

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฐ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ณ
 บทที่ 1 บทนำ	 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	6
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการศึกษา	6
 บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	 7
2.1 หลักการสร้างภาพของเครื่องตรวจคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imaging, MRI)	7
2.2 Pulse Sequence	8
2.3 พัลส์สปิน เอคโค่ Spin Echo (SE) Pulse Sequence	8
2.4 การผ่อนคลายและความแปรปรวนใน MRI (Relaxation and Contrast by MRI)	10
2.5 คุณสมบัติของเนื้อเยื่อที่มีผลภาพของเครื่องตรวจคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	10
2.6 ค่าเวลาของการผ่อนคลาย (Relaxation time)	10
2.7 กลไกของการผ่อนคลาย (Mechanism of relaxation)	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 ค่าเวลาของการผ่อนคลาย T1 (T1 Relaxation time)	14
2.9 ค่าเวลาของการผ่อนคลาย T2 (T2 Relaxation time)	14
2.10 ผลของ Pulse Sequence ต่อสัญญาณภาพ	15
2.11 ภาพที่แสดงถึงความหนาแน่นของโปรตอน (Proton density-weighted image)	16
2.12 ภาพที่แสดงถึงคุณสมบัติ T1 ของเนื้อเยื่อ (T1-weighted image)	16
2.13 ภาพที่แสดงถึงคุณสมบัติ T2 ของเนื้อเยื่อ (T2-weighted image)	16
2.14 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	21
3.1 วัสดุอุปกรณ์	21
3.2 วิธีการศึกษา	21
3.2.1 การศึกษาในหุ่นจำลอง (Phantom study)	21
3.2.1.1 การศึกษาในหุ่นจำลองที่ทราบชนิดของเนื้อเยื่อ (Know types of tissues)	21
3.2.1.2 การศึกษาในหุ่นจำลองตัวอย่างสิ่งส่งตรวจ (Carotid Endarterectomy, CEA)	24
3.2.1.3 การศึกษาในกลุ่มอาสาสมัคร (Human subject study)	26
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	29
บทที่ 4 ผลการศึกษา	30
4.1 ผลการศึกษาในหุ่นจำลองที่ทราบชนิดของเนื้อเยื่อ (Know types of tissues Phantom Study)	30
4.2 ผลการศึกษาในหุ่นจำลองตัวอย่างสิ่งส่งตรวจ (Phantom Carotid Endarterectomy, CEA)	32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการศึกษาในกลุ่มอาสาสมัครที่เป็นโรคหลอดเลือดแดงคาโรติด แข็งตัวจากแผ่นไขมัน (Human subject study)	34
--	----

บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง	37
เอกสารอ้างอิง	40

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อมูลสำหรับผู้ป่วยหรืออาสาสมัคร	50
ภาคผนวก ข ชุดคำสั่งโปรแกรม Matlab	53

ประวัติผู้เขียน

สารบัญตาราง

ตาราง

หน้า

1 ค่า T1 และค่า T2 ของเนื้อเยื่อต่างๆ ที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้า 1.5 Tesla

12

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1 ภาพแสดงลำดับแบบพัลส์สปิน เอคโค Spin Echo Pulse Sequence	9
2 ภาพแสดงการตอบสนองของแมกเนไทเซชัน (M_z) ต่อการกระตุ้นด้วยคลื่นวิทยุมีการ ผ่อนคลายแบบ T1 และการผ่อนคลายแบบ T2	11
3 แสดงผลของความถี่ในการเคลื่อนไหวของโมเลกุลต่อค่าการผ่อนคลาย T1 และ T2 โดยที่ (ในช่วง 1) น้ำบริสุทธิ์จะมีค่า T1 และ T2 ที่ยาว (ช่วง 2) น้ำที่เกาะกับโปรตีนจะ มีค่า T1 ที่สั้น และมีค่า T2 ปานกลาง (ช่วง 3) สำหรับของแข็งหรือโมเลกุลขนาดใหญ่ จะมีค่า T1 ที่ยาว และ T2 ที่สั้น	15
4 แผนผังแสดงลำดับพัลส์ตามเวลา (timing diagram) ของลำดับพัลส์สปิน เอคโค มัลติ เอกโค (spin echo multi-echoes pulse sequence) เก็บสัญญาณเพื่อสร้างภาพจำนวน 8 TE	20
5 ภาพหุ่นจำลองที่ทราบชนิดของเนื้อเยื่อ (Known types of tissues) ที่มาจากเนื้อเยื่อ 4 ชนิดของหมู ประกอบด้วยเนื้อที่ไม่มีไขมันหรือเนื้อเยื่อปกติ (Normal tissues) ส่วน ของไขมัน (Fat) ส่วนของกระดูกอ่อน (Cartilage) และเลือด (Blood clots) บรรจุอยู่ ภายในหลอดพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร สูงประมาณ 4 เซนติเมตร	24
6 ภาพหุ่นจำลองตัวอย่างสิ่งส่งตรวจของแผ่นไขมัน (Carotid Endarterectomy, CEA) บรรจุอยู่ภายในหลอดพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร สูงประมาณ 12 เซนติเมตร	26
7 แสดงตัวอย่างการวางตำแหน่งของสไลด์ในการสร้างภาพตามระนาบตัดขวาง (cross section) หลอดเลือดแดงคาโรติดแข็งตัวจากแผ่นไขมัน โดยเลือกบริเวณที่มีการตีบตัน มากที่สุดหรือบริเวณกึ่งกลางของการตีบตัน ของหลอดเลือด (ICA) ข้างซ้าย (Left Internal Carotid Artery)	28
8 การวาดพื้นที่ที่สนใจ (ROIs) โดยเลือกภาพ TE ที่ 1 (จาก 8 TE) เพื่อคำนวณหาค่า T2 (T2 mapping) ที่ตำแหน่งเดียวกันทั้ง 8 TE (ก) ภาพของหุ่นจำลองที่ทราบชนิดของ เนื้อเยื่อ (ข) ภาพหุ่นจำลองตัวอย่างสิ่งส่งตรวจของแผ่นไขมัน (CEA) (ค) ภาพหลอด เลือดแดงคาโรติดแข็งตัวจากแผ่นไขมันข้างซ้าย (Left Internal Carotid Artery)	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
9	(ก) ภาพถ่ายหุ่นจำลองเนื้อเยื่อที่ทราบชนิดของเนื้อเยื่อ (Known types of tissue) (สามเหลี่ยมสีดำ) คือ ส่วนของไขมัน (หัวลูกศรสีเหลือง) คือ ส่วนของเลือด (ดาวสีน้ำเงิน) คือ ส่วนของกระดูกอ่อน (ลูกศรสีขาว) คือ ส่วนของเนื้อที่ไม่มีไขมันหรือเนื้อเยื่อปกติ (ข) ภาพ T2 mapping ของหุ่นจำลองที่ได้จากการ mapping ค่า T2 ไขมันมีค่า T2 = 81-86 มิลลิวินาที เลือดมีค่า T2 = 8-15 มิลลิวินาที กระดูกอ่อนมีค่า T2 = 33-40 มิลลิวินาที และเนื้อที่ไม่มีไขมันหรือเนื้อเยื่อปกติมีค่า T2 = 16-20 มิลลิวินาที ตามลำดับ เปรียบเทียบกับภาพ multiple contrast weighted images (ค) ภาพ T1W, (ง) ภาพ T2W และ (จ) ภาพ PDW ที่ตำแหน่งเดียวกัน ตามลำดับ ภาพ T2 mapping สามารถแยกชนิดของเนื้อเยื่อได้อย่างชัดเจนจากสีที่แสดงบนภาพ T2 mapping แต่ภาพ multiple contrasts weighted images ต้องใช้ภาพจากหลาย weighted images มาประกอบการวินิจฉัยจึงจะสามารถแยกชนิดของเนื้อเยื่อได้	31
10	แสดงตัวอย่างของค่า T2 และค่า R^2 ที่ได้จากคำนวณในหนึ่งพิกเซลที่ตำแหน่งเดียวกัน ทั้ง 8 TE จากการฟิตเคิร์ฟ (curve fitting) ในแบบ simple mono-exponential ค่า T2 = 38.8101 มิลลิวินาที และค่า $R^2 = 0.9934$	32
11	(ก) ภาพ T2 Mapping ของหุ่นจำลองตัวอย่างสิ่งส่งตรวจของแผ่นไขมัน (CEA) ที่ได้จากการ mapping ค่า T2 จากการฟิตเคิร์ฟ (curve fitting) ในแบบ simple mono-exponential เปรียบเทียบกับภาพ multiple contrast weighted images (ข) ภาพ T1W, (ค) ภาพ T2W และ (ง) ภาพ PDW ที่ตำแหน่งเดียวกัน ตามลำดับ ภาพ T2 mapping สามารถแยกส่วนประกอบภายในแผ่นไขมันได้อย่างชัดเจนจากสีที่แสดงบนภาพ T2 mapping แต่ภาพ multiple contrasts weighted images ต้องใช้ภาพจากหลาย weighted images มาประกอบการวินิจฉัยจึงจะสามารถแยกส่วนประกอบภายในแผ่นไขมันได้	33
12	แสดงตัวอย่างค่า T2 และค่า R^2 ในหนึ่งพิกเซลที่ตำแหน่งเดียวกันทั้ง 8 TE ของหุ่นจำลองตัวอย่างสิ่งส่งตรวจของแผ่นไขมัน (CEA) จากการฟิตเคิร์ฟ (curve fitting) ในแบบ simple mono-exponential ค่า T2 = 94.4362 มิลลิวินาที และค่า $R^2 = 0.98597$	34
13	(ก) ภาพ T2 Mapping ของหลอดเลือดแดง ICA แข็งตัวจากแผ่นไขมันข้างซ้าย ที่ได้จากการ mapping ค่า T2 จากการฟิตเคิร์ฟ (curve fitting) ในแบบ simple mono-exponential เปรียบเทียบกับภาพ multiple contrast weighted images (ข) ภาพ T1W,	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป

หน้า

(ค) ภาพ T2W, (ง) ภาพ PDW, (จ) ภาพ BALANCE และ (ฉ) ภาพ TOF ที่ตำแหน่งเดียวกัน ตามลำดับ ภาพ T2 mapping สามารถแยกส่วนประกอบภายในแผ่นไขมันได้อย่างชัดเจนจากสีที่แสดงบนภาพ T2 mapping แต่ภาพ multiple contrasts weighted images ต้องใช้ภาพจากหลาย weighted images มาประกอบการวินิจฉัยจึงจะสามารถแยกส่วนประกอบภายในแผ่นไขมันได้ (ลูกศรสีเหลืองชี้) คือ หลอดเลือดแดง ICA แข็งตัวจากแผ่นไขมันข้างซ้าย (เครื่องหมายดอกจันสีแดง) คือ รูของหลอดเลือดแดง ICA

- 14 แสดงตัวอย่างของค่า T2 และค่า R^2 ของเนื้อเยื่อหนึ่งชนิดที่เป็นส่วนประกอบภายในแผ่นไขมันของหลอดเลือดแดง ICA ข้างซ้าย ในหนึ่งพิกเซลที่ตำแหน่งเดียวกันทั้ง 8 TE จากการฟิตเคิร์ฟ (curve fitting) ในแบบ simple mono-exponential ค่า T2 = 75.048 มิลลิวินาที และค่า $R^2 = 0.99199$

อักษรย่อและสัญลักษณ์

MRI	Magnetic Resonance Imaging
SE	Spin Echo
GRE	Gradient Recalled Echo
TR	Repetition Time
TE	Echo Time
Mxy	Transverse Magnetization
Mz	Longitudinal Magnetization
T1	Spin-lattice relaxation time
T2	Spin-spin relaxation time
RF	Radio Frequency
SNR	Signal to Noise Ratio
NSA	Number of Signal Average
FOV	Field of View
ROI	Regions of Interest
BB	Black Blood
AHA	American Heart Association
FC	Fibrous Cap
LC	Lipid Core
LRNC	Lipid-Rich Necrotic Core
IPH	Intraplaque Hemorrhage
CEA	Carotid Endarterectomy
CAS	Carotid Artery Stenosis
CAS	Carotid Artery Stent

CCA	Common Carotid Artery
ICA	Internal Carotid Artery
ECA	External Carotid Artery
TIA	Transient Ischemic Attack
LDL	Low-Density Lipoprotein
IMT	Intima-Media Thickness
NO	Nitric Oxide
NBF	Neutral Buffered Formalin