

HRV를 이용한 자기공명영상 소음의 시간 변화에 따른 스트레스 평가

Evaluation on the stress using HRV according to elapsed time of MRI noise

예수영*, 김동현*

Soo-young Ye, Dong-hyun Kim

요약

자기공명영상 촬영시 발생하는 소음은 100 dB정도의 큰 소리로 인체에 심리적·생리적으로 많은 영향을 미친다. 따라서 본 연구는 자기공명영상 소음에 따른 성인 남녀의 심박동변이율 신호의 주파수 분석을 통해 스트레스 정도를 분석하였다. 실험 방법은 귀마개를 착용하여 안정상태에서 15분간 심전도 신호를 측정하였다. 그 후 자기공명영상 장비에서 측정된 약 100dB의 음원을 30분동안 들으면서 동시에 심전도 신호를 측정하였다. 약 100 dB정도에서의 자기공명영상 소음은 HRV 분석 결과 교감신경과 부교감신경간의 불균형을 초래하여 스트레스 상태를 유발하였다. 안정 상태에서 10분까지 최대의 스트레스 상태를 나타내고, 15분부터는 스트레스 정도가 줄어들어 30분에는 안정 상태 보다 높은 스트레스 상태를 나타내었다. 본 연구를 기초 자료로 하여 자기공명영상 촬영 종사자들은 환자의 청각보호에 관심을 가지고, 자기공명영상 소음에 관한 객관적인 지표연구가 필요할 것으로 사료된다.

ABSTRACT

The noise of MRI shooting is 100dB loud and has an intensive psychological and physiological influences on the human body. ECG signals were measured by experimental methods, while wearing earplugs for 15 minutes in the stable state. Then the ECG signals were measured for 30 minutes while listening to about 100dB of sound in a MRI equipment. In this study, the heart rate variability of men and women was analyzed according to the MRI noise stress level through the frequency analysis. As the MRI noise level is about 100dB, HRV analysis resulted in an imbalance between the sympathetic and parasympathetic. During the period from the resting state up to 10 minutes, the maximum stress state was shown. This study will encourage MRI workers to take interests in hearing protection for the patient and to make objective indicators about MRI noises.

Keywords : MRI Noise, Heart Rate Variability, Stress, Frequency Analysis

I. 서론

인간의 심리적 상태에 대한 소음의 영향을 규명하기 위한 많은 연구들이 있으며, 소음이 인간의 심리적 측면에서 어노이언스(annoyance)와 짜증을 야기 시키는 중요한 요인이 밝혀지고 있다[1]. 이러한 환경소음이 인간에게 미치는 심리적 영향에 대한 종합적인 평가로서 대화 및 수면방해, 업무수행을 방해하는 기능장애와 시끄러움으로 느끼는 종합적인 피해 장애로 나타난다. 이러한 소음의 문제에서 가장 먼저 나타날 수 있으며 확인할 수 있는 인자로는 어노이언스를 들 수 있다. 이는 소음에 노출된 사람이 즉각적으로 반응할 수 있는 인자로서 환경적인 문제로서 소음의

척도로 정의 할 수 있다[2]. 국제 표준화기구 (ISO)에서는 어노이언스와 짜증을 일으키는 소음의 성격이 계속적인 것 보다는 일시적인 충격음이라 밝힌바가 있다. 소음에 대한 심리적인 반응은 도시지역보다는 교외지역에서, 낮 시간보다는 밤 시간에 보다 강하게 나타나고 어노이언스가 클 경우에 인간은 행동적 반응을 나타내게 된다. 이러한 소음은 심리적으로 “안정되지 않는다.” 또는, “화가 난다.” 등과 같은 정서적 불안감을 일으킨다[3].

소리는 무의식중에서도 신체의 동요를 가져오게 하고 호흡이나 맥박에도 영향을 준다. 이러한 소리가 지속되면 생리적으로는 자율신경계의 교감신경의 흥분을 유발하며 긴장을 초래하여 혈압상승, 위산과다, 심장박동의 증가, 혈관의 수축, 혈구수의 변동 호르몬 양의 변화 등이 일어난다[4]. 생리적 변화에 대한 소리의 영향은 의학 분야에서 널리 이용되는데 음악을 들려줌으로써 통증 없이 질병을 치료하거

* 부산가톨릭대학교

투고 일자 : 2014.12.2 수정완료일자 : 2015.4.24

게재확정일자 : 2015.5.1

나 고혈압 환자의 혈압 강하제, 진정제, 또는 자극제로 이용한 예가 많다. 이외에 청각 손상과 건강에 치명적인 영향을 줄 수 있다[5].

이러한 소음 중 자기공명영상 촬영시 발생하는 소리에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 인체 질병 진단을 위해 많이 사용되어지고 있는 영상진단분야에서는 X선, 핵의학, 초음파, 자기공명영상 등 많은 종류의 검사 방법들이 이용되어 지고 있다. 이 중 자기공명영상은 인체에 해가 없는 자장과 비전리방사선인 라디오파를 이용하여 체내의 수소 원자핵에 핵자기 공명현상을 일으켜 수소 원자핵의 밀도 및 물리 화학적 특성을 영상화 한 것이다. 자기공명영상 촬영은 비침습적이고, 인체에 무해하며, 안전하다는 인식과 함께 지금까지 연구 개발되어 임상진단에 많은 부분에서 활용되어 지고 있다[6].

자기공명영상은 자기장을 이용한 인체에 무해한 검사방법으로 많이 이용되고 있으나 검사 중 약 100 dB정도의 소음이 발생하고 있다. 이는 단시간 노출 시에도 청감이 일시적으로 저하되며 장시간 노출 시 회복이 어려운 청각손실을 주게 된다[7].

자기공명영상 촬영시 발생하는 소음에 관한 연구로 소음을 제거하는 연구는 많이 진행되고 있으나 이러한 소음이 인체에 미치는 영향에 관한 연구가 미비한 실정이다.

이에 본 논문에서는 자기공명영상 촬영 시 발생하는 소음이 피검사자의 자율신경계의 활성화도에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 자율신경계의 교감 및 부교감 신경 간의 균형 상태를 나타내는 스트레스를 정량화하여 객관적인 지표로 나타내었다.

II. 연구 방법

2.1 연구 대상

실험에 참여한 피험자는 청각에 이상이 없는 20대 남녀 각각 10명으로 평균 연령은 24±2 세 이고, 심장 계통 및 청력에 이상이 없는 자로 하였다. 실험 전날부터 자율신경계에 영향을 줄 수 있는 약물 및 음주, 흡연, 카페인이 든 식품을 금하였다. 심전도 계측기기는 Biopac MP150(Biopac System Inc. USA)을 사용하였고, 샘플링율은 500Hz로 하였다.

2.2 MRI 소음 특성

그림 1은 MRI 소음 신호를 시간영역에서 나타내었다.

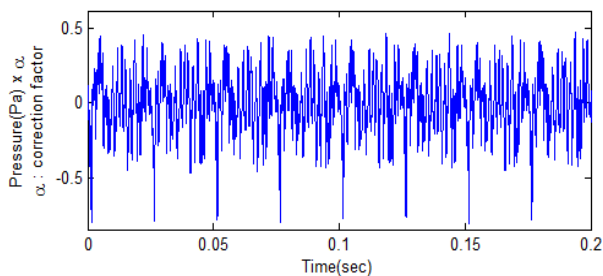


그림 1 .시간영역에서의 MRI 소음
Fig. 1. MRI noise in time domain

그림 1에서 알 수 있듯이 MRI 소음은 시간에 따라 준주기적으로 큰 소음이 나타나는 반복되는 패턴이 있음을 확인하였다.

그림 2는 MRI 잡음을 주파수 영역에서 나타내었다[8].

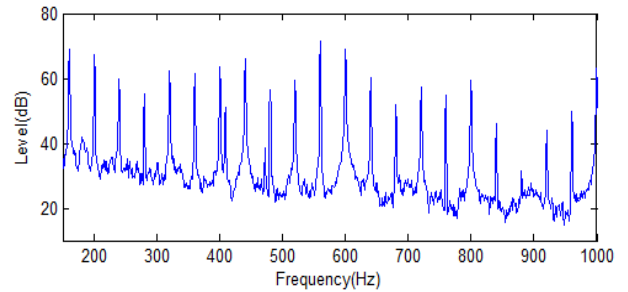


그림 2. 주파수영역에서의 MRI 소음
Fig. 2. MRI noise in frequency domain

주파수 영역에서는 시간영역에서 큰 소음이 준주기적으로 나타나는 특징이 다수의 피크로 나타남을 확인하였다. 이 피크들의 주파수는 기본 주파수의 배수에 해당하였다. 이를 통해 MRI 소음은 주기성을 가짐을 확인하였다.

2.3 심박동 변이를 분석

심박동 변이율(Heart Rate Variability; HRV)은 연속적인 심박동 사이의 변화 양상을 재구성 신호로 그림 3에 나타내었다.

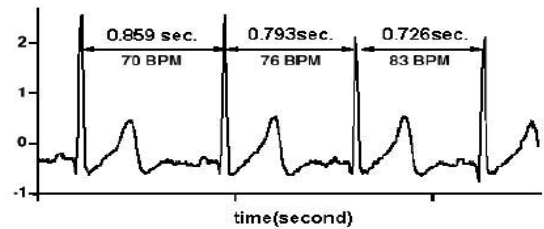


그림 3. 심전도 신호에서 RR간격
Fig. 3. RR interval of the ECG signal

그림 3은 심전도 신호에서 R Peak 점을 검출한 후 R-R간격을 계산하는 과정을 나타낸 그림이다.

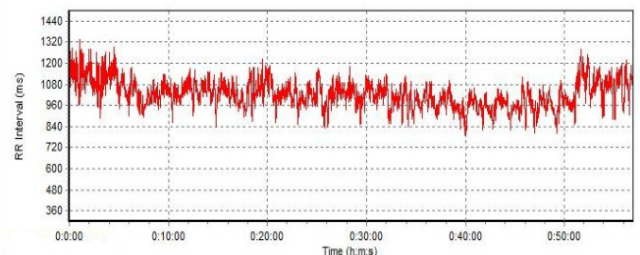


그림 4. 심박동변이율 신호
Fig. 4. HRV signal

그림 4는 시간에 따른 RR간격을 심박동변이율로 재구성한 그림이다.

심박동변이율은 교감신경계와 부교감신경계, 즉 자율신경계에 의해 조절되므로 여러 가지 신체조건 변화 즉, 순환 계통의 반사 수용 체에서의 변화, 순환기능 조절중추의 변화, 다양한 감정의 변화, 자세의 변화, 약물의 투여 등에 따라 신경계 또는 호르몬의 조절에 의해 변화 한다. 그림 4와 같이 심박수 변화가 크다는 것은 건강한 사람에서 자율신경계가 원활히 조절되어 외부 자극에 대한 적응성이 좋다는 것을 의미한다. 아프거나 병든 상태일때는 변화 정도가 느리거나 작게 나타난다[9].

따라서 감소된 심박동변이율은 자율신경계의 비정상적이고 불충분한 적응성을 반영하는 지표로 사용된다[10]

측정된 심박동변이율 분석은 일반적으로 시간영역분석방법과 주파수영역 분석방법이 사용된다[11].

시간영역분석방법에는 표준편차인 SDNN, 제공근 평균인 RMS, 그리고 지연시간이 10-50ms 이상인 일련의 R파 개수를 나타내는 NN 10-50등의 파라미터들이 있다. SDNN은 일련의 심박동변이율 신호의 장시간 RR 간격의 표준편차를 의미하며, 호르몬 영향과 관련된 심장 고유의 반응을 나타낸다. 심박동변이율은 순환하는 호르몬의 응답에 대해 매우 천천히 변화하고, 자율신경계에 의한 영향보다 오래 지속된다. 그러므로 호르몬의 영향을 관찰하기 위하여 장시간의 심박동변이율 신호를 이용하여야 한다. 제공근 평균은 일련의 심박동변이율 신호의 RR 간격의 제공근 평균을 나타내고, 심박동변이율의 단기간 변화를 반영하며 심장의 부교감신경계 영향을 평가하기 위하여 많이 이용되고 있다 [12].

주파수영역 분석방법은 FFT(fast fourier transform) 방법을 이용하여 시간영역 신호를 주파수 영역 신호로 변환 할 수 있다. 즉 심박동변이율 신호의 PSD(Power spectrum density)를 분석하여 각 주파수 대역별 자율신경계의 영향을 분석하기 위해 사용된다. 즉 심박변동을 초래하는 자율신경계의 활동이 주기적이라는 점을 토대로 심박동변이율을 특성 주파수와 PSD를 가지는 각 주기성분으로 분해함으로써 자율신경계를 구성하는 교감신경계와 부교감신경계의 활동을 구분할 수 있다. 따라서 자율신경계를 평가하는 비침습적인 방법으로서 가장 널리 사용되고 있다[13].

주파수영역 분석 방법은 VLF(Very low frequency:0.003-0.04 Hz), LF (Low frequency : 0.04-0.15 Hz), HF (High frequency : 0.15-0.4 Hz)에서 주어진 심박 수의 주기적인 진동을 검사한다. LF/HF 비율값은 교감과 부교감신경의 상대적 균형 상태를 나타내는 지표이다. HF는 0.15-0.4 Hz 주파수 대역에 해당되고 주로 부교감신경계의 영향을 받는다. 부교감신경계의 활성도가 감소하면 심 질환이 발생할 수 있으며, 스트레스 또는 통증이 나타나고, 매우 긴장된 상태를 유지하게 된다. LF는 0.04-0.15 Hz 주파수 대역에 해당되고, 주로 교감 및 부교감 신경계의 영향을 모두 받는다[14].

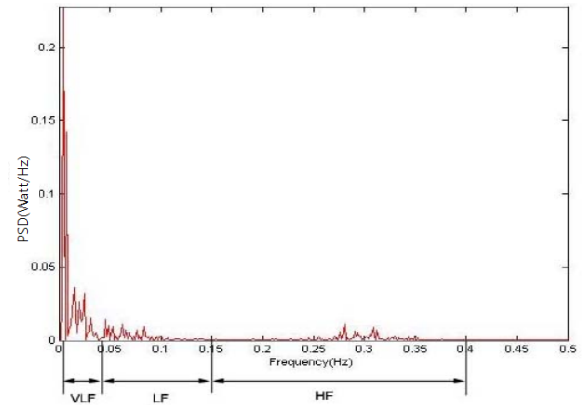


그림 5. 심박동변이율의 주파수 분석
Fig. 5. Frequency analysis of HRV

그림 5는 심박동변이율 신호를 FFT를 통해 PSD를 구하였고, 주파수 대역별로 VLF, LF, HF 구간을 표시한 그림이다.

각 영역별 PSD값은 식(1)-(3)을 이용하여 구하였다.

$$LF/HF \text{ ratio} = \frac{LF(ms^2)}{HF(ms^2)} \quad (1)$$

$$LF = \frac{LF(ms^2)}{totalpower(ms^2) - VLF(ms^2)} \times 100 \quad (2)$$

$$HF = \frac{HF(ms^2)}{totalpower(ms^2) - VLF(ms^2)} \times 100 \quad (3)$$

2.3 실험 방법

실험은 20대 남녀 각각 10명을 대상으로 하였고, 실험에 사용된 음원은 자기공명영상 장비 '마그네톰 에센자 1.5T (Magnetom Essenza 1.5T)에서 측정한 음원을 사용하였다. 소음측정 결과 평균 소음은 100 dB로써 산업안전보건법 기준 소음 노출 허용 시행규칙 제 6조에 의거 소음으로 간주하는 1/2시간 110 dB은 초과하지 않았다.

하지만 실제 자기공명영상 촬영시 환자들이 이러한 소음에 의해 많은 불편감을 느끼고 있는 실정이다.

표 1은 소음 레벨에 따른 인체에 나타날 수 있는 영향에 관해 나타내었다.

표 1. 소음 레벨에 따른 영향
Table 1. Influence classification of noise level

[Unit : dB]

소음 레벨	소음 레벨에 대한 영향
65	원하지 않는 음으로 지각되어 방해를 느끼나 심리적 영향일 뿐이다. 이 소음 레벨을 초과하면 정신적, 육체적 피로가 발생하는 등 생리적 영향을 받는다.
90	다년간 노출될 경우 영구성 난청의 원인이 된다.
100	단시간 노출 시에도 청감이 일시적으로 저하되며 장시간 노출 시 회복이 어려운 청각 손실을 주게 된다.
120	귀에 고통을 주기 시작한다.
150	순간적으로 청각기관이 파손된다.

100dB의 소음을 듣기 전 피험자에게 안정 상태를 취하게 하여 소음상태와 비교·분석할 수 있는 기준 상태를 두었다. 이러한 안정 상태는 귀마개를 착용하여 외부 소리를 차단하여 소음 상태와 분리하였고, 15분간 심전도 신호를 측정하였다. 안정 상태를 15분으로 설정한 이유는 심전도 신호를 이용하여 재구성된 심박동변이율 신호는 R 피크 점을 검출한 신호이므로 분석할 수 있는 데이터양이 급격히 감소한 상태이므로 적어도 10분 이상의 심전도 신호 계측을 권장하고 있기 때문이다[15].

귀마개 착용을 해지 한 후 피험자의 머리 쪽에 스피커를 설치하여 30분 동안 자기공명영상 소음상태에서 심전도검사를 하였다. 30분 동안 소음에 대한 스트레스 정도를 알아보기 위하여 소음 청취 후 5분 뒤부터 10분동안 데이터를 5간격으로 분석하였다.

안정상태 및 소음상태에서 측정한 심전도 신호에서 심박동변이율 신호로 재구성한 후 주파수영역분석 방법을 통해 심박동변이율을 분석하였다. 그리고 주파수 영역의 LF, HF 및 LF/HF 비율을 산출하여 자율신경계의 교감 및 부교감신경의 균형 상태를 평가하였다.

그림 6은 실험하는 모습을 나타내었다.



그림 6. 실험 환경
Fig. 6. Experimental environment

실제 실험을 병원의 자기공명영상 촬영실에서 이루어져야 하나 환자 진료가 목적인 병원에서 실험 장비 구축과 계측이 어려 그림과 같은 촬영 환경을 설정하였다.

안정상태에서는 귀마개를 착용하므로 피험자에게 소리가 들리지 않게 하고, 100dB의 소음을 들려 줄때는 주의 잡음이 50dB이하로 유지하여 자기공명영상 소음 실험 환경이 병원에서 시행할 때와 유사하게 유지하였다.

III. 결 과

Biopac System Inc (USA)에서 제작한 Biopac MP150을 사용하여 측정한 심전도 신호를 이용하여 심박동변이율 신호를 재구성하여 주파수 분석을 실시하였다. 실험에 참여한 피험자는 20대 남녀 각각 10명으로 하였고, 두 그룹의 실험 결과값을 표 2에 나타내었다.

표 2. LF//HF 비율에 대한 결과
Table 2. The result of LF/HF ratio

성별	남	여
구 간		
안정상태	0.58 ± 0.16	0.53 ± 0.17
5 분	1.06 ± 0.23	1.03 ± 0.32
10 분	1.14 ± 0.25	1.13 ± 0.37
15 분	1.04 ± 0.29	0.89 ± 0.25
20 분	0.87 ± 0.20	0.81 ± 0.22
25 분	0.74 ± 0.17	0.71 ± 0.19
30 분	0.65 ± 0.13	0.61 ± 0.18

평균±표준편차

그림 7는 남성군에서 시간에 대한 LF/HF 비율 변화를 나타내었다.

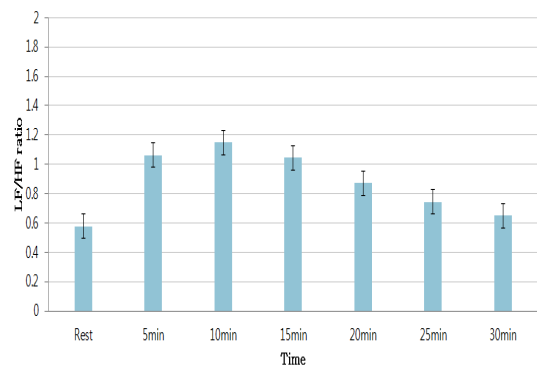


그림 7. 남성의 LF/HF비율 그래프
Fig. 7. LF/HF ratio average graph of man

남성군 (10명)에서 얻은 평균 LF/HF 비율 값은 다음과 같다. 안정 상태에서 0.58, 소음상태 5분에서 1.06, 10분에

서 1.14, 15분에서 1.044, 20분에서 0.87, 25분에서 0.74, 30분에서 0.65 결과 값을 나타내었다.

안정상태에서 10분 후에 LF/HF비율 값이 최대치를 나타내었고, 10분 이후 부터는 LF/HF 비율 값이 감소 됨을 알 수 있었다.

그림 8은 여성군에서 시간에 대한 LF/HF 비율 변화를 나타내었다.

여성군 (10명)에서 얻은 평균 LF/HF 비율 값은 다음과 같다. 안정 상태에서 0.538, 소음상태 5분에서 1.03, 10분에서 1.13, 15분에서 0.89, 20분에서 0.81, 25분에서 0.71, 30분에서 0.61 결과 값이 나왔다.

여성군에서도 남성군과 마찬가지로 안정상태에서 10분 후에 LF/HF 비율 값이 최대치를 나타내었다.

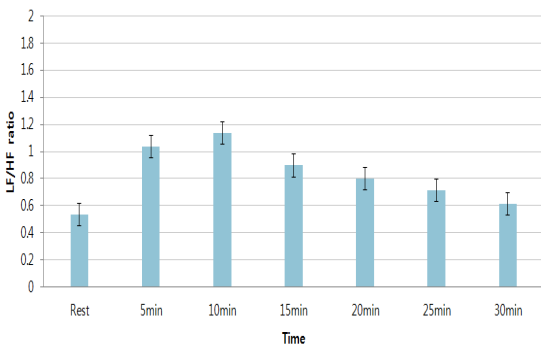


그림 8. 여성의 LF/HF비율 그래프

Fig. 8. LF/HF ratio average graph of women

IV. 고찰 및 결론

소음이 인체에 미치는 영향에 관한 연구는 아직까지 구체적이고 확실한 연구결과가 없는 실정인데 이는 많은 실험과 장기간의 자료 수집이 필요하며 또한 소음이라는 요인이 인체에 미치는 영향이 직접적으로 확인하기 어렵기 때문이다. 특히 자기공명영상 촬영 중 나타나는 소음이 인체에 얼마나 영향을 주는지에 관한 정량적인 지표나 연구가 전문한 실정이다.

자기공명영상의 소음은 산업안전보건법 기준 소음 노출 허용 시행규칙 제 6조에 의거 소음으로 간주하는 1/2시간 110 dB은 초과하지 않았다. 하지만 이는 굉장히 높은 수치로 자기공명영상 검사 중 2차적인 부작용이 발생할 수 있으나 그에 대한 연구가 미미한 실정이며 검사 중 소음의 부작용에 관한 타당한 기준을 제시하지 못하고 있다.

자기공명영상 촬영 중 소음에 의해 발생하는 스트레스와 청력 손실 등을 예방하기 위해 귀마개를 착용하지만 이는 일차적인 예방책에 불과하다.

따라서 본 연구에서는 자기공명영상 촬영이 시행될 때 발생 되는 소음이 인체에 미치는 심리적·생리적 스트레스 영향정도를 알아보고자하였다.

소음에 대한 스트레스 정도는 소음을 들려주기 시작할

때부터 증가하기 시작하여 15분-20분에서 LF/HF 비율 값이 가장 크게 나타났다. 이는 곧 피검자의 스트레스 정도가 증가했음을 알 수 있었다. 그 이후로는 대체로 LF/HF 비율 값이 감소해 스트레스정도가 줄어드는 경향을 볼 수 있었다. 즉, 불안상태는 시간에 따라 증가하다가 정점에 도달한 후 감소하면서 30분 지점에 가까워질수록 안정상태와 거의 동일한 수준으로 회복되었다. 이는 처음에는 자기공명영상 소음에 대해 스트레스를 많이 받다가 시간이 지날수록 소음에 대해 청력기관이 적응하는 현상을 관찰 할 수 있었다. 이는 안정상태가 아니므로 반복적이거나 지속적으로 자기공명영상 소음을 경험 할 경우 심리적인 이상증상을 경험할 수 있음을 확인하였다.

따라서 자기공명영상 검사 중 소음에 관한 스트레스 지수를 평가할 수 있는 객관적인 지표를 제시하고 소음을 줄일 수 있는 방안을 모색하는 연구가 진행 되어야 할 것으로 사료 된다.

참 고 문 헌

- [1] 정종상, “배경음에 의한 너클크레인 작업소음의 마스크 효과에 관한 연구”, 한밭대학교 산업대학원 산업경영공학전공 학위논문, 2013.
- [2] Basner M, Muller U, Elmenhorst EM. “Single and combined effects of air, road, and rail traffic noise on sleep and recuperation”, Sleep, Vol. 34, No.1, pp. 11-23, 2011.
- [3] Goyal S, Gupta V, Walia L. “Effect of noise stress on autonomic function tests”, Noise Health, Vol.12, No.4 8, pp. 182-186, 2010.
- [4] Graham JM, Janssen SA, Vos H, Miedema HM. “Habitual traffic noise at home reduces cardiac parasympathetic tone during sleep”, Int J Psychophysiol, Vol.72, No. 2, pp. 179-186, 2009.
- [5] Kalpesh Patil, Manisha Singh, Garima Singh, Anjali, Nee raj Sharma, “Mental Stress Evaluation using Heart Rate Variability Analysis: A Review”, IJPMN, Vol.2, pp. 10-16, 2015.
- [6] Hong J, Kim J, Lim C, Kim K, Lee S. “The effects of long-term exposure to railway and road traffic noise on subjective sleep disturbance”, J Acoust Soc Am, Vol.128, No.5, pp.2829-2835, 2010.
- [7] 박세혁, “자기공명 영상법에서의 소음의 분석 및 이의 응용”, 한국과학기술원 학위논문, 2000.
- [8] 이록행, 박영진, 박윤식, “MRI 소음의 특성을 이용한 공동 내부 목표점의 능동소음 제어”, 한국소음진동공학회, Vol. 24, No.1, pp. 62-68, 2014.
- [9] Lee GS, Chen ML, Wang GY. “Evoked response of heart rate variability using short-duration white noise”, Auton Neurosci, Vol.155, pp. 94-97, 2010.

- [10] Catie Chang, Coraline D. Metzger, Gary H. Glover, Jeff H. Duyn, Hans-Jochen Heinze, Martin Walter, “Association between heart rate variability and fluctuations in resting-state functional connectivity”, *Neuroimage*, Vol. 68, pp. 93-104, 2013.
- [11] Luciano Bernardi, Joanna Wdowczyk-Szulc, Cinzia Valenti, Stefano Castoldi, Claudio Passino, Giammario Spadacini, Peter Sleight, “Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability”, *J Am Coll Cardiol.*, Vol. 35, No.6, pp. 1462-1469, 2000.
- [12] Saugat Bhattacharya, Ankur Ganguly, Somsirsa Chatterjee, “Characterization of HRV by Poincare Plot Analysis among the Female Tea Garden Workers of Northern Hilly Regions of West Bengal”, *International Journal of Healthcare Information Systems and Informatics*, Vol. 5, Issue 2, pp. 49-59, 2010.
- [13] Julian F. Thayer, Fredrik Åhs, Mats Fredrikson, John J. Sollers III, Tor D. Wager, “A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health” *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, Vol. 36, pp. 747-756, 2012.
- [14] Gaétan Chevalier, Stephen T. Sinatra, “Emotional Stress, Heart Rate Variability, Grounding, and Improved Autonomic Tone: Clinical Applications”, *Integrative Medicine*, Vol. 10, No. 3, pp. 16-21, 2011.
- [15] Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology “Heart rate variability”, Vol.17, pp. 354-381, 1996.



예수영 (Soo-Young Ye)

正會員

1996년 2월 동서대 전자공학과(공학사)
1998년 2월 부산대 전자공학과(공학석사)
2004년 2월 부산대 의공학협동과정
(공학박사)

2012년 3월 ~ 현재 부산가톨릭대 방사선학과 조교수
※주관심분야 : 신호처리, 영상처리, 패턴인식, 의공학, 방사선과학



김동현 (Dong-Hyun Kim)

正會員

2002년 8월 부산대 환경공학(공학석사)
2009년 2월 부산대 의공학협동과정
(공학박사)

2011년 3월 ~ 현재 부산가톨릭대 방사선학과 조교수
※주관심분야 : 자기공명영상 장치 및 영상 처리
방사선과학