

딥러닝을 이용한 MTM과 MC의 분할 및 3차원 상대 위치 관계 분류

천소영^{1*}, 양수², 최민혁², 유지용², 강세룡², 전보성¹, 김진¹, 김다엘¹, 이원진³

서울대학교 공과대학 협동과정 바이오엔지니어링전공¹

서울대학교 융합과학기술대학원 응용바이오공학과²

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학 교실³

Classification of 3D relative positional relationship between MTM and MC and segmentation using deep learning

Soyoung Chun^{1*}, Su Yang², Minhyuk Choi², Jiyong Yoo², Seryoung Kang², Bosoung Jeoun¹, Jin Kim¹, Dael Kim¹, Wonjin Yi³

Interdisciplinary Program of Bioengineering, Seoul National University college of Engineering, Seoul, Korea¹

Department of Applied Bioengineering, Graduate School of Convergence Science and Technology, Seoul National University, Seoul, Korea²

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry and Dental Research Institute, Seoul National University, Seoul, Korea³

*soyljh@snu.ac.kr

Abstract

Extraction of the mandibular third molar (MTM) is the commonly performed operation in the field of oral and maxillofacial surgery. However, damage to the Mandibular canal (MC) may occur as a complication during MTM extraction. Proximity and buccal/lingual relation are the most important factors to minimize nerve damage. Therefore, it is essential to classify the relative positional relationship as well as to confirm its structure.

In this study, we proposed a deep learning based automatic method to segment MTM and MC in CBCT images and classify their relative positional relationship. We used Unet-based Dense121Unet, which is often used for segmentation of medical images, for MTM and MC segmentation, and proposed Signed Distance Transform (STD) and 3DCNN method to classify positional relationships.

1. 연구 배경

외과적 수술에 있어 합병증을 최소화하기 위해 치과 분야에서는 술전 영상 검사로써 보편적으로 파노라마 방사선사진을 촬영한다. 그러나 파노라마 방사선사진은 해부학적 구조물이 중첩되어 보이며 3차원적 위치관계를 파악할 수 없다. 이에 비하여 CBCT는 MDCT에 비해 방사선조사량 및 비용이 적으며 3차원적 위치 정보를 명확하게 보여준다는 장점이 있다.

하악 제3대구치(Mandibular third molar, MTM) 발치는 구강악안면외과 영역에서 가장 흔히 시행되는 수술이다[1]. 하지만 MTM과 하악관(Mandibular canal, MC)의 근접성과 제3대구치의 일반적이지 않은 위치로 인하여 발치 시 합병증으로 하치조신경의 손상이 발생할 수 있다.

따라서, 하치조신경 손상의 위험도를 평가하고 성공적인 수술을 위한 치료 계획을 위해서 MC와의 상대적인 협설 위치관계를 분류함은 물론 그 구조를 확인하는 것은 필수적이다. 그러나 CBCT는 대비도와 균일도가 낮기에 영상에서 MC의 위치 및 경로를 식별해내기 어렵고, 시간 또한 많이 소요된다.

따라서 본 연구의 목적은, CBCT 영상에서 MTM과 MC를 분할하고, 그 둘의 상대적인 위치 관계를 분류하는 자동 방법을 제안하는 것이다. 우리는 MTM과 MC의 분할을 위해 의료영상의 분할에 자주 쓰이는 Unet[2] 기반의 Dense121Unet을 사용하였으며, 위치 관계의 분류를 위해 Signed distance transform(STD)[3]과 3DCNN 방법을 제안하였다.

2. 연구 방법

본 논문에서는 MTM과 MC의 분할을 통해 상대적 위치 관계를 자동으로 분류하는 딥러닝 방법을 제안하였으며,

전체적인 워크플로우는 <그림 1>에서 확인할 수 있다. 자동 분류를 위한 첫 번째 단계로 CBCT에서 MTM과 MC의 분할을 수행한다. 두 번째 단계로는 예측된 MTM과 MC의 분할을 이용해 3차원 디스턴스 맵을 만든 후 환자별 CBCT 볼륨과 함께 인풋으로써 사용, 상대적 협설관계의 분류를 수행한다.

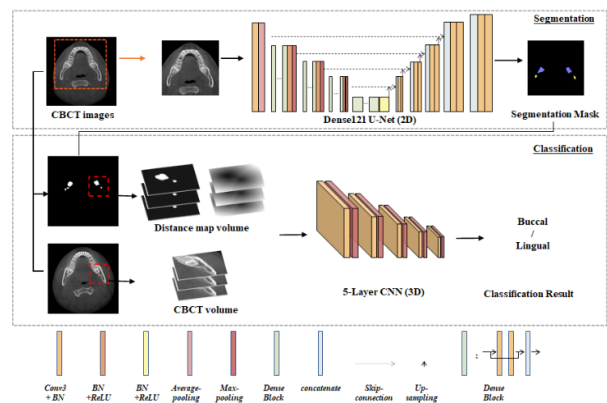


그림 1. 딥러닝을 이용한 MTM과 MC의 상대적 위치 관계 분류 방법

MTM과 MC의 다중 분할은 Dense121Unet을 사용하여 CBCT 수평면 이미지에서 수행되었다. 512x512 크기의 CBCT 이미지에서 양측의 제3대구치와 하악관은 동시에 분할된다. Unet의 인코더-디코더 구조는 공간 정보를 활용하여 MTM과 MC의 의미론적 분할을 수행할 수 있도록 한다. 이에 더하여 Dense121Unet은 특징 맵을 재사용하여 vanishing gradient를 개선하고 feature propagation을 강화하는 Dense121Net[4]을 unet의 백본에 적용한

네트워크이다.

분할 후에는 양측에서 동시에 분할된 제3대구치와 하악관 각각을 서로 다른 볼륨으로 나누고 관심 영역인 MTM과 MC 사이 관계를 집중할 수 있게끔 분할 영역을 이용해 ROI를 지정해 준다. 256x256x3 크기의 볼륨으로 각 환자의 좌/우측 ROI를 만들어 볼륨으로 추출한다.

분류에서 우리의 관심사는 MTM과 MC의 구조물 모양 자체보다 두 해부학적 구조물의 상대적 위치 관계이다. 따라서 예측된 MTM과 MC 분할 결과를 반전시켜 SDT 방법을 적용한 3차원 Signed distance map(SDM)을 CBCT와 함께 분류에 사용, 5-layer의 3차원 CNN을 이용하여 딥러닝 자동 협설 분류를 수행하였다.

분할과 분류는 학습의 과적합을 피하기 위하여 상하이동, 회전, 확대, 수평반전 등의 방법을 적용하여 데이터를 증강하였다. 분할은 초기 학습률을 0.001, 분류는 0.01로 고정하고 Adam 최적화기를 사용하여 최적화했다. 8개의 미니 배치를 구성하여 150 Epoch 동안 훈련되었고 훈련 손실 함수는 분할은 Dice coefficient(DSC), 분류는 Categorical crossentropy(CE)를 사용하였다.

본 연구에서는 서울대학교 병원에서 획득한 50명의 MTM이 존재하는 환자의 하악 CBCT 영상을 사용하였다. Train, validation, test는 각각 24명, 8명, 18명으로 나누어 딥러닝 네트워크의 훈련에 사용되었다.

본 연구에서는 분할성능 평가 지표로 Dice coefficient(DSC), Precision(PR), Recall(RC)을 사용하였고, 분류성능을 평가 지표로 Sensitivity(Sen), Specificity(Spec), Accuracy(Acc)를 사용하였다.

3. 연구 결과

본 논문에서는 Dense121UNet을 이용해 CBCT 영상 내에서 MTM과 MC를 동시에 분할하여 그 성능을 평가하였다. 다중분할의 결과는 <표 1>에서 다이스 계수 기준으로 MTM의 분할 성능은 0.927 ± 0.108 , MC의 분할 성능은 0.874 ± 0.074 임을 수치적으로 확인 가능하다. 이는 <그림 2>에서 영상 내 겹침 정도를 통해 가시적으로도 확인 가능하다. 대부분의 영역이 겹쳐 있는 것으로 미루어 보아 가시적으로도 MTM과 MC를 딥러닝 다중분할 방법으로 성공적으로 예측하였음을 알 수 있다.

이에 더하여 분할 결과는 <그림 3>처럼 3차원 재구성이 가능하다. 본 연구를 통해 딥러닝 다중분할을 이용하여 3차원 의료 영상에서 3차원적 재구성을 통해 MTM과 MC의 협설관계를 분석할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다.

표 2. Dense121UNet을 이용한 MTM과 MC의 분할 성능

Network	DSC		Precision			Recall	
	MTM	MC	MTM	MC	MTM	MC	
Dense121 Unet	0.927±0.108	0.874±0.074	0.931±0.104	0.893±0.092	0.940±0.109	0.869±0.111	



그림 2. Dense121UNet을 이용한 MTM과 MC 분할 성능 (2D)

Segmentation model	Model Input											
	Binary Mask			CBCT & Binary Mask			Distance Map			CBCT & Distance Map		
	Acc	Sen	Spec	Acc	Sen	Spec	Acc	Sen	Spec	Acc	Sen	Spec
Dense U-Net	0.84	1.00	0.55	0.71	1.00	0.18	0.84	0.90	0.73	0.92	0.85	0.90

표 2. 3DCNN을 이용한 MTM과 MC의 상대적 위치 관계 분할 결과

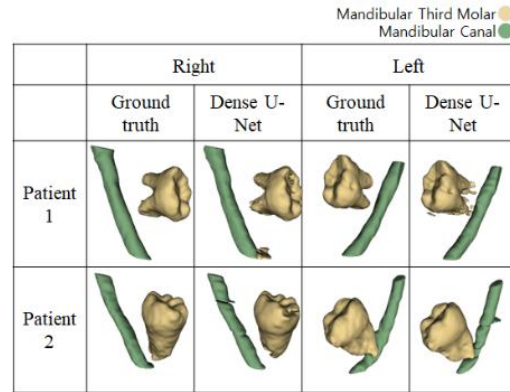


그림 3. Dense121UNet을 이용한 MTM과 MC 분할 성능 (3D)

한편, MTM과 MC의 딥러닝 예측 결과를 이용한 협설 자동 분류의 성능은 <표 2>를 통해 확인할 수 있었다. 총 2개의 class로 분류가 진행되었으며 Sensitivity가 0.88, Specificity가 0.89, Accuracy가 0.89로 확인되었다. 케이스를 확인한 결과 MTM과 MC의 분할 성능이 협설 관계 분류에 큰 영향을 끼쳐 분류 성능이 분할 성능에 의존적임을 분석할 수 있었다. 두 오브젝트가 성공적으로 분할되지 못한 경우-하악관의 연결성이 좋지 못한 경우가 대부분임-MTM과 MC 사이의 거리가 정답과 동떨어지게 측정되는 등의 오류가 있음이 확인되었다. 대부분의 경우, 하악관의 피질골의 특성이 명확하지 않은 환자들에게서 이와 같은 오류가 발생하였다.

본 논문에서는 Dense121UNet을 이용한 딥러닝 segmentation을 수행하였으며 예측된 MTM과 MC 분할 마스크를 활용한 SDM 방법 및 3DCNN 방법을 통해 MTM과 MC의 협설관계를 평가하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법으로 MTM과 MC의 분할에 성공했으며 협설 관계의 분류도 가능함을 결과를 통해 확인할 수 있었다. 하지만 학습에 사용된 데이터의 수가 적으며 분할 성능에 의존되는 분류 성능의 특성으로 미루어 보아 앞으로의 연구에서 데이터의 추가와 분할 성능의 개선 및 새로운 분류 알고리즘을 개발할 예정이다.

4. Acknowledgements

This work was supported by the Korea Medical Device Development Fund grant funded by the Korea government (the Ministry of Science and ICT, the Ministry of Trade, Industry and Energy, the Ministry of Health & Welfare, the Ministry of Food and Drug Safety) (1711137883, KMDF_PR_20200901_0011, 1711138289, RS-2020-KD00014).

5.참고 문헌

- [1] Sayed, N.; Bakathir, A.; Pasha, M.; Al-Sudairy, S. J. S. Q. U. M. J., Complications of Third Molar Extraction: A retrospective study from a tertiary healthcare centre in Oman. 2019.
- [2] Ronneberger, Olaf, Philipp Fischer, and Thomas Brox. "U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation." International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. Springer, Cham, 2015.
- [3] Q. . -Z. Ye, "The signed Euclidean distance transform and its applications," 9th International Conference on Pattern Recognition, 1988
- [4] Huang, Gao, et al. "Densely connected convolutional networks." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2017.