

Cardiac MRI를 이용한 심박출계수의 평가

은성중, 국진선

한려대학교 방사선학과

Evaluation of Cardiac Ejection Fraction using Cardiac MRI

Sungjong Eun, Jinsun Kook

Department of Radiology, Hanlyo University

요약

본 연구의 목적은 cardiac MRI를 이용하여 확장기와 수축기의 정량적 측정을 통해 각 단면의 심박출률의 차이를 알아보고자 하였다. 총 12명(정상 7명, 심근교 1명, 부정맥 4명)을 대상으로 심첨에서부터 대동맥궁 쪽으로 단면을 얻었다. 수축기와 확장기 영상을 확대하여 경계를 정하였고, 이 면적을 바탕으로 1, 3, 5, 6-7단면의 심박출률을 구하였다. 정상인의 평균 박출률은 각각 1, 3, 5, 6-7단면에서 67.14%, 66.24%, 65.63%, 그리고 65.29%로 나타났다. 반면, 환자들의 평균 박출률은 각각 1, 3, 5, 6-7단면에서 61.74%, 60.92%, 60.89%, 그리고 61.89%로 나타났다. 본 연구를 통해 cardiac MRI를 이용한 특정단면의 심박출률은 각 단면마다 큰 차이가 없음을 알 수 있었고 따라서 cardiac MRI를 이용한 심박출계수의 평가는 대표 단면만으로 가능함을 알 수 있었다.

중심단어: 자기공명영상, 심박출률, 확장기, 수축기

Abstract

The aim of this study is to evaluate the differences of ejection fraction of left ventricle through the quantitative analysis of diastolic and systolic volumes according to slices selected using cardiac MR imaging. A total of 12 volunteers (7 normal, 1 myocardium bridge, and 4 arrhythmia) underwent cardiac MRI on a MR scanner(Magnetom Trio, Siemens, Germany). Ejection fractions for quantitative analysis were calculated at single slice of center of left ventricle, 3, 5, and 6-7 slices extending from the center of left ventricle. Average values were analyzed for evaluating differences of ejection fraction according to the number of slices selected.

Mean value of normal person of ejection fraction were 67.14% at single slice of center of left ventricle, 66.24% at 3 slices, 65.63% at 5 slices, and 65.29% at 6-7 slices. While ejection fraction obtained from a patient with 61.74% at single slice of center of left ventricle, 60.92% at 3 slices, 60.89% at 5 slices, and 61.89% at 6-7 slices. There was no significant differences by the number of slices selected.

This study demonstrates that ejection fraction obtained from single slice of center of left ventricle may represent a optimum parameter for cardiac function, instead of the value calculated on the variable slices selected.

Key words: Magnetic resonance imaging, cardiac ejection fraction, diastolic, systolic

I. 서 론

최근 들어 우리나라에서도 식생활의 변화, 불규칙한 생활 패턴, 스트레스 등으로 심장질환이 증가되고 있는 추세이다. 심장질환의 증가에 비해 그 조기발견은 쉽지 않은 실정이고 대부분의 경우 증상이 발견되고서야 병원을 찾는 경우가 많아 심장질환을 사전에 진단할 수 있는 방법들에 관심이 모아지고 있다. 심장질환과 관련하여 현재 임상에서 시행되고 있는 진단 도구로는 심초음파(Echocardiogram), 심전도(Electrocardiogram), 운동부하검사(Treadmill test), 핵의학 검사 중 SPECT(Single photon emission computed tomography), PET(positron emission tomography)를 이용한 검사, 관상동맥 혈관 조영술(Coronary angiogram), 전기생리학검사(EPs: Electrophysiologic Study) 그리고 최근 들어 multidetector CT를 이용한 동영상 CT촬영 등 여러 가지 방법들이 시행되고 있다. 그 중 심초음파와 multidetector CT를 이용하는 방법 등은 좌심실의 심박출계수의 측정이 가능하나 심초음파의 경우 조작자에 따라 편차가 커서 정확도를 신뢰하기 어렵고 CT의 경우 인체에 유해한 방사선 피폭과 조영제 부작용, 빠른 심장 박동을 영상화 시키는데 제한점이 있고 또 관상동맥 내에 석회화나 스텐트가 있는 경우 이를 영상화 시키지 못하는 등 아직까지 문제점이 있는 것이 현실이다^{[1],[2],[3]}.

한편 자기공명영상장치(MRI: Magnetic Resonance Imaging)의 경우 hardware와 software의 급속한 발전으로 움직임에 취약하였던 심장부위의 검사에까지 많은 진보를 가져 왔다. 지난 20여년 동안 MRI가 인체 질병 진단에 많은 기여를 해왔고 아직도 그 끝이 어디인지 모른다. 기존의 MRI를 이용한 심장부위 검사는 심장의 운동과 호흡에 의한 artifact의 발생으로 검사에 대한 신뢰성과 정확도가 낮았다. 그러나 계속되는 기술과 장비의 발달로 cardiac MRI에 대한 가능성은 ECG gating과 펄스시퀀스의 개발이 뒤따른다면 가능할 것으로 이미 오래전부터 인식되어 왔으며 심장질환을 진단하는데 있어 cardiac MR 영상이 다른 장비에 비해 중추적인 역할을 할 수 있을 것으로 예견되어왔다^[4]. 현재는 초음파나 CT등 다른 영상기법의 결과에

의존하지 않고 독립적으로 심장의 구조나 용적뿐만 아니라 cardiac function, 심근 관류(perfusion), myocardial viability, MR coronary angiogram 등과 같은 심장의 기능의 평가까지도 정확하게 나타낼 수 있는 단계에 이르고 있다^[5]. 그러나 cardiac MR영상이 비침습적이며 인체에 무해하다는 장점이 있는 반면, 아직까지는 긴 검사시간, 소음으로 인한 환자의 불안감 증대 그리고 반복적인 호흡정지로 인한 환자의 피로감과 같은 문제점 등이 앞으로 해결해야 할 과제이다.

일반적으로 심장은 일정한 주기로 수축과 팽창을 되풀이하며 혈액을 전신으로 박출하는 펌프기능을 하게 되며, 심장질환을 조기 진단할 수 있는 중요한 예후 인자가 좌심실의 기능이다. 지금까지 연구된 바에 의하면, 심근경색이나 관막질환의 예후를 예측하는 데에는 좌심실의 수축기말, 이완기 말 부피가 가장 중요하다고 강조되어 왔다. MR은 시간적 공간적 대조적 해상도가 높기 때문에 심초음파에 비하여 좌심실의 부피와 박출 수의 측정이 보다 정확하다. 게다가, MR은 어느 단면으로나 영상을 얻는 것이 가능하므로 심실 크기의 측정의 신뢰성이 더욱 크다고 할 수 있다^[6].

심실 부피와 박출계수의 측정방법은 심초음파에서 표준화 되어있는 Simpson's rule을 MR의 심실의 부피 측정에 그대로 이용하는 것이다. 이 방법은 각 단축영상의 심내막 내부의 면적을 구하고 이에 단면 두께를 곱한 후, 구해진 각각의 단면의 부피를 모두 합하는 방법이다. 이와 같은 다중절편 영상에 의한 방법은 기하학적 전제를 사용하지 않으므로 가장 정확한 방법이다^[7].

본 연구는 cine cardiac MR영상의 심실 확장기와 수축기 단면과 혈류속도를 토대로 심박출계수를 구하고, 이렇게 구해진 심박출계수가 단면의 위치에 따라 차이가 있는지 혹은 대표적인 한 개의 단면이 좌심실 전체의 심박출량을 통계적으로 대표할 수 있는지를 알아보는 데에 그 목적이 있다.

II. 대상 및 방법

1. 검사대상

2010년 4월부터 9월 10일 까지 cardiac MR검사를 시행한 12명(정상 7명, Myocardium Bridge 1명, Arrhythmia 4명)을 대상으로 하였다. Arrhythmia 환자는 Bradycardiac 2명, Tachycardiac 2명으로 검사 중 빈맥 증상은 유발되지 않았다.

2. 실험방법

검사에 사용된 장비는 MR Scanner(Magnetom Trio, Siemens, Germany)이었고, 8 channel cardiac array 코일을 사용하여 localization, 2 chamber, 4 chamber 영상을 획득한 후 심박출계수의 측정을 위한 short axis cine 영상을 slice thickness 8mm, slice gap 2mm로 총 9~10 slice의 영상을 획득하였다(Fig. 1). 사용된 sequence는 True Fisp(Fast imaging with steady procession), TR/TE/Flip angle: 43ms/1.67ms/40°, FOV는 350~370mm를 사용하였고, frequency offset을 -200~200 Hz까지 변화시킨 후 적정한 주파수를 선택하여 flow artifact를 최소화 시켰다

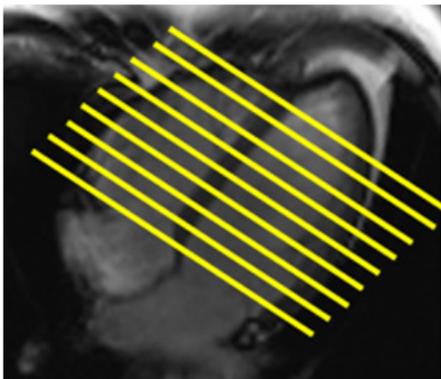


Fig. 1. This pictures shows the cardiacMR scan level

3. 영상의 분석

심박출계수(EF: Ejection Fraction)의 측정은 short axis cine 영상을 기준으로 하여 확장기말과 수축기말을 육안으로 확인한 후 수작업에 의하여 관심영역을 설정

하였다. 이때 수작업으로 5회 측정하여 최대치와 최소치를 제외한 3회 값의 평균을 측정치로 하였다. 단면의 선택은 좌심실 중심부로부터 한 단면, 3 단면, 5 단면, 6~7 단면으로 순차적으로 확장해가며 다음과 같은 공식(식 1)에 의해서 각각의 심박출계수를 측정하여 그 차이를 비교하였다(Fig. 2).

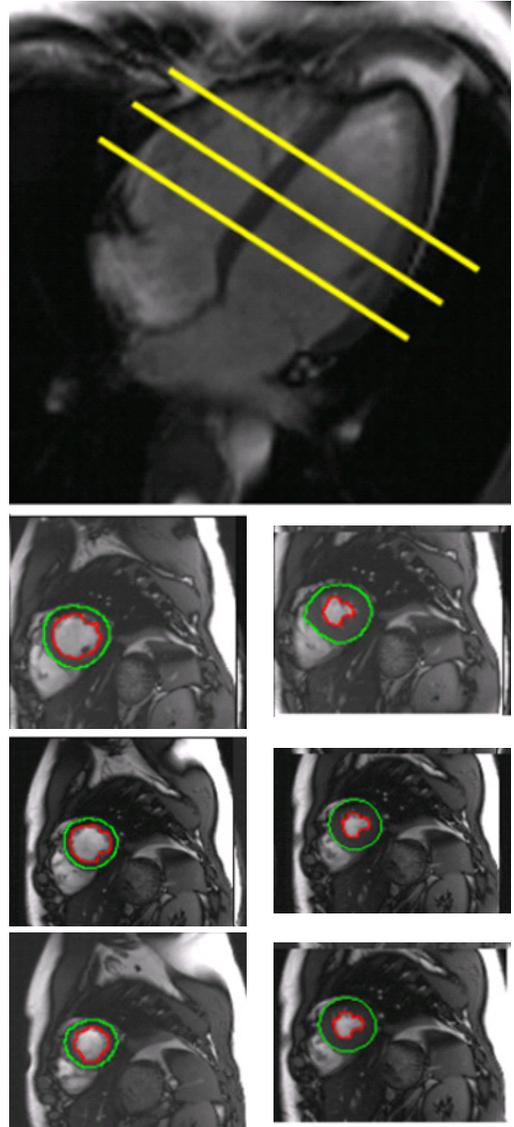


Fig. 2 Left image is long axis MR image for slice selection. Right upper three slices of MR images shows on end diastolic large ROI and Right lower images shows end systolic small ROI phases.

Stork volume(심박출량) =

EDV(End diastolic Volume) - ESV(End systolic Volume) ··· (식1)

Ejection Fraction (심박출계수) =

$$\frac{\text{stork volume}}{\text{EDV}} \times 100$$

Cardiac Output = stork volume × 60sec

III. 결 과

선택 단면 수에 따른 심박출계수의 차이를 측정결과 정상인7명을 대상으로 한 결과에서는 한 개의 단면에서는 측정치의 평균이 67.47%, 세 단면에서의 측정치의 평균은 66.48%이었고 다섯 단면에서 평균 65.88%, 그리고 6~7단면에서 평균 66.71%로 나타났다(Table 1).

4명의 환자들의 결과에서는 한 개의 단면에서는 측정치의 평균이 61.74%, 세 단면에서의 측정치의 평균은 60.92%이었고 다섯 단면에서 평균 60.89%, 그리고 6~7단면에서 평균 61.89%로 나타났다(Table 2).

Table 1. Mean value of normal person of cardiac ejection fraction according to the variable slices selection

Volunteer	1 slice(%)	3 slices(%)	5 slices(%)	6~7 slices(%)	mean(%) ± SD
N1	63.23	61.64	60.36	62.74	61.99 ± 1.28
N2	75.71	73.56	71.02	72.54	73.21 ± 1.97
N3	63.12	63.39	62.61	62.80	62.98 ± 0.34
N4	77.30	77.29	77.90	76.90	77.35 ± 0.41
N5	61.37	60.09	63.10	62.51	61.77 ± 1.33
N6	64.11	62.88	60.3	62.76	62.51 ± 1.60
N7	65.14	64.86	64.12	63.77	64.47 ± 0.64
mean	67.47	66.48	65.88	66.71	66.63 ± 1.08

Table 2. Mean value of patients of cardiac ejection fraction according to the variable slices selection

Patient	1 slice(%)	3 slices(%)	5 slices(%)	6~7 slices(%)	mean(%) ± SD
A1	56.33	57.73	59.20	57.33	57.64 ± 1.03
A2	51.38	50.3	50.86	52.21	51.18 ± 0.70
A3	66.45	63.32	63.40	64.00	64.29 ± 1.27
A4	61.35	59.79	60.10	61.51	60.69 ± 0.75
M.B	72.80	72.32	70.10	71.81	71.75 ± 1.01
mean	61.74	60.92	60.89	61.89	61.11 ± 0.96

(A=Arrhythmia, M.B.=Myocardium Bridge)

IV. 고찰 및 결론

지난 수 십 년간 cardiac MRI에 있어서 기술적인 그리고 임상적인 진보가 이루어져 왔다. 이러한 진보는 시간적 그리고 공간적인 해상도와 움직임이나 기타, 다른 artifact, 관류와 viability 분석을 위한 대조도의 개선 등의 영상획득영역에서 이루어져 왔다. 그러나 아직까지도 어떤 영상기법이 비침습적으로 관상동맥 질환에 있어서 중추적인 영상기법으로 확정되지는 않았지만 cardiac MRI가 다른 영상기법에 비하여 월등한 정보를 제공한다는 많은 연구가 보고 되고 있다^[4].

2005년 현재, 시장에 출시된 가장 진보적인MDCT는 검출기가 64개 장착이 되어있으며 촬영시간은 5초 이내로 비약적으로 단축되었다. 그러므로 관상동맥 CT 혈관 조영술(coronary CT angiography)은 MR 혈관 조영술(coronary CT angiography)에 비하여 촬영시간이나 해상도에서 우월하다. 하지만 아직도 심장 MDCT는 시간 해상능의 한계로 심장 박동수가 80회 이상인 경우 빠른 심장 박동에 의한 인공물(artifact)이 발생할 수 있으며, 관상동맥 내에 심한 석회화나 스텐트가 있는 경우 협착의 정도를 정확히 평가하기가 어렵다는 단점이 있다. 또한 R-R 간격의 편차가 심한 부정맥이 있거나 인공 심박동기가 있는 환자, 숨 참기 어려운 중환자에서는 만족할 만한 영상을 얻기 어렵다. 따라서 검사 전에 이러한 환자를 선별하여 검사 시행여부를 결

정하는 것이 필요하다. 다음으로 방사선 피폭량 및 조영제 사용이 고려되어야 한다. 16열 및 64열 MDCT는 기존의 침습적 혈관 조영술의 방사선 피폭량이 3~5 mSv 임에 반해 피폭량이 약 6~10 mSv로 방사선 피폭으로 인한 위험성이 상대적으로 높으며 SPECT나 PET와 같은 방사선 동위원소를 이용한 비침습적 심장 영상검사와 비교할 때 피폭량이 낮거나 비슷하지만, 아직까지는 선별(screening) 검사로 사용하는 것은 적절하지 않다고 알려져 있다. 또한 조영제의 사용량이 16열에서는 120 mL, 64열에서는 80 mL로 감소되었다고는 하나 신기능이 나쁜 환자에서는 주의가 필요하다.

일반적으로 심장은 일정한 주기로 수축과 팽창을 되풀이하며 혈액을 전신으로 박출하는 펌프기능을 한다. 이때 1회 수축과 팽창이 이루어질 때의 차이를 stroke volume이라 하고, 1분 동안에 박출하는 혈액의 양을 cardiac output이라고 한다(식1).

심실 부피와 박출 계수의 측정은 심초음파에서 표준화 되어있는 Simpson's rule을 MR의 심실의 부피 측정에 이용하는데, 이 방법은 각 단축영상의 심내막 내부의 면적을 구하고 이에 단면 두께를 곱한 후, 구해진 각각의 단면의 부피를 모두 합하는 방법이다. 이와 같은 다중절편 영상에 의한 방법은 기하학적 전제를 사용하지 않으므로 가장 정확한 방법이다. MR에서 이 방법을 이용하기 위해서는 먼저 혈류속도를 구하고, 측정된 유속에 단면적을 곱하면 혈류량이 계산된다^[8]. 이때 혈류의 계산에는 경사자장을 두 번 걸어주는 방법으로 두 번째 경사자화는 움직이지 않는 핵의 경사자화를 원래의 공명 상태로 돌려놓지만, 혈류처럼 움직이는 핵에서는 원래 상태로의 복귀가 불가능하다. 그러므로 움직이는 핵의 위상 차이는 속도와 비례하며 이를 이용하여 혈류 속도를 측정하는 것이 가능하다. 영상에서의 단면적과 혈류량을 통해 대동맥과 폐동맥에서 심실 박출량 및 심박출량을 측정할 수 있으며 이는 Simpson's rule을 이용한 결과와 잘 일치한다. 이때 주의점은 항상 혈류의 방향과 수직인 면을 정확히 선택하여야 한다는 점이다. 그렇지 못하면 최대 유속이 작게 측정된다. 비후성 심근증에서 좌심실 유출로의 가장 높은 유속을 보기 위해서는 좌심실 유출로와 평행한 단면을 선택하여 좌심실 유출로에서 가장 빠른 유속을 찾아야 한다. 또한 와류나 가속화되는 혈

류에 의한 신호 소실을 최소화하기 위해서는 에코시간을 4ms이하로 하여야한다^[9]. Alising현상은 velocity encoding을 혈류의 최대 유속보다 작게 설정할 경우 발생하는데, 최근의 MR장비는 10m/sec까지 velocity encoding을 설정할 수 있으며, 이는 심한 대동맥 협착증에서도 측정이 가능한 속도이므로 대부분의 경우 alising이 일어나지 않는다. 이 방법을 이용하면 최고 유속에서의 압력차를 계산할 수 있고 따라서 판막의 역류도 쉽게 정량화 할 수 있다.

심박출 계수는 수축기말에 있어서 심장의 기능을 평가하는 가장 흔히 사용되는 변수이다. 심박출 계수는 구획율 이라고도 하고, 식 1에 의해 계산되며 정상적인 심박출계수의 범위는 남·여 모두 56~78%이다. 본 연구에서는 arrhythmia 환자 1명을 제외하고는 모두 정상치 이내의 수치를 보였다(table 1, 2). 심박출계수가 40%이하일 때를 비정상상으로 간주하고 있으며 이와 관련된 일차적인 기저질환으로 관상동맥 질환, 심장 판막질환, 심근증, 고혈압성 심부전 등에서 기인된다고 한다. 그러므로 심박출 계수는 좌심실의 운동성을 총체적으로 평가하는 변수가 되지만, 동시에 흔히 볼 수 있는 허혈성 심장질환이나 일차적인 심근관련 질환과 같은 국소적인 수축성 이상에는 신중한 적용이 요구된다.

현재까지 MR을 이용하여 심박출계수를 측정하고 이를 통해 좌심실의 수축성을 평가하는데 있어서는 현재는 다소의 제한점을 가지고 있다. 특히 short axis 단면상에서 좌심실 벽의 가장자리의 ROI를 설정할 때 프로그램에 의해 자동으로 인식하는 것에 비해 주관적인 수작업에 의존하는 것이 아직까지는 더 정확한 측정이 되는데, 이는 조작자의 주관적 오차를 내포하고 있다. 본 연구의 경우에서도 이러한 오차를 줄이기 위해 조작자가 5회를 측정하고 최대치와 최소치를 제외한 3회의 값을 평균하여 이용하였다. 따라서 MR을 이용한 심박출 계수 측정에 있어서 수축기와 이완기의 좌심실의 ROI를 보다 정확하고 객관적으로 설정하는 것이 심박출계수의 측정에 매우 중요하다 할 수 있으며 검사 후 잘못된 심박출계수의 측정은 환자에게 심각한 위해를 초래 할 수 있으므로 향후 각 질환별로 심초음파나 LV Angiogram등에서 얻은 심박출계수의 측정치와 비교하여 그 유효성을 증명할 필요도 있

다.

본 연구는 MR을 이용하여 심장의 기능을 평가하는 실험적인 연구로서 좌심실의 심박출계수를 구하는데 있어 반복되는 수작업과 그에 따라 증가되는 검사시간이 환자와 검사자 모두에게 부담을 줄 수 있기 때문에 대표적인 한 단면에서 얻은 심박출 계수 값이 전체 단면을 대표할 수 있다면 6~7 단면을 반복적으로 면적을 구하고 박출량을 구해야 하는 번거로움을 덜 수 있고, 또한 검사시간도 대폭 줄여 환자에게 빠른 시간 안에 심실기능에 관한 정보를 제공하는 것이 그 목적을 두었다. 심박출계수의 변동에 관한 기존 문헌에 따르면 심박출 계수는 사람에 따라 다소 차이는 있으나 안정기 때에도 최대 10%까지도 변동이 있을 수 있다고 보고 된 바 있다. 본 연구의 결과를 살펴보면 좌심실의 가장 가운데 단면을 선택하는 것이 세 단면, 다섯 단면이나 전체 단면을 모두 측정할 결과 치와 최대 4% 이내의 변동을 보여 본 연구의 목적대로 좌심실의 가운데 한 단면만으로도 심박계수의 측정이 가능할 것으로 생각된다. 정확한 통계적 근거를 위해서는 피험자 마다 여러 차례의 단면별 심박출계수를 구하여 단면별 심박출계수를 분산 분석하여 통계적으로 평균치와 가장 차이가 없는 것을 선택하여야 하지만 본 연구에서는 피험자들에게 1차례만 심박출 계수를 구하였기 때문에 통계적 결과치를 얻지는 못하였다. 정상인의 경우와 환자의 경우 모두에서 3번 단면의 평균치가 전체 평균치에 가장 가까운 값 들을 보였다. 따라서 가장 가운데 단면의 심박출 계수가 심장 전체의 심박출 계수를 어느 정도는 대표한다고 할 수 있을 것 같다. Nikolay 등의 연구에서도 MRI를 이용한 심박출 계수를 구하는 연구에서도 가장 가운데 쪽의 단면을 대표로 삼은 것은 본 연구의 결과를 뒷받침 한다고 볼 수 있다^[8]. 본 연구의 결과는 cardiac MR을 이용하여 심박출계수를 구하고 이를 바탕으로 심장의 기능을 평가하고자 하는 많은 이들에게 보다 간편하고 편리한 검사방법이 될 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 피험자들에게 통계적으로 유의할 만큼의 반복된 데이터를 얻을 수 없었다는 점이고 둘째, 보다 다양한 심장질환을 가진 환자를 대상으로 하지 못하였다는 점과 셋째, 조작자에 따라 주관적일 수 있는 오차의 범위를 정하지 못하였다

는 점 등이 있다. 향후 이러한 제한점들을 보완하고 초음파의 결과와 차이를 비교해 볼 수 있다면 보다 객관적인 자료가 될 수 있을 것이다.

결론적으로 cardiac MR을 이용하여 심박출계수를 구함에 있어 좌심실 중심부 한 단면을 선택하여 확장기와 수축기의 면적을 측정하고 심박출계수를 구한 경우가 여러 단면을 측정하여 심박출계수를 구하지 않고서도 심장 전체의 심박출계수를 대표할 수 있다고 사료된다.

참고문헌

- [1] Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, et al. Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet*, Vol 357, pp.599-603, 2001.
- [2] Achenbach S, Giesler T, Ropers D, et al. Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography. *Circulation*, Vol. 103, pp.2535-2538, 2001.
- [3] 안신기, 이문형, 김성순 공편. 심장부정맥 Diagnosis PSVT with Surface Electrogram 77-89, Clinical and Electrophysiologic characteristics with WPW Syndrome 67-76
- [4] Clinically Optimized cardiac MRI. Protocols for 2002b Software, Siemens Medical Solutions May 2003.
- [5] Jarnie W, Peter H. AN IMAGING ATLAS OF Human Anatomy. Abrahams pp.96-101.
- [6] Higgins CB, Byrd 3rd BF, Farmer DW, et al. Magnetic resonance imaging in patients with congenital heart disease. *Circulation*, Vol. 70, pp.851-860, 1984.
- [7] Barkhausen J, Ruehm SG, Goyen M, et al. MR evaluation of ventricular function: true fast imaging with steady-state precession versus fast low-angle shot cine MR imaging: feasibility study *Radiology*, Vol. 219. pp.264-269, 2001.
- [8] Pattynama PM, De Roos A, Van der Wall EE, et al. Evaluation of cardiac function with magnetic resonance imaging. *Am Heart J*, Vol. 128, pp.595-607, 1994.
- [9] Nikolay P, Nikitin MD. Normal age-and sex-Related values of left ventricular volumes, myocardial mass and Ejection Fraction obtained with cardiac Magnetic Resonance using Fiesta Imaging *Journal of cardiovascular magnetic resonance*, Vol. 265, pp. 163-165, 2004.