

삼차원 재건 기술을 이용한 모의 이물 탐색

인제대학교 의과대학 상계백병원 이비인후과 교실,¹ 홍부외과학교실²

유 영 삼¹ · 김 동 원²

Detection of Simulative Foreign Body Using three Dimensional Reconstruction Technique, Introduction and Application

Young Sam Yoo and Dong Won Kim

¹Departments of Otolaryngology Head and Neck Surgery, ²Thoracic and Cardiovascular Surgery, Sanggye Paik Hospital, College of Medicine, Inje University, Seoul, Korea

Background and Objectives Detailed information about the impacted esophageal foreign body is essential for safe extraction. Three dimensional reconstruction technique was applied to know shape, size and location of the simulative foreign bodies of stone, hyoid bone and endotracheal tube.

Materials and Methods Submandibular gland stone, hyoid bone and endotracheal tube were used to simulate impacted foreign bodies. Axial CT, multi-planar reconstruction, volume of interest and virtual camera of Rapidia software were used to get information about the simulative foreign bodies from CT data. Shape and size were compared with the real materials. Exact locations were measured in appropriate modes of Rapidia.

Results Shapes of the simulative foreign bodies matched well with the real materials. Size and location could be measured in various modes with some variable results.

Conclusion 3D technique can be applied to get information about the simulative foreign bodies. This technique could be applied to the impacted esophageal foreign body.

Korean J Bronchoesophagol 2011;17:40-45

KEY WORDS 3D reconstruction · Esophagus · Foreign body.

서 론

인체에 발생하는 이물은 여러 종류가 있다. 생기는 기전은 다양한데, 외력에 의해 피부를 뚫고 인체에 들어 오거나 입이나 기타 다른 개방된 통로(opening)를 통해 들어오는 두 가지이다. 이비인후과적으로는 입을 통하여 식도나 기도로 이물이 발생하는 경우가 가장 많다. 어느 경우라도 이물은 신체 내에서 이물반응을 비롯한 염증 반응을 만들고 심한 경우 천공 등의 합병증을 유발하므로 신속한 진단 및 제거를 해야 한다. 진단은 병력 청취를 통한 의심으로 시작되며 식도내시경이나 기

관지 내시경을 통한 검사 및 X-ray촬영을 비롯한 영상의학적인 진단과정이 필요하게 된다.^{1,2)} 이물은 발생 순간부터 염증 반응이 생기고 이물주변으로 염증을 동반한 부종이 생기며 분비물이 발생하여 이물이 조직 안에 매몰되게 된다. 이런 경우 육안이나 내시경을 이용한 관찰이 불가능해지고 CT를 비롯한 X-ray촬영을 해야 그 영상을 얻을 수 있게 된다. 뼈와 같은 방사선 불투과성(radio-opaque)인 재료는 단순 엑스선 촬영에서도 보이는 경우가 많고 CT를 활용하면 입체적인 영상을 만들어 관찰할 수도 있다. 일반적인 CT자료는 평면이지만 최근에는 삼차원 재건 기술로 CT자료를 입체적인 영상으로 변환하여 관찰할 수 있게 되었다.³⁾ 이 기술은 가상 내시경이 가능하도록 발전하였지만 앞서 언급한 매몰된 이물에서는 가상 내시경을 적용할 수 없다.⁴⁾ 매몰된 이물은 일반적인 위식도 내시경으로도 진단이 어려운 경우가 많다. 또한 식도 이물의

논문접수일: 2011년 4월 22일 / 심사완료일: 2011년 6월 14일

교신저자: 유영삼, 139-707 서울 노원구 상계7동 761-1

인제대학교 의과대학 상계백병원 이비인후과학교실

전화: 02-950-1104 · 전송: 02-935-6220

E-mail: entyoo@empal.com

경우는 발생 즉시 내과에서 위식도 내시경으로 진단 및 치료까지 이루어져서 합병증이 없는 한 식도이물 환자에서 CT촬영을 하는 경우는 드물다. 이에 저자는 매몰된 식도 이물에서 삼차원 재건 기술을 이용하여 이물의 입체적인 정보를 얻는 방법을 찾고자 하였고 식도 이물의 CT사진을 확보하기 어려우므로 모의 이물 역할을 할 재료를 찾아 보았다. 대부분의 이물은 방사선 불투과성이므로 이와 유사하게 방사선 불투과성인 인체 내 해부학적 혹은 병적인 구조물이나 의료기구 중의 하나인 설골, 악하선 결석, 기도삽관용 튜브 3가지를 모의 이물로 삼기로 하였다. 모의 이물을 대상으로 CT촬영 자료를 수집하여 삼차원 재건 기술을 다양하게 활용하고 모의 이물의 모양, 크기, 위치를 파악할 수 있는 방법을 찾아보고자 본 연구를 시행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 IRB심의가 면제된 후향적인 연구로 대상은 총 2명으로 하였다. 연구 대상은 좌측 악하선 결석으로 수술 받은 35세 여자, 호흡 곤란으로 내원한 55세 남자를 각각 선정하였다. 호흡 곤란 환자는 기도 삽관을 한 상태였고 환자에서 촬영한 CT를 활용하여 설골, 기도내 삽관된 튜브 등 2가지의 특성을 동시에 찾아보는 자료로 삼았다. 악하선 결석 환자의 CT는 neck CT였고 Aquillion(Toshiba, Japan)기종으로 Neck-helical-CE-3-phase하에 120 KVP, Exp 100, ST=2, Z=1, L=50, W=300의 조건으로 정수리에서 흉골(sternum) 상부(쇄골부위)까지 촬영하였다. 호흡 곤란 환자는 chest CT를 Navigator(Simens, Germany)기종으로 Chest_CE 모드 하에 KVP=120, Exp 90, ST=2, Z=1, L=32, W=400의 조건으로 촬영하였다.

모든 CT자료는 Dicom형식으로 변환하여 저장하였다. 삼차원 재건 기술을 사용하고자 영상 재건 소프트웨어인 Rapidia 3D v2.8(Infinit, Korea)을 사용하였다. 이물질과 주위 구조물을 구별하는 역치는 +500 HU로 잡았다. Rapidia에서 대상물의 입체적인 정보를 알아내기 위해 다음의 4가지 기능을 활용하였다.

Axial CT는 모든 CT에서 기본적으로 제공되는 영상으로 사용하였다. MPR(Multi-planar reconstruction, 다중평면재구성)은 CT를 구성하는 평면 사진 중에서 특정 부위를 지정하고 그 면을 중심으로 일정 두께안에 있는 평면자료를 모두 합쳐서 만들어진 CT의 평면사진이다. 원하는 부위의 자료가 합쳐지면 더 명확한 영상을 얻을 수 있다. MPR처리하는 axial를 기준으로 coronal, sagittal, oblique, paraaxial 등의 영상으로 재구성하였고 대상물에 따라 그 특성을 가장 잘 나타낼 수 있

는 평면 및 두께(thickness)를 선택하여 axial CT와 같이 보여주었다. VOI(volume of interest)는 3차원의 물체 내부를 가시화하기 위해 개발된 모형화 기법으로 물체를 미소한 정육면체나 미립자로 표현하는 기술인 volume rendering 기법을 기준으로 CT자료를 점 자료인 voxel의 모임으로 입체적으로 표현하고 3차원적으로 표현된 입체자료 중 두 개의 평행한 평면 사이에 있는 볼륨만을 부분적으로 렌더링한 결과가 3D Volume Rendering 화면으로 나타나는데 Axial CT 혹은 coronal, sagittal CT에서 임의 두께를 갖는 평면 사이를 지정한 후 역치를 조절하여 원하는 대상물의 삼차원 영상을 만들었다.

Virtual camera(가상 카메라)는 Rapidia에서 가상 내시경에 사용하는 카메라 모양의 아이콘인데, 가상 카메라 아이콘의 화살표가 향하는 곳을 내시경 화면으로 보여 주며 가상 카메라로 대상물을 적절한 위치에서 촬영한다. 이 때 역치를 +500 HU 전후에서 조절해가면서 대상물의 내부 혹은 외부의 표면이 잘 보이도록 설정하여 만들어진 영상을 캡처 후 저장하였다.

앞의 방법을 사용하여 2명의 환자로부터 나온 CT를 바탕으로 악하선 타석, 설골, 기도내 삽관된 튜브에 대한 axial CT, MPR image, VOI image, virtual camera로 촬영한 image를 만든 후 각각의 대상물 별로 모양, 크기, 위치, 방향성에 관한 특성을 잘 나타내는 영상을 고른다.

앞에서 만들어진 영상들은 대상물 별로 정리한 후 모양, 크기, 위치 등을 기준으로 검토하였다. 모양의 검토는 결석에서는 시술 후 제거한 결석의 사진과 비교하였다. 설골과 기도내 삽입된 튜브는 실물 모델과 비교하였고, 크기는 가로, 세로 크기를 측정하여 실물의 측정치와 직접 비교하였다. Axial CT와 MPR은 평면상에서 측정하였고 VOI나 가상 카메라 촬영 영상은 3D 및 평면 모드에서 측정하였다. 대상물의 위치는 하악골 하단의 내측 정중앙점을 기준으로 직선거리, 각도 등을 측정하였다. 대상물의 방향성(Orientation)은 삽관된 튜브에서만 기관지를 중심으로 어느 방향으로 튜브가 놓여 있고 튜브의 곡면은 어느 쪽으로 휘어 있는지 등을 검토해보았다.

결 과

악하선 타석의 Axial CT나 MPR에서는 평면상에서 타석의 모양이나 위치를 잘 보여 주었다. VOI 영상에서는 두 평면 사이에 있는 volume자료만 보이고 다른 부위는 삭제 되어 타석의 모양을 더 잘 보여 주었다. 가상 카메라 영상에서는 카메라를 타석에 근접시켜 타석의 모양을 자세히 볼 수 있었다. 측정은 타석이 구형 혹은 계란형이라 VOI나 가상카메라 영상에서는 길이나 거리 측정이 부정확하였다. Axial CT나 MPR에서는 평면상 직선 거리를 측정하므로 측정치는 비교

적 정확하고 적출한 타석의 영상 자료와 비교를 하여도 유사한 모양과 수치를 보였다(Table 1, Fig. 1).

설골의 Axial CT에서는 설골이 낮 모양으로 보였다. MPR에서는 중첩되는 영상의 두께를 5~20 mm로 조절하면 설골의 입체적인 모양이 나왔다. 동시에 갑상연골의 모습도 중첩되어 상호 위치 관계를 알 수 있었다. VOI에서도 원하는 두 평면을 지정하여 그 사이의 volume만을 선택하면 입체감 있는 설골의 모양을 얻을 수 있었다. 동시에 갑상 연골의 영상도 얻어졌다. 갑상연골의 경우는 칼슘 밀도가 높아 골화가 많이 된 경우는 설골과 같이 뚜렷하게 보였다. 가상 카메라를 사용하면 역치 조절을 적절히 하여도 주변의 척추와 조영된 혈관도 보

이게 된다.

설골의 경우에도 길이나 거리 측정은 axial CT나 두께를 1 mm로 지정한 MPR에서만 정확도가 보장된다. Volume 데이터를 처리한 VOI나 가상 카메라 영상은 정확도는 떨어졌다 (Table 2, Fig. 2).

기관지 삼관 튜브의 Axial CT에서는 튜브가 원형으로 보였다. MPR에서는 중첩할 평면의 두께를 지정하는 것 보다는 1 mm 기본 조건으로 하여 sagittal view를 보는 것이 튜브의 모양이나 위치, 방향을 파악하는데 도움이 되었다. VOI에서 평면 사이에 놓일 두께를 적절히 조절하면 주변 조직은 제거되

Table 1. Characteristics of simulative foreign body (SMG stone)

	Submandibular gland stone			
	Shape	Size (mm)	Location (mm)	Orientation
Axial	Good	10.7×8.2	52.25	Good
MPR	Good	nc	nc	Good
VOI	Good	1015×6.59	49.11	Good
Virtual camera	Good	9.48×6.64	54.79	Good

Size: Width×height (mm), Location: Distance from the center of the mandible, nc: Can not measure

Table 2. Characteristics of simulative foreign body (Hyoid bone)

	Hyoid bone			
	Shape	Size (mm)	Location (mm)	Orientation
Axial	Good	43.84×nc	nc	Good
MPR	Good	nc	nc	Good
VOI	Good	44.08×12.09	37.3	Good
Virtual camera	Good	35.38×12.19	39.59	Good

Axial: Axial CT, MPR: Multi-planar reconstruction, VOI: Volume of interest, Virtual camera: Image on virtual endoscopy, Size: Width×height (mm), Location: Distance from the center of the mandible, nc: Can not measure

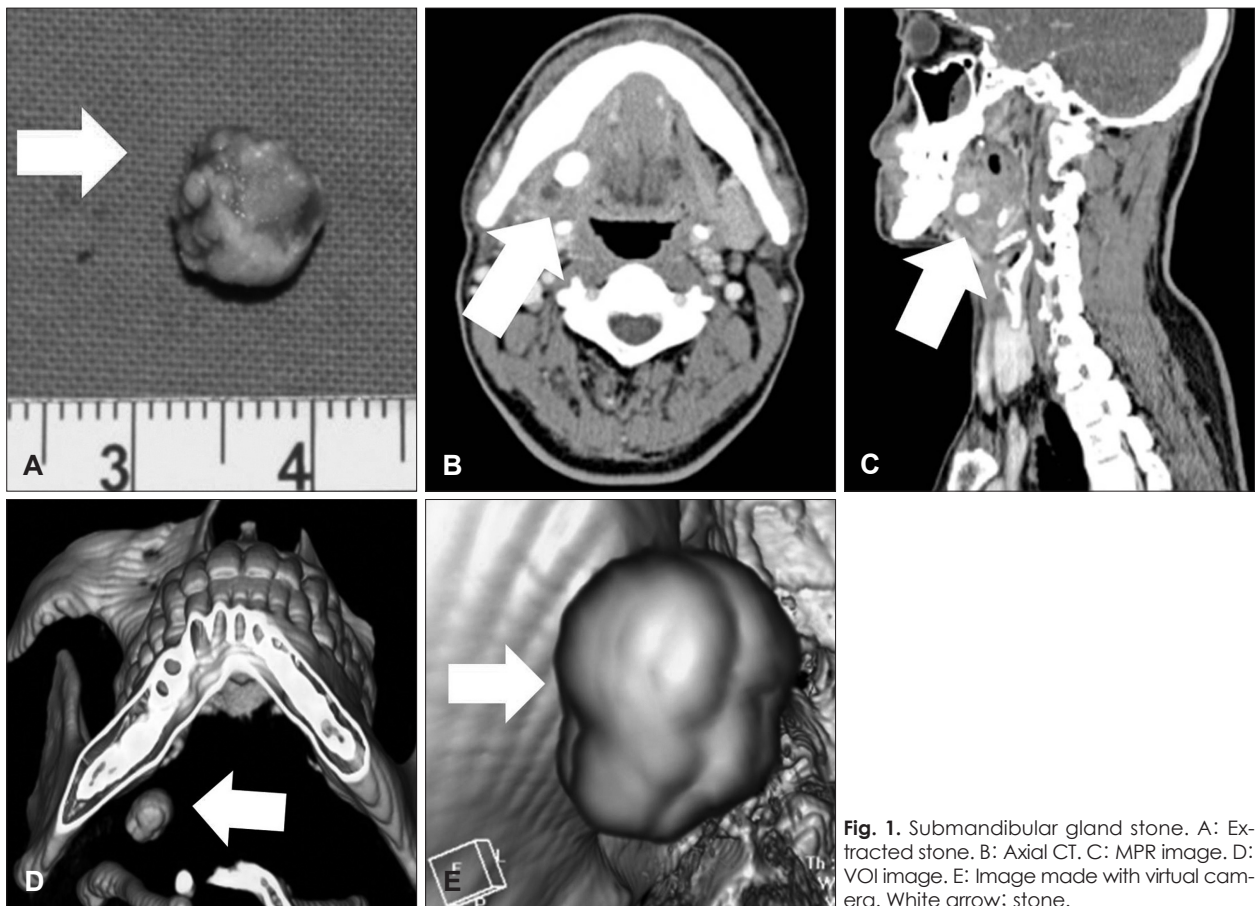


Fig. 1. Submandibular gland stone. A: Extracted stone. B: Axial CT. C: MPR image. D: VOI image. E: Image made with virtual camera. White arrow; stone.

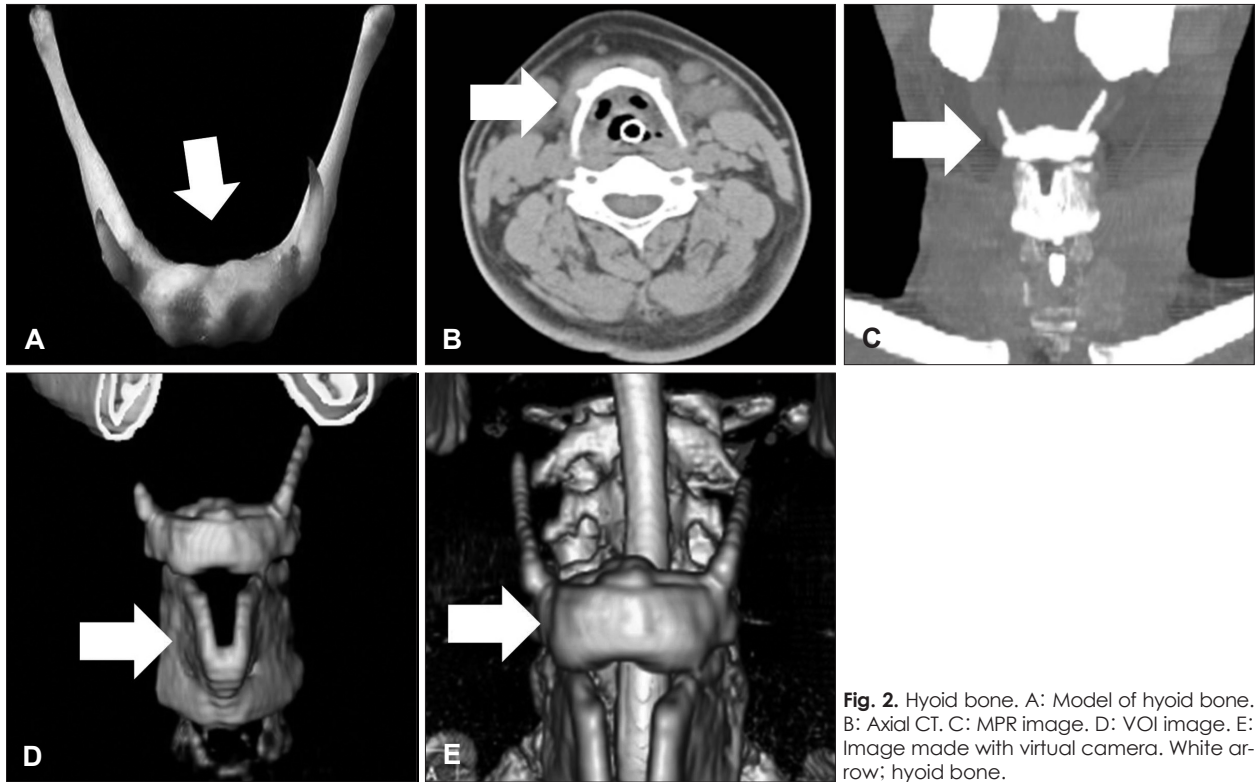


Fig. 2. Hyoid bone. A: Model of hyoid bone. B: Axial CT. C: MPR image. D: VOI image. E: Image made with virtual camera. White arrow; hyoid bone.

Table 3. Characteristics of simulative foreign body (Endotracheal tube)

	Endotracheal tube			
	Shape	Size (mm)	Location (mm)	Orientation
Axial	Good	10.35	48.66	Good
MPR	Good	nc	nc	Vague to good
VOI	Good	10.66	44.81	Vague to good
Virtual camera	Good	10.82	55.38	Vague to good

Size: Width×height (mm), Location: Distance from the center of the mandible, nc: Can not measure

면서 튜브의 모양을 안팎으로 사실적으로 관찰 가능하였다. 가상 카메라를 적용하면 설골이나 갑상연골의 틈으로 들어가 있는 기관지 튜브를 정확히 관찰할 수 있었다. 튜브의 경우 계측은 외경과 내경을 측정하고 길이나 방향성을 보아야 하는데, 직경 측정은 axial CT가 가장 적합하였다. 길이나 방향성을 보는 데는 MPR로 만든 sagittal view가 적합하였다. VOI나 가상카메라는 계측 보다는 모양, 방향성을 파악하는데 더 도움이 되었다(Table 3, Fig. 3).

고찰

인체 내 발생하는 이물은 생기는 부위에 따라 진단 및 치료

방법에 차이가 있다. 연부 조직에 발생한 경우 촉진, X-ray촬영 후 상처의 탐색(exploration)을 하여 진단과 치료를 한다. 식도나 기도에 발생한 경우 내시경 및 X-ray를 이용한 진단을 하고 내시경하에 제거하거나 개복 혹은 개흉수술을 통해 제거한다.¹⁾ 모든 이물은 발생 후 시간 경과 시 부종과 염증 반응으로 인해 매몰된 이물이 되고 찾기 힘들어진다. 경우에 따라서는 이물 일부를 제거하지 못하는 경우도 발생하고 천공 등의 합병증이 생기기도 한다.^{2,5)} X-ray를 이용한 진단 방법 중에는 CT를 활용한 방법이 많이 활용되고 있고 이를 이용한 삼차원 재건 기술이 발전하여 가상 내시경 영상을 제작하여 신체 모든 곳을 볼 수 있게 되었다.^{3,4,6)} 가상 내시경은 내강이 있는 경우에 한하여 영상을 얻을 수 있고 염증이 심한 매몰된 이물에서는 영상을 만들 수 없다.⁴⁾ 일반적인 내시경도 매몰된 이물을 볼 수 없는 동일한 특성을 갖고 있다. 본 연구는 삼차원 재건 기술을 응용한 방법 중의 하나인 가상 내시경의 제한점을 보완하고자 모의 이물 역할을 할 기관이나 의료 기구를 대상으로 삼았고 설골, 타석, 삼관용 튜브 모두 +500 HU 이상의 물리적 특성을 가지고 있어 인체에 흔히 발생하는 골성 이물의 특성과 유사하여서 실제 이물의 특성을 찾는데 선택되었다.¹⁾

본 연구에서 사용한 software는 범용으로 axial CT, MPR, VOI, 가상 카메라 기능 등을 활용하여 모의 이물의 특성을

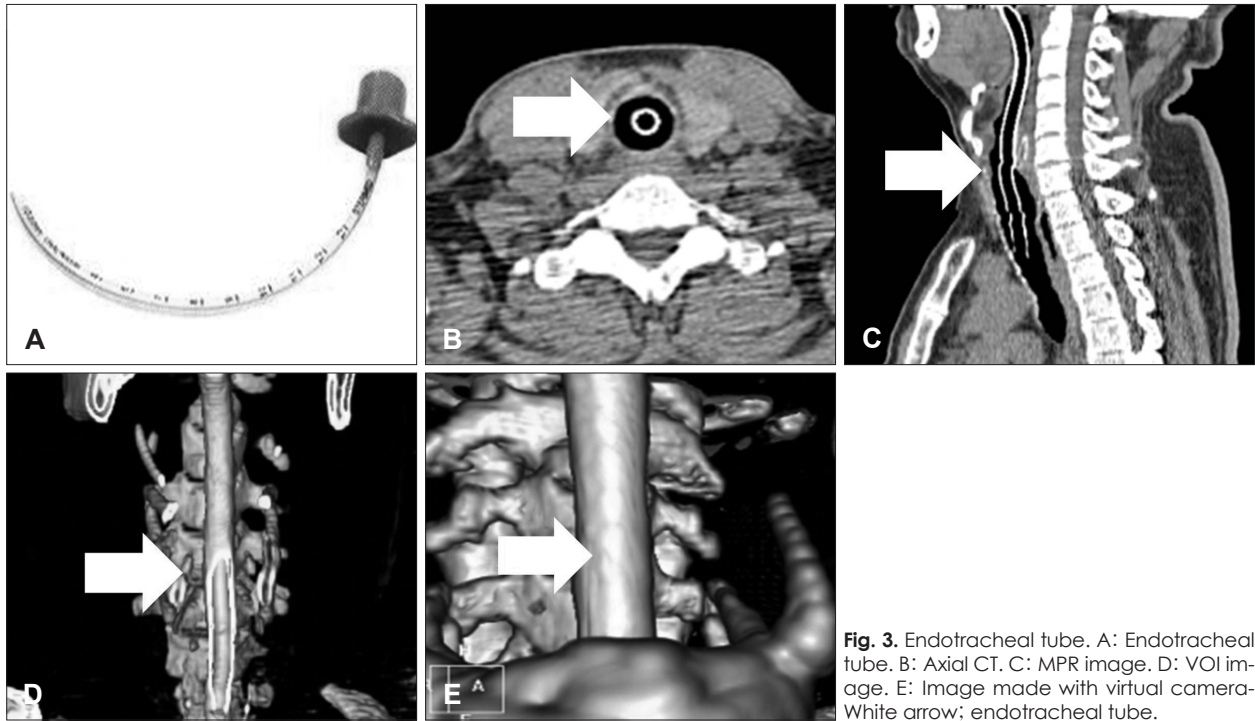


Fig. 3. Endotracheal tube. A: Endotracheal tube. B: Axial CT. C: MPR image. D: VOI image. E: Image made with virtual camera. White arrow; endotracheal tube.

파악하는데 동원되었다.

Axial CT와 MPR은 일반적인 CT에서 모두 제공되는 기능으로 통상 이 영상들을 관찰한 의사의 머리에서 입체 영상을 만들어 이물에 대한 판단을 하게 된다. 모의 이물에서 길이나 각도 측정은 각 사진 별로 정확히 할 수 있고 MPR에서는 필요 시 사진들을 중첩시켜 이물의 영상을 더 선명한 영상으로 볼 수 있다. 이 경우 모의 이물 주변의 영상도 같이 중첩이 되고 강조되므로 중첩시키고자 하는 두께를 적절히 조절하여 이물의 영상을 강조하여 관찰할 수 있다. 설골을 잘 관찰하려면 coronal image를 적절히 중첩하여 보는 것이 유용하고 동시에 갑상연골도 강조되어 같이 관찰된다. 악하선 결석이나 삽입된 튜브는 형태가 단순하여 MPR에서 여러 영상을 중첩시키기보다는 한 section에서 영상을 관찰하는 것이 더 유용한 정보를 얻을 수 있다.

VOI는 악하선 결석, 설골, 삽관 튜브의 입체적인 영상을 잘 보여주는데 적절한 영상의 두께를 설정하면 주변의 불필요한 영상을 제외하므로 모의 이물의 모양이나 위치에 대한 정보를 파악하는데 도움되었다. 계측은 VOI의 경우 길이와 각도 측정이 부정확하여 오히려 Axial CT에서 계측이 정확하다.

가상카메라는 volume rendered image를 표면에서 관찰하는 형식인데 본 연구의 모의 이물은 밀도가 높은 편이라 역치 조절을 하여 +500 HU이하의 영상을 제거하면 모의 이물의 입체적인 영상을 위주로 관찰할 수 있게 된다. 이 경우도 이물의 모양, 위치에 대한 정보를 얻을 수 있지만 크기의 측정을

정확도가 떨어진다.

본 연구에서 사용한 방법들은 가상 내시경이 불가능한 경우 이용할 수 있고 최소한 보완적인 역할을 할 수 있을 것으로 보인다.

환자의 CT자료가 있으면 소프트웨어를 이용하여 삼차원 재건 기술을 적용할 수 있고 이를 바탕으로 만들어진 영상 자료는 환자나 의사 사이의 의견 교환, 교육 등의 목적으로 사용할 수 있고 영상자료로 실제 모형을 만들어 먼저 보거나 수술 전에 모의 수술을 하는 용도로 사용할 수도 있다.⁷⁻⁹⁾ 본 연구의 삼차원 재건 기법은 단독으로 사용하는 것 보다는 여러 도구를 같이 사용하면 더욱 유용하리라 생각한다.

식도 이물과 악하선 결석은 관 내부에 이물이 들어 있는 점에서는 해부학적으로 유사성이 있다. 게다가 염증과 부종으로 인해 매몰된 상태가 되면 내시경으로 관찰할 수 없고 MPR, VOI, 가상 카메라 등을 이용하여 그 특성을 파악할 수 있다. 이 방법들은 인체의 다른 부위에 발생한 이물을 찾는 방법으로도 활용이 가능하다.

결론적으로 매몰된 이물을 찾고 특성을 파악하는 방법으로 삼차원 재건 기술을 활용할 수 있었고 MPR, VOI, 가상 카메라 기법 등을 이용하면 가상 내시경으로 볼 수 없는 이물을 찾는 데 도움을 받을 수 있을 것으로 생각한다.

Acknowledgments

본 연구는 (주)인피니트 헬스케어의 소프트웨어 사용지원을 통하여 이루어졌습니다.

REFERENCES

- 1) Weissberg D, Refaely Y. Foreign Bodies in the Esophagus. *The Annals of Thoracic Surgery* 2007;84:1854-7.
- 2) Hirasaki S, Inoue A, Kubo M, Oshiro H. Esophageal Large Fish Bone (Sea Bream Jawbone) Impaction Successfully Managed with Endoscopy and Safely Excreted Through the Intestinal Tract. *Internal Medicine* 2010;49:995-9.
- 3) Zeiberg AS, Silverman PM, Sessions RB, Troost TR, Davros WJ, Zeman RK. Helical (spiral) CT of the upper airway with three-dimensional imaging: technique and clinical assessment. *AJR Am J Roentgenol* 1996;166:293-9.
- 4) Mazzeo S, Caramella D, Gennai A, Giusti P, Neri E, Melai L, et al. Multidetector CT and virtual endoscopy in the evaluation of the esophagus *Abdominal Imaging* 2003;29:2-8.
- 5) Chang MY, Chang ML, Wu CT. Esophageal perforation caused by fish vertebra ingestion in a seven-month-old infant demanded surgical intervention: A case report. *World J Gastroenterol* 2006;12:7213-5.
- 6) Kim SH, Lee JM, Han JK, Kim YH, Lee JY, Lee HJ, et al. Three-dimensional MDCT imaging and CT esophagography for evaluation of esophageal tumors: preliminary study. *European Radiology* 2006;16:2418-26.
- 7) Shiraishi I, Yamagishi M, Hamaoka K, Fukuzawa M, Yagihara T. Simulative operation on congenital heart disease using rubber-like urethane stereolithographic biomodels based on 3D datasets of multislice computed tomography. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery* 2010;37:302-6.
- 8) Cheng HT, Wu CI, Tseng CS, Chen HC, Lee WS, Chen PK, et al. The occlusion-adjusted prefabricated 3D mirror image templates by computer simulation: the image-guided navigation system application in difficult cases of head and neck reconstruction. *Ann Plast Surg* 2009;63:517-21.
- 9) Sannomiya EK, Silva JV, Brito AA, Saez DM, Angelieri F, Dalben Gda S. Surgical planning for resection of an ameloblastoma and reconstruction of the mandible using a selective laser sintering 3D biomodel. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 106:e36-40.