

Tagline 간격의 조절을 통한 SPAMM 영상에서의 Tagging 대조도 대 잡음비의 변화

연세대학교 의과대학 BK21 의과학사업단*, 방사선의과학연구소*, 진단방사선과학교실†

강원석* · 최병욱* † · 최규옥* † · 이상호* † · 홍순일* † · 정해조* † · 김희중* † †

MR영상에 Spatial Modulation of Magnetization (SPAMM)과 같은 tagging 기법을 이용하여 심근의 움직임을 분석하여 임상에 적용하려는 많은 노력들이 이루어지고 있다. Tagging 대조도는 자동 tag-line 검출 알고리즘을 사용하는 경우, 그 정확도에 영향을 미칠 수 있으며, 이는 tag-line들 간의 간격에 의해 영향을 받을 수 있다. 본 연구의 목적은 SPAMM 영상에서 tag-line 간격과 tagging 대조도와의 관계를 생체내 연구를 통해 알아보고자 하였다. 두 명의 건강한 지원자를 대상으로 1.5T MR 시스템에서 SPAMM 기반의 ECG triggered MR 영상을 획득하였다. 영상을 획득할 때, 먼저 3.6 mm에서 9.6 mm 사이의 간격을 가지는 수평 tagging stripe pattern의 tag-line을 가하였다. 심실의 영상은 심장주기가 진행되는 동안 field echo EPI (FE-EPI) 기법을 이용하여 심실 중간 부분에서 얻었다. 각 영상에 대한 tagging contrast-to-noise ratio (CNR)는 IDL을 이용한 프로그램을 사용하여 측정하였다. 분석 결과는, 심근의 수축이 진행되는 동안, tag-line 간격이 좁은 경우 CNR은 급격한 감소를 나타내었으나, 간격이 넓은 경우에는 CNR 감소 현상이 보이지 않았다. 같은 심장 위상에서, CNR은 tag-line 간격이 넓어짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 특히, 완전히 수축한 심장 위상에서는, CNR의 변화가 다른 위상일 때와 비교해서 그 증가율이 높음을 알 수 있었다. 이러한 양상은 움직임을 없는 다른 주변 조직에서는 관찰되지 않았다. 결론적으로, 본 연구에서는 tagging 대조도가 tag-line 간격 및 심근의 수축에 영향을 받을 수 있음을 알 수 있었으며, 앞으로 정확한 심근 움직임 연구를 위한 기초 자료로 쓰여질 수 있을 것이라 생각된다.

중심단어: Myocardial tagging, Tagline spacing, SPAMM, CNR

서 론

좌심실근의 움직임을 측정하는 것은 심근의 비정상적인 움직임을 유발할 수 있는 심근경색과 같은 허혈성 심장질환을 진단하는데 있어서 대단히 중요하다¹⁾. 이러한 이유로 인해 현재까지 심실근의 움직임을 측정하기 위하여 여러 가지 방법들이 제시되어져 왔다. 이들 중 비침습적으로 심근의 움직임을 측정할 수 있는 방법으로써는 심초음파가 많이 사용되고 있으나, 자기공명영상장치(MRI)는 그보다 더 우수한 해상도를 가지면서 노이즈가 적은 영상을 제공하여 정밀한 분석이 가능한 장점을 지닌다²⁾. 그러나,

일반적인 MR 영상에서는, 심근내에 그 움직임을 추적할 만한 표시(landmark)가 되는 해부학적구조물이 없으므로, 그 영상의 분석만으로는 심근의 부분적인 움직임을 정확하게 보여주지는 못한다. 그리하여, Spatial Modulation of Magnetization (SPAMM)과 같이 심근에 tagging을 하는 기법이 개발되어 정확하게 심근의 움직임 관찰을 가능하게 하였고, 현재 많은 종류의 tagging 방법이 사용되고 있다. 최근에는, 그러한 tagging 영상을 이용한 자동적인 tag-line 검출 알고리즘이 개발되어, 심근의 움직임을 보다 빠르고 정확하게 분석할 수 있게 되었다^{3,4)}. 이 알고리즘에서는 tag-line의 정확한 위치를 검출하는 것이 중요하며, 이는 tagging contrast-to-noise ratio (CNR)과 관련이 있다고 한다. 만약 tag-line간의 간격이 줄어든다면, tagging 대조도는 tag-line의 profile이나 시스템의 해상도 등에 의해 감소하게 될 것이다. 그러나, 현재 많은 연구 그룹에서는 더 정확한 심근의 움직임 관찰을 위해 정해진 면적의 심근에 대해 적용되는 tag-line의 밀도를 높이기

이 논문은 2002년 11월 7일 접수되어, 2002년 11월 11일 채택됨
본 연구는 연세대학교 BK21 의과학사업단의 지원에 의하여 이루어진 것임.

통신저자: 김희중, (120-752) 서울시 서대문구 신촌동 134
연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실
Tel : 02)361-5753, Email : hjkim@yumc.yonsei.ac.kr

강원석 외 6인 : Tagline 간격의 조절을 통한 SPAMM 영상에서의 Tagging 대조도 대 잡음비의 변화

위한 많은 노력을 기울이고 있다⁵⁾. 하지만, 실제 임상 환경에서는 tagging 대조도가 심근의 움직임에 의해 영향을 받을 가능성이 크다. 본 연구의 목적은 생체내 상태에서 심근의 움직임을 고려한 tagline 간격에 따른 tagging CNR의 변화를 측정하여 앞으로의 tagging 기법을 이용한 심근의 움직임 연구에서 tagging 간격에 대한 기준을 제시하고자 한다.

대상 및 방법

심장에 대한 병력을 가지지 않고 현재 심장에 이상 소견이 없는 건강한 지원자 2명(남자:2명, 연령:26, 27세)에 대해 electrocardiography (ECG) triggered SPAMM 기반의 tagging 펄스 시퀀스를 적용하여 MR 영상을 획득하였다.

1. 영상의 획득

영상을 획득하기 전에, 3.6, 4.8, 6.0, 7.2, 8.4, 9.6 mm 간격의 수평방향 stripe pattern tagline을 가하여 각각의 영상을 획득하였다. 스캔은 각각의 tagline 간격(spacing) 조건에 대하여 한번의 심장주기가 진행되는 동안 심실 중간 부분에서 단축방향(short-axis)으로 획득되었다. 이 때 tagline의 두께(thickness)는 MR 시스템에 의해 자동적으로 조절되도록 설정하였다. 영상은 FE-EPI (TR/TE = 5.8/2.2msec, FA = 10° slice thickness = 8 mm, scan resolution = 256×256, FOV =300 mm)를 이용하여 연속적으로 19초에 걸쳐 획득하였으며, 본 연구에서는 촬영 시간을 단축시키기 위한 SENSE (Sensitivity Encoding)

기법이 사용되었다. 모든 영상의 획득은 1.5T Gyroscan Intera (Philips Medical System, Netherlands)를 이용하였다.

2. CNR의 측정

DICOM 파일로 모든 얻어진 영상은 PC로 전송되었고, IDL을 이용하여 tagging CNR을 분석하였다. IDL 프로그램에서 특정 ROI (region of interest)에 대하여 그 내부의 픽셀들에 대한 평균값이나 표준편차의 자동적인 계산을 지원한다(Fig. 1). Tagging CNR을 계산하기 위하여, 심근 내에서 tagging 된 부분과 그렇지 않은 부분에서 ROI를 설정하여 영상의 잡음 정도(noise level)와 tagging 대조도를 각각 계산하였다. 잡음 정도는 영상의 주위배경에서 신호강도들의 표준편차(σ_n)로부터 구하였다. Tagging 대조도는 tagging 된 부분과 되지 않은 부분에 대해 ROI를 정하고, 그 내부의 평균값들을 구한 다음, 그 두 부분의 평균값의 차이(C_t)로써 계산하였다(Fig. 2). 마지막으로, tagging 대조도와 잡음 정도는 수식 1에 의해서 tagging CNR을 산출할 수 있었다. 이 과정은 모든

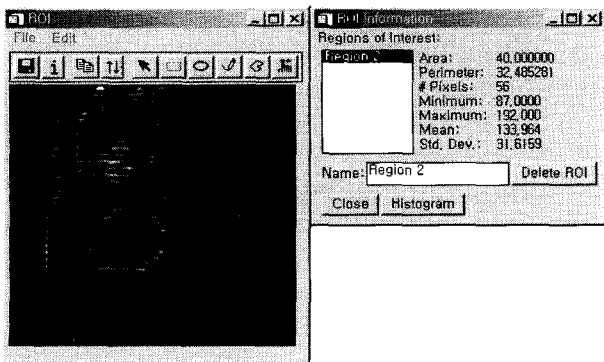


Fig. 1. Window of CNR measurement software using IDL.

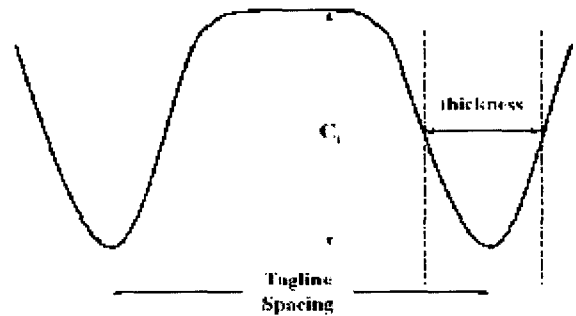
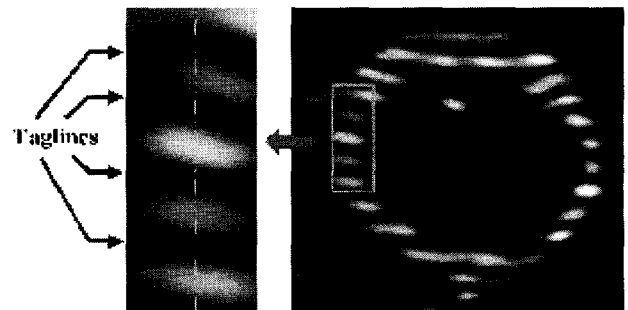


Fig. 2. Illustrations of taglines and C_t , their spacing, and thickness with profiles.

심장 위상(cardiac phase)의 모든 tag-line 간격 조건 영상에 대해 반복적으로 수행되었다. 또한, 수축하지 않은 조직에 대해서도 위의 과정을 반복 수행하여 수축한 심근의 결과와 서로 비교 분석하였다.

$$CNR = \frac{C_t}{\sigma_n} \dots\dots\dots (1)$$

결 과

영상 전체에서, tagging 대조도는 모든 tag-line 간격의 조건에서나 심장 위상이 경과될수록 전반적으로 감소하는 추세를 보였으며, 같은 심장 위상에서는 tag-line간의 간격이 넓어질수록 증가함을 알 수있었다(Fig. 3a). 이는 수축

이완운동이 반복되는 심근에서만 아니라 비교대상인 움직이지 않는 주변 조직에서도 같은 양상이 관찰되었다(Fig. 4a).

그러나, 심근의 경우, 수축이 진행되는 동안에는 tag-line 간격이 좁은 조건에서 CNR이 더 많이 감소됨을 알 수 있었고, 수축이 끝나고 이완이 이루어지는 시기에는 별다른 변화 없이 그대로 유지됨을 알 수 있었다. Tag-line 간격이 넓은 경우에 tagging CNR은 심장 위상 초기의 수축기간 동안에 특별한 기울기의 변화 없이 꾸준히 감소해감을 보였다. 또한, 심근에서는 운동성이 없는 주변 조직에 비해 비교적 CNR의 변동이 심하였다(Fig. 3a).

반면, 움직임이 없는 주변 조직에서는 tag-line 간격에 관계없이 CNR은 심근의 수축에 의한 신호의 급격한 감

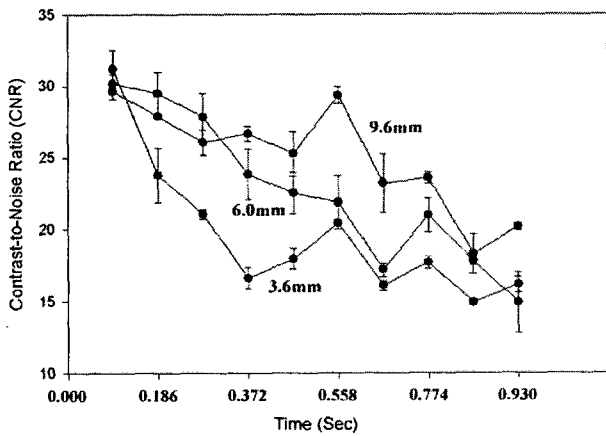


Fig. 3. (a) Variation of tagging CNR as a function of time in the cardiac cycle (myocardium).

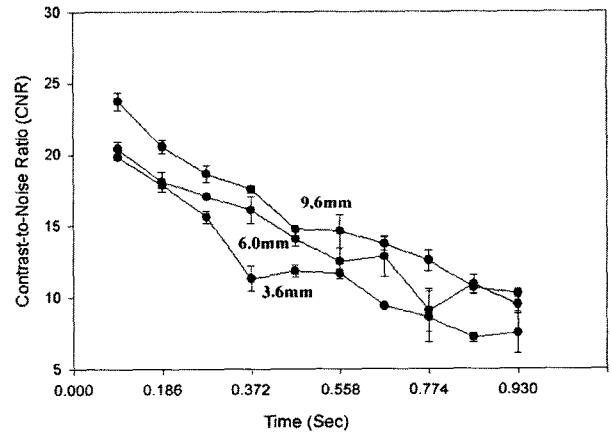


Fig. 4. (a) Variation of tagging CNR as a function of time in the cardiac cycle (non-contracting tissue).

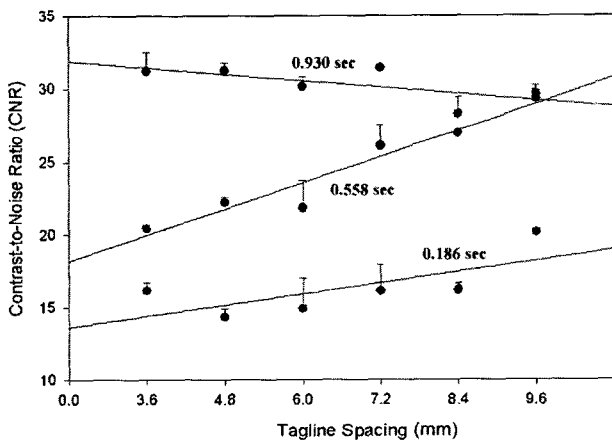


Fig. 3. (b) Variation of tagging CNR as a function of tagline spacing (myocardium).

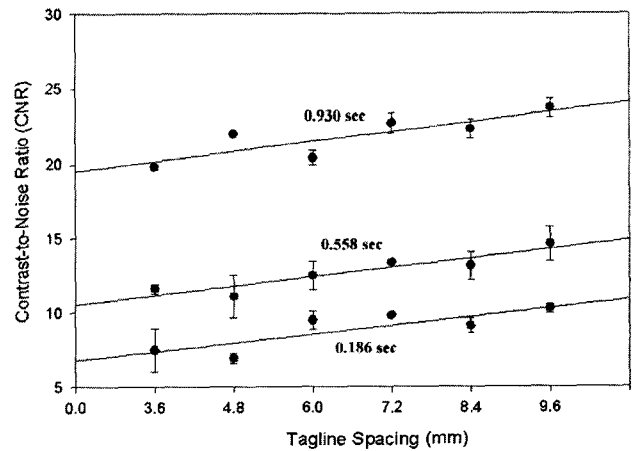


Fig. 4. (b) Variation of tagging CNR as a function of tagline spacing (non-contracting tissue).

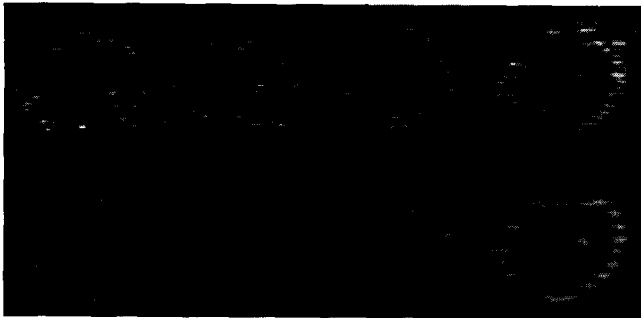


Fig. 5. SPAMM image series acquired from a healthy volunteer. In case of narrow tagline spacing (upper row), images show more rapid fading of signal than in case of wide tagline spacing (lower row).

소 없이 일정한 기울기로 줄어들음을 알 수 있었다(Fig. 4a).

같은 심장 위상에서 tagline 간격에 따른 CNR의 변화는 운동성을 가지는 심근에서는 완전히 수축한 위상에서 tagline간의 간격에 따른 CNR의 차이가 큰 것을 알 수 있었다(Fig. 3b). 그러나, 움직임이 없는 주변 조직에서는 그러한 양상을 보이지 않았으며, 심장 위상에 관계없이 일정하게 변화감을 관찰할 수 있었다(Fig. 4b). 또한, 움직임이 없는 조직에서는 CNR의 변동폭이 전반적으로 적음을 알 수 있었다.

토의 및 결론

SPAMM과 같은 MRI를 이용한 여러 종류의 심근 tagging 기법들은 시간이 경과할수록 tagline의 fading이 심해져서 그 위치의 검출이 힘들 정도가 된다는 사실은 잘 알려져 있다⁶⁾(Fig. 5). 이들 tagline들의 fading 원인은 tagging을 위해 영상을 얻기 이전에 suppression되었던 자기 스핀들의 시간경과에 따른 이완 때문이다. 이들 fading은 또한 flip angle과 같은 tagging 파라미터나 tagline 간격에 의해서도 영향을 받을 수 있다. 이전의 다른 연구에서는, 시간절약 및 정확도의 향상을 위해 쓰여지는 자동 tagline 검출 알고리즘에서 보여질 수 있는 오차의 원인들에 대해서 언급된 적이 있었다⁴⁾. 그들은 자신들의 논문에서 오차 원인이 tagging CNR과 관련이 있음을 밝혔다. 즉, tagging CNR이 낮아질수록 오차 원인은 그에 반비례하여 증가한다는 것이었다. 그들은 5보다 낮은 tagging CNR에서는 정확한 tagline을 검출이 힘들어진다고 주장하였다.

그러나, 그들은 단지 tagline의 두께와 관련된 변화만을 관찰했을 뿐, tagline의 간격과 관련된 내용은 언급하지 않았다. 그리고, 그 연구의 경우에는 움직임이 없는 팬텀을 이용한 연구였으므로, 심장과 같이 움직임이 있는 실제영상에서의 CNR의 변화는 고려되지 않았다. 본 연구에서는, 실제로 임상연구에 적용될 수 있는 데이터를 얻고자 생체내 상태에서 움직이는 심장을 대상으로 연구를 진행하였으며, tagline 간격에 따른 CNR의 변화를 측정하여 tagline 밀도를 어느 정도까지 높일 수 있는가에 대한 해법을 찾고자 하였다.

본 연구에서의 모든 결과는, 기존에 제시되었던 CNR 수치의 하한선에 비하면 높은 수치였다. 이는 본 연구에서 상업화된 MR 시스템을 사용하였으며, 그것은 모든 조건이 최적화된 상태여서 그런 것이라 생각된다. 그러나, 조밀한 간격의 tagline 조건에서는 심근의 수축이 진행되는 동안 움직임이 있는 조직에서는 급격한 CNR의 감소를 보였다. 그리고, 완전히 수축된 심장 위상에서는 tagline 간격에 따른 CNR의 변화의 폭이 다른 위상에 비해 큰 것을 알 수 있었다. 이 결과는 심근의 수축이 tagline의 간격이 좁은 경우 tagging CNR에 더 많은 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. CNR의 변동폭도 심근이 움직일 경우는 움직이지 않는 부분에 비해서 큰 것을 알 수 있었다.

본 결과의 원인으로 생각할 수 있는 것은, MR 영상에서는 그 영상의 최소 단위가 voxel이며, tagline 간격이 좁은 경우 tagging된 voxel이 인접한 tagging 되지 않은 voxel과 심근의 수축에 의해 겹쳐지면서 그 신호가 상쇄된 것으로 생각될 수 있다. 결론적으로, tagline의 간격은 tagging CNR에 영향을 미칠 수 있으며, 심근의 움직임 또한 tagging 간격이 좁은 경우 더 많은 영향을 미칠 수 있으므로, 자동 검출 알고리즘을 이용한 심근의 움직임 측정을 수행함에 있어서는 이에 대한 적절한 대비가 필요할 것으로 생각된다. 아울러, 자동 tagline 검출의 정확도에 영향을 미칠 수 있는 다른 인자들에 대한 연구도 생체내 상태에서 추가적으로 수행하여 실제적으로 쓰일 수 있는 tagline의 최소간격을 규정하는 연구가 필요할 것이다.

참고 문헌

1. Grossman W, Assessment of regional myocardial

- function. *J Amer Coll Cardiol* 7(2):327-328 (1986)
2. Osman NF, Prince JL, Visualizing myocardial function using HARP MRI. *Phys Med Biol* 45:1665-1682 (2000)
 3. Guttman MR, Prince JL, McVeigh ER, Tag and contour detection in tagged MR images of the leftventricle *IEEE Trans. on Medical Imaging* 13(1): 74-88 (1994)
 4. Atalar E, McVeigh ER, Optimization of tag thickness for measuring position with magnetic resonance imaging, *IEEE Trans. on Medical Imaging* 13(1):152-160 (1994)
 5. Milan Sonka, Fitzpatrick JM, *Handbook of Medical Imaging*, SPIE PRESS, Bellingham, WA (2000), pp.676-710
 6. McVeigh ER, Atalar E, Cardiac tagging with breath-hold cine MRI *Magn Reson Med* 28:318-327 (1992)

The Variation of Tagging Contrast-to-Noise Ratio (CNR) of SPAMM Image by Modulation of Tagline Spacing

Won-Suk Kang^{*†}, Byoung Wook Choi^{†*}, Kyu Ok Choe^{†*}, Sang-Ho Lee^{**†}
 Soonil Hong^{**†}, Haijo Jung^{†*}, Hee-Joung Kim^{**†}

*Brain Korea 21 Project for Medical Sciences**, *Research Institute of Radiological Science[†]*,
Dept. of Radiology[†], *Yonsei University College of Medicine, Seoul, 120-752, Korea*

Myocardial tagging technique such as spatial modulation of magnetization (SPAMM) allows the study of myocardial motion with high accuracy. However, the accuracy of the estimation of tag intersection can be affected by tagline spacing. The aim of this study was to investigate the relationship between tagline spacing of SPAMM image and tagging contrast-to-noise ratio (CNR) in in-vivo study. Two healthy volunteers were undergone electrocardiographically triggered MR imaging with SPAMM-based tagging pulse sequence at a 1.5T MR scanner. Horizontally modulated stripe patterns were imposed with a range from 3.6 to 9.6 mm of tagline spacing. Images of the left ventricle(LV) wall were acquired at the mid-ventricle level during cardiac cycle with FE-EPI (TR/TE = 5.8/2.2 msec, FA = 10°. Tagging CNR for each image was calculated with a software which developed in our group. During contraction, tagging CNR was more rapidly decreased in case of narrow tagline spacing than in case of wide tagline spacing. In the same heart phase, CNR was increased corresponding with tagline spacing. Especially, at the fully contracted heart phase, CNR was more rapidly increased than the other heart phases as a function of tagline spacing. The results indicated that the optimization of tagline spacing provides better tagging CNR in order to analyze the myocardial motion more accurately.

Key words : Myocardial tagging, Tagline spacing, SPAMM, CNR