

บทที่ 4 ผลการศึกษา

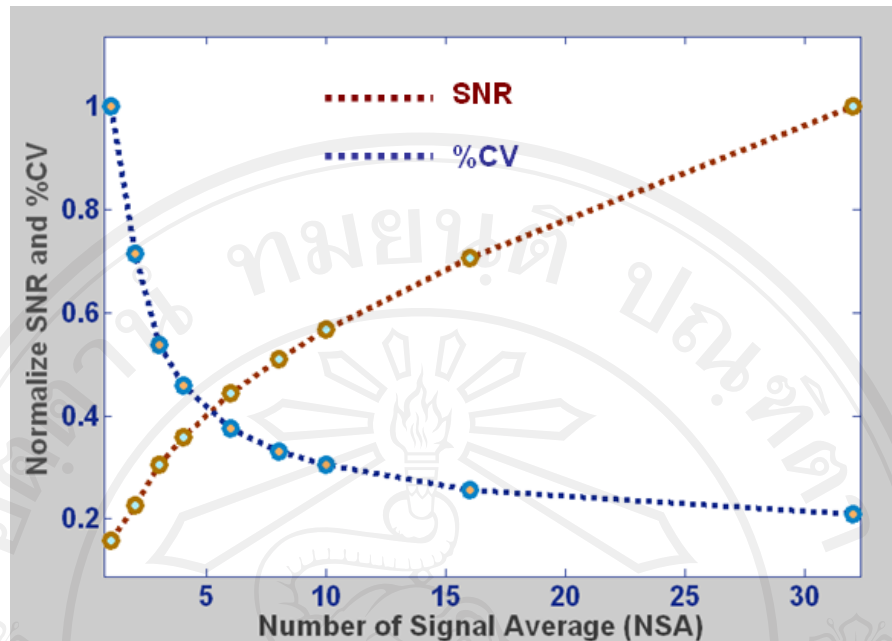
4.1 ผลการศึกษาในหุ่นจำลอง

4.1.1 ผลของการเพิ่มจำนวนครั้งของการเก็บสัญญาณแล้วหาค่าเฉลี่ย (number of signals averaged, NSA) ต่อคุณภาพของภาพเอ็มอาร์

ทำการวัดค่าสัดส่วนของสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio, SNR) และเปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของสัญญาณภาพ (%CV) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่ม NSA ขึ้น SNR ของภาพเอ็มอาร์จะสูงขึ้นแต่เปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสัญญาณภาพจะลดลงดังแสดงในตารางที่ 4 ข้อมูลภาพที่ 32 NSA มีค่า SNR สูงสุดและเปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนต่ำที่สุด เมื่อนำค่า SNR และเปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนที่ทำการ Normalize แล้วนำมาพล็อตกราฟพบว่า SNR เริ่มมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ที่ NSA มากกว่า 5 ขึ้นไป ดังแสดงรูปที่ 10 ผู้ทำการศึกษาได้เลือกที่ 6 NSA เพื่อนำไปใช้ในการสร้างภาพด้วยเทคนิค free breathing ในการศึกษาในอาสาสมัคร ข้อมูลภาพที่ 6 NSA นอกจากจะให้ภาพที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของภาพต่ำแล้วยังมีข้อได้เปรียบในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการสร้างภาพที่ไม่นานเกินไปคือ 108 วินาที (1 นาที 48 วินาที)

ตารางที่ 4 แสดงค่าเวลาในการสร้างภาพ (Scan time), SNR, %CV, Normalize SNR และ Normalize %CV ของภาพเอ็มอาร์หุ่นจำลอง ที่ทำการเพิ่ม NSA ตั้งแต่ 1 ถึง 32

NSA	Scan time (second)	SNR	%CV	Normalize SNR	Normalize %CV
1	18	96.77	5.91	0.16	1
2	36	139.16	4.22	0.23	0.71
3	54	187.33	3.18	0.31	0.54
4	72	220.10	2.71	0.36	0.46
6	108	271.75	2.22	0.44	0.38
8	144	313.25	1.96	0.51	0.33
10	180	348.55	1.80	0.57	0.30
16	288	433.84	1.51	0.71	0.26
32	576	613.64	1.22	1	0.21



รูปที่ 10 กราฟแสดงค่า SNR ที่เพิ่มขึ้นและค่า %CV ที่ลดลงบนภาพเอ็มอาร์เมื่อเพิ่ม NSA ตั้งแต่ 1 ถึง 32

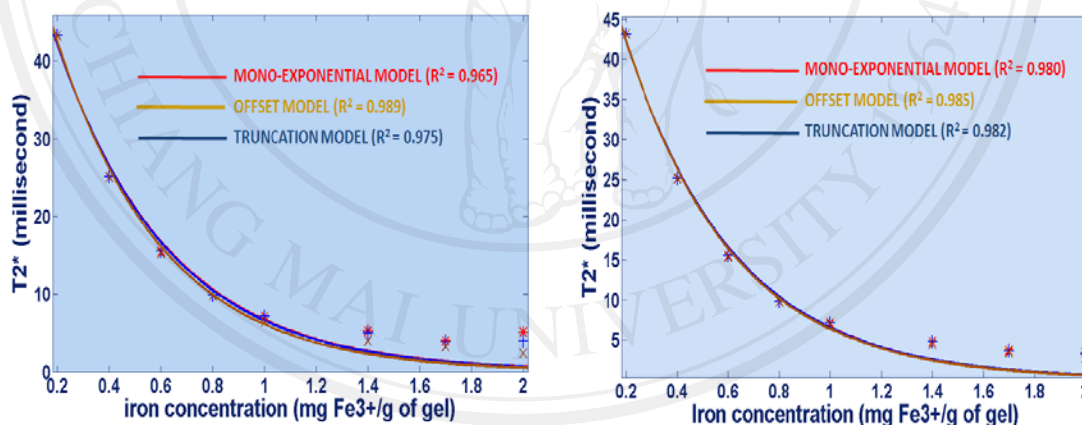
4.1.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride) กับค่า $R2^*$ ($1000/T2^*$)

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์กับค่า $R2^*$ ($1000/T2^*$) จากการเก็บสัญญาณเพื่อสร้างภาพด้วยเทคนิค Black blood GRE multi-echo สร้างภาพที่ 1 และ 6 NSA ในหุ่นจำลอง หาค่า $T2^*$ ด้วยการฟิตกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์มีความสัมพันธ์กับค่า $T2^*$ เป็นแบบเอกซโปเนนเชียล ดังแสดงในรูปที่ 11 ค่า $T2^*$ จากข้อมูลภาพที่ 6 NSA มีค่า R-square (R^2) มากกว่าข้อมูลภาพที่ 1 NSA ทั้งการฟิตกราฟแบบ mono-exponential และ truncation ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่า T2* จากข้อมูลภาพที่ 1 และ 6 NSA ในหุ่นจำลองที่ระดับความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ต่างๆ ฟิตกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset

Iron concentration (mg Fe ³⁺ /g of gel)	T2* from 1 NSA images (millisecond)			T2* from 6 NSA images (millisecond)		
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
0.20	43.33	43.33	43.33	43.42	43.42	43.42
0.40	25.09	25.09	25.09	25.04	25.04	24.61
0.60	15.5	15.5	15.26	15.51	15.51	15.29
0.80	9.83	9.83	9.83	9.80	9.80	9.80
1.00	7.16	7.16	6.4	7.07	7.07	6.98
1.40	5.22	4.99	3.98	4.69	4.63	4.32
1.70	3.99	3.86	3.26	3.64	3.61	3.41
2.00	5.08	3.93	2.37	3.31	3.18	2.67
R-square (R ²)	0.965	0.975	0.989	0.980	0.982	0.985

Model 1:mono-exponential, Model 2:truncation, Model 3:offset



ก.

ข.

รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์กับค่า T2* จากข้อมูลภาพที่ 1 NSA (ก.) และ 6 NSA (ข.) ฟิตกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset

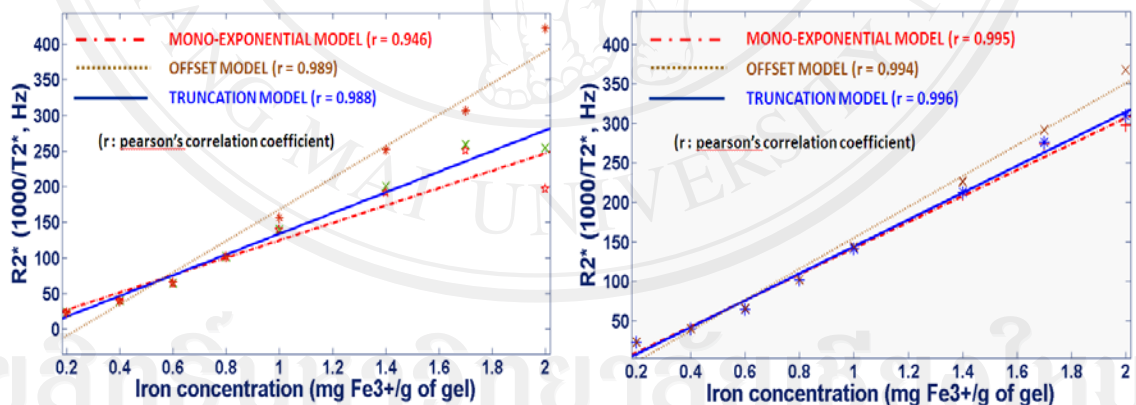
ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์กับค่า R2* (1000/T2*) ด้วยความสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's correlation) พบว่า ค่า R2* มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นแบบเส้นตรง ดังรูปที่ 12 ค่า R2* ที่ได้จากข้อมูลภาพที่ 1 NSA เมื่อฟิตกราฟแบบ offset จะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficient : r) มากกว่าการฟิตกราฟแบบ mono-exponential และ truncation คือ 0.989, 0.946 และ 0.988

ตามลำดับ แต่ค่า $R2^*$ ที่ได้จากมุลภาพที่ 6 NSA ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันใกล้เคียงกันทั้งสามโมเดลคือ 0.995, 0.996 และ 0.994 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 แสดงค่า $R2^*$ จากข้อมูลภาพที่ 1 และ 6 NSA ในหุ่นจำลองที่ระดับความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ต่างๆ พืตกกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset

Iron concentration (mgFe ³⁺ /g of gel)	R2* from 1 NSA images (Hertz)			R2* from 6 NSA images (Hertz)		
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
0.2	23.08	23.08	23.08	23.14	23.14	23.14
0.4	39.86	39.86	39.86	39.78	39.78	39.78
0.6	64.52	64.52	65.53	64.43	64.43	65.32
0.8	101.73	101.73	101.73	102.04	102.04	102.04
1.0	139.66	139.66	156.25	141.24	141.24	144.09
1.4	191.57	200.40	251.26	210.08	212.75	226.24
1.7	250.63	259.07	306.75	273.22	276.24	291.55
2.0	196.85	254.45	421.94	297.62	309.60	367.65
r	0.946	0.988	0.989	0.995	0.996	0.994

Model 1 : mono-exponential, Model 2 : truncation, Model 3 : offset,
r : Pearson's correlation coefficient



ก.

ข.

รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์กับค่า $R2^*$ จากข้อมูลภาพที่ 1 NSA (ก.) และ 6 NSA (ข.) พืตกกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset

4.1.3 ผลการศึกษาความสามารถในการให้ค่า T2* ที่เหมือนเดิม (Reproducibility)

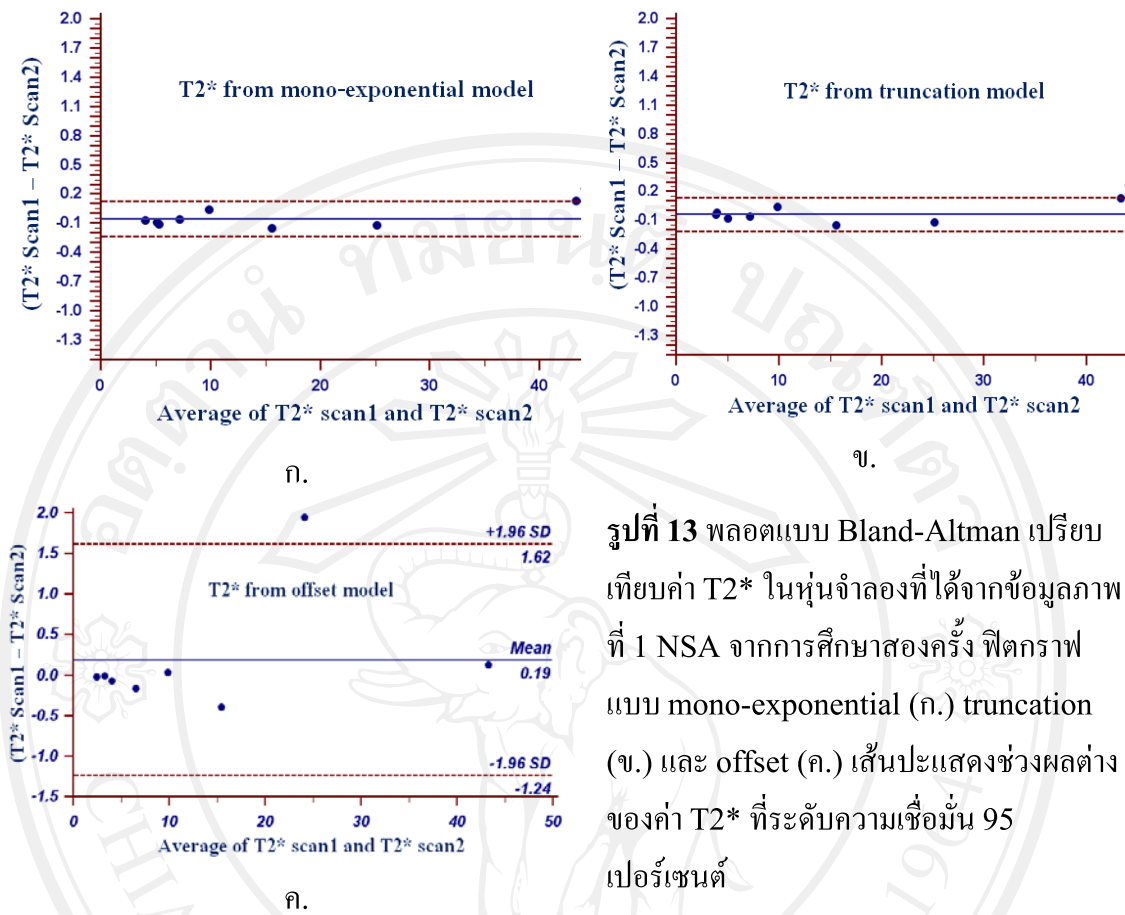
4.1.3.1 จากภาพเอ็มอาร์ของหุ่นจำลองเก็บสัญญาณโดยใช้ 1 NSA

ตารางที่ 7 แสดงค่า T2* ในหุ่นจำลองที่ได้จากการฟิตกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset ทำการศึกษาสองครั้ง ทดสอบโดยใช้สถิติ Wilcoxon signed-rank test พบว่าค่า T2* จากการฟิตกราฟแบบ mono-exponential สองครั้งไม่มีความแตกต่างกัน (P -value = 0.195) และค่า T2* จากการฟิตกราฟแบบ truncation สองครั้งก็ไม่แตกต่างกัน (P -value = 0.313) เช่นเดียวกับการฟิตกราฟแบบ offset (P -value = 0.938) รูปที่ 13 แสดงการพลอตแบบ Bland-Altman พบว่าค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่า T2* จากการศึกษาสองครั้ง เมื่อฟิตกราฟแบบ mono-exponential และ truncation มีค่าใกล้เคียงศูนย์ คือ 0.01 มิลลิวินาที และ -0.05 มิลลิวินาที ตามลำดับ มีช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เท่า กับ 0.36 มิลลิวินาที และ 0.37 มิลลิวินาที ตามลำดับ ในขณะที่ฟิตกราฟแบบ offset ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่า T2* มากกว่าคือ 0.19 มิลลิวินาที มีช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 2.86 มิลลิวินาที

ตารางที่ 7 แสดงค่า T2* จากข้อมูลภาพที่ 1 NSA ทั้งสองครั้งในหุ่นจำลอง ที่ระดับความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ ต่างๆ ฟิตกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset

Iron concentration (mg Fe ³⁺ /g of gel)	T2* from 1 NSA images (millisecond)					
	Model 1		Model 2		Model 3	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.2	43.33	43.20	43.33	43.20	43.33	43.20
0.4	25.09	25.21	25.09	25.21	25.09	23.14
0.6	15.50	15.65	15.5	15.65	15.26	15.65
0.8	9.83	9.79	9.83	9.79	9.83	9.79
1.0	7.16	7.22	7.16	7.22	6.40	6.56
1.4	5.22	5.33	4.99	5.07	3.98	4.05
1.7	3.99	4.06	3.86	3.90	3.26	3.26
2.0	5.08	5.17	3.93	3.95	2.37	2.38
P -value	0.195		0.313		0.938	

Model 1 : mono-exponential, Model 2 : truncation, Model 3 : offset



รูปที่ 13 พล็อตแบบ Bland-Altman เปรียบเทียบค่า T2* ในหุ่นจำลองที่ได้จากข้อมูลภาพที่ 1 NSA จากการศึกษาสองครั้ง พล็อตกราฟแบบ mono-exponential (ก.) truncation (ข.) และ offset (ค.) เส้นประแสดงช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

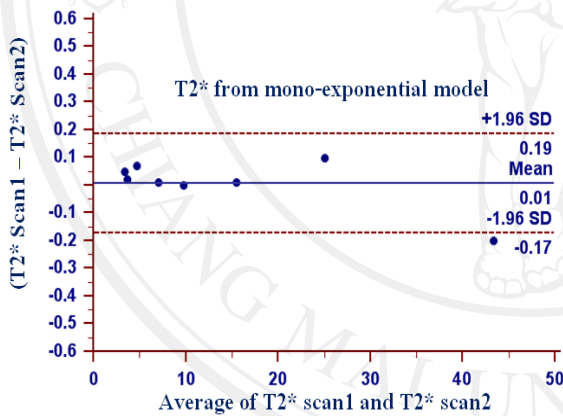
1.3.2 จากภาพเอ็มอาร์ของหุ่นจำลองเก็บสัญญาณโดยใช้ 6 NSA

ตารางที่ 8 แสดงค่า T2* ของหุ่นจำลองที่ได้จากการพล็อตกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset ทำการศึกษาสองครั้ง ทดสอบโดยใช้สถิติ Wilcoxon signed-rank test พบว่าค่า T2* ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการศึกษารั้งที่หนึ่งและครั้งที่สอง เมื่อพล็อตกราฟแบบ mono-exponential (P -value=0.297) และ truncation (P -value=0.297) รวมไปถึง offset (P -value=0.469) รูปที่ 14 แสดงการพล็อตแบบ Bland-Altman พบว่าค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่า T2* จากการศึกษาสองครั้ง เมื่อพล็อตกราฟแบบ mono-exponential และ truncation มีค่า 0.01 มิลลิวินาทีเท่ากัน ช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.36 มิลลิวินาที และ 0.35 มิลลิวินาที ตามลำดับ ในขณะที่พล็อตกราฟแบบ offset มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่า T2* เท่ากับ 0.06 มิลลิวินาที ช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.82 มิลลิวินาที

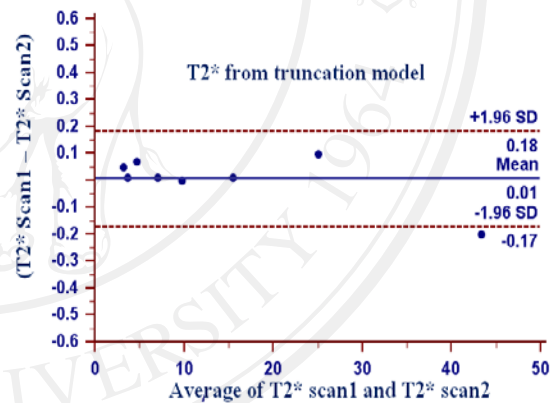
ตารางที่ 8 แสดงค่า T2* จากข้อมูลภาพที่ 6 NSA ทั้งสองครั้งในหุ่นจำลอง ที่ระดับความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ต่างๆ ฟิตกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset

Iron concentration (mg Fe ³⁺ /g of gel)	T2* from 6 NSA images (millisecond)					
	Model 1		Model 2		Model 3	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.2	43.22	43.42	43.22	43.42	43.22	43.42
0.4	25.14	25.04	25.14	25.04	25.14	24.61
0.6	15.52	15.51	15.52	15.51	15.31	15.29
0.8	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80
1.0	7.08	7.07	7.08	7.07	6.94	6.98
1.4	4.76	4.69	4.7	4.63	4.42	4.32
1.7	3.66	3.64	3.62	3.61	3.43	3.41
2.0	3.36	3.31	3.23	3.18	2.72	2.67
P-value	0.297		0.297		0.469	

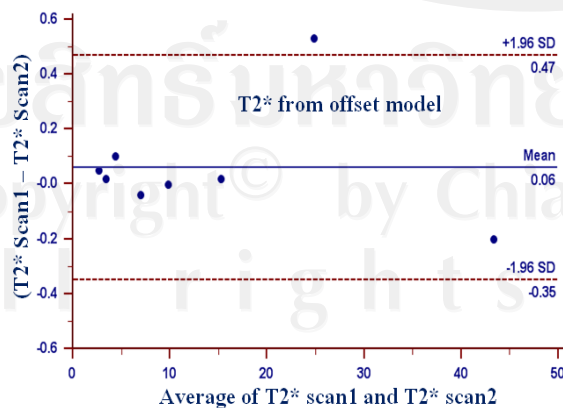
Model 1 : mono-exponential, Model 2 : truncation, Model 3 : offset



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 14 พล็อตแบบ Bland-Altman เปรียบเทียบค่า T2* ในหุ่นจำลองที่ได้จากข้อมูลภาพที่ 6 NSA จากการศึกษาสองครั้ง ฟิตกราฟแบบ mono-exponential (ก.) truncation (ข.) และ offset (ค.) เส้นปะแสดงช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.2 ผลการศึกษาในกลุ่มอาสาสมัครสุขภาพดี

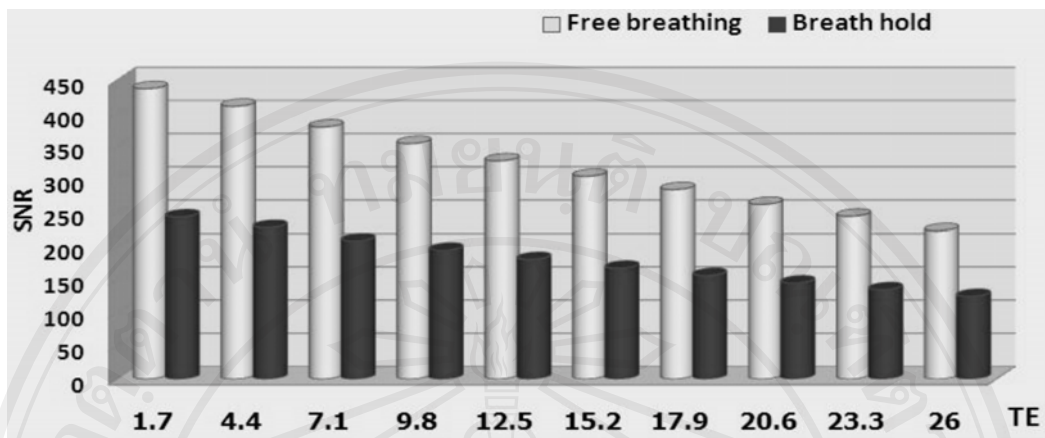
เนื่องจากภาพเอ็มอาร์หัวใจอาสาสมัครสุขภาพดีที่ได้จากเทคนิค Breath hold และ Free breathing มีค่า SNR ที่มากกว่าสองในทุกๆ TE จึงทำให้ค่า $T2^*$ ที่ได้จากการฟิตกราฟแบบ mono-exponential และ truncation เหมือนกัน ดังนั้นการศึกษานี้จึงนำเสนอค่า $T2^*$ ที่ได้จากการฟิตกราฟแบบ mono-exponential และ offset เพียงสองรูปแบบ

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบ SNR ของภาพเอ็มอาร์หัวใจที่ได้จากเทคนิค Breath hold และ Free breathing

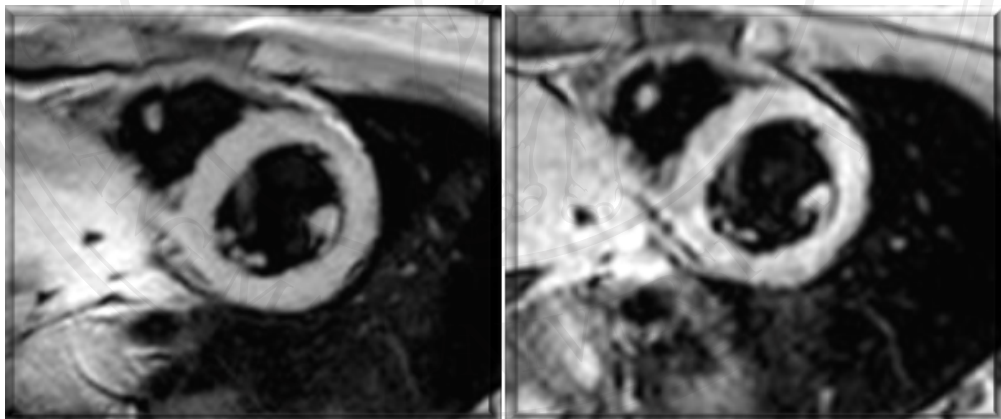
ตารางที่ 9 แสดงผลการศึกษาค่า SNR ของสัญญาณภาพเอ็มอาร์บริเวณผนังกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายต่อห้องล่างขวา (left mid ventricular septum) ในอาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 15 คน พบว่า ค่าเฉลี่ยของ SNR ในทุกๆ TE จากเทคนิค Free breathing มีค่าสูงกว่าเทคนิค Breath hold ระหว่าง 44.12% ถึง 45.19% รูปที่ 15 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของ SNR ของภาพเอ็มอาร์หัวใจจากเทคนิค Free breathing เทียบกับค่าเฉลี่ยของ SNR ของภาพที่ได้จากเทคนิค Breath รูปที่ 16 แสดงภาพตัวอย่างในอาสาสมัครคนเดียวกันที่ TE แรก (1.70 มิลลิวินาที) ภาพทางด้านซ้ายจากเทคนิค Free breathing มีสัญญาณรบกวน (Noise) น้อยกว่าภาพจากเทคนิค Breath hold ทางด้านขวา

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยของ SNR บนภาพเอ็มอาร์หัวใจจากเทคนิค Free breathing และ Breath hold ที่เวลา TE 1.70 ถึง 26.10 มิลลิวินาที

N=15 TE	ค่าเฉลี่ยของ SNR		% ความแตกต่าง ค่าเฉลี่ย SNR
	Free breathing (6 NSA)	Breath hold (1 NSA)	
1.70	436.96	243.76	44.21
4.40	410.46	227.84	44.49
7.10	379.17	208.25	45.08
9.80	354.23	194.17	45.19
12.50	328.12	180.32	45.04
15.20	304.79	167.22	45.14
17.90	284.76	156.21	45.14
20.60	262.53	144.87	44.82
23.30	244.59	134.77	44.90
26.00	223.01	124.65	44.11



รูปที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยของ SNR บนภาพเอ็มอาร์หัวใจที่ TE เท่ากับ 1.70 มิลลิวินาที ถึง 26.10 มิลลิวินาที จากเทคนิค Free breathing และ Breath hold



รูปที่ 16 ตัวอย่างภาพเอ็มอาร์หัวใจอาสาสมัครสุขภาพดีจากเทคนิค Free breathing ด้านซ้ายมือ และ Breath hold ด้านขวามือ ที่เวลา TE เท่ากับ 1.70 มิลลิวินาที

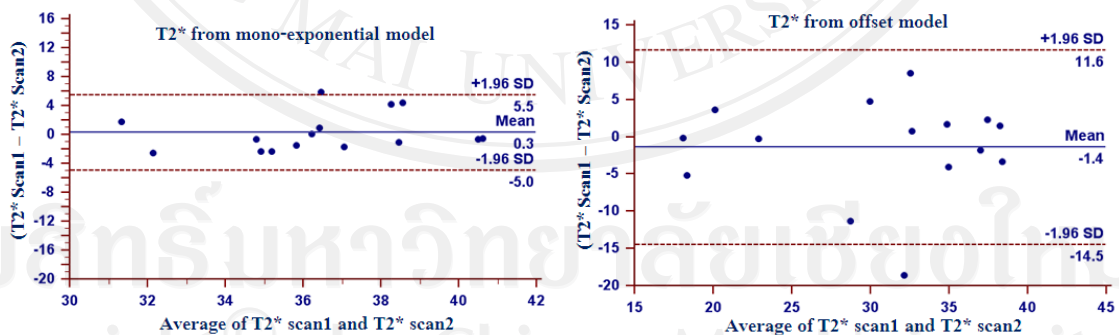
4.2.2 ผลการศึกษาความสามารถในการให้ค่า T2* ที่เหมือนเดิม ในอาสาสมัครสุขภาพดีจากการสร้างภาพสองครั้ง (Inter-study Reproducibility)

4.2.2.1 เปรียบเทียบค่า T2* จากภาพเอ็มอาร์ทีที่เก็บสัญญาณด้วยเทคนิค Breath hold

ผลการศึกษาความสามารถในการให้ค่า T2* ที่เหมือนเดิม (Reproducibility) จากภาพเอ็มอาร์ทีหัวใจเก็บสัญญาณเพื่อสร้างภาพด้วยเทคนิค Breath hold ในอาสาสมัครสุขภาพดี 15 คน ทดสอบโดยใช้สถิติ Wilcoxon signed-rank test ตารางที่ 10 แสดงค่า T2* เฉลี่ยจากการศึกษาสองครั้ง ค่า T2* ที่ได้จากการพีทกราฟแบบ mono-exponential เท่ากับ 36.59 มิลลิวินาที และ 36.31 มิลลิวินาที ในครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองตามลำดับ ค่า T2* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P = 0.799$) และค่า T2* เฉลี่ยจากการพีทกราฟแบบ offset เท่ากับ 29.70 มิลลิวินาที และ 31.12 มิลลิวินาที ในครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองตามลำดับ ก็ไม่มีความแตกต่างกัน ($P = 0.629$) จากรูปที่ 17 แสดงการพลอตแบบ Bland-Altman พบว่าค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่า T2* ระหว่างครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองเมื่อพีทกราฟแบบ mono-exponential เท่ากับ 0.3 มิลลิวินาที มีช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 10.5 มิลลิวินาที ในขณะที่พีทกราฟด้วยโมเดล offset ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่า T2* จะมากกว่าคือ -1.40 มิลลิวินาที มีช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 26.1 มิลลิวินาที

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า T2* จากภาพเอ็มอาร์หัวใจอาสาสมัครสุขภาพดีสร้างภาพด้วยเทคนิค Breath hold ฟิตกราฟแบบ mono-exponential และ offset

T2* from Breath hold (1NSA)				
คนที่	Mono-exponential model		Offset model	
	Scan1	Scan2	Scan1	Scan2
1	36.19	37.91	36.70	40.02
2	32.22	30.43	33.04	32.25
3	33.75	36.08	32.93	36.95
4	30.88	33.40	21.94	18.28
5	36.25	36.17	22.76	23.01
6	40.34	40.90	22.82	41.43
7	40.18	40.82	38.99	37.47
8	35.09	36.55	36.81	28.25
9	34.49	35.10	18.02	18.14
10	36.91	35.93	35.69	33.98
11	34.03	36.36	36.07	37.89
12	37.94	38.99	32.32	27.55
13	39.42	33.50	15.73	20.89
14	40.75	36.34	23.05	34.39
15	40.36	36.14	38.60	36.28
mean	36.59	36.31	29.70	31.12
SD	3.18	2.72	8.02	7.92
P-value	0.799		0.629	



ก.

ข.

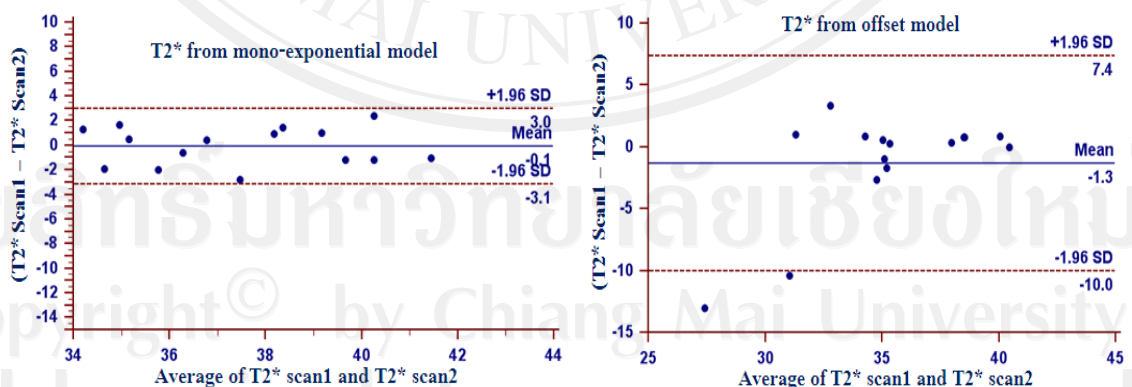
รูปที่ 17 พล็อตแบบ Bland-Altman เปรียบเทียบค่า T2* ในอาสาสมัครสุขภาพดีที่ได้จากเทคนิค Breath hold ระหว่างครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองฟิตกราฟแบบ mono-exponential (ก.) และ offset (ข.) เส้นปะแสดงช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.2.2.2 เปรียบเทียบค่า T2* จากภาพเอ็มอาร์ทีเก็บสัญญาณด้วยเทคนิค Free breathing

ผลการศึกษาความสามารถในการให้ค่า T2* ที่เหมือนเดิม (Reproducibility) จากภาพเอ็มอาร์ทีหัวใจ เก็บสัญญาณเพื่อสร้างภาพด้วยเทคนิค Free breathing ในอาสาสมัครสุขภาพดี 15 คน ทดสอบโดยใช้สถิติ Wilcoxon signed-rank test ตารางที่ 11 แสดงค่า T2* เฉลี่ยจากการศึกษาสองครั้ง ค่า T2* ที่ได้จากการฟิตกราฟแบบ mono-exponential เท่ากับ 37.47 มิลลิวินาที และ 37.54 มิลลิวินาที ในครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองตามลำดับ ค่า T2* จากการศึกษาสองครั้งไม่แตกต่างกัน ($P = 0.942$) และค่า T2* เฉลี่ยจากการฟิตกราฟแบบ offset เท่ากับ 34.52 มิลลิวินาที และ 35.85 มิลลิวินาที ในครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองตามลำดับ ก็ไม่มีความแตกต่างกัน ($P = 0.395$) เช่นกัน จากรูปที่ 18 แสดงการพลอตแบบ Bland-Altman พบว่าค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่า T2* ระหว่างครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองเมื่อฟิตกราฟแบบ mono-exponential เท่ากับ 0.10 มิลลิวินาที มีช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 6.10 มิลลิวินาที ในขณะที่ฟิตกราฟแบบ offset ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่า T2* จะมากกว่าคือ -1.30 มิลลิวินาที มีช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 17.4 มิลลิวินาที

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า T2* จากภาพเอ็มอาร์หัวใจในอาสาสมัครสุขภาพดี สร้างภาพด้วยเทคนิค Free breathing พล็อตกราฟแบบ mono-exponential และ offset

T2* from Free breathing (6NSA)				
คนที่	Mono-exponential model		Offset model	
	Scan1	Scan2	Scan1	Scan2
1	39.67	38.66	38.89	38.12
2	33.67	35.61	35.31	34.76
3	38.64	37.72	38.91	38.14
4	34.85	33.53	34.49	31.12
5	40.91	41.97	34.69	33.83
6	37.01	36.55	20.93	33.92
7	39.06	37.64	40.47	39.62
8	41.45	39.06	40.44	40.43
9	35.97	36.59	34.33	36.06
10	34.78	36.74	34.6	35.57
11	39.68	40.84	38.12	37.80
12	36.08	38.86	31.79	30.80
13	39.08	40.24	25.84	36.23
14	35.79	34.12	33.44	36.10
15	35.41	34.90	35.49	35.2
mean	37.47	37.54	34.52	35.85
SD	2.45	2.45	5.29	2.76
P-value	0.942		0.395	



ก.

ข.

รูปที่ 18 พล็อตแบบ Bland-Altman เปรียบเทียบค่า T2* ในอาสาสมัครสุขภาพดีที่ได้จากเทคนิค Free breathing ระหว่างครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองพล็อตกราฟแบบ mono-exponential (ก.) และ offset (ข.) เส้นปะแสดงช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.2.3 เปรียบเทียบค่า T2* จากการฟีดกราฟแบบ mono-exponential และ offset

ทดสอบโดยใช้สถิติ Wilcoxon signed-rank test ภาพเอ็มอาร์หัวใจจากการเก็บสัญญาณเพื่อสร้างภาพด้วยเทคนิค Breath hold พบว่าค่า T2* ที่ได้จากการฟีดกราฟแบบ mono-exponential เท่ากับ 36.45 มิลลิวินาที และฟีดกราฟแบบ offset เท่ากับ 30.41 มิลลิวินาที ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P = 0.0002$) แต่ค่า T2* จากเทคนิค Free breathing ในสองรูปแบบการฟีดกราฟ mono-exponential และ offset คือ 36.50 มิลลิวินาที และ 35.18 ตามลำดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.080$) ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า T2* จากภาพเอ็มอาร์หัวใจอาสาสมัครสุขภาพดี สร้างภาพด้วยเทคนิค Breath hold และ เทคนิค Free breathing ฟีดกราฟแบบ mono-exponential และ offset

N = 30	T2* from Breath hold (1NSA)		T2* from Free breathing (6NSA)	
	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
	Scan (1and2)	Scan (1and2)	Scan (1and2)	Scan (1and2)
mean	36.45	30.41	36.50	35.18
SD	2.91	7.86	2.41	4.20
P-value	0.0002		0.080	

Model 1 : mono-exponential, Model 2 : offset

4.2.4 ผลการศึกษาความสามารถในการให้ค่า T2* ที่เหมือนเดิมจากผู้วิเคราะห์ข้อมูลสองคน (Inter-observer Reproducibility)

ค่าเฉลี่ยของ T2* จากภาพเอ็มอาร์หัวใจโดยการเก็บสัญญาณเพื่อสร้างภาพด้วยเทคนิค Breath hold ฟีดกราฟแบบ mono-exponential ได้ค่า T2* จากผู้วิเคราะห์คนที่หนึ่งและคนที่สองเท่ากับ 35.92 และ 36.45 ตามลำดับ ค่า T2* ทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.205$) สำหรับข้อมูลภาพจากเทคนิค Free breathing ที่ฟีดกราฟแบบ mono-exponential ได้ค่า T2* จากผู้วิเคราะห์คนที่หนึ่งและคนที่สองเท่ากับ 36.72 และ 37.50 ตามลำดับ ค่า T2* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.492$) เช่นกัน แสดงดังตารางที่ 13 แต่เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวน (%CV) ของค่า T2* ที่ได้จากเทคนิค Breath hold เท่ากับ 8.41% และ 7.98% จากผู้วิเคราะห์ข้อมูลที่หนึ่งและคนที่สอง ตามลำดับ สูงกว่าเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวน (%CV) ของค่า T2* จากเทคนิค Free breathing คือ 6.34% และ 6.42%

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของค่า T2* จากภาพเอ็มอาร์หัวใจอาสาสมัครสุขภาพดี สร้างภาพด้วยเทคนิค Free breathing และ เทคนิค Breath hold จากผู้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลสองคน พล็อตกราฟแบบ mono-exponential

N=30	T2* from Breath hold 2 ครั้ง		T2* from Free breathing 2 ครั้ง	
	Observer1	Observer2	Observer1	Observer2
mean	35.92	36.45	36.72	37.50
SD	3.02	2.91	2.33	2.41
%CV	8.41	7.98	6.34	6.42
P-value	0.205		0.492	

ค่าเฉลี่ยของ T2* จากภาพเอ็มอาร์หัวใจโดยการเก็บสัญญาณเพื่อสร้างภาพด้วยเทคนิค Breath hold พล็อตกราฟแบบ offset พบว่าค่า T2* จากผู้วิเคราะห์คนที่หนึ่งและคนที่สองเท่ากับ 28.50 และ 30.40 ตามลำดับ ค่า T2* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.001$) สำหรับ ข้อมูลภาพจากเทคนิค Free breathing พล็อตกราฟแบบ offset ได้ค่า T2* จากผู้วิเคราะห์คนที่หนึ่ง และคนที่สองเท่ากับ 34.25 และ 35.18 ตามลำดับ ค่า T2* ไม่แตกต่างกัน ($P=0.160$) ดังแสดงใน ตารางที่ 13 แต่เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวน (%CV) ของค่า T2* ที่ได้จากเทคนิค Breath hold เท่ากับ 30.49% และ 25.86% จากผู้วิเคราะห์ข้อมูลคนที่หนึ่งและคนที่สองตามลำดับ สูงกว่า เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวน (%CV) ของค่า T2* จากเทคนิค Free breathing คือ 14.57% และ 11.94%

ตารางที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของค่า T2* จากภาพเอ็มอาร์หัวใจอาสาสมัครสุขภาพดี สร้างภาพด้วยเทคนิค Free breathing และ เทคนิค Breath hold จากผู้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลสองคน พล็อตกราฟแบบ offset

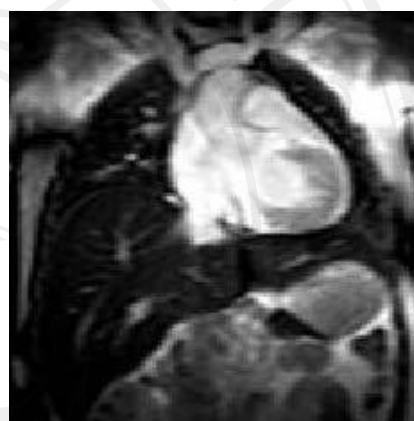
N=30	T2* from Breath hold 2 ครั้ง		T2* from Free breathing 2 ครั้ง	
	Observer1	Observer2	Observer1	Observer2
mean	28.50	30.40	34.25	35.18
SD	8.69	7.86	4.99	4.20
%CV	30.49	25.86	14.57	11.94
P-value	0.001		0.160	

4.3 ผลการศึกษาในกลุ่มอาสาสมัครชาลัสซีเมียเมเจอร์

ในอาสาสมัครชาลัสซีเมียเมเจอร์ไม่สามารถสร้างภาพด้วยเทคนิค Free breathing ได้ เนื่องจากบริเวณตับมีปริมาณเหล็กสะสมมาก ทำให้ภาพบริเวณตับมีสีดำ ลำดับพัลส์ navigator ไม่สามารถแยกความแตกต่างของภาพระหว่างกระบังลมและตับได้ ดังรูปที่ 19ข. การศึกษาครั้งนี้จึงวัดค่า T2* จากข้อมูลภาพที่ได้จากเทคนิค Breath hold เพียงเทคนิคเดียว วัด ROI บริเวณผนังกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายต่อห้องล่างขวา (left mid ventricular septum) ดังแสดงในรูปที่ 20

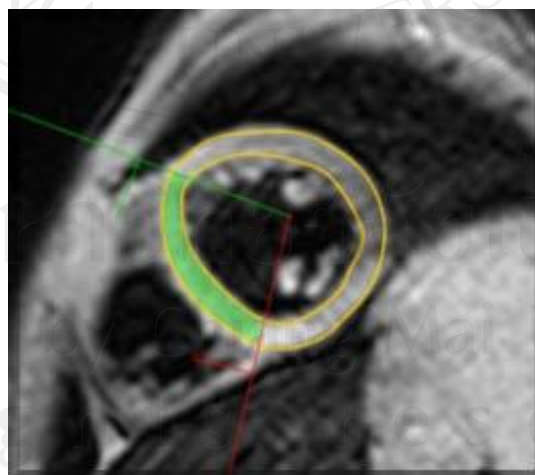


ก.



ข.

รูปที่ 19 แสดงภาพแนวแบ่งหน้าหลัง (coronal view) บริเวณทรวงอกต่อช่องท้องส่วนบนของอาสาสมัครสุขภาพดี (ก.) และอาสาสมัครชาลัสซีเมียเมเจอร์ (ข.)



รูปที่ 20 แสดงการวัด ROI บริเวณผนังกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายต่อห้องล่างขวา (left mid ventricular septum) บนภาพหัวใจจากเทคนิค Breath hold เพื่อทำการวัดค่า T2*

4.3.1 ผลการศึกษาความสามารถในการให้ค่า T2* ที่เหมือนเดิม (Reproducibility)

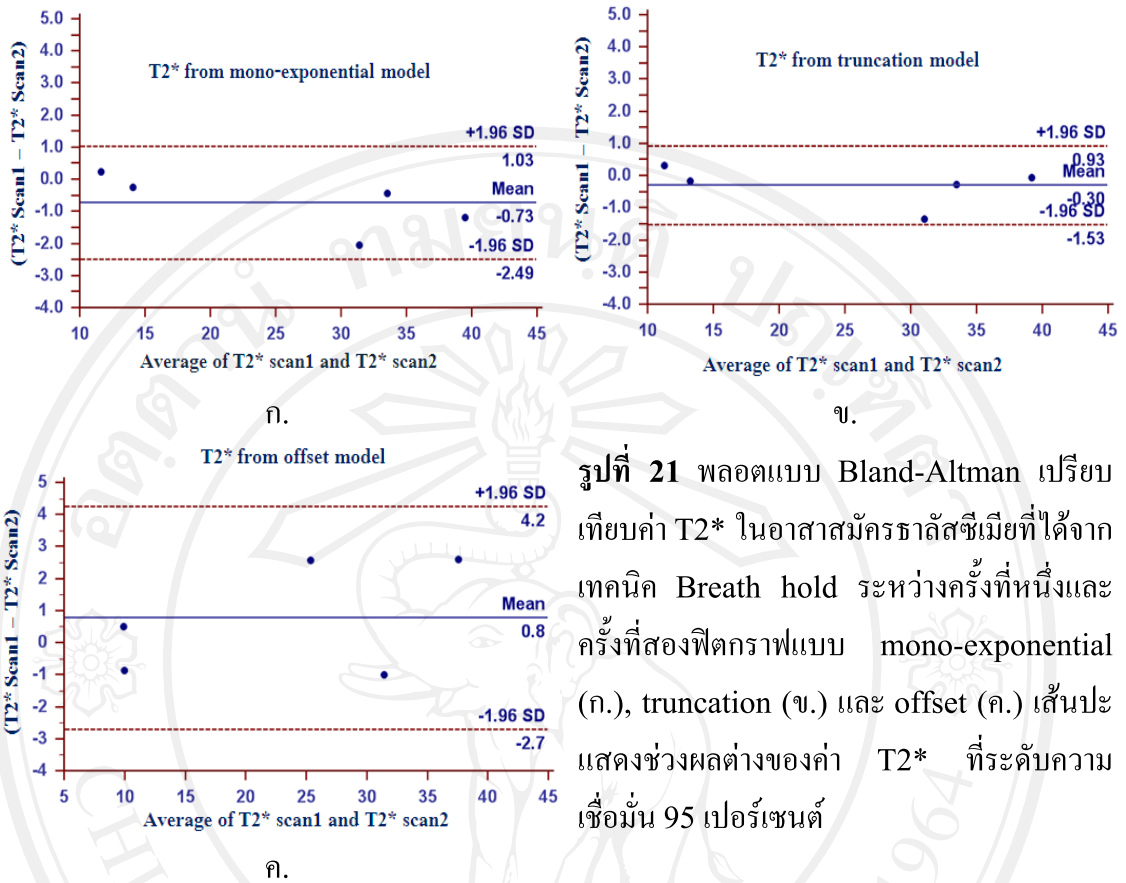
ตารางที่ 15 แสดงค่า T2* และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า T2* จากการศึกษาสองครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า T2* จากการศึกษาสองครั้งจากการฟิตกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset เท่ากับ 2.79, 1.88 และ 6.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รูปที่ 21 แสดงการพลอตแบบ Bland-Altman พบว่าค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่า T2* ระหว่างครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองเมื่อฟิตกราฟแบบ mono-exponential และ truncation เท่ากับ -0.73 มิลลิวินาที และ -0.30 มิลลิวินาที มีช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 3.52 มิลลิวินาที และ 2.49 มิลลิวินาที ตามลำดับ ในขณะที่ฟิตกราฟด้วยโมเดล offset ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่า T2* จะมากกว่าคือ -0.80 มิลลิวินาที มีช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 6.90 มิลลิวินาที

ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยของ T2* จากภาพเอ็มอาร์หัวใจในอาสาสมัครชาลส์ซีเมีย สร้างภาพด้วยเทคนิค Breath hold ฟิตกราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset

คนที่	T2* from Breath hold 1 NSA (millisecond)								
	Model 1			Model 2			Model 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	%Diff	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	%Diff	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	%Diff
1	13.95	14.19	1.72	13.12	13.28	1.22	9.55	10.41	9.01
2	30.37	32.42	6.72	30.32	31.67	4.45	26.65	24.07	9.68
3	38.88	40.07	3.06	39.13	39.18	0.13	38.88	36.26	6.72
4	11.73	11.49	2.05	11.40	11.08	2.81	10.13	9.61	5.13
5	33.29	33.72	1.29	33.35	33.61	0.78	30.90	31.90	3.24
mean			2.97			1.88			6.76

Model 1 : mono-exponential, Model 2 : truncation, Model 3 : offset

|%Diff| : Absolute Percentage Different



รูปที่ 21 พล็อตแบบ Bland-Altman เปรียบเทียบค่า T2* ในอาสาสมัครชาลัสซีเมียที่ได้จากเทคนิค Breath hold ระหว่างครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองใช้กราฟแบบ mono-exponential (ก.), truncation (ข.) และ offset (ค.) เส้นปะแสดงช่วงผลต่างของค่า T2* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.3.2 เปรียบเทียบค่า T2* จากการใช้กราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset

ตารางที่ 16 แสดงค่า T2* และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า T2* จากการใช้กราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่า T2* จากการใช้กราฟแบบ mono-exponential ต่างจาก truncation เท่ากับ 2.26 เปอร์เซ็นต์ ค่า T2* จากการใช้กราฟแบบ mono-exponential ต่างจาก offset เท่ากับ 14.59 เปอร์เซ็นต์ และค่า T2* จากการใช้กราฟแบบ truncation ต่างจาก offset เท่ากับ 12.79 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ยของ T2* จากภาพเอ็มอาร์หัวใจในอาสาสมัครชาติสซีเมีย สร้างภาพด้วยเทคนิค Breath hold ทั้งสองครั้ง พิสูจน์กราฟแบบ mono-exponential, truncation และ offset

N =10	T2* from Breath hold (1NSA)								
	Model1	Model2	%Diff	Model1	Model3	%Diff	Model2	Model3	%Diff
1	13.95	13.12	5.95	13.95	9.55	31.54	13.12	9.55	27.21
2	14.19	13.28	6.41	14.19	10.41	26.64	13.28	10.41	21.61
3	30.37	30.32	0.16	30.37	26.65	12.25	30.32	26.65	12.10
4	32.42	31.67	2.31	32.42	24.07	25.76	31.67	24.07	23.99
5	38.88	39.13	0.64	38.88	38.88	0	39.13	38.88	0.64
6	40.07	39.18	2.22	40.07	36.26	9.51	39.18	36.26	7.45
7	11.73	11.40	2.81	11.73	10.13	13.64	11.40	10.13	11.14
8	11.49	11.08	3.57	11.49	9.61	16.36	11.08	9.61	13.26
9	33.29	33.35	0.18	33.29	30.90	7.18	33.35	30.90	7.35
10	33.72	33.61	0.33	33.72	31.90	5.39	33.61	31.90	5.09
mean			2.26			14.59			12.79

Model 1 : mono-exponential, Model 2 : truncation, Model 3 : offset