

<원저>

뇌 자기공명영상에서 Quiet-T₂ 기법을 이용한 소음감소의 유용성

- Usefulness of Acoustic Noise Reduction in Brain MRI Using Quiet-T₂ -

^{1)전남대학교 의과대학·^{2)광주보건대학교 방사선과}}

이세지¹⁾·김영근²⁾

— 국문초록 —

뇌 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging; MRI)에서 검사 중 발생하는 소음을 줄이기 위한 기법으로 경사 파형을 변경한 Quiet T₂-weighted Turbo Spin-Echo(이하 Q-T₂)와 일반적으로 사용되는 T₂-weighted Turbo Spin-Echo(이하 T₂) 영상의 소음수준 및 영상의 질을 비교하여 그 유용성을 알아보려고 하였다.

3.0T MR 기기로 뇌 MR 검사를 받은 60명(남자 29명, 여자 31명, 평균 연령 60.1세)의 환자를 대상으로 하였다. Q-T₂와 T₂ 각각의 영상에서 소음 및 심박동수를 측정하였다. 정량적 분석은 Q-T₂와 T₂의 SNR, CNR, SIR 값을 측정한 뒤 독립표본 T검정을 이용하여 통계적 분석을 하였다. 정성적 분석은 Q-T₂와 T₂의 전체적인 영상의 질에 대하여 육안으로 평가하였다. 평가는 5점 척도로서 우수(excellent) 5점, 양호(good) 4점, 보통(fair) 3점, 불량(poor) 2점, 평가불가(unacceptable) 1점으로 평가하였다.

Q-T₂와 T₂ 검사 중 평균소음과 peak소음은 Q-T₂가 기존 T₂에 비해 각각 15dB_A, 10dB_A 감소하였다. 또한 각각의 검사 중 120초 동안 심박동수의 평균값은 Q-T₂에서 더 낮은 값으로 나타났지만 통계적인 유의성은 없었다. 정량적 분석의 결과 CNR과 SIR은 유의한 차이가 없었으며, SNR은 Q-T₂가 더 낮은 평균값을 보임으로서 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 정성적 분석은 59개의 Q-T₂와 T₂ 영상의 질이 동일하게 우수(excellent) 5점으로 평가되었으며, 1개의 영상에서 모션 아티팩트로 인해 양호(good) 4점으로 평가되었다.

Q-T₂는 기존의 T₂와 같이 검사시간 및 진단의 정확도는 동일하지만 소음을 효과적으로 감소시킬 수 있으며, 이로 인하여 환자 편의를 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

중심 단어: 뇌 자기공명영상, 소음감소, MRI 소음, Quiet MRI, Quiet-T₂

I. 서 론

자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging; MRI)은 자기장을 이용한 인체에 무해한 검사방법으로 질병 진단을 위해 많이 이용되고 있다. 그러나 검사 중 발생하는 소음은 약 100dB_A에 도달한다. 이러한 높은 수준의 소음은 환자의 불쾌감을 증가시키기도 하고 불안감이나 검사 중 언어적 의사소통의 어려움을 준다^{1,2)}. 또한, 극심한 소음은 청력 손실

의 원인이 되기도 한다. 특히 영·유아 또는 노인들을 비롯하여 청력 손실 위험에 취약한 사람들에게 상당한 우려로 작용하고 있다³⁾.

MRI 검사 중 발생하는 소음은 경사자장 코일에서 발생하는 펄스 전류에 의해 나는 소리이다. 이 펄스 전류는 경사자장 코일에 입력되는 전기신호가 급하게 변할수록 더욱 강한 로렌츠 힘을 받고 진동하여 큰 소음을 발생한다. 따라서 매우 빠른 경사자장을 일으키는 MR 시퀀스에서 더 심한 소음

Corresponding author: Young-Keun, KIM, Gwangju Health College, Sinchang-dong, Gwangsan-gu, Gwangju, Korea, Department of Radiotechnology / TEL: +82-61-958-7664 / E-mail: kimyk@ghc.ac.kr

Received 31 January 2016; Revised 10 February 2016 ; Accepted 10 March 2016

을 들을 수 있다⁴⁾.

이러한 문제를 해결하기 위해, 경사 코일 전체를 진공 챔버에 넣거나 경사자장을 기계적으로 회전시키는 방법이 제시되었지만 이러한 해결책은 막대한 제조비용이 소모되며 경사효율이 저하될 수 있다는 단점이 있다⁵⁾. 그러나 최근에는 능동적인 음향 통제 기능을 갖춘 권선 시스템과 같이 기계적 또는 음향적으로 균형을 맞춘 경사코일 시스템을 개발하는 방안이 연구되었다⁶⁾. 이러한 시스템은 영상의 화질을 유지하면서 소음을 크게 감소시키는 효과가 있는 것으로 알려져 왔다.

본 연구는 최근 연구된 뇌 자기공명영상에서 검사 중 발생하는 소음을 줄이기 위한 기법으로 경사파형을 변경한 Quiet T₂-weighted Turbo Spin-Echo(이하 Q-T₂)와 일반적으로 사용되는 T₂-weighted Turbo Spin-Echo(이하 T₂) 영상의 소음수준 및 영상의 질을 비교하여 그 유용성을 알아보고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 대 상

본 연구는 2015년 08월 03일부터 2015년 09월 30일까지 3.0T MR 기기에서 뇌 MRI를 시행한 60명의 환자(남자 29명, 여자 31명, 평균 연령 60.1세)를 대상으로 하였다.

2. 방 법

1) 실험 장비

영상장비는 3.0 Tesla MR system (MAGNETOM Tim Trio; Siemens, Germany)의 12채널 두부 전용 코일을 사용하였다. Q-T₂와 T₂의 뇌 MR 영상을 얻기 위해 Q-T₂, T₂ 시퀀스를 사용하였으며, 두 시퀀스의 영상 변수는 TR/TE=3500/82, slice thickness=4mm, FOV=230×230, NEX=1회, scan time=140sec, matrix size=512×256, number of slice=38개로 동일하였다.

2) 소음 측정(Sound Pressure Level) 및 심박동수(Heart Rate) 측정

Noise Dosimeter (TES-1353, 대만)를 이용하여 소음의 강도를 측정하였다. 측정은 MRI 기기로부터 1.4 m 떨어진 지점에서 동일하게 시행하였고, 30초 평균 값과 피크 값을 각각 여섯번의 측정값을 평균하여 비교하였다.

심박동수 측정은 3160 Precess MRI Patient Monitoring System (Philips, USA)을 이용하여 60명의 환자를 대상으로 검사 전, 검사 중 3, 30, 60, 90, 120초의 값을 평균하여 비교하였으며, 연령과 성별에 따른 심박동수를 분석하였다.

3) 정량적 분석

정량적 분석은 대뇌의 SNR (Signal to Noise Ratio)을 측정하였고, 백질과 회백질간의 CNR (Contrast to Noise Ratio), SIR (Signal Intensity Ratio)을 측정하였다. 측정 방법은 picture archiving and communication system (PACS) 모니터(Maroview image viewer, Marotech Inc., Korea)으로 Q-T₂와 T₂ 두 영상에서 동일한 관심구역 (region of interest: ROI)으로 동일한 위치에서 신호강도를 측정하였다. SNR은 대뇌와 배경잡음이 최소인 정사각형의 모서리 4곳의 배경신호를 측정하여 평균한 값으로 결과를 얻었으며, CNR과 SIR은 백질, 회백질의 신호강도를 구하여 측정하였다. 모든 신호강도는 세 번의 측정값을 평균하여 평가하였다.

SNR, CNR, SIR 산출은 다음과 같다.

$$SNR=SI_{b1}/SI_{b2}$$

$$CNR=(SI_w-SI_g)/SI_b$$

$$SIR=(SI_w-SI_g)/SI_g$$

(SI=신호강도, b1=brain, b2=background, w=white matter, g=gray matter)

SNR, CNR, SIR 산출 후 SPSS(ver. 18)를 사용하여 'independant T-test'로 비교분석 하였다. 통계학적 결과의 유의성 판정은 'p값이 0.05미만인 경우를 통계학적으로 유의하다'로 평가하였다.

4) 정성적 분석

정성적 분석은 저자, 영상의학과 전문의 1명 및 숙련된 영상의학과 방사선사 3명이 Q-T₂와 T₂ 뇌 영상을 육안으로 평가하여 수치화하였다. 전체적인 영상의 질은 5점 척도로서 우수(excellent) 5점, 양호(good) 4점, 보통(fair) 3점, 불량(poor) 2점, 평가불가(unacceptable) 1점으로 평가하였다.

III. 결 과

1) 소음(Sound Pressure Level) 및 심박동수(Heart Rate) 측정

Q-T₂와 T₂ 검사의 2분간 평균소음과 peak 소음을 각각 측정한 결과 2분간 평균소음은 Q-T₂ 72.6dB_A, T₂ 87.6dB_A으로 Q-T₂에서 15dB_A 낮아졌다. 또한 peak 소음은 Q-T₂ 88.8dB_A, T₂ 98.8dB_A로 T₂에 비해 Q-T₂에서 10dB_A 감소

하였다(Table 1).

Q-T₂와 T₂의 120초 동안 검사 중 심박동율의 평균값은 각각 67.3±11.46, 69.1± 11.7회로 Q-T₂에서 더 낮은 값으로 나타났지만 통계적인 유의성은 없었다(Table 2).

또한 연령 및 성별에 따른 심박동수율을 측정한 결과 연령에서는 Q-T₂와 T₂ 모두 70-80대에서 약간 심박동수가 낮아졌으며, 성별에 따른 차이는 유의하지 않았다(Table 3, 4)

Table 1 Comparison of dBA values

| Sequence type | Q-T ₂ | T ₂ |
|----------------|------------------|----------------|
| (1min average) | 72.6 | 87.6 |
| Max Peak | 88.8 | 98.8 |

Table 2 Comparison of Heart Rate Average between Q-T₂ and T₂

| | Q-T ₂ (mean ± SD) | T ₂ (mean ± SD) | t | P-values |
|------------|---------------------------------|-------------------------------|-------|----------|
| Heart Rate | 67.3 ± 11.4 | 69.1 ± 11.7 | 0.154 | 0.878 |

Note: Data are expressed as mean ± SD

P-value > 0.05 by Independent samples T-test

Table 3 Comparison of Heart Rate by Age between Q-T₂ and T₂

| | Age | No | Mean | SD* | F | P-value* |
|------------------|-------|----|------|-------|-------|----------|
| T ₂ | 20-30 | 3 | 69.6 | 17.36 | 0.594 | 0.705 |
| | 30-40 | 10 | 69.6 | 12.32 | | |
| | 40-50 | 15 | 70.7 | 11.10 | | |
| | 50-60 | 17 | 69.9 | 14.21 | | |
| | 60-70 | 13 | 64.3 | 8.01 | | |
| | 70-80 | 2 | 62.6 | 0.84 | | |
| Q-T ₂ | 20-30 | 3 | 70.0 | 15.94 | 0.767 | 0.578 |
| | 30-40 | 10 | 70.0 | 11.98 | | |
| | 40-50 | 15 | 70.5 | 10.74 | | |
| | 50-60 | 17 | 70.1 | 13.54 | | |
| | 60-70 | 13 | 63.9 | 7.60 | | |
| | 70-80 | 2 | 61.9 | 1.27 | | |

SD* : Standard deviation

P-value* by ANOV

Table 4 Comparison of Heart Rate by Sex between Q-T₂ and T₂

| | 남자(n=29) | | 여자(n=31) | |
|------------------|----------|------|----------|------|
| | Mean | SD* | Mean | SD* |
| Q-T ₂ | 71.9 | 12.3 | 65.4 | 9.4 |
| T ₂ | 72.1 | 12.5 | 65.3 | 10.0 |

SD* : Standard deviation

2) 정량적 분석

정량적 분석의 SNR, CNR, SIR값을 얻은 결과, SNR은 Q-T₂와 T₂ 각각 76.2±17.6, 86.2±19.7으로 T₂에서 높은 것으로 나타났으나 CNR과 SIR은 두 기법간의 유의한 차이는 없었다(Table 5).

3) 정성적 분석

전체적인 영상의 질에 대한 평가 결과는 Q-T₂ 60명, T₂ 59명의 영상에서 우수(excellent) 5점으로 영상의 질이 우수하게 평가되었으며, Q-T₂ 1개의 영상은 양호(good) 4점으로 평가되었다. 양호로 평가된 1명의 Q-T₂ 영상은 환자의 움직임으로 인한 인공물로 인하여 약간 낮게 나타났다. Q-T₂와 T₂ 각각 4.98±0.12, 5.00±0.00으로 유의한 차이는 없었다(Table 6). 또한 평가자 5명을 대상으로 신뢰도 평가를 한 결과 급내상관분석에서 Cronbach 알파계수 0.926이었다.

IV. 고찰

자기공명영상의 소프트웨어 및 하드웨어 기술적 발전에도 불구하고, 검사 중 발생하는 소음을 줄이는데 한계가 있다. 1.5T의 경우, 소음은 100여 dB_A에 달한다. 고성능 자기장 시스템인 3.0T에서는 더 심한 소음이 발생할 수 있다⁷⁻⁹. MRI 검사 중 소음저감을 위해 환자들은 헤드셋 또는 귀마개를

를 사용한다. 이러한 장비는 20~25 dB_A 정도의 소음을 감소시킬 수 있다. 하지만 MRI에서 사용되는 표준 임상 시퀀스에서 발생하는 음압수준을 저감할 경우 환자 안락도가 더욱 더 향상될 수 있다. 따라서 소음을 줄일 수 있는 다양한 방법들이 제시되고 있다. 그 중 하나는 펄스 시퀀스를 보정하거나 최적화할 경우 효과적으로 소음을 저감시킬 수 있다는 것이다. 그 예로는 경사 자장 펄스 파형의 증가 또는 감소에 소요되는 시간을 측정하여, 유도된 스캐너 진동으로 인해 이러한 증가 또는 감소가 상쇄되도록 하는 방법이 소개되었다¹⁰⁻¹². 또 다른 방법으로는 경사의 진폭을 줄이고 경사파형을 변경시키는 것이 있다. 이 방법은 경사자장에 대한 저주파 필터링을 통해 진동 주파수의 증가를 억제함으로써, 경사코일이 음향에 민감하게 반응하는 것을 방지할 수 있다¹³. 또한 경사파형을 정교하게 재설계하고 병행촬영을 실시함으로써 에코 평면영상(EPI)의 음향소음을 감소시킬 수 있는 방법이다.

본 연구에서 사용된 Quiet 방법은 경사파형을 늘리고 영상획득 속도를 향상시킴으로서 영상획득 속도와 에코 간격을 유지하여 음향소음을 감소시킬 수 있다. Fig 1.와 같이 총 획득시간은 동일하게 유지하면서, 경사 파형을 변경시키고 슬루율을 제한한다. 그러나 bandwidth (BW)가 약간 증가하여 신호 대 잡음비(SNR)가 약간 감소하는 단점이 있다^{6,14-15}.

본 연구는 경사파형만을 변경시킨 Q-T₂를 토대로 임상적으로 적용하여 그 유용성을 확인해보고자 하였다. Q-T₂와 기존의 T₂ 영상을 비교분석한 결과 SNR은 T₂영상이 약간

Table 5 Result of Quantitative Assessment of SNR (Signal to Noise Ratio), CNR (Contrast to Noise Ratio) and SIR (Signal Intensity Ratio) (N=60)

| | Q-T ₂ (mean ± SD) | T ₂ (mean ± SD) | t | P-values |
|-----|---------------------------------|-------------------------------|--------|----------|
| SNR | 76.2 ± 17.6 | 86.2 ± 19.7 | 2.871 | 0.05 |
| CNR | 35.2 ± 11.2 | 37.3 ± 12.9 | 0.918 | 0.361 |
| SIR | 0.75 ± 0.21 | 0.71 ± 0.25 | -0.907 | 0.366 |

Note: Data are expressed as mean ± SD
P-value < 0.05 by Independent samples T-test

Table 6 Result of Qualitative Assessment of Overall Image Quality on MR Images obtained with two pulse sequence (N=60)

| | Q-T ₂ (mean ± SD) | T ₂ (mean ± SD) | t | P-values |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|----------|
| overall image quality | 4.9 ± 0.12 | 5.0 ± 0.00 | 1 | 0.32 |

Note: Data are expressed as mean ± SD
P-value < 0.05 by Independent samples T-test

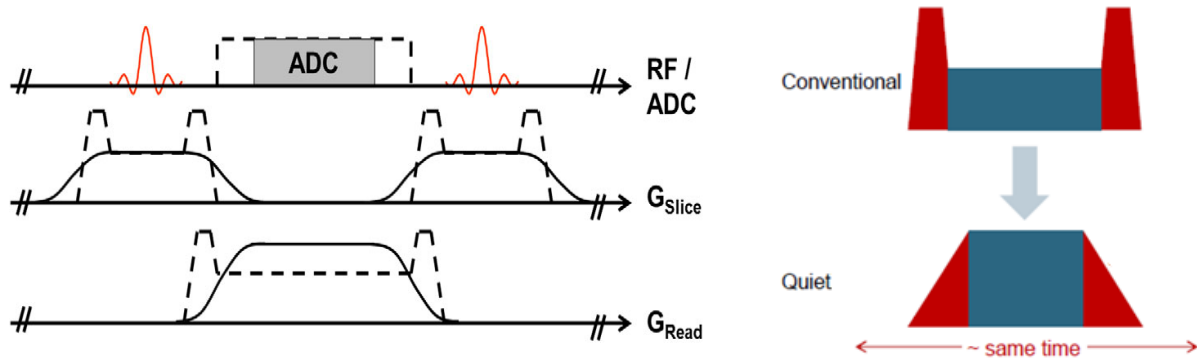


Fig. 1 Comparison of conventional sequence (dashed lines) with quiet sequence (solid lines). By increasing the readout bandwidth and keeping all other parameters constant, more time is generated for the free induction decay spoiler and the spoiling moments fit within the gradient ramps

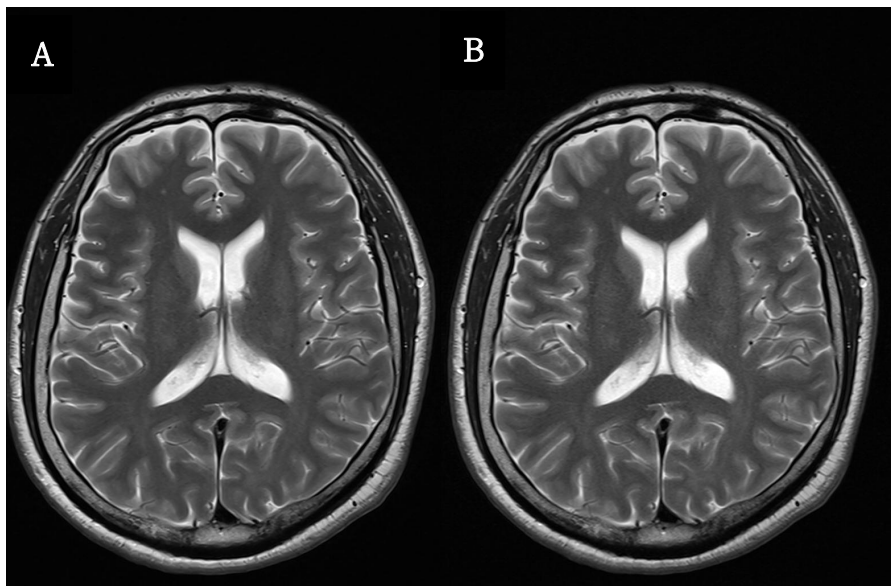


Fig. 2 Comparison of T2 (A) and Q-T2 (B) overall image quality in brain MRI.

우수하였으나, CNR과 SIR은 두 영상간의 차이가 없었다 (Table 5). 이와 같은 결과는 전체적인 신호강도(Signal intensity)는 기법 간에 차이가 적어 CNR과 SIR은 비슷하지만 Q-T₂에서는 배경잡음(Noise)의 증가로 SNR이 낮아지는 것으로 생각된다. 그러나 이 기법은 경사효율이 저하되거나 영상 획득 시간이 증가하지 않고 CNR, SIR의 변화는 없기 때문에 육안적인 차이가 없으면서 소음을 효과적으로 감소시킬 수 있으며, SNR 감소의 문제를 충분히 상쇄할 수 있으리라 생각된다.

MRI 검사 중 불안을 느끼게 되면 심박동이 빨라지고 가슴이 두근거리며 숨이 가빠지고 답답해짐을 느끼기도 한다. 또한 소음은 스트레스를 유발시키는 요인이며 심박수를 증가시키고 혈압을 상승시킨다. MRI 촬영 중 인체에 미치는

심리적·생리적 스트레스 영향정도를 알아보기 위한 선행 연구에서는 심전도 신호를 이용하여 심박동변이율 신호를 재구성한 주파수 분석을 한 결과 소음에 의해 LF/HF 비율 값이 증가한다고 하였다⁶⁻¹⁸⁾.

이번 연구에서는 인체의 생리적 영향정도를 확인해보고자 Q-T₂와 T₂ 검사 중 심박동수를 측정하여 비교하였다 (Table 2). 그 결과 Q-T₂에서 심박동수가 약간 저하하였으나 유의한 차이가 없었다. 생리적 영향정도에 관한 결과는 미비하였지만 추후 MRI 검사 중 발생하는 소음이 인체에 어떠한 영향을 미치는지 다양한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 뇌 MRI를 시행한 60명의 환자 중 병변과 뇌 실질간의 CNR과 SIR을 분석하지 않고 대뇌의 정상

조직에서 백질과 회백질 간의 CNR과 SIR을 분석하였다는 점으로 추후 더 다양한 케이스로 임상에서 Q-T₂의 연구가 이루어질 수 있으리라 생각된다.

V. 결론

Q-T₂는 기존의 MR 시스템에 쉽게 적용할 수 있으며, 기존의 시퀀스와 같이 검사시간 및 진단의 정확도는 유지하면서 효과적으로 소음을 감소시킬 수 있었다. 따라서 Q-T₂는 소음 감소로 인한 환자 불안 감소 및 편의에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

REFERENCE

1. Moelker A, Maas RA, Pattynama PM. Verbal communication in MR environments: effect of MR system acoustic noise on speech understanding. *Radiology*, 232, 107-113, 2004
2. Quirk ME, Letendre AJ, Ciottone RA, et al. Anxiety in patients undergoing MR imaging. *Radiology*, 70, 463-466, 1989
3. Brummett RE, Talbot JM, Charuhas P. Potential hearing loss resulting from MR imaging. *Radiology*, 169, 539-540, 1988
4. Hedeem R, Edelstein W. Characterization and prediction of gradient acoustic noise in MR imagers. *Magn Reson Med.*, 37, 7-10, 2005
5. Cho ZH, Chung ST, Chung JY, Park SH, Kim JS, Moon CH, Hong IK. A new silent magnetic resonance imaging using a rotating DC gradient. *Magn Reson Med*, 39, 317-321, 1998
6. Pierre EY, Grodzki D, Heismann B, Aandal G, Gulani V, Sunshine J. et al. Making MRI Scanning Quieter: Optimized TSE Sequences with Parallel Imaging. *MAGNETOM Flash*, 05, 2013
7. Shellock FG, Morisoli SM, Ziarati M. Measurement of acoustic noise during MR imaging: evaluation of six "worst case" pulse sequences. *Radiology*, 191, 91-93, 1994
8. McJury M, Blug A, Joerger C, Condon B, Wyper D. Acoustic noise levels during magnetic resonance imaging scanning at 1.5 T. *Br J Radiol*, 67, 413-415, 1994
9. McJury M. Acoustic noise levels generated during high field MR imaging. *Clin Radiol*, 50, 331-334, 1995
10. Mansfield P, Haywood B. Principles of active acoustic control in gradient coil design. *MAGMA*, 10, 147-151, 2000
11. Haywood B, Chapman B, Mansfield P. Model gradient coil employing active acoustic control for MRI. *MAGMA*, 20, 223-231, 2007
12. Shou X, Chen X, Derakhshan J, Eagan T, Baig T, Shvartsman S, et al. The suppression of selected acoustic frequencies in MRI. *Appl Acoust*, 71, 191-200, 2010
13. Hennel F, Girard F, Loenneker T. "Silent" MRI with soft gradient pulses. *Magn Reson Med*, 42, 6-10, 1999
14. De Zwart J, Vangelder P, Kellman P, Duyn J. Reduction of Gradient Acoustic Noise in MRI Using SENSE-EPI. *Neuroimage*, 16, 1151-1155, 2002
15. Witzel T, Wald LL. Methods for Functional Brain Imaging. Massachusetts Institute of Technology; 2011
16. McGlynn, F. D., Karg, R., & Lawyer, S. R. Fear response to mock magnetic resonance imaging among college students: Toward a prototype experiment. *J Anxiety Disord*, 17, 335-347, 2007
17. McGlynn, F. D., Smitherman, T. A., Hammel, J. C., Lazarte, A. A. Component fears of claustrophobia associated with mock magnetic resonance imaging. *Anxiety Disord*, 21, 367-380, 2007
18. Ye SY, Kim DH. Evaluation on the stress using HRV according to elapsed time of MRI noise. *KISPS*, 16(2), 50-55, 2015

•Abstract

Usefulness of Acoustic Noise Reduction in Brain MRI Using Quiet-T₂

SeJy Lee¹⁾·Young-Keun Kim²⁾

¹⁾Department of Medical science Graduate school, Chonnam National University

²⁾Dept. of Radiotechnology, Gwang-ju Health university

Acoustic noise during magnetic resonance imaging (MRI) is the main source for patient discomfort, we report our preliminary experience with this technique in neuroimaging with regard to subjective and objective noise levels and image quality.

60 patients(29 males, 31 females, average age of 60.1) underwent routine brain MRI with 3.0 Tesla (MAGNETOM Tim Trio; Siemens, Germany) system and 12-channel head coil. Q-T₂ and T₂ sequence were performed. Measurement of sound pressure levels (SPL) and heart rate on Q-T₂ and T₂ was performed respectively. Quantitative analysis was carried out by measuring the SNR, CNR, and SIR values of Q-T₂, T₂ and a statistical analysis was performed using independent sample T-test. Qualitative analysis was evaluated by the eyes for the overall quality image of Q-T₂ and T₂. A 5-point evaluation scale was used, including excellent(5), good(4), fair(3), poor(2), and unacceptable(1).

The average noise and peak noise decreased by 15dB_A and 10dB_A on T₂ and Q-T₂ test. Also, the average value of heartbeat rate was lower in Q-T₂ for 120 seconds in each test, but there was no statistical significance. The quantitative analysis showed that there was no significant difference between CNR and SIR, and there was a significant difference ($p < 0.05$) as SNR had a lower average value on Q-T₂. According to the qualitative analysis, the overall quality image of 59 case T₂ and Q-T₂ was evaluated as excellent at 5 points, and 1 case was evaluated as good at 4 points due to a motion artifact.

Q-T₂ is a promising technique for acoustic noise reduction and improved patient comfort.

Key Words : Brain MRI, Acoustic Noise Reduction, MRI Noise, Quiet MRI, Quiet-T₂