าจะเหลือหลังผ่าตัด โดยเลือก liver, tumor และ FLR เป็น segment ที่สนใจ ตัวโปรแกรมจะคำนวณค่า number of voxels และ volume (cm³) ให้ทราบ ในกรณีศึกษาสามารถคำนวณปริมาตรเนื้อตับ ปริมาตรเนื้องอกและ FLR ก่อนและหลัง PVE ได้เท่ากับ 1313.8, 146.1, 434.4 cm³ และ 1390.7, 42.5, 592.7 cm³ ตามลำดับ และคำนวณ %FLR per nontumorous liver volume ก่อนและหลัง PVE เท่ากับ 37% และ 44% ตามลำดับ



ภาพที่ 3 การสร้างแบบจำลอง liver, tumor และ FLR ซ้อนลงบนภาพเอ็กซเรย์ของผู้ป่วยโดยใช้โมดูล segment editor

วิจารณ์

การใช้โปรแกรม 3D Slicer คำนวณปริมาตรเนื้อตับ, ก่อนทำ PVE โดยศัลยแพทย์ในงานวิจัยนี้ได้เท่ากับ 1313.8 cm³ และเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมอื่นที่มีความสามารถใกล้เคียงกันได้แก่โปรแกรม imageJ⁴ สามารถวิเคราะห์ปริมาตรเนื้อตับได้เท่ากับ 1268.4 cm³ ส่วนการคำนวณปริมาตรก้อนเนื้อออกและปริมาตรเนื้อตับที่จะเหลือหลังผ่าตัดโดยโปรแกรม imageJ ได้เท่ากับ 162.6, 410.5 cm³ ตามลำดับ เมื่อคำนวณ %FLR ได้ 37% เท่ากับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม 3D Slicer ส่วนการวิเคราะห์ภาพหลังทำ PVE โดยโปรแกรม imageJ ได้ปริมาตรเนื้อตับ, ปริมาตรเนื้อออกและปริมาตรเนื้อตับที่จะเหลือหลังผ่าตัดได้เท่ากับ 1456.5, 74.7 และ 614.4 cm³ ตามลำดับ เมื่อคำนวณ %FLR ได้เท่ากับ 44% ซึ่งเท่ากับการใช้โปรแกรม 3D Slicer เช่นกัน จะเห็นว่าแม้โปรแกรมทั้งสองจะวิเคราะห์ปริมาตรได้แตกต่างกัน (ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเทียบแปลงหน่วยระยะ) แต่การคำนวณหา %FLR กลับได้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก (แตกต่างในระดับจุดทศนิยม) จึงอาจสรุปได้ว่าโปรแกรมทั้งสองมีประสิทธิภาพในการใช้คำนวณ %FLR ซึ่งจะมีส่วนช่วยศัลยแพทย์ก่อนตัดสินใจผ่าตัดรักษาได้จริง

วิธีใช้งานโปรแกรมทั้งสอง (3D Slicer และ imageJ) มีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกัน การเลือกใช้โปรแกรมใดแล้วแต่ความถนัดของผู้ใช้งาน สำหรับโปรแกรม 3D Slicer นี้ ผู้เขียนใช้เวลาศึกษาเรียนรู้ประมาณ 3-4 สัปดาห์ จึงสามารถใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ภาพในการคำนวณปริมาตรที่ต้องการได้ และใช้เวลาวิเคราะห์ภาพจนได้ผลลัพธ์ประมาณ 2-3 ชั่วโมงต่อชุดภาพเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ 1 ชุด กระบวนการจะเร็วขึ้นเมื่อมีความชำนาญในรายต่อไป ปัจจุบันการวิเคราะห์ชุดภาพเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ 1 ชุดใช้เวลาประมาณ 30 นาทีถึง 1 ชั่วโมง

สรุป

โปรแกรม 3D slicer สามารถนำมาใช้คำนวณปริมาตร

เนื้อตับและตับที่ส่วนที่เหลือหลังผ่าตัดได้ดี และนำมาใช้ในทางคลินิกได้จริง สามารถใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับโปรแกรมอื่นที่มีความสามารถแบบเดียวกันนี้⁶ การใช้งานจำลองภาพสามมิติสามารถใช้ในสาขาอื่นได้ด้วย เช่นศัลยกรรมหลอดเลือด ศัลยกรรมสมอง ศัลยกรรมกระดูกและไขข้อ เป็นต้น และยังมีฟังก์ชันการใช้งานพิเศษอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึงอีกมากมาย ฟังก์ชันการใช้งานโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ภาพสามมิตินี้เป็นส่วนเชื่อมโยงกับเทคโนโลยีการแพทย์สามมิติที่กำลังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การศึกษาการใช้งานโปรแกรมภาพสามมิติทางการแพทย์เหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Lodewick TM, Arnoldussen CW, Lahaye MJ, van Mierlo KM, Neumann UP, Beets-Tan RG, et al. Fast and accurate liver volumetry prior to hepatectomy. HPB 2016;18(9):764-72.
2. Dello SA, Stoot JH, van Stiphout RS, Bloemen JG, Wigmore SJ, Dejong CH, et al. Prospective volumetric assessment of the liver on a personal computer by nonradiologists prior to partial hepatectomy. World J Surg 2011;35(2):386-92.
3. van der Vorst JR, van Dam RM, van Stiphout RS, van den Broek MA, Hollander IH, Kessels AG, et al. Virtual liver resection and volumetric analysis of the future liver remnant using open source image processing software. World J Surg 2010;34(10):2426-33.
4. Dello SA, van Dam RM, Slangen JJ, van de Poll MC, Bemelmans MH, Greve JW, et al. Liver volumetry plug and play: do it yourself with ImageJ. World J Surg 2007;31(11):2215-21.

5. Iqbal S, Iqbal R, Iqbal F. Surgical implications of portal vein variations and liver segmentations: a recent update. *J Clin Diagn Res* 2017;11(2): AE01-5.
6. Haak D, Page CE, Deserno TM. A survey of DICOM viewer software to integrate clinical research and medical imaging. *J Digit Imaging* 2016;29(2):206-15.