

DIR 영상을 이용한 피질두께 측정: GRAPPA 인자 2를 이용한 비교

최나래¹ · 남윤호¹ · 김동현^{1,2}

목적 : 본 논문에서는 DIR 영상을 이용하여 두뇌의 피질두께측정 연구를 수행하는 한편 평행 영상기법 중 하나인 GRAPPA (generalized autocalibrating partially parallel acquisitions)를 이용하여 GRAPPA 인자 (reduction factor, R)가 2일 때와 평행 영상기법을 이용하지 않았을 때의 결과 비교를 통해 3D DIR 영상의 획득시간 단축 가능성을 제시하고자 한다.

대상 및 방법 : 3.0T 자기공명영상장치 (Siemens Tim Trio MRI scanner)의 3D DIR 펄스열을 이용하여 6명(남자 3명, 여자 3명, 25.33±2.25살)의 정상인 뇌에 대한 3차원 영상을 얻었다. GRAPPA 시뮬레이션은 R=2 일 때를 가정하여 수행되었고 두뇌 피질두께측정을 위해 Analyze 9.0과 Freesurfer v.4.3.0 프로그램을 사용하였다. 결과로 얻은 데이터를 T-검증을 이용하여 비교분석 하였다.

결과 : GRAPPA 기법을 통하여 복원한 영상이 잡음이 증가하는 경향을 보였으나 두뇌 피질두께 측정에는 별다른 영향을 미치지 않았다. 통계분석을 통해 비교한 결과 대부분의 두뇌 영역에서 참조영상과 GRAPPA 기법을 이용한 영상의 차이가 유의하지 않았다.

결론 : 피질두께측정 연구에 있어서 3D DIR영상의 문제점 중 하나는 긴 영상획득시간이다. 따라서 평행영상 기법 중 하나인 GRAPPA 영상기법을 적용하면 피질두께측정 연구결과의 큰 차이 없이 영상 획득 시간을 단축시킬 수 있다.

서 론

기존의 두뇌 용적측정 (volumetry) 연구에서는 두뇌의 백질과 피질 사이의 좋은 대조도(contrast)를 제공하는 T1 강조영상 (T1-weighted imaging)을 이용해왔다 (1). 그러나 MP-RAGE (magnetization prepared rapid gradient echo)와 같은 삼차원 T1 강조 경사자장 영상 (3D T1-weighted gradient-echo imaging)은 경사자장 (GRE) 펄스열 기반이므로 자기화율 (magnetic susceptibility)에 의해 발생하는 자기장 불균일 (magnetic field inhomogeneity)의 영향을 많

이 받는다. 특히 공기와 조직의 접촉면 (air-tissue interface)에서의 자기화율 인공물 (magnetic susceptibility artifact)에 의해 신호의 손실 및 왜곡이 발생하여 피질의 부피를 과소평가하게 되는 등 피질 두께의 정확하고 신뢰할만한 측정이 힘들다. 이러한 문제를 완화하는 한 가지 방법으로 스핀에코 (spin-echo, SE)기반의 3D DIR (double inversion recovery) 펄스열을 이용하여 회질을 영상화 하는 것이 제안되었다 (2, 3).

본 연구에서 사용한 고속 스핀에코(Fast/Turbo spin-echo, FSE) 기반의 DIR 펄스열은 여러 개의 재초점 펄스열을 이용하여 상대적으로 자기화율 인공물의 영향을 현저히 감소시킨다 (그림 1). 특히 자기장 (B0) 불균일에 의해 영향을 많이 받는

대한자기공명의과학회지 14:56-63(2010)

¹연세대학교 전기전자공학과

²연세대학교 의과대학 영상의학과

접 수 : 2010년 5월 31일, 수 정 : 2010년 6월 14일, 채 택 : 2010년 6월 17일

통신저자 : 김동현, (120-749) 서울특별시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 전기전자공학부

Tel. (02) 2123-5874 Fax. (02) 313-2879 E-mail: donghyunkim@yonsei.ac.kr

이마앞엽 (prefrontal lobe), 관자엽 (temporal lobe)에서의 자기화를 인공물의 감소는 주목할 만 하다. 또한 MP-RAGE 영상에서는 천막과 회질의 대조도가 비슷하기 때문에 경질막 (dura mater)과 천막 (tentorium) 사이에서 피질의 두께가 두껍게 측정되는 경우가 있는데 DIR 영상의 경우 천막의 신호를 억제하기 때문에 회질의 두께만을 측정할 수 있다. 이 외에도 DIR 영상 기법은 black blood MR 영상 (4)과 회/백질 영상 (gray/white matter imaging)에 쓰인다.

DIR 영상을 이용하여 회질을 영상화할 때, 뇌척수액과 백질의 신호를 억제시키는 두 개의 반전펄스가 필요하며 반전펄스 이후 회질의 신호가 회복되는 것을 기다린 후에 신호를 얻게 된다. 이러한 반전펄스 및 자극펄스와 재초점 펄스를 이용하기 때문에 다른 영상기법에 비해 긴 반복시간을 필요로 한다. 특히, 고해상도 (1 mm^3 복셀)의 3D DIR 영상을 얻으려면 필요로 하는 위상 부호화 (phase encoding)의 개수가 많아지고 이로 인해 k-공간을 채우는데 약 20분 이상이 걸리므로 임상적으로 사용되기 어렵다. 하지만 평행영상 (parallel imaging) (5-7) 기법의 발달로 인해 영상획득시간의 단축 가능성을 찾을 수 있으며, 평행 영상을 이용한 두뇌의 용적측정 결과를 비교하는 연구들이 활발히 수행되고 있다 (8, 9).

본 논문에서는 DIR 영상을 이용하여 두뇌의 용적측정 연구를 수행하는 한편 평행 영상기법 중 하나인 GRAPPA (generalized autocalibrating partially parallel acquisitions) (5)를 이용하여 GRAPPA 인자 (reduction

factor, R)가 2일 때와 평행 영상기법을 이용하지 않았을 때의 결과 비교를 통해 3D DIR 영상의 획득시간 단축 가능성을 제시하고자 한다.

방법 및 재료

1) 영상획득 (Image Acquisitions)

3.0T 자기공명영상장치 (Siemens Tim Trio MRI scanner)의 3D DIR 펄스열을 이용하여 6명(남자 3명, 여자 3명, 25.33 ± 2.25 살)의 정상인 뇌에 대한 3차원 영상을 얻었다. 영상을 얻는데 이용된 영상변수는 다음과 같다. 반복시간 (TR) = 10000 ms, 에코시간 (TE) = 207 ms, 첫 번째와 두 번째 반전펄스 (inversion pulse) 사이의 시간 (TI1) = 3651.7 ms, 두 번째 반전펄스와 자극펄스 (excitation pulse) 사이의 시간 (TI2) = 551.7 ms 을 이용하였다. 복셀 크기 (voxel size) = $1.0 \times 1.0 \times 1.0 \text{ mm}^3$ 는 등방성 크기를 갖도록 설정하였으며 적용범위 (FOV)는 $25.6 \times 25.6 \times 16.0 \text{ cm}^3$ 로 설정하였다. 위와 같은 영상변수를 이용하여 3D k-공간 데이터를 얻는 데 총 24분 2초가 걸렸다. 본 연구에서 사용한 DIR 펄스열의 다이어그램은 그림 2 와 같다.

DIR 영상과의 비교를 위한 MP-RAGE 영상을 얻는데 이용된 영상변수는 다음과 같다. 반복시간 = 2300 ms, 에코시간 = 3 ms, 복셀 크기 = $1.0 \times 1.0 \times 1.0 \text{ mm}^3$ 로 설정하였으며 적용범위는 $25.6 \times 25.6 \times 16.0 \text{ cm}^3$ 이다. 위와 같은 영상변수

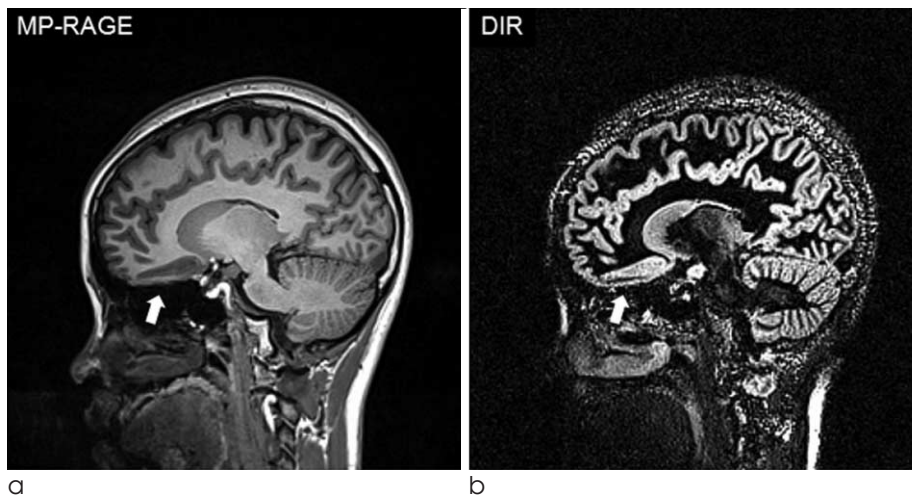


그림 1. MP-RAGE 영상과 DIR 영상 비교. MP-RAGE 영상에서 자기화율 인공물에 의한 신호의 손실이 나타난다.

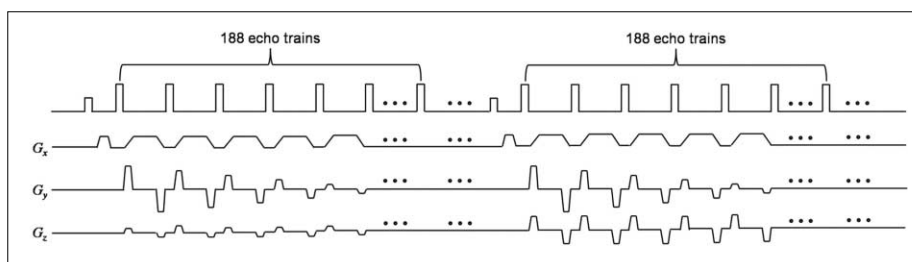


그림 2. DIR 펄스열의 다이어그램 (simple pulse diagram).

최나래 외

를 이용하여 3D k-공간 데이터를 얻는 데 총 9분 26초가 걸렸으며 GRAPPA 기법을 이용하지 않았다.

2) GRAPPA

영상 획득 시 얻은 k-공간 데이터를 MATLAB (R2009b)을 이용해 R이 2일 때를 가정하여 시뮬레이션 하였다. ACS (auto-calibrate signal) 선은 24줄 (R=2일 때 얻는 선: 12줄, ACS 선: 12줄)을 사용하였다. 5개의 코일 (4개의 머리코일, 1개의 목 코일)로부터 영상을 얻었으며 kz 방향 (slice direction)으로 표본화 간격을 2배로 넓혀 수행하였다. 따라서 ACS line을 획득하는데 걸린 시간을 제외하면 영상획득시간이

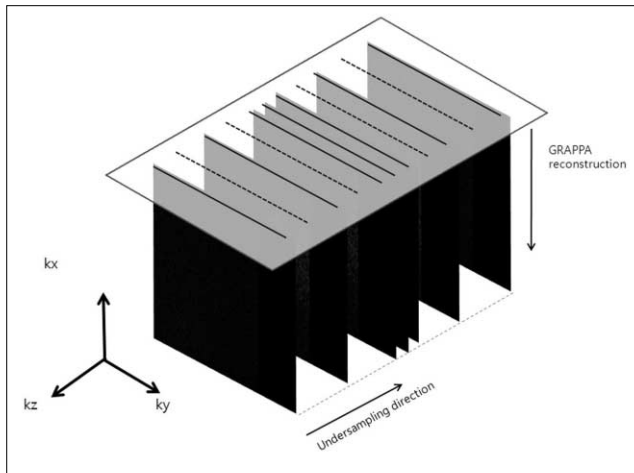


그림 3. 본 연구에서 사용한 GRAPPA 기법. DIR 영상의 3차원 k-공간 데이터를 slice 방향 (kz)으로 undersampling 한 후에 ky-kz 평면 방향으로 GRAPPA 기법을 수행한다.

기존의 1/2 정도로 단축되게 된다. 그림 3 은 본 연구에서 사용한 GRAPPA 기법을 그림으로 표현한 것이다.

영상을 복원할 때에 DIR 영상의 특성상 잡음 신호가 심하기 때문에 GRAPPA 기법을 이용하기 전에 약간의 고주파 필터를 통과시켜주었으며 GRAPPA 기법을 수행 후 복원하여 주었다 (High pass GRAPPA) (10).

3) Cortical thickness and Volumetry

피질 두께를 측정하는데 널리 사용되는 소프트웨어인 Freesurfer v.4.3.0 (MGH, Harvard, <http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>)를 이용하여 두뇌의 용적 및 피질두께를 측정하였다 (11).

Freesurfer는 백질이 두뇌의 다른 부위에 비해 밝은 것을 이용하여 백질의 표면을 추출해내고 두께 측정을 수행한다. MP-RAGE 영상의 경우 Freesurfer에 적합한 대조도를 갖고 있으므로 얻은 영상에 후처리 없이 용적측정 연구를 수행할 수 있다. 하지만 DIR 영상의 경우 회질에 대한 정보만을 가지고 있으므로 DIR 영상으로부터 백질의 정보를 추출하는 과정이 필요하다.

그림 4는 DIR 영상으로부터 백질의 정보를 추출하는 과정을 보여준다. 백질의 정보를 추출하는 작업은 Analyze 9.0 (Mayo Clinic) 프로그램을 이용하여 수행하였다. 추출한 백질과 DIR 영상을 병합하여 Freesurfer 프로그램에 알맞은 대조도를 만들었으며 병합한 영상으로부터 피질의 두께를 측정하였다.

두뇌의 피질 두께 및 구조는 사람에 대해 독립적이라고 가정하고 연구를 수행하였다. 결과적으로 얻은 6명의 피질의 두께는 기존 DIR영상에서의 피질두께 측정 결과와 GRAPPA 기법을

표 1. 뇌의 각 영역에 대한 통계적 값. p 값이 0.05보다 작은 곳에 ** 표시를 하였다. 34영역 중 22영역에 대해 $p > 0.10$, 34영역에 대해 $p > 0.05$ 값을 가진다.

ROI name	F(df)	p-value	ROI name	F(df)	p-value
Bankssts	3.195	0.124	Parsorbitalis	4.423	0.080
Caudalanteriorcingulate	1.742	0.235	Parstriangularis	3.583	0.107
Caudalmiddlefrontal	4.262	0.085	Pericalcarine	6.326	0.046**
Cuneus	2.701	0.151	Postcentral	6.072	0.049**
Entorhinal	0.104	0.758	Posteriorcingulate	1.291	0.299
Fusiform	1.937	0.213	Precentral	4.334	0.083
Inferiorparietal	3.519	0.110	Precuneus	2.277	0.182
Inferiortemporal	4.199	0.086	Rostralanteriorcingulate	2.200	0.189
Isthmuscingulate	0.176	0.792	Rostralmiddlefrontal	6.887	0.039**
Lateraloccipital	3.996	0.093	Superiorfrontal	3.304	0.119
Lateralorbitofrontal	4.742	0.072	Superiorparietal	5.790	0.053
Lingual	0.212	0.661	Superiortemporal	2.951	0.137
Medialorbitofrontal	3.482	0.111	Supramarginal	4.337	0.082
Middletemporal	3.429	0.114	frontalpole	4.608	0.075
Parahippocampal	2.275	0.182	Temporalpole	0.392	0.554
Paracentral	2.094	0.198	Transversetemporal	1.497	0.267
Parsopercularis	4.486	0.078	Insula	0.291	0.609

이용하여 복원한 영상에서의 피질두께 측정 결과를 독립표본 T-검증을 이용하여 통계적으로 분석하였으며 T-검증은 SPSS 프로그램을 이용하여 수행하였다.

결 과

그림 5는 MP-RAGE 펄스열을 이용하여 얻은 영상과 DIR 펄스열을 이용하여 얻은 영상의 피질 두께를 측정한 후 백질과 회질의 경계를 추출한 결과영상이다. 바깥쪽의 붉은 선이 회질의 표면 (Gray matter/pial surface boundary)이며 내부의 노란 선이 백질과 회질의 경계선 (Gray/white matter

boundary)을 나타낸다. 흰색 화살표는 안와전두피질 (orbitofrontal cortex) 에서 DIR 영상이 MP-RAGE 영상에 비해 B0의 영향을 적게 받는 것을 가리킨다.

그림 6은 기존 DIR 영상과 GRAPPA 기법으로 복원한 영상을 위와 같은 방법으로 두뇌의 피질두께를 측정 한 결과이다. GRAPPA를 이용하여 복원한 영상은 참조영상에 비해 더 잡음이 많음에도 불구하고 MP-RAGE에서 문제가 되는 자기화율 인공물의 영향을 거의 받지 않았다. 그림 7은 참조영상과 평행 영상기법을 이용하여 복원한 영상의 두께차이를 지도화한 것이다. 붉은 영역은 GRAPPA 기법으로 복원한 영상이 더 두꺼운 것을 의미하며, 푸른 영역은 두께가 더 얇은 것을 의미한다. 평

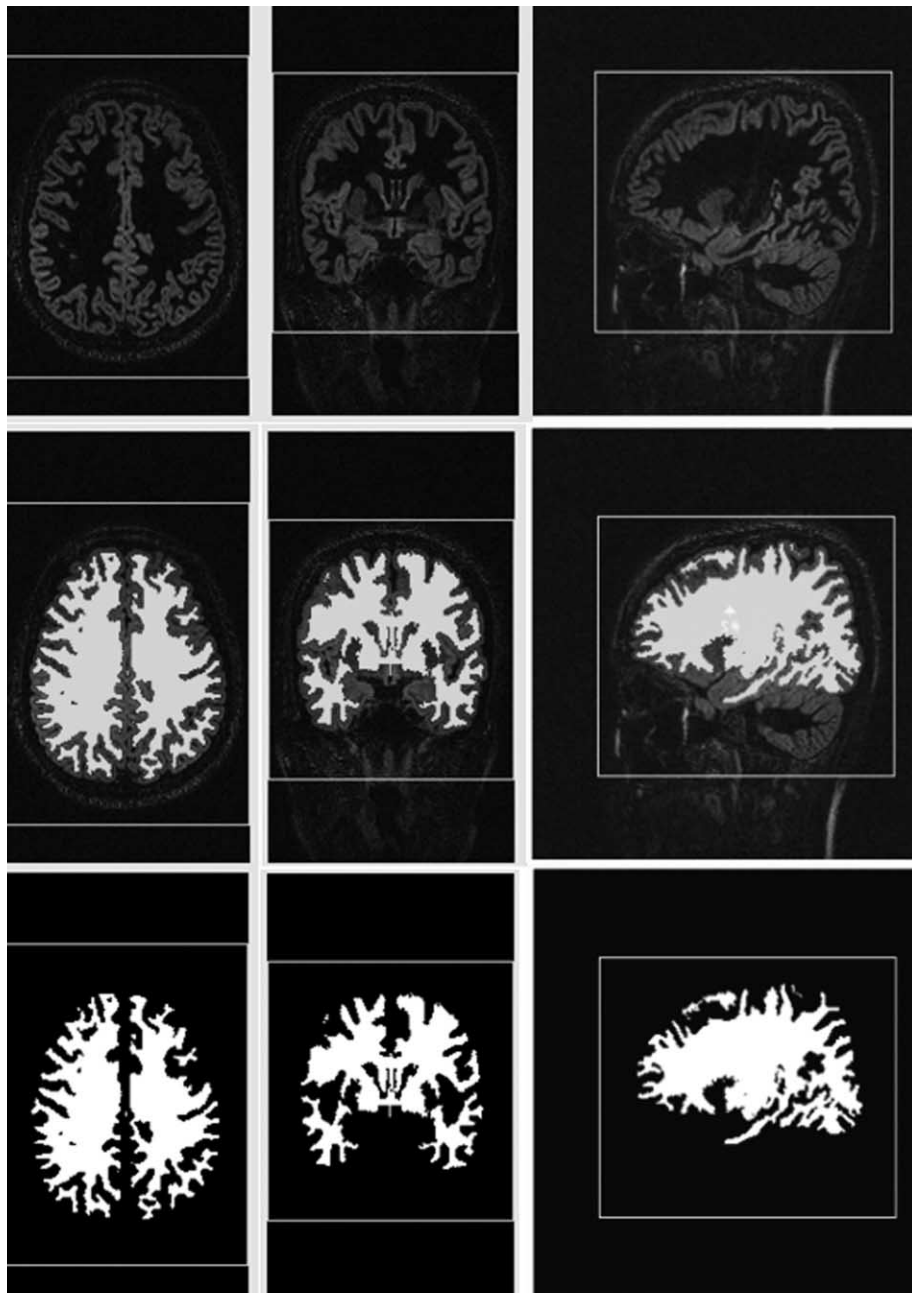


그림 4. DIR 영상으로부터 백질 추출 예. 첫 번째 행은 DIR 영상에서 뇌 부분만 선택한 영상이다. 두 번째 행은 DIR 영상으로부터 백질 신호를 찾는 과정이며 세 번째 행은 백질 신호를 완전히 분리한 영상이다.

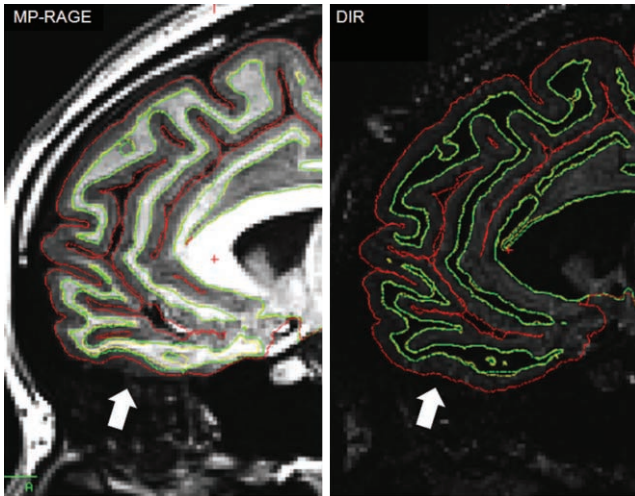


그림 5. MP-RAGE 영상과 DIR 영상의 비교. 흰색 화살표는 안와전두피질 (orbitofrontal cortex)에서 DIR 영상이 자기화율 인공물의 영향을 적게 받은 것을 가리킨다.

행영상 기법을 이용하여 복원한 영상에 잡음이 더 많기 때문에 피질의 두께가 전체적으로 두껍게 측정되었다. 그림 8의 두께차이 히스토그램도 그림 7과 같은 결과를 보여준다. 히스토그램의 세로축은 복셀의 개수를 의미하여 가로축은 두께의 차이 (단위: mm)를 의미한다.

T-검증을 이용하여 참조 영상에 의해 얻은 피질 두께와 GRAPPA 기법으로 복원한 영상에서 얻은 피질 두께를 비교한 결과, 두뇌의 34개의 영역 중 31개의 영역에서 p 값 (p-value)이 0.05보다 크게 나왔으며, 그 중 22개의 영역에서의 p 값은 0.10보다 크게 나왔다.¹ 그러므로 두 영상에서의 피질 두께 차이는 유의하지 않다고 볼 수 있다. 두뇌의 각 부분에서의 통계적 값은 표 1에 명시하였다.

고 찰

본 연구의 목적은 DIR 펄스열을 이용하여 두뇌의 피질두께

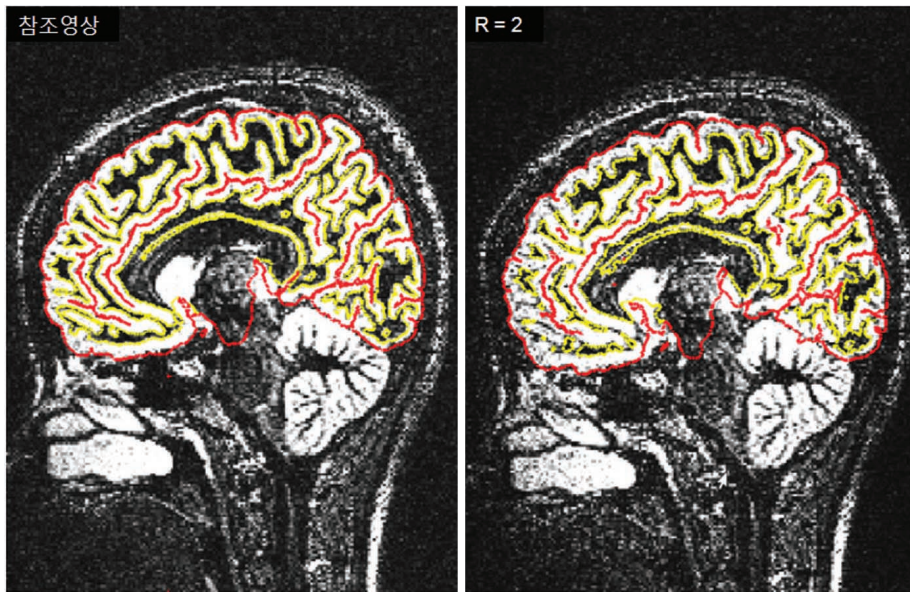


그림 6. 참조영상과 GRAPPA 인자 = 2 영상의 비교. 두뇌의 대부분의 영역에서 주목할만한 차이가 없었다.

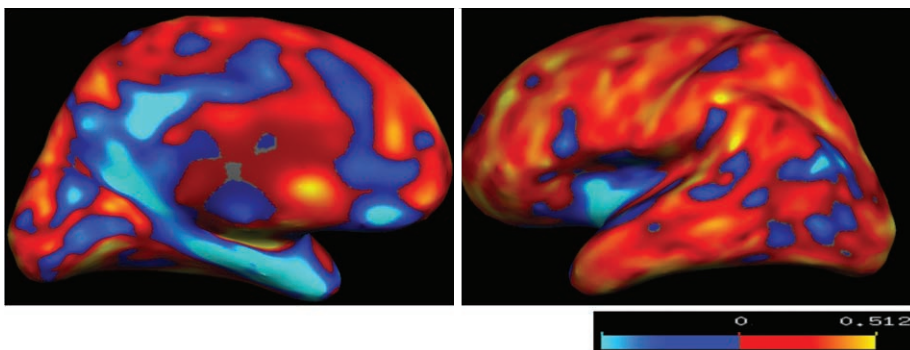


그림 7. 참조영상과 GRAPPA (R=2) 기법으로 복원한 영상의 두께차이 (단위: mm) 지도화 (왼쪽: medial view, 오른쪽: lateral view). 붉은 영역은 GRAPPA 기법으로 복원한 영상이 더 두꺼운 부분이며, 푸른 영역은 반대로 더 얇은 영역을 나타낸다.

¹통계에서 p 값이 0.05보다 작으면 비교하고자 하는 두 집단의 차이가 유의함을 의미하며 0.05보다 크면 두 집단의 차이가 유의하지 않음을 의미한다. 통상적으로 0.1보다 더 큰 값을 가지면 확실하게 집단간의 차이가 유의하지 않다고 생각할 수 있다.

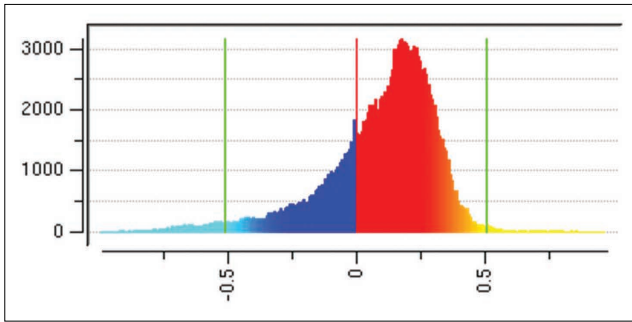


그림 8. 영상의 두께차이(단위: mm) 히스토그램 (histogram). 세로축은 복셀의 수를 의미하며 가로축은 두께의 차이를 나타낸다.

측정 연구 및 평행 영상을 사용하였을 때의 결과를 비교하는 것이다. Freesurfer를 이용하여 추출한 결과와 통계적으로 분석된 값을 통하여 평행영상 기법을 이용한 데이터가 납득할만한 결과를 보여준다고 할 수 있다. 두뇌의 34개 영역 중 p-value가 0.05보다 작은 세 영역은 각각 pericalcarine, postcentral, rostralmiddlefrontal 영역이다. 이 세 영역에서 유의한 차이가 발생하는 이유는 두뇌의 가운데 부분에 위치하는 postcentral, rostralmiddlefrontal 영역의 경우 이 근방에서 $R = 2$ undersampling에 의한 aliasing 인공물이 발생하게 된다. 두 영역의 경우 aliasing이 발생하는 영역 부근에 위치하고 있으므로 이러한 인공물의 영향이 있을 것이라고 예상된다. 또한 pericalcarine의 경우 두뇌의 중심부로 들어가는 부분이며 회질이 서로 만나는 부분이다. 따라서 상대적으로 MP-RAGE에 비해 신호대잡음비 (signal-to-noise ratio, SNR)가 좋지 않은 DIR 영상에서는 이 부분의 경계를 추출하기가 어렵다고 추측된다. DIR 영상은 회질과 백질 사이의 경계보다 회질과 뇌척수액 (cerebrospinal fluid, CSF) 사이의 경계가 더 불분명한데 pericalcarine의 경우 회질과 백질, 뇌척수액이 모이는 곳이므로 이러한 DIR 영상의 한계도 유의한 차이를 발생시켰을 것이다.

기존에 MP-RAGE 펄스열을 이용한 두뇌의 용적측정 연구는 꾸준히 이루어져왔으며 (12, 13) 신뢰성을 인정받고 있다. 하지만 스핀에코 기반의 펄스열을 이용한 용적측정 연구 (14, 15)는 계속 진행 중이며 꾸준한 연구 및 검증이 필요하다. 선행된 스핀에코 기반 펄스열을 이용한 두뇌 용적측정 연구결과를 살펴보면 B0 불균일에 의해 영향을 많이 받는 영역에서 피질의 두께가 더 두껍게 측정되는 경향을 볼 수 있다 (3). 특히 머리 뼈의 바닥부분에 근접한 영역인 안와전두피질 (orbitofrontal cortex), 하측두회 (inferior temporal gyrus)와 방추상회 (fusiform gyrus)에서 이러한 경향이 나타난다.

위에서 언급했듯이 DIR 영상은 회질과 백질 사이의 경계보다 회질과 뇌척수액 사이의 경계가 더 불분명하다. 따라서 회질과 뇌척수액이 밀집된 영역에서는 뇌의 영역을 구분해내기가 힘들다는 단점이 있다. 특히 후두부의 경우 뇌의 백질, 회질, 뇌척

수액 신호들이 밀집되어 있기 때문에 Freesurfer를 이용하여 피질의 두께를 측정 시 오차 발생 가능성이 높다. 이러한 DIR 영상의 한계점을 극복하기 위한 연구가 지속되어야 한다.

본 연구에서는 DIR 영상으로부터 백질의 정보를 추출해 내어 본래의 DIR 영상과 병합하여 Freesurfer에 알맞은 대조도를 갖는 영상을 만들었다. 이 때, 백질 신호와 회질 신호의 밝기 차이는 기존의 MP-RAGE 영상에서의 백질 신호와 회질 신호의 밝기 비율을 기반으로 조절하였다. 이러한 병합의 과정에서 백질과 회질의 경계에서의 신호 밝기 기울기가 불연속적이 되므로 Freesurfer 프로그램에서 정상적인 피질두께 측정이 이루어지지 않을 수 있다. 그러므로 영상 병합을 위한 자체적인 알고리즘을 사용하여 적절한 신호밝기 비율을 유지시키면서 불연속적인 신호의 밝기 변화를 해결하였다.

DIR 영상의 경우 MP-RAGE 영상에 비해 잡음이 많기 때문에 평행영상기법을 이용할 경우 R이 커질수록 잡음의 영향을 심하게 받을 것이다. 본 연구에서는 고주파 필터를 이용하여 SNR를 높이고자 하였다. 잡음을 효과적으로 억제하지 못 할 경우 회질의 경계가 모호해지기 때문에 피질의 두께가 실제보다 크게 측정될 수 있다. 따라서 앞으로 다양한 R을 적용하기 위해서는 SNR를 높이기 위한 노력이 필요하다.

본 연구에서는 Freesurfer 프로그램을 이용하기 위해 DIR 영상으로부터 백질을 추출하여 새로운 대조도를 만드는 기법을 제안하였다. 백질정보를 얻기 위해 Analyze프로그램을 이용할 때 전 과정이 자동화 되어있는 Freesurfer와 달리 수작업이 수반되므로 작업의 효율성이 떨어진다. 따라서 Freesurfer를 이용하지 않고도 DIR 영상의 회질정보로부터 직접 피질의 두께를 측정할 수 있다면 더욱 효율적인 것이며, DIR 영상의 장점을 잘 이용하는 방법이 될 것이다. 이에 대한 연구는 DIR 영상을 이용하여 수행하는 두뇌의 용적 측정 연구의 새로운 방향을 제시할 것이다.

결론

DIR 영상은 MP-RAGE 영상에 비해 상대적으로 자기화율 인공물에 대해 자유롭다. 따라서 피질의 두께 및 부피 측정 시 신뢰할만한 결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 평행영상 기법인 GRAPPA 기법을 이용하여 3D DIR 영상의 단점인 오랜 데이터 획득시간을 단축하였다.

통계적 결과를 바탕으로 R이 2인 경우에는 참조영상과 비교하여 주목할만한 차이가 없다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 3.0T 자기공명영상에서 약간의 신호손실을 감수하고 GRAPPA 영상기법을 적용하면 피질두께측정 연구결과의 큰 차이 없이 영상 획득 시간을 단축시킬 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국과학재단(R01-2008-000-20270-0)의 지원 및 지식경제부와 한국산

업기술진흥원의 전략기술인력양성사업(7-2009-0079)으로 수행된 결과임

참 고 문 헌

1. Mugler JP, 3rd, Brookeman JR. Rapid three-dimensional T1-weighted MR imaging with the MP-RAGE sequence. *J Magn Reson Imaging* 1991;1(5):561-567
2. Pouwels PJ, Kuijer JP, Mugler JP, 3rd, Guttman CR, Barkhof F. Human gray matter: feasibility of single-slab 3D double inversion-recovery high-spatial-resolution MR imaging. *Radiology* 2006;241(3):873-879
3. Yoo E, Kim D-H, Park H-J, Kim E-Y. Unreliability of Cortical Volumetry in Regions near The Skull Base on 3D T1-weighted Imaging: Comparison study with 3D Double Inversion-recovery Imaging. 2008; 16th Scientific Meeting of the International Society of Magnetic Resonance in Medicine, Toronto, Canada. p 3502
4. Edelman RR, Chien D, Kim D. Fast selective black blood MR imaging. *Radiology* 1991;181(3):655-660
5. Griswold MA, Jakob PM, Heidemann RM, Nittka M, Jellus V, Wang J, Kiefer B, Haase A. Generalized autocalibrating partially parallel acquisitions (GRAPPA). *Magn Reson Med* 2002;47(6):1202-1210
6. Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, Boesiger P. SENSE: sensitivity encoding for fast MRI. *Magn Reson Med* 1999;42(5):952-962
7. Sodickson DK, Manning WJ. Simultaneous acquisition of spatial harmonics (SMASH): fast imaging with radiofrequency coil arrays. *Magn Reson Med* 1997;38(4):591-603
8. Park HJ, Youn T, Jeong SO, Oh MK, Kim SY, Kim EY. SENSE factors for reliable cortical thickness measurement. *Neuroimage* 2008;40(1):187-196
9. Lindholm TL, Botes L, Engman EL, Frank A, Jonsson T, Svensson L, Julin P. Parallel imaging: is GRAPPA a useful acquisition tool for MR imaging intended for volumetric brain analysis? *BMC Med Imaging* 2009;9:15
10. Huang F, Li Y, Vijayakumar S, Hertel S, Duensing GR. High-pass GRAPPA: An image support reduction technique for improved partially parallel imaging. *Magnetic Resonance in Medicine* 2008;59(3):642-649
11. Han X, Jovicich J, Salat D, van der Kouwe A, Quinn B, Czanner S, Busa E, Pacheco J, Albert M, Killiany R, Maguire P, Rosas D, Makris N, Dale A, Dickerson B, Fischl B. Reliability of MRI-derived measurements of human cerebral cortical thickness: the effects of field strength, scanner upgrade and manufacturer. *Neuroimage* 2006;32(1):180-194
12. Dale AM, Fischl B, Sereno MI. Cortical surface-based analysis. I. Segmentation and surface reconstruction. *Neuroimage* 1999;9(2):179-194
13. Fischl B, Dale AM. Measuring the thickness of the human cerebral cortex from magnetic resonance images. *P Natl Acad Sci USA* 2000;97(20):11050-11055
14. Lee H, Kim EY, Seo JS, Park J. Reliable Cortical Thickness Estimation With Reduction of Susceptibility-Induced Signal Loss Using Optimized T1-weighted Single Slab Turbo Spin Echo Pulse Sequence. 2010; 18th Scientific Meeting of the International Society of Magnetic Resonance in Medicine, Stockholm, Sweden. p 686
15. Park MH, Lee JW, Lee KW, Ryu CW, Jahng GH. Optimizations of 3D MRI Techniques in Brain by Evaluating SENSE Factors. *J Korean Soc Magn Reson Med* 2009;13:161-170

Cortical Thickness Estimation Using DIR Imaging with GRAPPA Factor 2

Narae Choi¹, Yoonho Nam¹, Dong-Hyun Kim^{1,2}

¹*School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University*

²*Department of Radiology, Yonsei University*

Purpose : DIR image is relatively free from susceptibility artifacts therefore, DIR image can make it possible to reliably measure cortical thickness/volume. One drawback of the DIR acquisition is the long scan time to acquire the fully sampled 3D data set. To solve this problem, we applied a parallel imaging method (GRAPPA) and verify the reliability of using the volumetric study.

Materials and methods : Six healthy volunteers (3 males and 3 females; age 25.33 ± 2.25 years) underwent MRI using the 3D DIR sequence at a 3.0T Siemens Tim Trio MRI scanner. GRAPPA simulation was performed from the fully sampled data set for reduction factor 2. Data reconstruction was performed using MATLAB R2009b. Freesurfer v.4.3.0 was used to evaluate the cortical thickness of the entire brain, and to extract white matter information from the DIR image, Analyze 9.0 was used. The global cortical thickness estimated from the reconstructed image was compared with reference image by using a T-test in SPSS.

Results : Although reduced SNR and blurring are observed from the reconstructed image, in terms of segmentation the effect was not so significant. The volumetric result was validated that there were no significant differences in many cortical regions.

Conclusion : This study was performed with DIR image for a volumetric MRI study. To solve the long scan time of 3D DIR imaging, we applied GRAPPA algorithm. According to the results, fast imaging can be done with reduction factor 2 with little loss of image quality at 3.0T.

Index words : DIR imaging
GRAPPA
Cortical thickness estimation
Volumetry

Address reprint requests to : Dong-Hyun Kim, Ph.D., School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University,
134 Shinchon-dong, Sudaemoon-gu, Seoul 120-749, Korea.
Tel. 82-2-2123-5874 Fax. 82-2-313-2879 E-mail: donghyunkim@yonsei.ac.kr