

Jaehong Hwang, Seungryong Cho

Department of Nuclear and Quantum Engineering, KAIST, Daejeon, South Korea

Introduction

치의학적 연구목적으로 박테리아의 영향으로 인한 치근치주염의 발달과정을 살피는것은 중요하다[1, 2]. 이를 정량적으로 파악하기 위해, 생쥐의 대구치 뿌리에 박테리아를 주입한 후 매주 micro-CT 를 촬영하여 volume 데이터를 얻는다. 하지만, 매주 쥐의 촬영 위치가 달라지는 점, 박테리아를 주입한 치아 뿌리 주변 영역과 타 영역과의 구별이 어려운 점으로 인해 치근치주염 영역을 정량적으로 분석하기 어려운 점이 있다. 본 연구에서는 이러한 volume 데이터를 정합하기 위해 mutual-information 기반의 affine registration 을 적용하였다. 또한, 치아 뿌리 주변 영역을 정확히 segmentation 하기 위해 k-means clustering 방법과 region growing 방법을 적용함과 동시에 치아의 형태학적 정보를 이용하여 segmentation 의 정확성을 높였다[3 – 5].

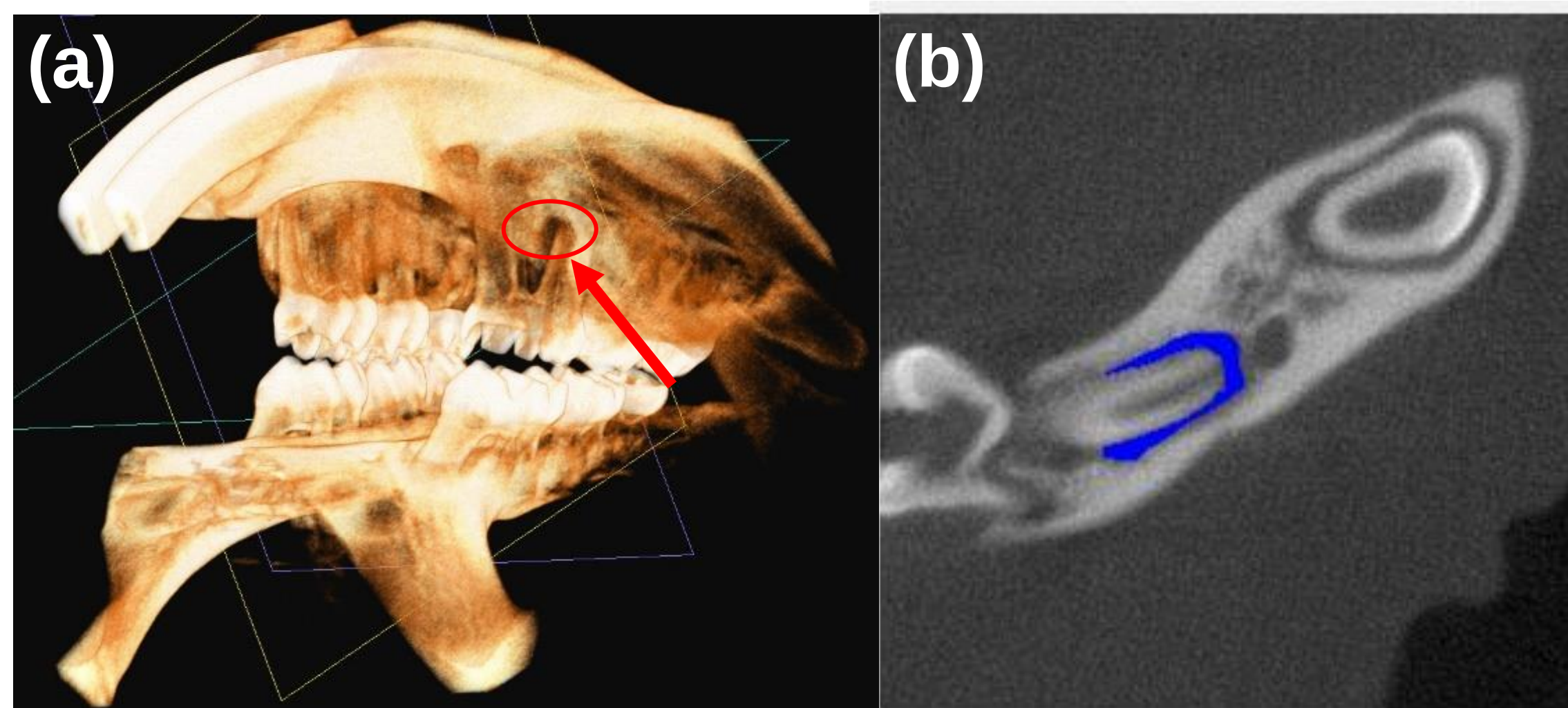


Fig. 1. Rat volume data with micro-CT (a), and periapical lesion at the molar teeth (대구치) (b)

Methods

쥐의 기간별 micro-CT volume 데이터를 정합하기 위해 mutual-information 기반 affine registration을 사용했다. 1주차 volume 데이터를 기준으로 2, 3, 4주차 volume 데이터를 정합하였다. Affine matrix는 (1)에서 표현되어 있고, fixed image (X_F)와 moving image (X_M)의 mutual-information은 (2)로 계산된다. Gradient descent 방법 (3)을 사용하여 A 를 최적화하였다.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & t_y \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \begin{matrix} \text{Rotation, Scaling Matrix} \\ \text{Translation Matrix} \end{matrix} \quad (1)$$

$$I(X_F, X_M) = \sum_{X_F, X_M} P(X_F, X_M) \log \left(\frac{P(X_F, X_M)}{P(X_F) \cdot P(X_M)} \right) \quad (2)$$

$$A_{opt} = \underset{A}{\operatorname{argmin}} \left(- \sum_{X_F, X_M} P(X_F, A \times X_M) \log \left(\frac{P(X_F, A \times X_M)}{P(X_F) \cdot P(A \times X_M)} \right) \right) \quad (3)$$

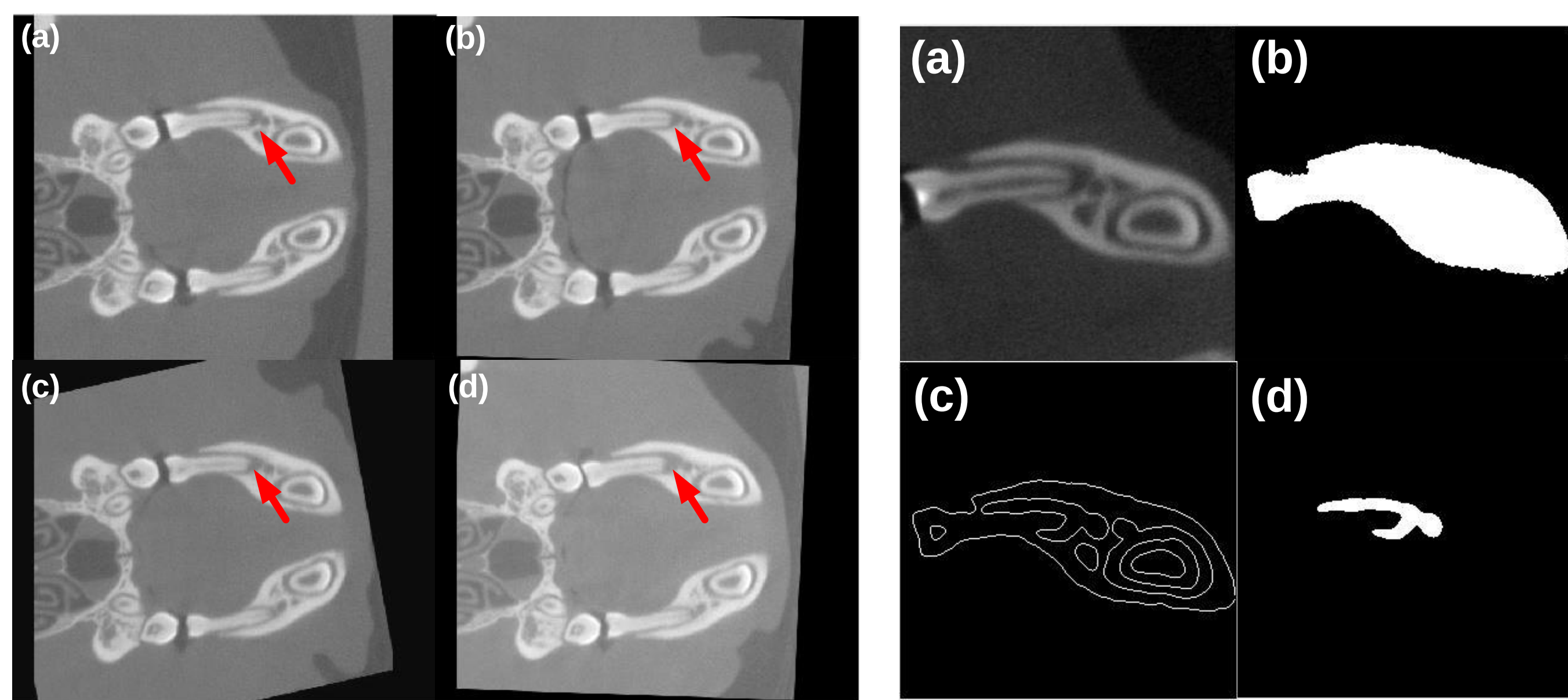


Fig. 2 (Left). Affine registered images from 1st week to 4th week. (a) 1st week, (b) 2nd week, (c) 3rd week, (d) 4th week
Fig. 3 (Right). Result images with K-means clustering algorithm (b), Edge detection algorithm (c), Region growing algorithm (d).

정합된 volume 데이터(Fig. 2)에서 K-means clustering 알고리즘을 이용해, background information 을 제거하였고, Region growing 알고리즘을 이용해, 치근치주염 영역을 segmentation 하였다(Fig. 3). 마지막으로, 치근단 영역의 형태학적 정보(Fig. 4)를 이용해 치아의 pulp region과 nerve region을 제거하여 segmentation 의 정확성을 높였다.

$$\text{Angle Map}(x, y) = \tan^{-1} \frac{\text{Sobel Y filtered Image}(x, y)}{\text{Sobel X filtered Image}(x, y)} \quad (4)$$

$$\text{Sobel X kernel} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{Sobel Y kernel} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

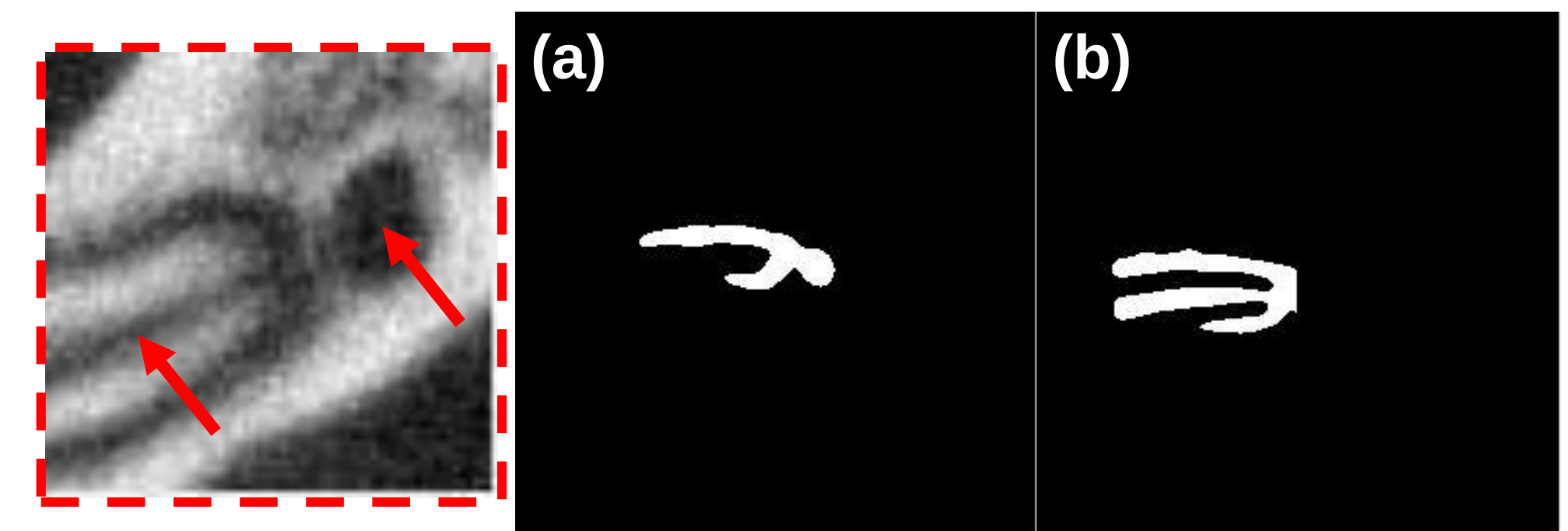


Fig. 4. Segmentation results combined with nerve region (a), with pulp region (b).

Fig. 4 (a)는, (4)를 이용해 tangential line 을 만든 후 local peak 를 찾아 제거하고, Fig. 4 (b)는, skeleton algorithm 을 이용해, pulp line 을 제거하였다 (Fig. 5).

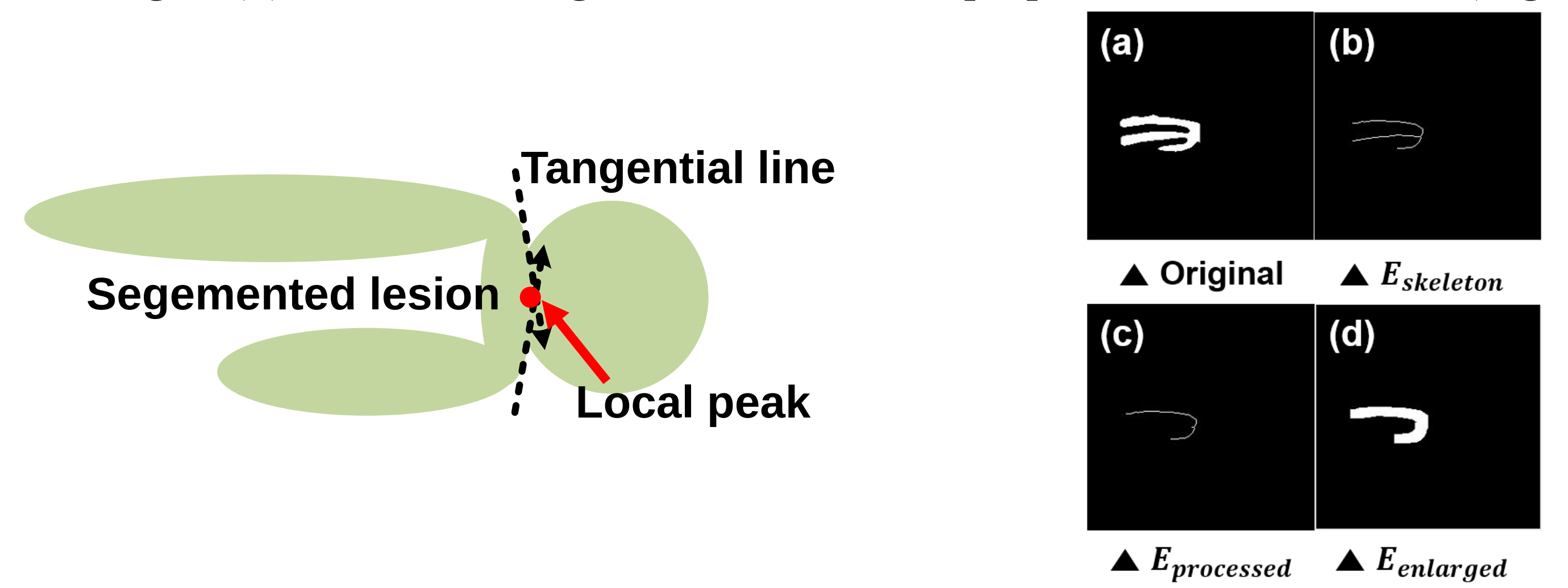


Fig. 5. Schematic drawing of the nerve region removal (left) and the pulp region removal (right).

Results

Segmentation 된 치근치주염 영역 크기를 1주차부터 4주차까지 계산하였다. 1주차부터 4주차까지의 치근치주염 영역 크기는 0.5401 mm³, 0.6747 mm³, 0.8007 mm³, 1.1660 mm³ 으로 계산되었다.

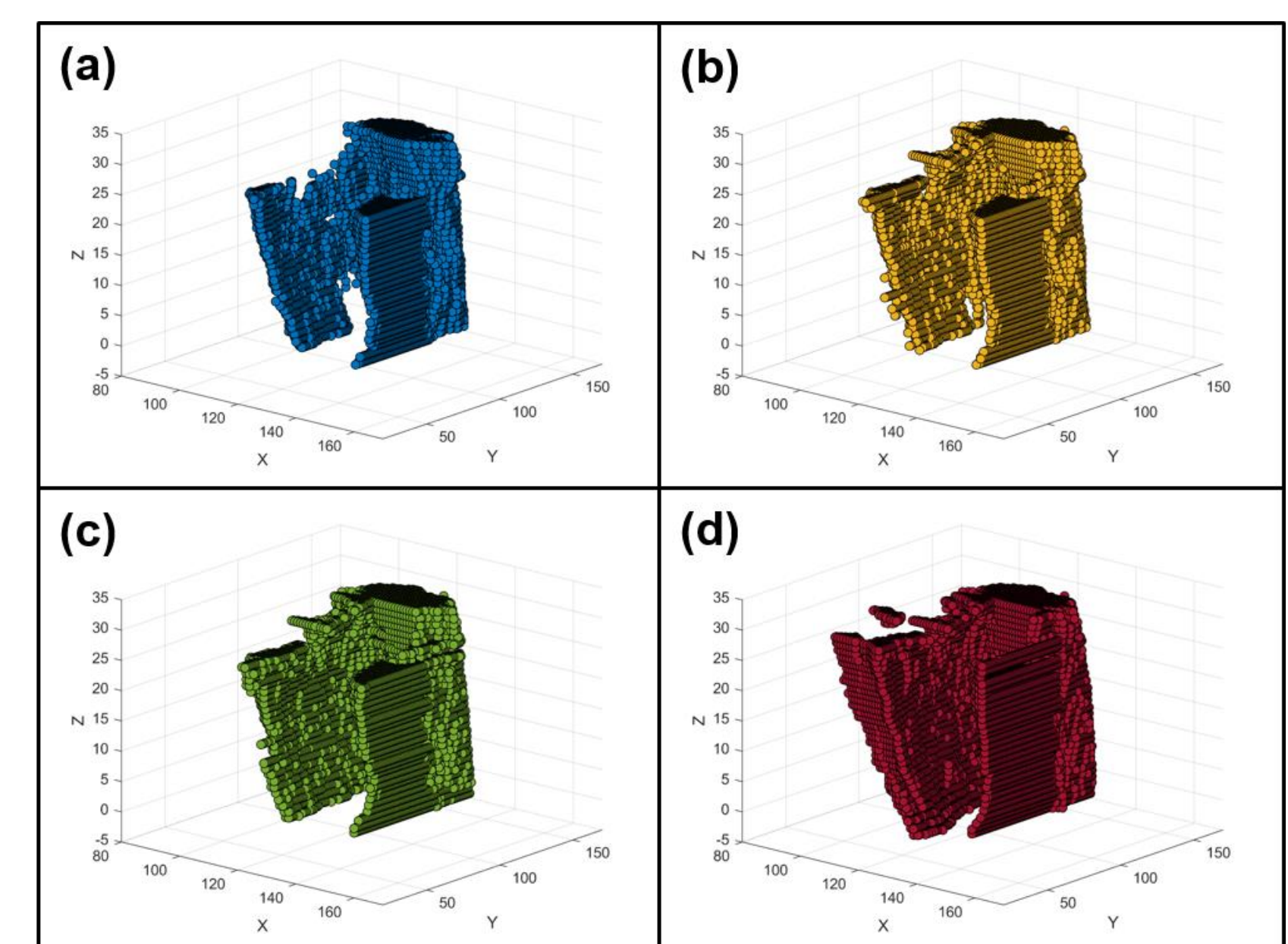


Fig. 6. Segmentation results of the periapical lesion from 1st week to 4th week.

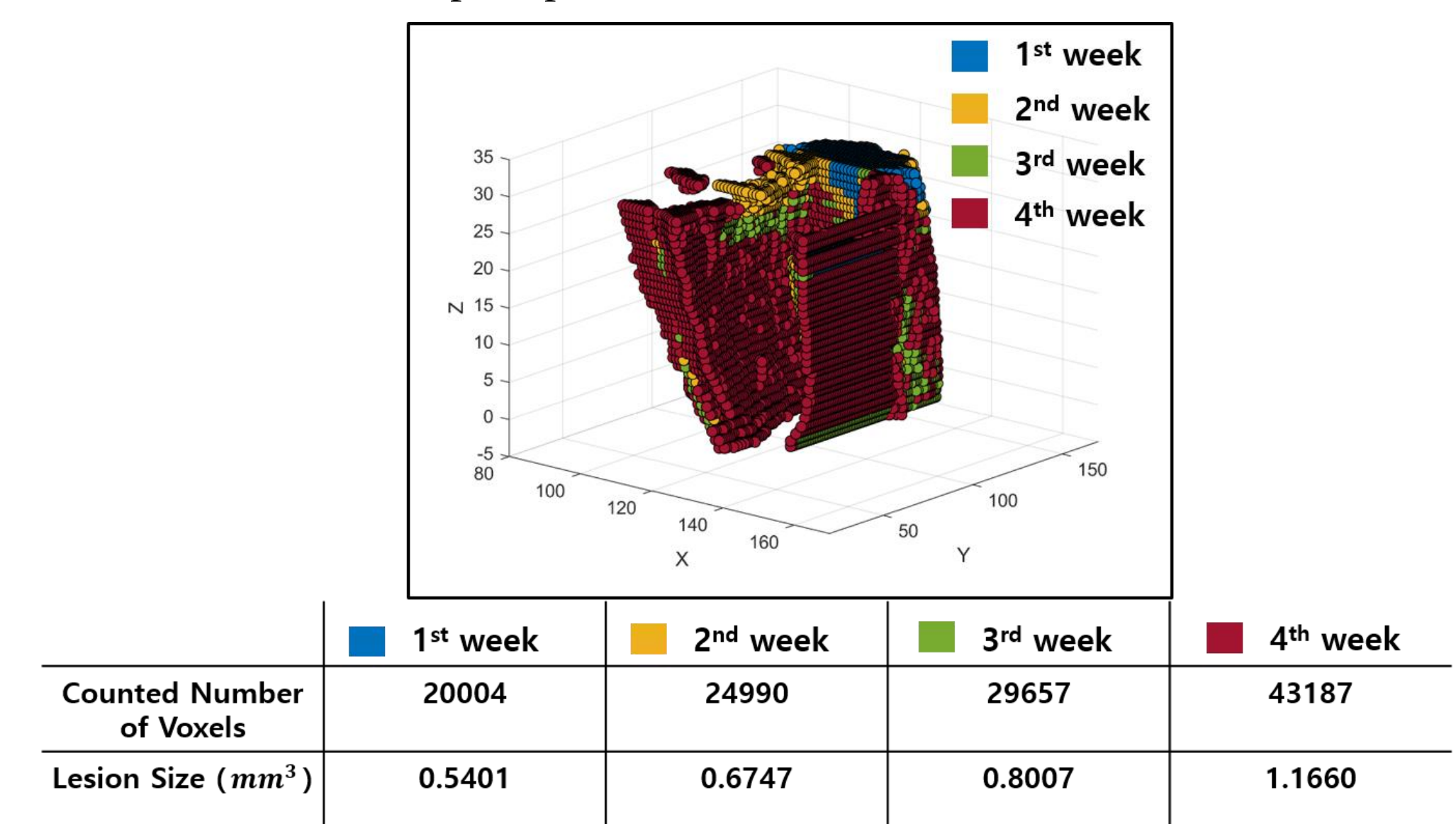


Fig. 7. Quantitative results of the segmented periapical lesion from 1st week to 4th week.

Discussion & Conclusion

본 연구에서는 mutual-information 기반의 affine registration 을 이용한 쥐의 기간별 volume data를 정합하였다. 또한, k-mean clustering 방법과 region growing 방법을 이용해, 치근치주염 의심 영역을 segmentation 하였다. 마지막으로 치아의 형태학적 정보를 이용해 신경관, pulp 영역을 제거하고 segmentation 결과의 정확성을 높여 정량적으로 치근치주염 영역을 계산하였다.

References

- Park, Ok-Jin, et al. "A Pilot Study of Chronological Microbiota Changes in a Rat Apical Periodontitis Model." *Microorganisms* 8.8 (2020): 1174..
- Ricucci, Domenico, and José F. Siqueira Jr. "Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings." *Journal of endodontics* 36.8 (2010): 1277-1288..
- Hore, Sirshendu, et al. "An integrated interactive technique for image segmentation using stack based seeded region growing and thresholding." *International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708)* 6.6 (2016).
- Halheit, Sabri, and Souad Benabdelkader. "Rigid Image Registration using Mutual Information and Wavelet Transform." *2018 International Conference on Signal, Image, Vision and their Applications (SIVA)*. IEEE, 2018.
- Khanmohammadi, Sina, Naiier Adibeig, and Samaneh Shanehbandy. "An improved overlapping k-means clustering method for medical applications." *Expert Systems with Applications* 67 (2017): 12-18.