

최근 압축 센싱 이론을 통하여 샘플링 수가 부족한 데이터에서도 고해상도 영상 복원이 가능해졌으며, 이에 따라 MRI에서 영상을 얻어내는 시간이 감소하였다. 이를 바탕으로 하여 MRI 영상 분야, 특히 동적 구조 이미징에서 다양한 복원 알고리즘들이 개발되었고, 기능적자기공명영상(fMRI)에도 이러한 알고리즘을 적용하는 것에 대한 의견들이 제기되고 있다. 그러나 fMRI 이미징을 위한 혈류 신호의 크기가 매우 작을뿐만 아니라, 압축 센싱을 fMRI에 적용할 경우 통계적 검증력의 손실이 발생할 수 있는 가능성 때문에 fMRI에 압축 센싱을 적용하는 것이 아직 널리 연구되지 않았다. 본 연구에서는 다양한 방법으로 얻은 fMRI 데이터에 압축 센싱을 적용할 경우의 효용을 측정하였다. 시뮬레이션과 실제 in-vivo 데이터에 대하여 forepaw sensory(S1), odor(OB) 자극 두 가지를 이용하였으며, GRE, EPI 두 시퀀스에 대해 모두 적용해 보았다. 또한, 압축 센싱을 적용할 때 phase encoding 방향으로 gaussian, random 샘플링 등 다양한 다운샘플링 패턴을 이용하였으며, 복원 알고리즘으로는 k-t FOCUSS를 사용하였다. 모든 실험은 9.4T Agilent animal MRI를 이용하였으며 Imaging parameter는 다음 표와 같다.

Table 1 Imaging parameters

	Forepaw stimulation		Odor stimulation
	#1. GRE	#2. EPI	#3. GRE
Matrix size	$64 \times 64 \times 1$	$128 \times 128 \times 2$	$64 \times 64 \times 9$
FOV	$20 \times 20 \times 2 \text{ mm}^3$	$30 \times 30 \times 4 \text{ mm}^3$	$7 \times 7 \times 4.5 \text{ mm}^3$
Image TR	1.92 s (R = 1)	2 s (R = 1; 2 shots);	8 s (R = 1)
	0.96 s (R = 2)	1 s (R = 2; 1 shot)	2 s (R = 4)
	0.48 s (R = 4)		
Sampling pattern ^a	Full (3),	Full (3),	Full (5),
	Gaussian (3),	Gaussian (3),	Gaussian (2),
	Rand + C6 (3)	Rand + C6 (3)	Rand + C6 (5)
Paradigm	Periodic block	Periodic block	Single-trial block

그 결과, GRE 시퀀스를 사용한 경우 CS-fMRI 결과에서 activated voxel의 수가 증가하였으며, 뇌의 활성 영역 탐지에 대한 통계적 민감도(statistical sensitivity)가 높아지는 것을 알 수 있었다. (fig. 1-2)

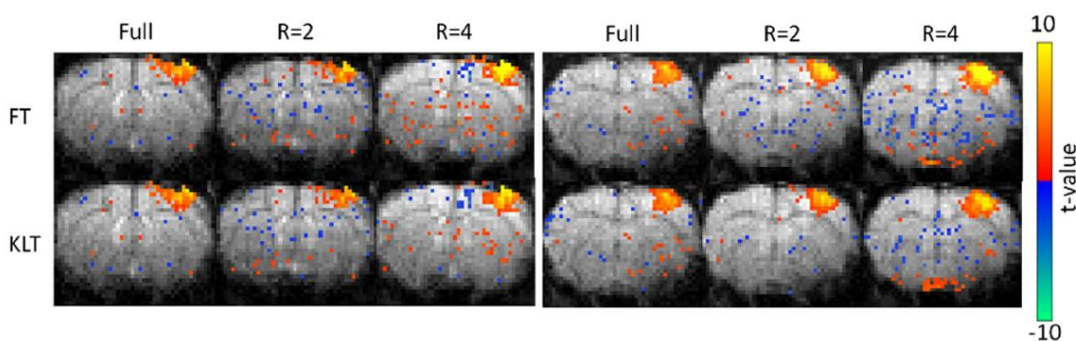


Figure 1 Activation maps with GRE sequence in S1 in two rats

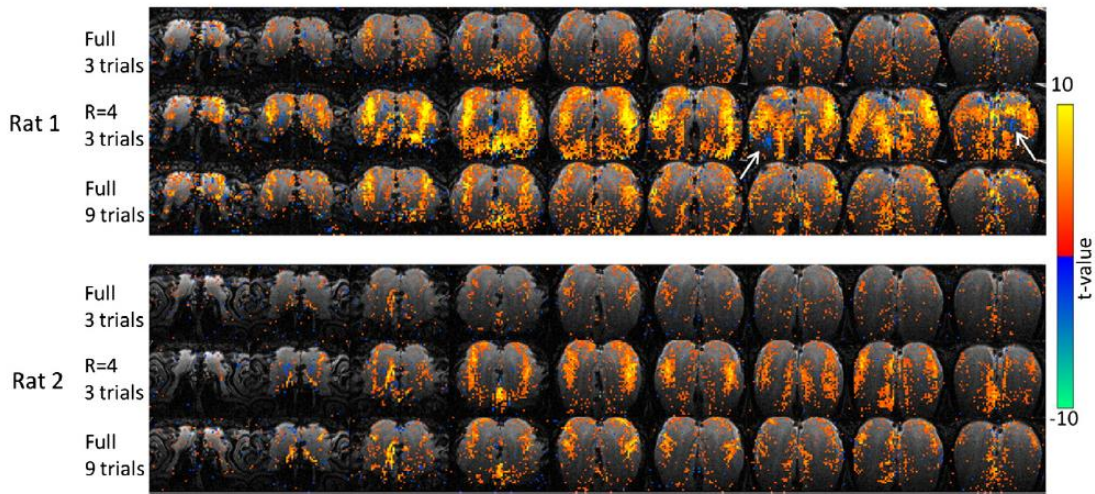


Figure 2 Activation maps with GRE sequence in OB in two rats

또한, 압축 센싱을 적용할 경우 시간 분해능(temporal resolution)과 temporal noise correlation이 개선되었고 functional response의 크기가 감소한 반면에 noise variance도 감소하여 전체적인 활성 영역 탐지를 sensitive 하게 할 수 있었다. (Fig 3)

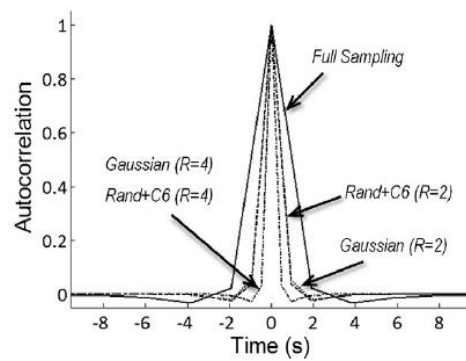


Figure 3 Temporal autocorrelation functions of the reconstructed time series with various sampling patterns and sampling rates for averaged, block-designed, GRE-S1 fMRI data

그러나 EPI에 압축 센싱을 적용하였을 경우에는 sensitivity가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. (Fig 4) 이는 EPI에 Phase encoding 방향으로 랜덤한 마스크를 주는 것이 완벽하지 않았거나 홀수와 짝수 번째 에코의 mismatch로 인한 phase artifact 때문인 것으로 생각할 수 있다.

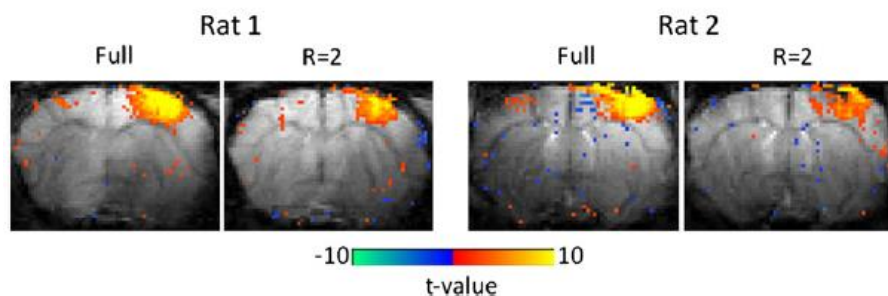


Figure 4 Activation maps with EPI sequence in S1 in 2 rats

즉, GRE 시퀀스를 이용한 fMRI에 압축 센싱을 적용하면 시간 분해능과 통계적 검증력의 개선을 얻을 수 있어 효과적으로 가속화 된 뇌기능 영상 이미징을 할 수 있음을 알 수 있다.