

확산 텐서 영상을 이용한 심장 근육 섬유 3D 가시화

김세근* · 장영걸** · 하성민* · 장혁재***

Visualization of Myocardial Fiber in the Pig Heart from Diffusion Tensor Magnetic Resonance Imaging (DTMRI)

Sekeun Kim*, Yeonggul Jang**, Seongmin Ha*, Hyuk-Jae Chang***

Abstract : The heart is composed of a helical network of muscle fibers. Understanding the structure of myocardium is very useful for figuring out the anatomical structure after heart failure and myocardial infraction. It is widely known that Diffusion Tensor Magnetic Resonance Imaging (DTMRI) is used to measure the heart fiber orientation. Three dimensional visualization of DTMRI image data could be useful to see the heart fiber orientation and structure. The purpose of this study is the reconstruction and visualization of the heart fiber structure using 2 methods.

1. 서 론

정상적인 심장 근육 섬유는 연속적인 나선형 구조로 이루어져 있다.⁽¹⁾ 심장 근육 섬유 내의 물 분자들은 확산 현상에 의하여 심장 근육 섬유의 방향을 따라 움직인다. 확산 텐서 영상 (DTMRI)은 물 분자에 반대방향의 크기가 같은 경사 자장을 가하여 신호가 감소되는 원리를 이용한 영상 기법이다. 확산 텐서 영상을 통해 물 분자의 확산 정도 (Anisotropy)를 알 수 있고 고유벡터 (Eigen vector)을 통해 섬유의 방향을 가시화할 수 있다.

심장 근육의 해부학적 구조를 파악하는 것은 심장의 병변에 따른 심장 근육 조직의 반응을 파악할 수 있어 중요한 요소로 작용한다. 심근경색, 심부전과 함께 심근 섬유의 나선형 구조에 변화가 발생한다고 알려져 있다.⁽²⁾

본 연구는 확산 텐서 영상을 이용하여 심근을 2 가지 가시화 모델을 통해 해부학적 구조를 파악하였다.

2. 본 론

확산 텐서 영상을 삼차원 가시화를 위해 각 복셀에서의 텐서 행렬을 구한 후 텐서 행렬로부터 고유벡터, 고유값을 획득한다. 텐서 행렬은 경사 자장을 가지지 않은 영상과 경사 자장을 가한 서로 다른 방향의 12개의 영상을 이용하여 획득하였다. 텐서 행렬은 Stejskal and Tanner Formula (1)을 이용하여 계산된다. 이로부터 고유값을 구하고 가장 큰 고유값을 가지는 주성분 고유벡터를 통해 가시화 한다.

$$S = S_0 e^{-bD} \quad (1)$$

$S = \text{measured signal}$
 $S_0 = \text{signal without diffusion gradients}$
 $b = b \text{ factor}$
 $D = \text{diffusion coefficient}$

고유값과 고유벡터를 이용한 2 가지 가시화 방법을 이용하여 심장 근육 섬유의 삼차원 시뮬레이션 모델을 통해 심장 근육 섬유의 해부학적 구조를 파악 하였다.

* 연세대학교 심장융합영상연구센터
 ** 연세대학교 의과대학 의과학과
 *** 연세대학교 의과대학 내과학교실 심장내과

2.1. DTMRI Image Data

본 연구에서는 실험용 돼지 심장을 이용하여 12방향의 서로 다른 경사 자장을 이용하여 확산 텐서 영상을 획득하였다. 실험용 돼지 심장은 포르말린을 채운 아크릴 용기에 보관되었으며 심장의 장축은 스캐너의 z축과 나란하게 놓여졌다. 영상 데이터는 세브란스 심혈관 병원에서 촬영되었고, 스캔 시간은 대략 2시간이 소요되었으며, 3T Trio Tim Siemens system (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany)을 이용하였다.

2.2. Visualization of Myocardium Fiber

각 복셀에 해당하는 텐서로부터 얻을 수 있는 고유 벡터와 고유값을 이용하여 타원 모델을 생성한다. 타원 모델은 고유값과 고유벡터에 따라 장축과 단축이 변하는 모습을 보인다. Fig 2.는 심장의 횡단면을 시물레이션 한 것으로 심외막(Epicardium)과 심내막(Endocardium)의 심근 섬유 방향이 다를 수 있다. Fig 2.(우)는 심외막에서 심내막으로 진행되는 방향의 타원 모델들을 확대한 영상이다. 심외막에서 심내막으로 진행하며 심장 근육 섬유의 방향이 반대방향으로 바뀌는 것을 볼 수 있다.

좌심실 심근 섬유의 삼차원 가시화를 통하여 나선형 구조를 쉽게 파악할 수 있으며, 일정한 각도로 진행되는 심근 섬유의 방향을 볼 수 있다. 후속 연구에서는 심근 섬유의 나선형 방향 각도 (Helix Angle)를 수치화하여 분석하고 섬유의 나선형 방향 각도와 심장 기능과의 연관성을 밝히는 연구를 진행하고자 한다. 삼차원 가시화는 C++와 Visualization Toolkit (VTK) 라이브러리를 이용하여 구현되었다.

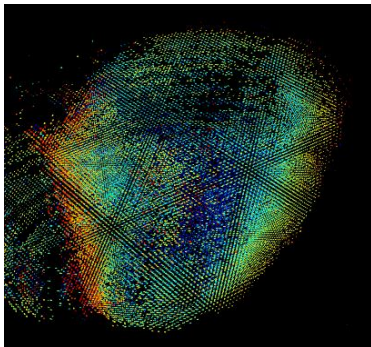


Fig. 1. 3D Ellipsoid Glyph Visualization of Myocardium

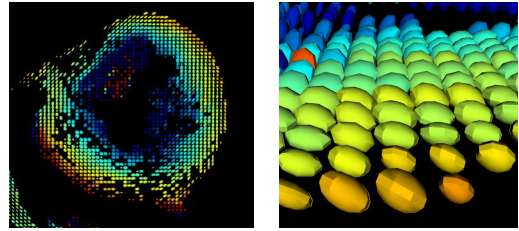


Fig 2. 3D Ellipsoid Glyph Model

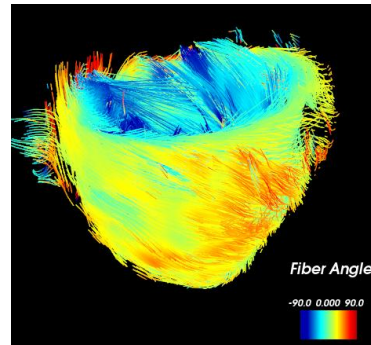


Fig 3. 3D Fiber Tracking Model Visualization of Myocardium

3. 결론

- 1) 심장 근육 섬유의 해부학적 구조를 삼차원 시물레이션을 하였으며, 다양한 가시화 모델로 삼차원 가시화를 진행하여 심외막(Epicardium)과 심내막(Endocardium)의 근육 섬유의 주행 방향을 살펴보았다.

참고 문헌

- (1) Streeter DD Jr, Spotnitz HM, Patel DP, et al. Fiber orientation in the canine left ventricle during diastole and systole. Circ Res. 1969;24:339 - 347.
- (2) David E Sosnovik, Ruopeng Wang, Guangping Dai, et al. Diffusion MR tractography of the heart.