บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ค่าเวลาของการผ่อนคลาย T_2 และ T_2^* (T_2, T_2^* Relaxation time)

ค่าเวลาของการผ่อนคลาย T_2 เป็นค่าคงที่ของเวลา ที่แสดงถึงการตอบสนองต่อการกระตุ้นแบบสปินสปิน ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียการร่วมเฟสเนื่องจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลเท่านั้น ขณะที่ T_2* แสดงถึงการสูญเสียการร่วมเฟสซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุล และความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็ก โดยที่การผ่อนคลายทั้ง 2 แบบนี้จะอยู่ในรูปแบบเอ็กโปเนนเชียล ซึ่งสามารถแทนได้ดังสมการที่ (1) และ (2) [30, 31]

$$M_{xy} = M_0 \exp\left(-t/T_2\right) \tag{1}$$

เมื่อ M_{xy} คือ ส่วนของแมกเนไทเซชั่น ในระนาบตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กหลัก M_0 คือ แมกเนไทเซชั่นที่ภาวะสมดุล และ T_2 คือ ค่าเวลาการผ่อนคลายที่แสดงถึงการตอบสนองต่อการกระตุ้นแบบสปินสปิน

$$M_{xy} = M_0 \exp\left(-t/T_2^*\right) \tag{2}$$

และ T_2 * คือ ค่าเวลาการผ่อนคลายที่เป็นผลรวมอันเนื่องมาจาก ค่า T_2 ของวัตถุใดๆ ความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กภายนอกวัตถุ และความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กจากภายในวัตถุ ดังแสดงในสมการที่ (3) [11, 20, 30-32]

$$\frac{1}{T_2^*} = \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_{2M}} + \frac{1}{T_{2MS}} \tag{3}$$

เมื่อ T_2 คือ เวลาการผ่อนคลายที่แสดงถึงการตอบสนองต่อการกระตุ้นแบบสปินสปิน, T_{2M} คือ ค่าเวลาการผ่อนคลายที่เป็นผลเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กภายนอกวัตถุ และ T_{2MS} คือ ค่า เวลาการผ่อนคลายที่เป็นผลเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอภายในวัตถุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่า T_2* สามารถวัดได้โดยใช้ลำดับพัลล์แบบเกรเดียนท์เอคโค (Gradient echo pulse sequence, GRE) [11, 30, 33] และโดยทั่วไปแล้ว ค่าเวลาของการผ่อนคลาย T_2* นั้นจะมีเวลาที่สั้นและไวต่อความไม่สม่ำเสมอของ สนามแม่เหล็กกว่าค่าเวลาของการผ่อนคลาย T_2

2.2 รูปแบบการตอบสนองของอิเล็กตรอนต่อสนามแม่เหล็กหลัก

การตอบสนองของอิเล็กตรอนต่อสนามแม่เหล็กหลักมีอยู่ 4 รูปแบบ [31] ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัว วงโคจรของอิเล็กตรอนนั้น และขนาดของค่าสภาพรับแม่เหล็ก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 แสดงการตอบสนองของอิเล็กตรอนต่อสนามแม่เหล็กในรูปแบบต่างๆทั้ง 4 รูปแบบ ซึ่งในที่นี้จะอธิบายโดยละเอียดเฉพาะรูปแบบ พาราเมกเนติก (Paramagnetism) เท่านั้น

ตารางที่ 1 การตอบสนองของอิเล็กตรอนต่อสนามแม่เหล็กรูปแบบต่างๆ [31]

Type of magnetism	Basis	Relative Magnetic Susceptibility	Example of Substance
Diamagnetism	Electron paired No permanent spin moment	-1	Most organic materials
Paramagnetism	Electron unpaired Noninteracting permanent moments	+10	Metal chelates
Superparamagnetism	Electrons unpaired Nointeracting domains	+5,000	Small iron particles
Ferromagnetism	Electrons unpaired Interacting domains	+25,000	Large iron particles

2.2.1 พาราแมกเนติก (Paramagnetism)

สารชีวภาพบางชนิดที่มีโครงสร้างอะตอม หรือ โมเลกุลที่อิเล็กตรอนอยู่แบบเดี่ยวๆ เนื่องจากสารเหล่านี้มีวงโคจรของอิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานใกล้เคียงกันอยู่มาก ทำให้อิเล็กตรอนแต่ละตัวสามารถกระจายตัวอยู่ในวงโคจรได้ มีคุณสมบัติ คือ มีสภาพเป็นแม่เหล็ก เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กหลักของเครื่องเอ็มอาร์ไอ หรือมีค่าสภาพรับแม่เหล็กเป็นบวก สำหรับสารที่มีอิเล็กตรอนอยู่แบบเดี่ยวๆ สภาพแม่เหล็กจะหมดไปเมื่อหยุดให้สนามแม่เหล็กภายนอก และสารพาราเมกเนติกนี้จะก่อให้เกิดความไม่สม่ำเสมอภายในสนามแม่เหล็กหลัก ตัวอย่างของสารเหล่านี้ คือ เฟอร์รัส (ferrous) และเฟอร์ริกออกซิเดชัน (ferric oxidation) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเม็ดเลือดแดง ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงจำนวนอิเล็กตรอนในอะตอมที่อยู่เดี่ยวๆ ของอนุภาคแบบ Transition Metal Iron และ Lanthanide Metal Iron [31]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 จำนวนของอิเล็กตรอนที่อยู่แบบเดี่ยวๆ ของอนุภาคแบบ Transition Metal และ Lanthanide Metal [31]

Ion	จำนวนของอิเล็กตรอนที่อยู่แบบเดี่ยว ๆ
Transition Metal Ions	
Chromium (III)	3
Iron (II) (high spin)	4
Manganese (II), Iron (III)	5
Lanthanide Metal Ions	
Praseodymium (III)	2
Gadolinium (III)	7
Dysprosium (II)	5

2.3 หุ่นจำลอง (Phantom) ที่ใช้เพื่อการควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

ปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการพิจารณาเลือกวัสดุที่นำมาสร้างเป็นหุ่นจำลอง เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเอ็มอาร์ไอ [5, 6] ได้แก่ สารเคมี อุณหภูมิ การเคลื่อนที่ของสารเคมี (chemical shifts) ค่า T_1 ค่า T_2 และค่าความหนาแน่นของโปรตอน (proton density) โดยค่าเวลาการผ่อนคลาย (relaxation time) ที่เหมาะสมของหุ่นจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเวลาการผ่อนคลายของเนื้อเยื่อมนุษย์ ควรมีค่า T_1 ควรอยู่ในช่วง 100 ถึง1200 มิลลิวินาที ค่า T_2 ควรอยู่ในช่วง 50 ถึง 400 มิลลิวินาที และค่าความหนาแน่นของโปรตอน ควรอยู่ในช่วงมากกว่าหรือเท่ากับ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (H_20 density) ดังแสดงในตารางที่ 3 [5, 6]

ตารางที่ 3 แสดงค่าเวลาการผ่อนคลาย ที่เหมาะสมของหุ่นจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเวลาการผ่อนคลายของเนื้อเยื่อมนุษย์ [5, 6]

	T_1	T_2	Proton density
ค่าเวลาการผ่อนคลาย มิลลิวินาที (ms)	100-1200	50-400	$\geq H_20$ density

2.4 พารามิเตอร์ของการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เครื่องเอ็มอาร์ไอ (MRI) ที่ศึกษา

พารามิเตอร์ของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอ็มอาร์ไอที่ศึกษา และคาดว่าน่าจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ ประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ การตรวจสอบความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (Magnetic field homogeneity) การตรวจสอบความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สม่ำเสมอ บนภาพ (Image uniformity) และ การตรวจสอบสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio หรือ SNR) [1, 2] ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการตรวจสอบดังนี้คือ

2.4.1 <u>การตรวจสอบความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (Magnetic field homogeneity)</u>

คือ ค่าที่แสดงถึงความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (B0) ภายในปริมาตรที่สนใจ [2, 5, 6] มีหน่วยเป็น ppm (parts per million) การตรวจสอบความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลักตามข้อเสนอแนะโดย ACR มีอยู่ 2 วิธีคือ วิธี Spectral peak และ วิธี Phase different mapping ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Phase different mapping ในการศึกษา

<u>วิธีการ Phase difference mapping</u> คือ วิธีการที่ใช้ตรวจสอบค่าความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก โดยใช้ภาพเอ็มอาร์ชนิดเฟสจากหุ่นจำลองน้ำมาวัดค่า phase difference ในหน่วยของเรเดียน (radians)

<u>การคำนวณค่าความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก</u> สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) [2, 5, 6]

$$\Delta B_0 = \frac{\delta\phi}{\gamma}\left(\frac{1}{TE_1 - TE_2}\right) \qquad (4)$$

เมื่อ $\delta\phi$ คือ ความแตกต่างของเฟสภายในมุมของทรงกลม (phase difference in radians)

γ คือ ไจโรแมกเนติกเรโช (Gyromagnetic ratio) (42,576 $Hz \bullet mT^{-1}$= 267,513 radians per second per mT^{-1} for protons)

TE_1 คือ ช่วงเวลาที่ทำการกระตุ้นจนเกิดเอคโคที่หนึ่ง (TE = 10 มิลลิวินาที)

TE_2 คือ ช่วงเวลาที่ทำการกระตุ้นจนเกิดเอคโคที่สอง (TE = 13 มิลลิวินาที)

<u>ค่ามาตรฐาน</u> สำหรับเครื่องเอ็มอาร์ไอที่มีสนามแม่เหล็กหลัก 1.5 เทสลา ชนิดตัวนำยิ่งยวด (superconducting magnet)ในปริมาตรทรงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ถึง 40 เซนติเมตร ควรมีค่าความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก ไม่เกิน 2 ppm [2, 5, 6]

<u>ผลต่อค่า T_2*</u> ค่าความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการ วัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์เนื่องจาก เมื่อมีวัตถุที่เป็นสารพาราเมกเนติกอยู่ในสนามแม่เหล็กหลักของเครื่องเอ็มอาร์ไอ แล้วจะก่อให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลักในบริเวณนั้น และทำให้ การหมุน (spin) ของอะตอมในบริเวณดังกล่าวเร็วกว่าบริเวณโดยรอบ จึงเกิดการแตกเฟส (out of phase) เร็วกว่าปกติ ผลเสียที่เกิดบนภาพเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สนามแม่เหล็ก หลัก คือ การผิดรูปของวัตถุในภาพ (image distortion) คุณภาพของภาพลดลง (image degradation) เกิดวัตถุผิดปกติ (artifact) บนภาพ และ สัญญาณ (signal) ที่ได้ลดลง [1, 6, 34-37] ซึ่งผลเสียที่เกิดบนภาพเอ็มอาร์เหล่านี้ จะส่งผลโดยตรงต่อการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ ดังนั้นการตรวจสอบความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก จึงเป็นพารามิเตอร์แรกที่ควรทำการตรวจสอบเมื่อมีการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ [35]

2.4.2 <u>การตรวจสอบความสม่ำเสมอบนภาพ (Image uniformity)</u>

คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถของเครื่องเอ็มอาร์ไอ ที่สามารถสร้างภาพเอ็มอาร์ที่มีความสม่ำเสมอ ของสัญญาณเมื่อวัตถุที่ใช้สร้างภาพเอ็มอาร์นั้นมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว (homogeneous) [2, 5, 6] ความสำคัญและข้อดีของพารามิเตอร์นี้คือ เป็นพารามิเตอร์ที่สามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว และถ้าค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ ที่วัดได้จากภาพมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แล้วสามารถสื่อให้เห็นถึงปัญหาต่างๆที่เกิดในระบบของเครื่องเอ็มอาร์ไอ เช่น สนามคลื่นวิทยุ (radio frequency field) ไม่มีความสม่ำเสมอ อุปกรณ์รับสัญญาณ (reception coil) ไม่มีความสม่ำเสมอ หรือ สนามแม่เหล็กหลัก (main magnetic field) ไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น [2, 38]

<u>การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ</u> จะคำนวณดังแสดงในสมการที่ (5) [2, 5, 6]

$$PIU = (1 - \frac{\max. - \min.}{\max. + \min.}) * 100 \qquad (5)$$

เมื่อ PIU คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ

max. คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณทุกพิกเซลใน “Max ROI” บริเวณที่ภาพมีความเข้มของสัญญาณมากที่สุด

min. คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณทุกพิกเซลใน “Min ROI” บริเวณที่ภาพมีความเข้มของสัญญาณน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

<u>ค่ามาตรฐาน</u> สำหรับเครื่องเอ็มอาร์ไอที่มีสนามแม่เหล็กหลัก 1.5 เทสลา ชนิดตัวนำยิ่งยวด (superconducting magnet) ในปริมาตรทรงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 20 เซนติเมตร ควรมีค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ [2, 5, 6]

<u>ผลต่อค่า T_2*</u> ค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดความคลาดเคลื่อน ของวิธีการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ เนื่องจาก วิธีการนี้เป็นการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ (signal intensity) บนภาพที่ค่าเอคโค (TE) ต่างๆเพื่อหาค่า T_2* ที่ต้องการ ดังนั้นหาก

ภาพเอ็มอาร์มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ก็อาจจะทำ ให้ค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้จากภาพผิดไปจากค่าจริง ด้วยเหตุนี้พารามิเตอร์การตรวจสอบความสม่ำเสมอบนภาพ จึงเป็นพารามิเตอร์ที่สอง ที่ควรตรวจสอบเพราะอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของวิธีการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์

2.4.3 <u>การตรวจสอบสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio หรือ SNR)</u>

คือ ค่าที่แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน [1, 2, 5, 6] โดย สัญญาณในที่นี้คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณ (signal) ภายในบริเวณที่สนใจ (ROI หรือ region-of-interest) และสัญญาณรบกวน (noise) คือ รากที่สองของความแปรปรวนของสัญญาณภายในบริเวณที่สนใจ

<u>การคำนวณค่า</u>สัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน จะคำนวณดังแสดงในสมการที่ (6) [1, 5, 6]

$$SNR = \frac{MeanSignal}{NoiseS\tan dDeviation} \qquad (6)$$

เมื่อ Mean Signal คือ ค่าเฉลี่ยของทุกพิกเซลในภาพที่เกิดจากเอคโคที่ 20 มิลลิวินาที (Mean Signal ROI), Noise Standard Deviation คือ รากที่สองของความแปรปรวนของทุกพิกเซลบริเวณนอกภาพที่เกิดจากเอคโคที่ 20 มิลลิวินาที (Noise ROI)

<u>ค่ามาตรฐาน</u> สำหรับเครื่องเอ็มอาร์ไอที่มีความแรงของสนามแม่เหล็กหลักเท่ากับ 1.5 เทสลา ชนิดตัวนำยิ่งยวด (superconducting magnet) โดยทั่วไป ค่าสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน จะยอมรับที่การเปลี่ยนแปลงที่ไม่เกินจากค่าแรกหลังการติดตั้งหรือหลังการซ่อมแซมในช่วง ± 1 SD [2, 5, 6]

<u>ผลต่อค่า T_2*</u> ค่าสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน เป็นพารามิเตอร์หนึ่งของการควบคุมคุณภาพ ที่ส่งผลกระทบต่อการวัดค่า T_2* [2, 5, 6, 8, 20] เนื่องจาก ภาพเอ็มอาร์ที่มีสัญญาณรบกวน (noise) อยู่ในภาพมาก หรือมีค่าสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวนต่ำ จะเกิดผลเสียในภาพเอ็มอาร์ คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น จะไปลดรายละเอียดของภาพโดยเฉพาะในบริเวณที่สนใจ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความเข้มของภาพ (image intensity) ในบริเวณนั้น [1] และจากการศึกษาของ T. He และคณะ [2, 5, 20] พบว่าสัญญาณรบกวนที่อยู่บนภาพเอ็มอาร์ มีผลต่อการเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ (fitting model) ที่นำมาใช้ในการฟิตกราฟเพื่อหาค่า T_2* เช่นเมื่อนำภาพเอ็มอาร์ที่มีสัญญาณรบกวนสูงมาหาค่า T_2*ด้วยการ ฟิตกราฟด้วยสมการทรานเคชั่น (truncation model) จะวัดค่า T_2* ได้เท่ากับ 6.9 มิลลิวินาที ในขณะที่ค่า T_2*จากการฟิตกราฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้วยสมการอ๊อฟเซท (offset model) จะมีค่าเท่ากับ 4.4 มิลลิวินาที และพบว่าค่า T_2* จะลู่เข้าหาค่าเดียวกันเมื่อนำภาพที่มีสัญญานรบกวนต่ำมาฟิตกราฟโดยไม่ขึ้นกับการเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ (fitting model) ที่นำมาใช้ ด้วยเหตุนี้หากต้องการลดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ จึงจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบปริมาณของสัญญาณรบกวนในภาพ ดังนั้นการตรวจสอบสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน จึงเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้

2.5 การประเมินธาตุเหล็กสะสมด้วยวิธีการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ (T_2* mapping)

วิธีการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ คือ วิธีการที่ใช้ในการประเมินภาวะเหล็กสะสมในอวัยวะต่างๆ [8, 10, 14, 20, 35, 39] เช่น ที่ ตับ ม้าม และ กล้ามเนื้อหัวใจของผู้ป่วย โดยใช้ภาพเอ็มอาร์ที่ได้จากการสร้างภาพด้วยลำดับพัลล์แบบเกรเดียนท์เอคโค (Gradient Echo pulse sequence) เนื่องจากลำดับพัลล์แบบนี้จะไม่มีการให้คลื่นวิทยุ 180 องศา (180^o RF pulse) เพื่อชดเชยความไม่สม่ำเสมอ ของสนามแม่เหล็กหลักต่อโปรตอน ทำให้สามารถแสดงผลของความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็ก ได้ [11, 30, 33]

การวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์นี้ จะเห็นได้ว่าความถูกต้องของค่าความเข้มของสัญญาณบนภาพเอ็มอาร์ ที่นำมาใช้เพื่อวัดค่า ส่งผลกระทบอย่างมากต่อการวัดค่า T_2* โดยความถูกต้องของค่าความเข้มของสัญญาณบนภาพเอ็มอาร์ สามารถตรวจสอบได้ด้วยการควบคุมคุณภาพเครื่องเอ็มอาร์ไอ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดพารามิเตอร์ของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอ็มอาร์ไอ ที่นำมาใช้เพื่อการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของวิธีการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะเสนอพารามิเตอร์ของการควบคุมคุณภาพเครื่องเอ็มอาร์ไอเพื่อการวัดค่า T_2* และหาระดับค่าของแต่ละพารามิเตอร์ ที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อค่า T_2* ที่วัดได้จากภาพเอ็มอาร์สำหรับงานวิจัยนี้ โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของพารามิเตอร์การควบคุมคุณภาพเครื่องเอ็มอาร์ไอกับค่า T_2* ที่วัดได้จากปริมาณเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ในหุ่นจำลองเจล ซึ่งการเก็บสัญญาณเพื่อสร้างภาพเอ็มอาร์จะวิเคราะห์ข้อมูลและหาค่า T_2* ด้วยการฟิตกราฟแบบ Simple mono-exponential model ทำโดยโปรแกรม MATLAB (Mathworks, Natick, MA, USA) และแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 กลุ่มคือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของพารามิเตอร์การตรวจสอบความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก กับค่า T_2* ที่วัดได้จากภาพเอ็มอาร์ ซึ่งทำการเก็บข้อมูลทั้ง 2 ชุด ในภาวะที่กำหนด คือ ในภาวะปกติและภาวะที่มีการรบกวนสนามแม่เหล็กหลักใน 7 ระดับ
2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของพารามิเตอร์การตรวจสอบความสม่ำเสมอบนภาพ กับค่า T_2* ที่วัดได้จากภาพเอ็มอาร์ ซึ่งทำการเก็บข้อมูลทั้ง 2 ชุดในภาวะที่กำหนด คือ ในภาวะปกติและภาวะที่มีการรบกวนสนามแม่เหล็กหลักใน 7 ระดับ
3. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของพารามิเตอร์การตรวจสอบสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน กับค่า T_2* ที่วัดได้จากภาพเอ็มอาร์ ซึ่งทำการเก็บข้อมูล ในภาวะที่กำหนด คือ ในภาวะเปลี่ยนแปลงค่า NSA (number of signal average) 7 ค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved