

# 좌심방이 폐색 시뮬레이션을 위한 CTA영상 기반 Geometry 추출

전병환<sup>§</sup>, Dongjie Jia<sup>†</sup>, 박형복<sup>§§</sup>, Lucy Zhang<sup>†</sup>, 장혁재<sup>\*</sup>

## Left Atrium Extraction from Computed Tomography Angiography for Simulation of Left Atrial Appendage Occlusion

Byunghwan Jeon<sup>\*</sup>, Dongjie Jia<sup>†</sup>, Hyungbok Park<sup>\*</sup>, Lucy Zhang<sup>†</sup>, Hyuk-Jae Chang<sup>\*</sup>

**Abstract :** 본 논문은 좌심방이 폐색시술 역학 시뮬레이션을 위하여 CT영상으로부터 좌심방 및 좌심방이를 추출해내고, 자동으로 랜드마크를 추출하여 시뮬레이션 셋업을 위한 자동화를 목표로 한다. 이를 위한 시스템은 좌심방의 랜드마크를 자동으로 찾아내는 과정, 랜드마크의 위치들을 기반으로 좌심방 자동 분할과정, 유출입구부위의 자동 절삭과정을 다루고 있다. 본 연구는 유한요소해석을 위한 자동 셋팅이 가능하도록 하는 방법으로 새로운 시각의 연구주제가 될 수 있다.

## 1. 서 론

심혈관 질환은 세계적으로 사망원인이 가장 높은 질환이다[1]. 좌심방이는 심장내에서 가장 혈전이 잘 생기는 부위 중 하나이며 혈전은 혈류를 막아 여러 합병증을 발생시킬 수 있다. 좌심방이는 구조적인 문제로 인하여 혈전 발생을 야기할 수 있으며 크게 4 가지로 나누어질 수 있는 좌심방이의 형태 중 혈전발생빈도가 높은 형태가 정해져있다.

뇌졸중을 예방하는 방법으로 좌심방이를 물리적으로 폐쇄하는 방법이 있는데 디바이스를 이용하여 좌심방이의 입구부위를 완벽히 막는 방법이며, 이를 좌심방이폐색시술이라고 한다.

좌심방이폐색시술을 수행하기 전에 환자의 좌심방이 형태를 파악할 수 있는 방법으로 CT영상을 활용할 수 있다. 현재는 좌심방이의 형태를 임상의가 정성적으로 확인하고 시술진행여부를 확인하는 방법을 취하고 있으나, 이는 정량화된 시스템으로 시술진행여부를 결정하는 방법이 아니기 때문에 전문의의 주관적 결정에 달려있다.

좌심방이가 폐쇄되었을 때 혈류의 흐름이 정상적으로

돌아올 수 있는지에 대한 역학시뮬레이션은 이러한 정성적 과정들을 더욱 가시적이며 정량적인 수치로 제공할 수 있다. 학계에 보고된 바로는 이상화모델을 이용하여 좌심방이폐색을 위한 역학시뮬레이션을 수행한 사례만이 존재한다[2]. 또는 구조적 분석을 통하여 임상적 결과를 얻어낸 사례가 존재한다[3].

본 연구는 좌심방이폐색 시뮬레이션을 위하여 CT영상으로부터 환자맞춤의 좌심방 및 좌심방이를 추출해내고, 시뮬레이션 준비를 위해 유출입구의 자동절삭과정을 포함하고 있다.

시뮬레이션 준비를 위한 일련의 과정들을 포함하는 시스템은 역학분석을 신속하게 하는 데 도움을 주고, 향후 전체자동화 시뮬레이션을 수행하는데 첫 걸음이 될 것이다.

## 2. 본 론

### 2.1. 좌심방 랜드마크 지역화

\*연세대학교 의과대학, † 美 RPI 런셀러풀리텍,

§미래융합연구원(ICONS), 연세대학교

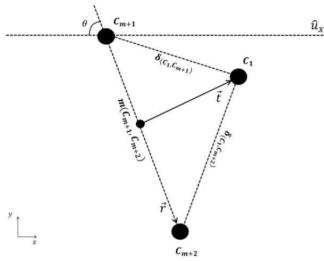


fig 1. 레퍼런스 물체를 이용한 영역이 불분명한 제3의 물체 지역화

3차원영상이 입력되었을 때, 좌심방의 랜드마크를 자동으로 검출하기 위하여, 두 개의 대동맥을 동시에 검출하는 방법[4]을 개선하였다. 는 방법으로 레퍼런스기반의 물체를 기반으로 Fig 1과 같이 두 개의 거리를 이용하여 2차원의 확률분포를 만들어낸다. T와 R은 각각 타겟물체와 참조물체들의 집합이다.

$$\begin{aligned}
 P(\mathcal{T} | I, \mathcal{R}) &= P(I, \mathcal{R} | \mathcal{T}) \cdot P(\mathcal{T}) \\
 &\propto P(I | \mathcal{T}) \cdot P(\mathcal{R} | \mathcal{T}) \\
 &= P(I | \mathcal{T}) \cdot \\
 &[P(r_1 | t_1) \cdot P(r_2 | t_1) \cdot \dots \cdot P(r_m | t_1) \\
 &\cdot P(r_1 | t_2) \cdot P(r_2 | t_2) \cdot \dots \cdot P(r_m | t_2) \\
 &\quad \vdots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\
 &\cdot P(r_1 | t_n) \cdot P(r_2 | t_n) \cdot \dots \cdot P(r_m | t_n)] \\
 &= \prod_{i=1}^n P(I | t_i) \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m P(r_j | t_i)
 \end{aligned} \tag{1}$$

확률분포 만들어 Posterior 구하는 방법은 수식 1에 잘 설명되어 있다. 레퍼런스가 주어졌을 때, 목표하는 물체를 구해내는 수식을 베이즈의 추론을 통하여 유도한 것이다. 2차원 확률밀도함수로 확률이 높은 지역을 z축을 따라 구하여 원하는 지역을 검출할 수 있다.

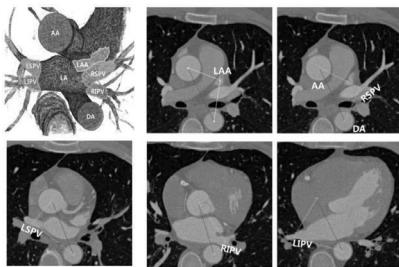


fig 2. 2D X-ray 조영영상에서의 혈관 영역화 결과

이러한 방법을 적용하여 Fig 2와 같이 4개의 폐정맥 및 좌심방의 위치를 지역화할 수 있으며 테이블3과 같은 정량적 결과를 얻을 수 있었다.

)

### 확률기반 좌심방 분할기법

이를 통하여 얻어진 각 랜드마크들의 위치를  $p_i$ 라고 할 때 수식 2와 같이 각 위치들의 평균을 구하여 심방의 중심에 근사할 수 있다.

$$\hat{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \tag{2}$$

아래 제안된 알고리즘은 근사된 심방의 중심점 하나로부터 심방으로 추정되는 점들을 포함해나가며 점차 심방의 영역을 형성해나가는 기법이다.

---

#### Algorithm 1 Left Atrium Segmentation

```

1: procedure 3D GROW REGION( $\mu_c, \sigma_c, p^*, \delta_0, l_0$ )
2:    $V \leftarrow 0$  //visit map is all set to zero
3:    $\delta_{p^*} \leftarrow 0$ 
4:   enqueue  $p^*$  to  $Q$  //Queue
5:   while  $|Q| \neq 0$  and  $\delta_{p^*} \leq \delta_0$  do
6:      $p^* \leftarrow$  dequeue an element from  $Q$ 
7:     insert  $p$  to  $C$  //a point set for LA region
8:     for 26 neighbors of  $p^*$  do
9:        $p \leftarrow$  one of the neighbors
10:       $\delta_p \leftarrow \delta_{p^*} + 1$ 
11:      if  $V(p) = 0$  and  $P(A|I) \geq l_0$  then
12:        enqueue  $p$  to  $Q$ 
13:        insert  $p$  to  $C$ 
14:        update  $\mu_c$  and  $\sigma_c$ 
15:         $V(p) \leftarrow 1$  //visit check
16:      end if
17:    end for
18:  end while
19:  Return  $C$ 
20: end procedure

```

---

알고리즘 1의 초기파라메터들 중  $p^*$ 는 앞서 정의된 추정된 심방의 중심점이 되며 나머지 파라메터들은  $\mu_c = 395.8 HU$ ,  $\sigma_c = 70.3$  으로 사용되었다. 최종적으로 얻어지는 집합  $C$ 는 3차원 점들을 포함하는 집합이되며 공간상에서 기하학적으로 좌심방의 모양을 형성하게된다.

### 2.1. 실험 결과

좌심방의 랜드마크 검출 정확도는 Tab 2와 같이 높은 정확성을 확보하였다.

Table 3: Quantitative Results for Five Locations

Method	LSPV	LIPV	LAA	RIPV	RSPV	average
Proposed (Public [?])	100%	100%	93%	100%	96%	98%
Proposed (Selected)	100%	94%	88%	100%	92%	95%
Vitrea (Public)	94%	97%	- %	97 %	81%	92%
Vitrea (Selected)	93%	89%	- %	96%	82%	90%
Hoffmann et al. [18], 2016	-	-	-	-	-	86%

Table. 2 각 랜드마크 검출의 정량적 결과

검출된 랜드마크들을 기반으로 자동 분할결과로 Fig 3는 역학계산이 가능한 메쉬격자 형태로 변환된 결과이다. 좌심방이 부분을 최대한 심방의 표면에 균사시켜 잘라내어 이를 폐색 후로 간주하였다.

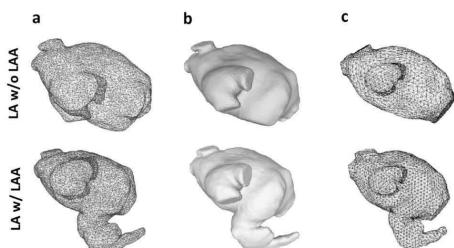


Figure. 3 좌심방 영역화 결과

Fig 4는 시뮬레이션 결과를 가시화 한 모습이며, 폐색을 가정하고 시뮬레이션한 결과 스트림라인의 굽은 정도가 폐색 전보다 부드러워졌음을 확인하였다.



Figure. 4 시뮬레이션 셋업 및 결과

### 3. 결 론

좌심방이 시뮬레이션을 위한 일련의 절차는 아직 학제에 보고되지 않았다. 환자맞춤의 역학시뮬레이션을 위해서 반드시 필요한 것은 영상을 기반으로 환자맞춤의 구조물을 얻는 과정이 필요하다. 구조물을 얻고, 시뮬레이션을 하는 방법은 좌심방이를 위한 것이 아닌 다른 부위를 시뮬레이션하는 시스템으로 존재해왔으나자동화라는 관점에서는 학제에서 심충적으로 다루어지지는 않았다. 최근 GPU의 발전으로 시뮬레이션을 수행하는 시간이 분단위로 줄어들고 있는 가운데 영상기

반의 구조물추출과 시뮬레이션계산에 이르기까지의 과정이 자동화될 수 있다면 의료현장에서도 즉시 계산하여 의미있는 정보를 제공될 수 있다. 본 연구는 궁극적으로 환자맞춤 역학시뮬레이션을 자동화하고자 심방의 랜드마크를 자동으로 검출하고 이들을 기반으로 분할을 하는 과정을 연구하였다. 다음 연구를 통하여 검출된 랜드마크를 기반으로 자동으로 유출입구의 절삭을 할 수 있는 알고리즘을 개발할 예정이다.

### 참고 문헌

- [1] Alan D Lopez, Colin D Mathers, Majid Ezzati, Dean TJamison, and Christopher JL Murray, "Global and regional burden of disease and risk factors, 2001: systematic analysis of population health data," The Lancet, vol.367, no. 9524, pp. 1747 - 1757, 2006.
- [2] Zhang, Lucy T., and Mickael Gay. "Characterizing left atrial appendage functions in sinus rhythm and atrial fibrillation using computational models." Journal of biomechanics 41.11 (2008): 2515-2523.
- [3] Chung, Hyemoon, et al. "Predicting peri-device leakage of left atrial appendage device closure using novel three-dimensional geometric CT analysis." Journal of cardiovascular ultrasound 23.4 (2015): 211-218.
- [4] Jeon, Byunghwan, et al. "Maximum a posteriori estimation method for aorta localization and coronary seed identification." Pattern Recognition 68 (2017): 222-232.