Journal of Radiation Industry 14(1) : 35~42(2020)

복부 자기공명 검사 시 2D In-out phase를 이용한 최적의 숙임각에 관한 연구

구 은 회[1,*]

[1]청주대학교 방사선학과

A Study on the Optimal Flip Angle Using 2D in-out Phase for Abdominal Magnetic Resonance Exam

Eunhoe Goo[1,*]

[1]*Department of Radiological Science, Cheongju University, 298, Daeseong-ro, Cheongwon-gu, Cheongju, Chungbuk 28503, Republic of Korea*

Abstract - The purpose of this study is to find out the optimum flip angle by measuring SNR and CNR according to the change of in-phase and out-of-phase flip angle with INFINITT PACS View program. A total of 25 patients whose data of Liver MRI was transmitted through PACS were selected randomly for this research. The equipment used for data analysis was 3.0T MRI machine. The technique used for image evaluation was in-phase and out-of-phase image analysis. For analysis, SNR and CNR were evaluated after setting a certain area of interest in each flip angle on liver, pancreas, spleen and kidney in the in-phase and out-of-phase images. In the quantitative analysis of the 6 kinds of flip angles, the statistical significance of SNR and CNR was examined by one-way ANOVA and the post-analysis was done by Tukey method. The measured value at 5° of in-phase flip angle was (SNR: 101.19, CNR: 58.28) on liver, (SNR: 68.42, CNR: 25.66) on pancreas, (SNR: 18.00, CNR: 85.52) on spleen and (SNR: 78.86, CNR: 41.62) on kidney. The measured value at 5° of out-of-phase flip angle was (SNR: 62.16, CNR: 86.32) on liver, (SNR: 42.35, CNR: 60.04) on pancreas, (SNR: 44.49, CNR: 64.44) on spleen and (SNR: 50.10, CNR: 71.87) on kidney. The measured value at 30° of in-phase flip angle was (SNR: 17.72, CNR: 14.90) on liver (SNR: 17.75, CNR: 0.70) on pancreas, (SNR: 21.74, CNR: 28.74) on spleen and (SNR: 1 1.97, CNR: 8.13) on kidney. The measured value at 30° of out-of-phase flip angle was(SNR: 11.28, CNR: 10.99) on liver, (SNR: 12.57, CNR: 10.48) on pancreas, (SNR: 12.57, CNR: 16.65) on spleen and (SNR: 9.33, CNR: 5.53) on kidney. The results of data analysis in this research show that the level of SNR and CNR values was the lowest at a high angle of 30° and the highest at 5° ($p<0.05$). In conclusion, in the evaluation of the image according to SNR and CNR values by applying flip angle to liver, pancreas, spleen and kidney, the angle of 5° has the best quality of image in the 5°~30° range.

Key words : SNR, CNR, In phase, Out of phase, FA

서 론

최근 현대인들의 과음 문제가 사회적 문제로 대두되면서 건강관리 역시 빨간 불이 켜진 상태이다. 그중에서도 간암은

* Corresponding author: Eunhoe Goo, Tel. +82-43-840-7994, Fax. +82-43-229-7947, E-mail. gooeh@cju.ac.kr

현대인들을 괴롭히는 주된 질환으로 꼽힌다(Sun *et al*. 2016). 과음, 폭음이 이어지면서 지속적인 간 손상을 일으키고 나아가 간암 발병률을 높인다(Rocco *et al*. 2014). 술의 원료인 에탄올은 1급 발암 물질로 알려져 있다(Braillon 2016). 따라서 과음을 하면 결국 알코올성 간질환을 초래한다(Osan *et al*. 2017). 초기에는 간세포에 지방이 생기는 지방간을 일으키는데 이는 알코올성 간질환의 초기 단계로 볼 수 있다. 만약 알코올성 간질환 상태에서도 음주를 지속하면 간 조직 손상이 누적돼 알코올성 간염으로 진행되어 결국 간경화증까지 확대된다(Romanelli and Stasi 2016; Aday *et al*. 2017). 간 조직 손상이 광범위해 정상적 간세포가 떨어져 나가 정상적인 간 기능 역할 수행이 어려워지는 것이다. 심할 경우 간암으로 발전한다. 이러한 간암 발병 과정에서 간 기능이 저하돼 해독 작용이 느슨해지면 환자의 체력 및 면역력을 현저하게 저하시킬 뿐만 아니라 암 치료 효율성마저 낮아진다. 이러한 간암과 같은 질병의 발병률이 늘어나면서 복부 MRI 검사 또한 늘어나고 있으며 이로 인해 정확한 진단을 위한 최적의 영상을 제공할 필요성이 있다(Lee and Kim 2015; Ryerson *et al*. 2016). 복부 MRI 검사는 호흡과 환자의 상태에 따라 영상의 질이 크게 좌우하는 경향이 있고 그 외에 다양한 원인도 있지만 특히, FA에 따라 영상의 질이 크게 변하게 된다(Mihai *et al*. 2015; Clarke *et al*. 2017). 호흡에 따른 인공물은 가슴이나 복부를 영상화할 때 호흡 때문에 허상이나 흔들림 등이 나타난다. 대부분 위상부호화 방향으로 인공물이 발생하는데 위상부호화 방향과 주파수 부호화 방향을 바꾸거나, 신호평균화 방법을 이용하면 인공물에 따른 영향을 줄일 수 있다(Fig. 1).

복부 주변에 장기는 지방과 연결되어 있기 때문에 화학적 이동 인공물(Chemical shift artifact)을 고려하기 때문에 Dual Echo에 대한 중요성이 강조되기도 한다. 특히 이중에코는 영상의 질적 측면에서 췌장부와 주변부에 대한 SNR, CNR을 잘 보여 주기도 하지만 전반적인 복부 장기를 묘출하는 데 있어서 최적의 기법이라고 할 수 있다. 이러한 Gradient Echo 특징은 α°라는 RF pulse 파형으로 종축 자화를 횡축 자화로 눕게한 후 주파수 방향으로 Negative (−) Gradient를 인가하여 Spin들을 Dephase시켰다가 Positive (+) Gradient를 인가하여 Spin들을 Refocus시켜 신호를 얻는다. FID Signal을 작게 하여 만들어지는 T2* Gradient Echo 영상이라고 한다(Fig. 2).

짧은 시간의 Scan Time과 신호의 크기는 작지만 신호강도가 균일하고, 일정하며 호흡에 대한 Blurring을 방지할 수 있는 장점을 갖고 있다. 단점으로 TE에 따라 자화되는 정도에 따라 영상의 질이 변하기 때문에 자기장 세기 및 FA (Flip Angle)를 고려해야 한다. 지방과 물의 수소 자화는 일반적으로 1.5T 자장에서 세차 운동하는 속도가 달라 2.2 $m \cdot sec^{-1}$ 마다 위상이 같아지거나 180° 반전되게 된다. 위상이 같아질 때는 영상소자 내의 자화 크기는 물과 지방 신호의 합으로 나타나고, 위상이 반전될 때는 이들 신호의 차이로 나타난다. 일반적으로 두 가지 형태의 합과 차에 의하여 In-phase, Out of phase로 나타나는 Dual Echo이다. 이러한 신호는 자기장의 세기에 따라 TE 시간, FA 등으로 영상의 질에 영향을 크게 받게 된다. 기존 보고에 의하면 복부 MRI 검사 시 FA를 11°, 12°, 15°, 20° 등 다양한 숙임각을 적용하여 복부 장기 및 질환에 대한 평가를 하였다(Henrique *et al*. 2017). 이에 본 저자는 Abdominal MRI 검사 시 최적의 FA을 증명하기 위해 FA를 5°~30°까지 비교하여 영상의 질을 평가하였다.

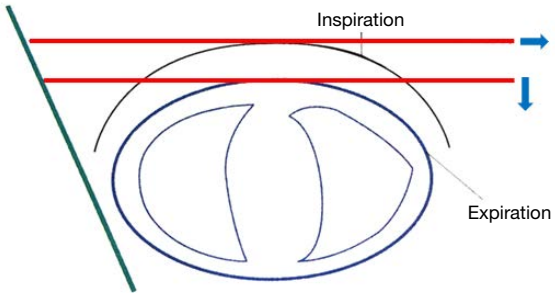

Fig. 1. Motion and flow artifact.

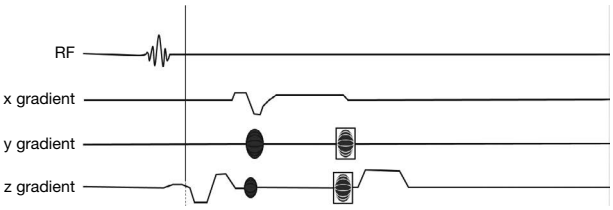

Fig. 2. Gradient pulse diagram.

재료 및 방법

1. 연구대상

본 2018년 12월부터 2019년 3월까지 충북 소재 대학병원에서 복부 MRI 검사 환자 25명을 대상으로 데이터를 분석하였으며, 성별은 남자 16 (64%)명, 여자 9 (36%)명이었으며 연령대는 20대가 25 (100%)명이었으며 연령은 21세부터 27세까지로 평균연령은 24.3세였다.

2. 데이터 수집

자료 수집을 위해 사용된 영상획득 장비로 MRI는 3.0T 초전도 자기공명영상장치 (Achieva 3.0T, Philips Medical System, The Netherlands)를 사용하여 영상을 얻었고, 데이터 획득을 위해 사용된 코일은 32 Channel, RC SENSE Torso Coil을 사용하였다. 본 검사에 적용된 Dual Echo에 대한 In-phase와 Out of phase 매개변수는 다음과 같이 나타내었다

(Table 1).

3. 연구 분석방법

3.1 정량적 평가

측정 방법은 수집된 Dicom File을 PACS (Picture Achieving Communication System, ViewRex of Techheim, KOR)를 사용하여 간(Liver), 췌장(Pancreas), 신장(Kidney), 비장(Spleen)의 중앙부위에 4명의 관찰자가 3 mm^2의 관심질환영역(Region of Interest: ROI)을 설정하여 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio), 대조도대 잡음비(Contrast to Noise Ratio)를 Eqs (1, 2)와 같은 방법으로 측정을 하였다.

$$SNR = \frac{Signal_{tissue} \times 0.655}{\sigma_{backgroundniose} \times \sqrt{scantime}} \quad (1)$$

Table 1. Scan parameters used for the MRI test among the test methods used in this study

Parameters	Description
[a)]TR (ms)	4
[b)]TE (ms)	2 (1)
[c)]FA (degree)	5, 10, 15, 20, 25, 30
Slice thickness (mm)	6
Matrix	190 × 190

[a)]TR: repetition time, [b)]TE: echo time, [c)]FA: flip angle

$$CNR = \frac{Signal_{regions} - Signal_{adjacnttissues} \times 0.655}{\sigma_{backgroundniose} \times \sqrt{scantime}} \quad (2)$$

3.2 정성적 평가

정성적 평가는 5점 척도로 영상의 질을 평가하였고, In-phase, Out of phase으로 얻은 영상들을 각각 독립적으로 국제 MRI 전문방사선사와 학생 3명이 1에서 5단계로 점수를 주어 실시하였다. 평가의 단계는 영상의 묘출도, Chemical Shift 정도 차이, 움직임 인공물에 따라 매우불량(Very Poor, 1점), 불량(Poor, 2점), 보통(Fair, 3점), 양호(Good Delineation, 4점), 매우양호(Very Good Delineation, 5점)로 구분하였고 각 영상에 대하여 얻어진 점수를 평균화하여 비교하였다.

4. 데이터 통계분석

본 연구에 사용된 장비에 대한 유의성 평가는 ANOVA Test를 사용하였으며, 사후분석으로는 Tuckey Method를 사용하였다. 정성적인 분석으로는 Kruskal Wallis H Test를 실시하여 통계적 유의성을 검증하였다. 모든 실험 데이터는 p 값이 0.05 이하일 때 통계적 유의성을 두었다. 본 연구에 대한 데이터 분석을 위해 사용된 프로그램은 SPSS ver. 24.0로 통계학적 분석을 실행하였다.

결 과

PACS 네트워크로 전송된 Abdominal MRI 검사를 한 환자

Table 2. Quantitative analysis value of measured SNR using 6 FA in Dual Echo Abdominal MRI

Dual echo (FA°)		Liver	Pancreas	Spleen	Kidney
In phase	5°	101.19 ± 21.5	68.42 ± 13.2	18.00 ± 02.2	78.86 ± 15.8
Out of phase		62.16 ± 13.2	42.35 ± 10.2	44.49 ± 10.1	50.10 ± 10.0
In phase	10°	58.93 ± 11.9	50.62 ± 09.6	19.34 ± 11.1	63.56 ± 16.1
Out of phase		49.77 ± 10.0	32.29 ± 07.1	54.46 ± 10.7	38.26 ± 06.3
In phase	15°	94.53 ± 19.4	60.54 ± 10.7	21.21 ± 07.1	54.82 ± 10.7
Out of phase		52.47 ± 8.7	43.12 ± 04.9	57.35 ± 08.7	44.17 ± 07.5
In phase	20°	51.60 ± 11.1	23.37 ± 04.3	21.47 ± 04.8	29.02 ± 06.4
Out of phase		44.97 ± 09.9	25.55 ± 05.1	29.88 ± 04.2	37.92 ± 06.2
In phase	25°	38.46 ± 08.5	22.67 ± 07.04	11.04 ± 02.1	24.25 ± 03.1
Out of phase		20.03 ± 06.8	12.28 ± 02.2	19.77 ± 05.2	11.17 ± 01.8
In phase	30°	17.72 ± 04.5	17.75 ± 04.6	21.74 ± 07.2	11.97 ± 02.3
Out of phase		11.28 ± 02.2	11.57 ± 02.4	10.57 ± 02.3	09.33 ± 01.4

Note: Data are means ± standard deviations.
Significant difference (ANOVA test, $p < 0.05$).

Table 3. Quantitative analysis value of measured CNR using 6 FA in Dual Echo Abdominal MRI

Dual echo (FA°)		Liver	Pancreas	Spleen	Kidney
In phase	5°	58.28±12.11	25.66±05.48	85.52±17.78	41.62±09.29
Out of phase		86.32±17.13	60.04±15.51	64.44±16.41	71.87±18.62
In phase	10°	14.34±03.95	15.40±00.01	28.54±06.03	14.34±03.95
Out of phase		62.34±03.96	36.62±08.38	69.12±15.19	30.47±06.84
In phase	15°	28.25±13.33	18.01±06.98	40.40±16.98	19.06±01.49
Out of phase		70.81±07.62	46.20±07.04	71.73±09.51	37.81±07.62
In phase	20°	20.60±03.61	16.54±04.68	26.78±05.81	17.92±01.94
Out of phase		56.39±09.53	32.15±07.89	52.13±05.95	35.77±07.53
In phase	25°	16.91±03.56	13.06±00.68	23.48±07.56	15.91±03.56
Out of phase		42.29±07.11	12.03±02.04	44.81±07.54	20.34±01.42
In phase	30°	14.71±11.11	10.70±00.08	20.74±07.91	08.13±01.19
Out of phase		25.53±00.72	10.48±01.84	36.65±03.53	15.53±00.72

Note: Data are means±standard deviations.
Significant difference (ANOVA test, $p<0.05$).

Table 4. Image distortion, susceptibility artifact and motion artifact of various flip angle

FA°	[a)]ID	[b)]SA	[c)]MA	x2
5	3.6±0.1	4.4±0.4	4.1±0.3	52.21
10	3.5±0.3	4.1±0.1	3.9±0.6	49.27
15	3.3±0.2	3.4±0.5	3.8±0.1	37.49
20	3.0±0.1	3.2±0.5	3.7±0.1	48.28
25	2.4±0.6	2.1±0.5	2.3±0.1	37.18
30	2.3±0.3	2.3±0.1	2.1±0.8	30.29

Note - Numbers are mean±standard deviation.
[a)]ID: image distortion, [b)]SA: susceptibility artifact, FA: flip angle, [c)]MA: motion artifact, Significant difference with various FA (Kruskal Wallis H Test, $p<0.05$).

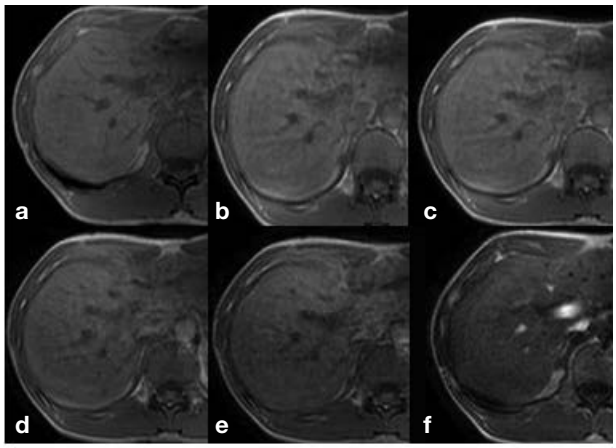

Fig. 3. Effect of various FA with gradient echo (in phase) in liver a~f. 5°~30° flip angles.

를 대상으로 무작위 선정하여 데이터를 분석하였다. 모든 영상분석은 연구자들이 교대로 ROI 설정 및 측정 후 평균 및 표준편차 값으로 나타냈다.

1. SNR에 대한 결과

본 연구에서 측정한 총 25명에 대한 Dual Echo SNR에 대한 평균 및 표준편차 값으로 평가했을 때 Liver, Pancreas, Kidney의 SNR 값은 5°가 가장 높게 나타났으며 Spleen의 SNR 값은 10°가 가장 높게 나타났지만 p 값이 0.612로 통계적 유의성은 없었다(Table 2). FA 값에 따라 SNR 값이 5°에서 가장 높고 10°에서 15°로 갈수록 SNR 값이 높은 수치로 나타났지만 20°~30°에서 다시 낮아지는 형태로 값을 나타냈다.

2. CNR에 대한 결과

두 조직에 대한 신호 차이를 확인하기 위하여 측정한 Dual Echo 값 역시 일관성 있는 값을 보여 주었다. Liver, Pancreas, Kidney의 CNR 값은 SNR 값과 같이 5°에서 가장 높게 나타나는 결과를 얻었다. Spleen의 경우 10°에서 가장 높게 나타났지만 p 값이 0.510로 통계적 유의성은 없었다(Table 3). CNR의 값 또한 FA 값에 따라 5°에서 가장 높고 10°에서 15°로 갈수록 CNR 값이 높은 값을 얻었지만 20°~30°에서 다시 낮아지는 형태로 신호강도 값을 보여주었다.

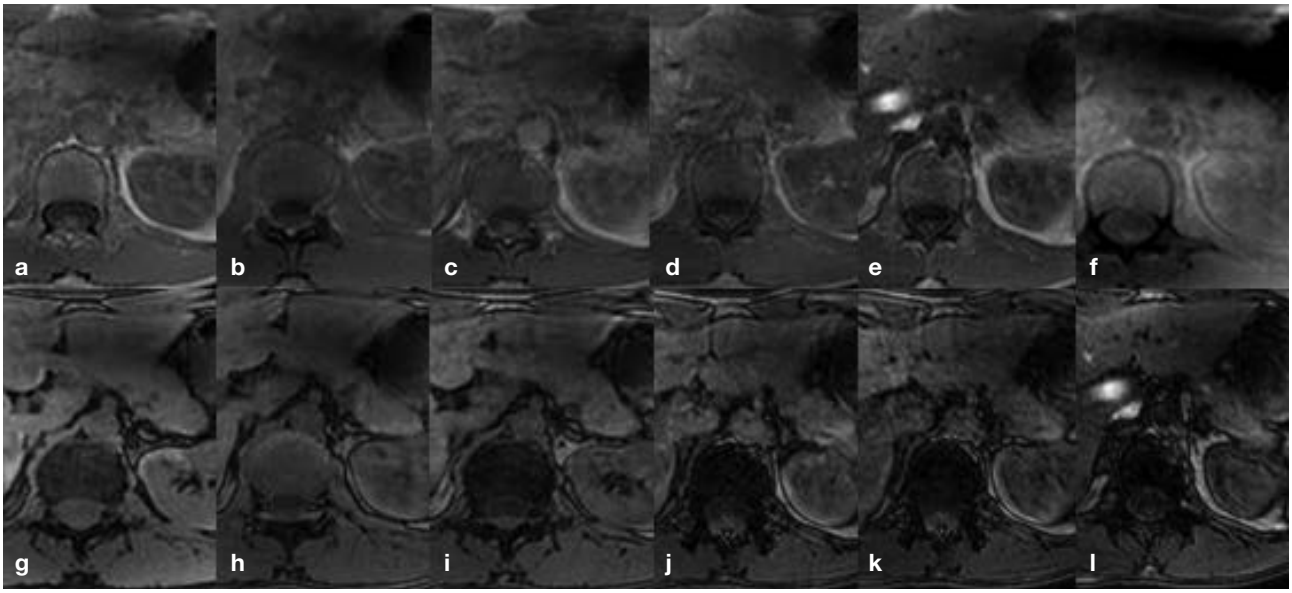

Fig. 4. Effect of various FA with dual gradient echo (in phase, out of phase) in pancreas, kidney a~l. 5°~30° flip angles. In phase (a~f), Out of phase (g~l).

3. 영상의 등급평가결과

조영제 주입 전 4조직(Liver, Pancreas, Kidney, Spleen)에 대한 5종류의 FA 영상에서 영상의 왜곡, 자기감수성 효과, 움직임 인공물에서 FA가 증가할수록 등급이 떨어지는 결과를 보였다(Table 4, $p<0.05$).

Gradient Echo을 이용하여 복부부위를 검사할 때 가장 큰 특징으로 FA가 클수록 Blurring이 심하게 나타나며 영상의 형태는 밝은 형태에서 어두운 형태로 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 이러한 영상은 복부 및 하복부영상에서 자기감수성의 효과가 높다는 것을 확인할 수가 있다(Fig. 3).

특히, Pancreas 영상에서는 FA가 클수록 복부의 중앙부분에서 Dielectric Artifact, Magnetic Susceptibility Artifact가 발생하여 In phase에서 Pancreas Border가 잘 보이지 않게 나타났다. Kidney 영상에서 In phase 영상인데도 불구하고 FA 30에서 Chemical Shift 현상이 크게 발생하여 Out of phase 효과가 발생되는 현상이 나타났다. 이와 반대로 Out of phase (g~l) 영상에서 FA 값이 클수록 J, K, L 영상에서 Kidney 주변부위에 Fat Pattern이 선명하게 보이는 것으로 In phase Pattern이 발생한다는 것을 알 수가 있었다(Fig. 4).

4. 사후분석 결과

본 연구에서 측정한 FA에 대하여 SNR, CNR에 대한 4조직 그룹평가에서 Liver, Pancreas, Kidney에 대한 In phase, Out of phase의 사후분석 결과 5°을 기준으로 10°, 15°, 20°, 25°, 30° 모두 유의한 차이가 있었다($p=0.000$, $p=0.000$). 그러나 Spleen은 5°을 기준으로 15, 20°, 25°, 30°만 차이가 있었고 10°는 차이가 없었다($p=0.612$, 0.510). 그 외에 나머지 20°, 25°, 30°에서는 모두 유의성 있는 결과를 얻었다($p=0.000$, $p=0.000$). 결과적으로 FA (10°)과 FA (10°)은 평균차이가 적게 나지만 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않기 때문에 FA을 5°부터 10°까지 사용하는 것이 영상의 질에 대한 진단적 가치를 제공하게 되었다.

고 찰

본 연구에서 복부를 검사하는 대표적인 방법인 MRI에 대해 최적의 FA에 따른 SNR과 CNR을 비교하여 분석하였다 (Han and Choi 2009; Tirkes *et al*. 2019; Kim *et al*. 2019). 본 데이터 분석을 통해 TE 시간에 따라 획득하게 되는 Dual Echo (In-phase와 Out of phase)에서 FA 5°~10°에서 복부장기(간, 췌장, 신장, 비장)를 묘출하는 데 있어 유용성 있는 결과를 얻을 수가 있었다. 복부 MRI 검사는 FA를 비롯한 다양한 매개변수의 검사조건의 변화에 따라 영상의 질이 많이 변화가 되지만, 특히 호흡, 환자상태 등 다양한 영향으로 발생되는 영상의 변화는 재검사가 발생하여 환자에게 부담이 될 수 있는 요인이 되기도 한다(Song *et al*. 2013). 자기공명영상에서 지방소거기법을 이용한 상 복부 영상에서 1990년대부터 일반적으로 화상 형성의 3대 요소로서 TR, TE, FA를 보고하였다(Semelka *et al*. 1990). TR, TE, FA는 영상의 CNR에 영향을 미치지만 SNR에도 영향을 미친다. 이는 화질 결정에 중요한 요소라고 할 수 있다. FA에 관하여 크게 비교하는 기법으로 90°를 이용하는 것과 그 이하로 이용하는 기법

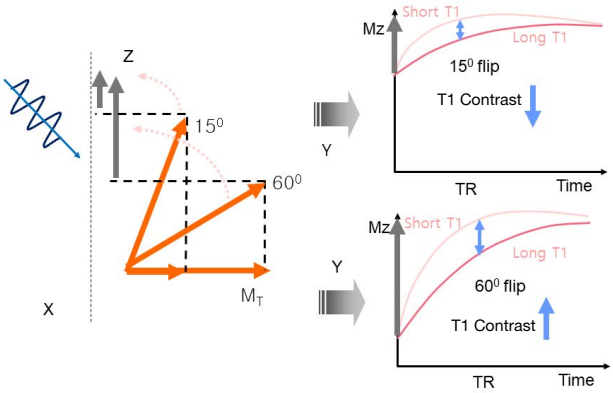

Fig. 5. Gradient FA diagram. The smaller the FA, the lower the CNR.

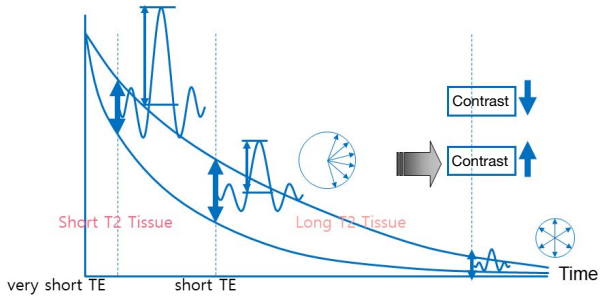

Fig. 6. Long TE time reduces signal intensities.

이 있다. 대표적인 예로 Spin Echo와 Gradient Echo 기법이다 (Park *et al*. 2016; Lecouvet *et al*. 2020). 기법의 특징에 따라 장점이 있지만 일반적으로 SE는 GE보다 영상의 SNR, CNR이 우수하다고 할 수 있다. 그 이유는 SE에서는 90°의 Radio-Frequence Pulse를 가하여 종자화를 완전히 횡축으로 횡자화로 바꾼 후 신호를 관찰하기 때문이며 GE는 90°도보다 작은 숙임각을 사용하기 때문에 신호가 작다. 바꾸어 말하면, FA가 클수록 X-Y 평면상에 있는 양성자의 수가 많은 만큼 회복되는 종축자기화가 많기 때문에 신호강도가 GE보다 SE가 높다는 결론이다. 이는 GE에서 FA에 따라 영상을 평가할 때 FA가 크면 클수록 조직의 T1 이완시간이 크기 때문에 대조도는 증가하지만 상대적으로 FA가 작을 경우 신호강도가 약하면서 대조도는 떨어지게 된다(Fig. 5). 본 연구에서는 이러한 원리와 반하여 호흡이 민감한 부위의 검사나 Dual Echo를 얻기 위해서는 FA가 작을수록 큰 효과가 있다는 것으로 증명되었다.

그러나 움직임이 많은 복부영상의 경우 정확한 FA 선택이 중요하다. 본 연구에서 나온 결과로서 5°~10°에서 가장 높은 결과를 얻었고 FA가 높을수록 영상의 질(SNR, CNR, QE (qualitative evaluation)이 떨어지는 결과를 얻었다. 이러한 이유는 FA와 TE 관계가 발생하기 때문에 FA가 크게 되면 Spin

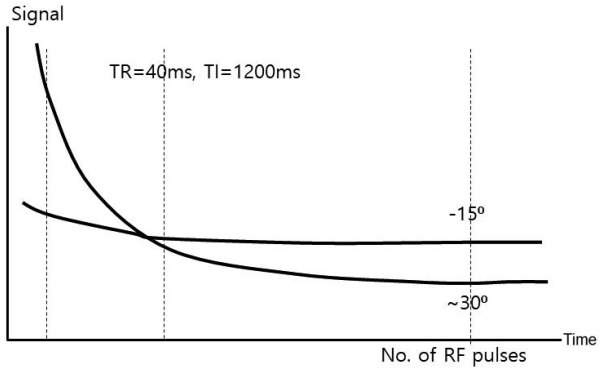

Fig. 7. Equal distribution of the signal.

상태가 횡축자기화 상태 즉, X-Y 평면상태로 오래 존재하기 때문에 호흡에 의한 Blurring이 영상에서 더 발생하게 되고 또한 신호강도가 떨어지는 결과를 얻었다(Fig. 6).

이러한 이론과 같이 본 실험의 결과에서도 X-Y 평면상에 오랫동안 존재하는 긴 FA에서도 인공물이 심한 결과를 얻게 되었다. 본 연구는 3D Inflow MR angiography와 결부시켰을 때 같은 결과를 얻었다. 호흡에 따라 움직이는 탈위상(Moving Spin, Dephase Spin)과 혈관단면에 유입되는 Flow를 자기공명혈관조영술로 영상화할 때 양성자들에 대한 위상차이(Phase Shift)이다(Cirillo *et al*. 2013). 일정한 단면두께(Volume)에 Blood Flowing은 평행상태(Steady State)에 도달될 때까지는 신호가 약하게 측정되며 이 평행상태는 TR, FA, T1 이완시간에 의존하게 된다. 이러한 결과는 신호강도의 균일성에 큰 영향을 갖게 되어 신호분포가 균등하게 수집되게 된다(Fig. 7).

본 연구에서도 5~10 사이의 FA가 유용성 있는 결과는 연관관계가 있는 결과였다. MRA 검사에서는 Slice Profile에 따라 TONE (tilted optimized nonsaturation excitation) Pulse (Shibukawa *et al*. 2016; Zhang *et al*. 2019)가 적용되어 Slab에 수직인 Flowing의 포화감소로 보상해 주는 펄스시퀀스를 이용하지만 복부 MRI는 Motion Artifact에 관련하여 RT (respiratory trigger gating), NTG (navigator trigger gating), FC (flow compensations) 등 다양한 기법 및 Pulse Sequence를 이용하여 검사를 하고 있다(Horie *et al*. 2008; Wang *et al*. 2015; Winter *et al*. 2016). 이러한 결과는 FA의 변화가 영상의 질을 증가시키는 것은 복부 인공물을 감소시키는 기법과 상호보완적으로 발전하고 있다는 것을 보여주고 있는 단면이다. 연구 결과에서 3.0T 영상으로만 비교를 하였기에 1.5T인 장비와 3.0T 장비를 비교하지 않아 향후 최적의 FA와 관련된 추가적인 후속 연구로 분석한다면 향후 복부 MRI 검사 영상의 질적 향상을 높이고 판독의 정확성을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

결론적으로, 본 연구에서는 복부 MRI검사 시 최적의 FA를 얻기 위해 SNR과 CNR, QE 평가를 하였다. 그 결과 간, 췌장, 신장, 비장의 조직에 FA를 5°∼30° 중에 5°∼10°에서 가장 높은 결과를 얻게 되었다. 또한 각각의 FA에 따라 조직의 신호강도 변화에 대한 이론적 근거를 증명하는 결과를 얻기도 하였다. 이러한 결과는 향후 후속연구자를 비롯하여 임상에 적용할 때 본 연구가 기초자료가 되었으면 한다.

사 사

본 논문은 2018.09.01.∼2020.08.31에 청주대학교 보건의료과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었습니다.

참 고 문 헌

Aday AW, Mitchell MC and Casey LC. 2017. Alcoholic hepatitis: current trends in management. *Curr. Opin. Gastroen.* **33**(3):42-148.

Braillon A. 2016. Consumption of Alcohol, an Addictive Carcinogen, Cannot Be a Healthy Lifestyle Choice. *J. Stud. Alcohol. Drugs* **77**(5):838.

Cirillo M, Scomazzoni F, Cirillo L, Cadioli M, Simionato F, Iadanza A, Kirchin M, Righi C and Anzalone N. 2013. Comparison of 3D TOF-MRA and 3D CE-MRA at 3T for imaging of intracranial aneurysms. *Eur. J. Radiol.* **82**(12):e853-859.

Clarke CN, Choi H, Hou P, Davis CH, Ma J, Rashid A, Vauthey JN and Aloia TA. 2017. Using MRI to non-invasively and accurately quantify preoperative hepatic steatosis. *HPB (Oxford)* **19**(8):706-712.

Han JB and Choi NG. 2009. Flip Angle of the Optimal T1 Effect Using FLASH Pulse Sequence at 3T Abdominal MRI. *KSRS* **32**(1):101-106.

Henrique D, Manuela F, Isabel C and Filipe CA. 2017. Liver MRI: From basic protocol to advanced techniques. *Eur. J. Radiol.* **93**:30-39.

Horie T, Takahara T, Ogino T, Okuaki T, Honda M, Okumura Y, Kajihara N, Usui K, Muro I and Imai Y. 2008. Trial of artifact reduction in body diffusion weighted imaging development and basic examination of "TRacking Only Navigator" (TRON method). *JPN. J. Radiol. Technol.* **64**(9):1157-1166.

Kim JE, Kim HO, Bae K, Choi DS and Nickel D. 2019. T1 mapping for liver function evaluation in gadoxetic acid-enhanced MR imaging: comparison of look-locker inversion recovery and B1 inhomogeneity-corrected variable flip angle method. *Eur. J. Radiol.* **29**(7):3584-3594.

Lecouvet FE, Pasoglou V, Van Nieuwenhove S, Van Haver T, de Broqueville Q, Denolin V, Triqueneaux P, Tombal B and Michoux N. 2020. Shortening the acquisition time of whole-body MRI: 3D T1 gradient echo Dixon vs fast spin echo for metastatic screening in prostate cancer. *Eur. Radiol.* DOI: 10.1007/s00330-019-06515-y.

Lee SJ and Kim YK. 2015. Improved Focal Liver Lesion Detection by Increasing Flip Angle During Gadoxetic Acid-Enhancement in MRI. *JRST* **38**(2):115-120.

Mihai G, Varghese J, Lu B, Zhu H, Simonetti OP and Rajagopalan S. 2015. Reproducibility of thoracic and abdominal aortic wall measurements with three-dimensional, variable flip angle (SPACE) MRI. *J. Magn.* **41**(1):20-212.

Osan NA, Donohue T and Kharbanda K. 2017. Alcoholic Liver Disease: Pathogenesis and Current Management. *ARCR* **38**(2):147-161.

Park HJ, Lee SY, Rho MH, Chung EC, Ahn JH, Park JH and Lee IS. 2016. Usefulness of the fast spin-echo three-point Dixon (mDixon) image of the knee joint on 3.0-T MRI: comparison with conventional fast spin-echo T2 weighted image. *Br. J. Radiol.* **89**(1092):DOI: 10.1259/bjr.20151074.

Rocco A, Compare D, Angrisani D, Sanduzzi Zamparelli M and Nardone G. 2014. Alcoholic diseas: liver and beyond. *World J. Gastroenterol.* **20**(40):14652-14659.

Romanelli RG and Stasi C. 2016. Recent Advancements in Diagnosis and Therapy of Liver Cirrhosis. *Curr. Drug Targets* **17**(15):1804-1817.

Ryerson AB, Eheman CR, Altekruse SF, Ward JW, Jemal A, Sherman RL, Henley SJ, Holtzman D, Lake A, Noone AM, Anderson RN, Ma J, Ly KN, Cronin KA, Penberthy L and Kohler BA. 2016. Annual Report to the Nation on the Status of Cancer, 1975-2012, featuring the increasing incidence of liver cancer. *Cancer* **122**(9):1312-1337.

Semelka RC, Chew W, Hricak H, Tomei E and Higgins CB. 1990. Fat-saturation MR imaging of the upper abdomen. *AJR* **155**(5):1111-1116.

Shibukawa S, Nishio H, Niwa T, Obara M, Miyati T, Hara T, Imai Y and Muro I. 2016. Optimized 4D time-of-flight MR angiography using saturation pulse. *J. Magn.* **43**(6):1320-1326.

Song M, Cho HJ, Cho YK, Kim MY, Noh SI and Yang SH. 2013. Detecting hepatocellular carcinoma in gadoxetic-acid-enhanced hepatobiliary-phase MR imaging at 3T: comparing high and low flip angle. *Jpn. J. Radiol.* **31**(12):803-811.

Sun JH, Luo Q, Liu LL and Song GB. 2016. Liver cancer stem cell markers: Progression and therapeutic implications. *World J. Gastroenterol.* **22**(13):3547-3557.

Tirkes T, Zhao X, Lin C, Stuckey AJ, Li L, Giri S and Nickel D. 2019. Evaluation of variable flip angle, MOLLI, SASHA, and IR-SNAPSHOT pulse sequences for T1 relaxometry and extracellular volume imaging of the pancreas and liver. *MAGMA* **32**(5):DOI: 10.1007/s10334-019-00762-2101-106.

Wang D, Shao J, Rapacchi S, Middione MJ, Ennis DB and Hu P. 2015. Phase contrast MRI with flow compensation view sharing. *Magn. Reson. Med.* **73**(2):505-513.

Winter P, Kampf T, Helluy X, Gutjahr FT, Meyer CB, Bauer WR, Jakob PM and Herold V. 2016. Self-navigation under non-steady-state conditions: Cardiac and respiratory self-gating of inversion recovery snapshot FLASH acquisitions in mice. *Magn. Reson. Med.* **76**(6):1887-1894.

Zhang T, Xu Z, Chen J, Liu Z, Wang T, Hu Y, Shen L and Xue F. 2019. A Novel Approach for Imaging of Thoracic Outlet Syndrome Using Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Angiography (CE-MRA), Short Inversion Time Inversion Recovery Sampling Perfection with Application-Optimized Contrasts Using Different Flip Angle Evolutions (T2-STIR-SPACE), and Volumetric Interpolated Breath-Hold Examination (VIBE). *Med. Sci. Monit.* **10**(25):7617-7623.

Received: 6 February 2020
Revised: 23 February 2020
Revision accepted: 4 March 2020