

삼차원 재건 기술을 이용한 맞춤형 몽고메리 T-Tube의 제작에 관한 예비 연구

인제대학교 의과대학 상계백병원 이비인후과학교실
유 영 삼

Custom-Made T-Tube Designed by 3-D Reconstruction Technique, a Preliminary Study

Young Sam Yoo

Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery Sanggye Paik Hospital, College of Medicine, Inje University, Seoul, Korea

Background Montgomery T-tube is widely used to maintain airway in many cases. Market-available tubes are not always fit to the trachea of each patient and need some modification such as trimming. Complications do happen in prolonged use like tracheostomy tubes. To overcome above limitations, we designed custom-made T-tube using CT data with the aid of 3D reconstruction software.

Material and Method Boundaries were extracted from neck CT data of normal person and processed by surface rendering methods. Real laryngotracheal model and tracheal inner surface-mimicking tube model were made with plaster and rubber. The main tube was designed by accumulation of circles or simple closed curves made from boundaries. Stomal tube was made by accumulation of squares due to limitation of software. Measurement data of tracheal lumen were used to custom-made T-tubes. Tracheal lumen residing portion (vertical limb) was made like circular cylinder or simple closed curved cylinder. Stomal portion (horizontal limb) was designed like square cylinder.

Results Custom-made T-tube with cylindric vertical limb and horizontal limb of square cylinder was designed.

Conclusion CT data was helpful in making custom made T-tube with 3D reconstruction technique. If suitable materials are available, commercial T-tube can be printed out from 3D printers.

Korean J Bronchoesophagol 2010;16:131-137

KEY WORDS T-tube · 3D reconstruction.

서 론

기도 유지를 위해서 다양한 튜브들이 사용되고 있다. 하지만 일정한 규격에 의해 미리 제작된 것들이고 환자의 기관지의 크기나 모양, 방향에 따라서는 잘 맞지 않고 심한 경우 협착이나 육아종, 천공 등의 합병증을 유발하는 경우도 발생한다. 이 용도로 사용하는 튜브 중 몽고메리 T-tube가 있다.¹⁻³⁾ 이 튜브 역시 기도 유지 및 협착 방지를 위하여 사용하고 기관지 절개 튜브를 제거 후 사용하는 경우가 많다.

하지만 일정한 규격대로 나오는 제품이라 길이나 두께, 모양 등을 정할 수가 없다. 이 경우도 상기에 언급한 합병증이 드물게 발생하는 것으로 보고되고 있다.⁴⁾ 이제 저자는 환자의 경부 전산화단층촬영 자료를 기반으로 하여 삼차원 재건 기술(3 dimensional reconstruction)을 활용하여 그 사람의 기관지의 모양이나 내경에 관한 정보를 처리하고 이를 바탕으로 맞춤형 T-튜브의 제작을 위한 기초 작업으로 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

후두나 기도에 문제가 없고 과거에 후두나 기관지에 대한 수술을 받은 병력이 없는 성인 남자 2인의 경부 전산화 단

논문접수일: 2010년 11월 1일 / 심사완료일: 2010년 12월 9일

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

층촬영(Neck CT) 데이터를 사용하였다. 실험 대상의 나이는 남자 A, 34세, 남자 B, 48세로 평균 41세였다.

실험 대상에서 촬영한 axial CT의 모든 frame은 dicom 형식으로 저장하여 사용하였다. CT 기종은 Toshiba aquilion으로 촬영은 Neck-helical-CE-3-phase로 120 KVP, Exp 100, ST=2, Z=1, L=50, W=300의 조건을 기본으로 하였다. axial frame은 정수리에서 흉골(sternum) 상부(쇄골부위)까지 촬영하였고 2 mm간격의 자료를 받았다.

남자 B는 같은 기종으로 neck CT(enhanced)를 촬영하였고 neck-helical-CE-3-phase로 120 KVP, Exp 200, ST=1, L=50, W=300의 조건으로 하였다. axial frame은 정수리에서 흉골(sternum)(쇄골부위)까지 촬영하였고 1 mm 간격의 자료를 받았다. 자료는 dicom형식의 파일로 저장하였다. 영상분석 및 삼차원 재건 소프트웨어는 3-D doctor 4.0 Ablesoftware(USA)를 사용하였고 결과로 나오는 영상은 open capture소프트웨어를 이용하여 캡처 후 저장하였다. 동영상 캡처는 Ahncapture를 이용하여 capture하여 자료로 활용하였다. 영상자료 편집은 Gimp(freeware)를 이용하였다. 이를 바탕으로 나오는 자료의 처리 및 실제 모델 제작은 올메이드코리아(시제품 제작 및 역설계 전문 업체)에서 시행하였다. 향후 실험대상은 남자A, 남자 B로 하겠다.

남자 A와 남자 B의 자료에서 다음과 같은 작업을 동일하게 시행하였다.

남자 A의 자료를 가지고 실제 모델까지 만들었고 남자 B의 자료는 영상 데이터로 결과물을 만들었다.

기관지 내면의 윤곽(외곽선, boundary) 자료 제작 및 실제 모형 제작

기관지는 연골과 공기가 접하는 부위이므로 CT음영의 차이가 육안 상으로도 명확하다. 3D-doctor에서 역치를 적절히 조절하여 육안으로 구별이 잘 되는 역치에서 기관지 내면의 외곽선(boundary)을 그리도록 설정하였고 동일 작업을 쇄골에서 흉골(sternum) 상부까지의 모든 영상 frame에서 하였다(Fig. 1). 이 자료를 surface rendering 기법으로 처리하여 기관지의 내면을 재건하여 입체 영상을 만들었다.

동시에 남자A의 기관지 내경의 크기는 운상연골 하부에서 흉골(sternum) 상부까지 2 mm 간격으로 각 frame 별로 최대 내경/최소 내경을 측정 후 가장 작은 수치를 제작할 튜브의 외경의 기준으로 삼는다. 내경 중 좁은 부위의 평균 14.40 mm±1.36 mm, 내경 중 넓은 부위의 평균 15.34 mm±1.24 mm, 기관지에서 가장 좁은 부위의 내경이 12.50 mm, 가장 넓은 부위의 내경은 17.79 mm로 측정되었다(Table 1). 이에 따라 남자 A의 기관지에 맞는 튜브의

최대 직경은 외경 12.50 mm를 넘지 않게 만들기로 하였다. 이 자료에서 운상연골 직하부에서 흉골(sternum) 직상부까지의 직선 길이를 측정하여 이를 튜브 길이의 기준으로 삼는다. 기관지 내경의 윤곽선을 모은 입체 영상으로 석고 모델을 제작하고자 설계 프로그램인 CAD 호환 형식 중 하나인 STL(file format native to the stereolithography CAD software created by 3D Systems) 형식의 파일로 저장한다. 이를 바탕으로 ZPrinter450(context, USA)를 이용하여 기관지 모델을 제작하였다. 모델 제작 재료는 High Performance composite(ZP150 고성능 복합 파우더)를 사용하였다.

기관지 단면의 내면 모양을 본 뜬 튜브 모형 제작

기관지 내면에서 추출한 외곽선(boundary)은 단일 폐곡선(single closed curve) 형태를 보이게 된다. 이를 3D-doctor에서 boundary-copy and paste기능을 이용하여 같은 frame에 복사를 한다. 다음에 deflate(boundary를 축소시키는 기능)를 4~6회 정도 실행시키면 도넛 모양의 boundary가 한 frame에 남게 된다. 각 frame별로 같은 작업을 운상연골 하부에서 흉골(sternum) 상부까지 시행한다. 각 frame별로 기관지의 외곽선을 추출하고 복제하여 축소시켜 만든 도넛 모양의 외곽선 들을 모아 surface rendering을 실행시키면 기관지 내경을 본뜬 튜브 형태로 재건된다. 이 생성된 튜브에서 길이, 내경, 두께 등의 기본 자료

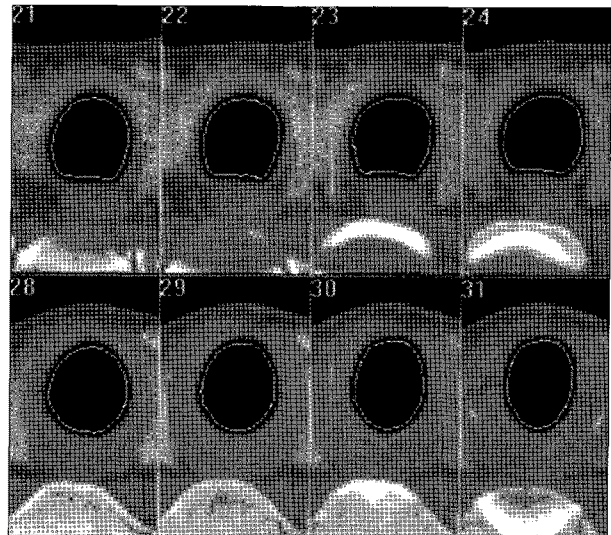


Fig. 1. Boundaries are extracted from images frames.

Table 1. Diameter of tracheal lumen (,mm)-from cricoid

	Minimum	Maximum	Average
Narrow diameter	12.50	17.79	14.40
Wide diameter	13.47	17.38	15.34

를 측정한다. 또한 rubber 모델 제작에 이용하고자 STL형식의 파일로 저장한다. 튜브모형은 3-D프린터인 Eden260V (Objet, USA)로 TangoGray를 재료로 3차원 모델을 제작하였다(Fig. 2).

기관지 최소 내경에 맞는 크기의 원통형 1차 튜브 설계

앞서 측정한 자료에서 기관지 내경 중 가장 좁은 내경은 12.503 mm이므로 12.5 mm의 내경을 갖는 원을 한 frame의 일정 부분에 그린다(boundary edition기능에서 circle boundary). 앞에서와 같은 요령으로 boundary-copy and paste기능을 이용하여 같은 frame에 복사를 한다. 다음에 deflate(boundary를 축소시키는 기능)를 4~6회 정도 실행시키면 도넛 모양의 boundary가 한 frame에 남게 된다. 각 frame별로 같은 작업을 윤상연골 하부에서 흉골(sternum) 상부까지 시행한다. 도넛 모양의 외곽선 들을 모아 surface rendering을 실행시키면 기관지 최소 내경에 맞는 튜브 형태로 재건된다(Fig. 3).

각종 T-tube의 정의 및 설계 방법

T-tube는 기관지 내부에 들어가는 부위(vertical limb이라 하자)와 기관지 절개공으로 나오는 부위(horizontal limb이라 하자)로 나뉜다(Fig. 4).

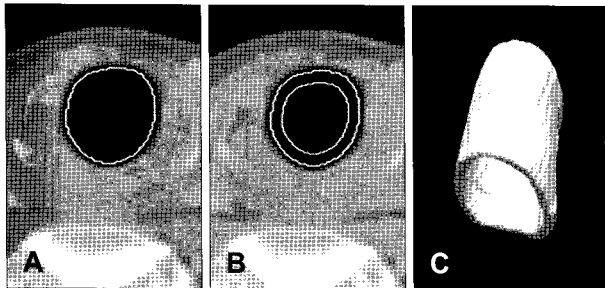


Fig. 2. Self-copied and deflated boundaries are rendered to form single closed curve cylinder-shaped tube. A: Boundary. B: Boundary and self-copied and deflated boundary. C: Single closed curve cylinder-shaped tube.

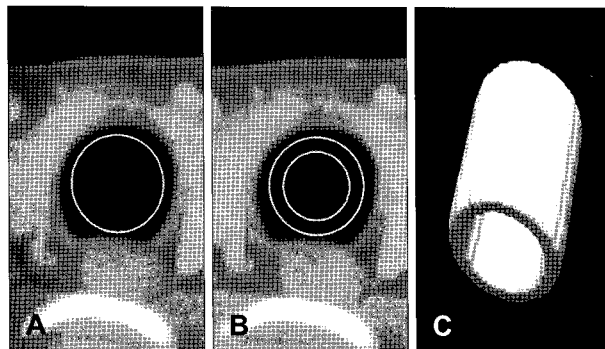


Fig. 3. Self-copied and deflated boundaries are rendered to form cylinder-shaped tube A: Boundary. B: Boundary and self-copied and deflated boundary. C: Cylinder-shaped tube.

Tube의 설계를 위해 정의를 다음과 같이 4가지로 분류하였다.

구형 1(Old 1)

Vertical limb이 동일한 직경의 원통형이고 horizontal limb이 동일한 직경의 원통형으로 기성 제품을 이것으로 한다.

구형 2(Old 2)

Vertical limb이 동일한 직경의 원통형이고 horizontal limb이 동일한 직경의 직사각 기둥 혹은 정사각 기둥의 형태로 기성 제품의 변형이다.

맞춤형 1(Custom 1)

Vertical limb의 모양은 기관지 내경 중 가장 좁은 부위의 크기에 맞춘 동일한 직경의 원형이고, 기관지의 굴곡 방향에 따라 원통형으로 배열됨. horizontal limb은 동일한 직경의 직사각 기둥 혹은 정사각 기둥의 형태임.

맞춤형 2(Custom 2)

Vertical limb의 모양은 기관지 단면 형태와 굴곡을 그대로 본 튜브 정사각 혹은 직사각 기둥 형태임(Fig. 5).

상기의 정의를 기준으로 각각의 튜브 설계 방법을 기술한다.

구형 1

남자 B의 CT는 1 mm두께로 만들어진 자료이다. 여기서 12.5 mm 직경의 원형 boundary를 30 frame에 걸쳐 복제한 후 도넛 형태로 구성하면 vertical limb은 완성된다. 이 경우 horizontal limb을 원통형으로 설계가 가능한데,

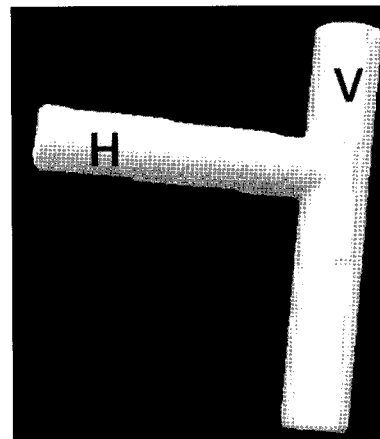


Fig. 4. Vertical limb and horizontal limb of T-tube. V: Vertical limb. H: Horizontal limb.

같은 복잡한 조합의 직사각형들을 조합시켜야 비슷한 모양이 나온다. 2 mm CT에서는 작업이 불가능하고 1 mm 두께의 CT자료에서 시험적으로 해 본다(Fig. 5).

구형 2

남자 A의 자료는 2 mm간격이므로 60 mm 길이의 튜브를 만들 frame은 30장이 필요하다. 3D-doctor에서 boundary를 circle(원형)로 임의대로 그릴 수 있다. 기관지 내에 12.5 mm 직경의 원을 그리고 같은 frame에 복사를 한 후 deflate를 적용하여 도넛 모양의 boundary를 얻는다. 이를 30 frame에 걸쳐 복사를 한다. Horizontal limb은 직사각형(rectangle)모양의 boundary를 4 frame에 걸쳐 걸쳐 그려서 만든다. 위의 자료를 surface rendering 처리하면 튜브 형태로 나온다(Fig. 6).

맞춤형 1

구형 튜브 제작과정과 동일한 작업이지만 30 frame에 걸친 도넛형태 배열의 원형(직경 12.5 mm) boundary를 기관지 안에 위치하도록 그린다. vertical limb 기본 설계는 완성된다. horizontal limb은 직사각형을 4 frame에 걸쳐 그리면 완성된다. 튜브형태는 원통형이지만 기관지의 굴곡을 따라서 약간 굴곡진 형태가 될 것이다. horizontal limb은 사각기둥 형태이다(Fig. 5).

Old 1	Old 2	Custom 1	Custom 2
Shape of horizontal limb / vertical limb			
Cylinder / cylinder	Square cylinder / cylinder	Square cylinder / cylinder along curve	Square cylinder / single closed curve cylinder

Fig. 5. Types of the tubes.

맞춤형 2

앞의 항)에서 기관지 내면 모양을 따라가는 튜브 형태를 만들었다. 여기에 horizontal limb은 직사각형(rectangle) 혹은 정사각형의 boundary를 4 frame에 걸쳐 추가하여 만든다.

Horizontal limb의 위치

모든 튜브에서 horizontal limb은 운상연골에서 1~1.5 cm 하방에 위치한다는 전제로 잡았고 모양은 사각기둥 형태를 기본으로 하되 1 mm CT에서는 원통형으로 만들어 보았다. 길이는 10~30 mm내외가 되도록 설계한다(Fig. 6).

설계한 튜브의 측정

3D-doctor에서 설계한 영상들은 각 점 사이의 거리를 측정할 수 있다. 이 기능을 이용하여 튜브의 길이, 직경, 두께를 측정하였다.

결 과

남자 A의 자료로 기관지 내경을 본뜬 모델을 만들었고 석고재료로 실제 모델을 제작하였다. 실제의 생체를 그대로 닮은 모양이었다. 그 내경을 본뜬 1~2 mm 두께의 튜브 형태도 운상연골 하부에서 흉골(sternum)상부까지의 자료로 만들었다. 이를 rubber재료를 이용하여 실제 모델을 제작하였다. 튜브재질이 유연하지만 약하여 잘 부서지는 특성이 있었다(Fig. 7).

Horizontal limb이 원통형(cylinder)인 구형 1 튜브는 남자A의 데이터로 만들었다, horizontal limb이 정사각 기둥인 구형 2, 맞춤형 1, 맞춤형 2 튜브는 남자B의 자료에서 만들어진 외곽선(boundary)을 바탕으로 surface rendering을 이용하여 입체 영상으로 만들었다(Fig. 8).

각종 튜브의 vertical limb길이는 최소 56 mm에서 최대 61 mm였다. Horizontal limb의 길이는 최소 16 mm에서 최대 34 mm였다. 튜브의 두께는 최소 1.2 mm에서 최대



Fig. 6. Square cylinder-shaped horizontal limb of T-tube(Old 2-type). A: design of horizontal limb from CT frames. B: designed tube with square cylinder-shaped horizontal limb.

2.3 mm였다(Table 2).

고찰

3차원 재건 기술은 공학에서는 많이 활용하는 방법으로 기계 부품 제작이나 자동차, 선박, 항공기의 모델 제작에 많이 활용되고 있는데 실물을 제작하기 전에 설계에 따라 미리 제작하여 실제로 제작하는 경우에 발생할 수 있는 문제점을 미리 파악하여 정정함으로써 시간과 비용을 절감할 수 있는 방법이다. 의학 쪽에서는 이런 기술을 이용하여 뼈나 연부 조직의 결손을 가져 오는 수술을 하기 전에 미리 모델을 만들어서 모의 수술 연습을 하는 경우도 있고 뼈의 결손이 생기는 경우는 결손 부위 메꿀 보형물을 미리 만들어서 수술 시 바로 사용하여 시간을 줄이기도 하고⁵⁻⁷⁾ 의학교 육용으로 3차원 입체 모델을 제작하여 활용하기도 한다.^{8,9)}

CT나 MRI 등의 자료를 이용하여 후두나 기관지의 3차원 모델을 제작하여 다양한 방법으로 사용한 시도들이 있다. 심장기형을 수술하기 전에 심장의 실제 모델을 만들어 미리 수술 연습을 한 후 성공적인 수술을 한 예도 있고 입

상적으로 환자의 폐, 기관지, 혈관 등의 상태를 3차원 모델로 미리 만들어서 진단 및 치료에 활용한 경우도 많다. 또 과도로 인한 외상에서 수술 전 이물질의 위치를 미리 확인하는 방편으로 3차원 재건을 활용한 경우도 있다.¹⁰⁻¹³⁾

기도 유지를 위한 튜브들은 모양은 기본적으로 큰 변화가 없었고 재질은 금속재질에서 플라스틱, 실리콘 등 다양한 재질로 제작되어 왔다. 장시간 기도 내에 삽입된 상태를 유지해야 하므로 빠지거나 위치 이동, 육아증, 천공, 출혈 등의 합병증이 발생할 수 있다. 기관지 절개로 기도를 유지하다가 최종적으로는 튜브를 제거하는 것이 목적이지만 튜브를 제거하지 못하는 경우 장기적인 유지를 위해서 실리콘으로 된 T-tube를 사용하게 된다. T-tube도 이물질이므로 상기의 문제들을 유발할 수 있고 이를 줄이려면 기관지의 모양에 따라 튜브를 제작하면 가능하리라 생각한다.

저자의 방법은 예비 연구로서 의료용 재료를 이용한 튜브 제작은 아니다. 향후 의료용 실리콘 등을 이용한 3차원 재건 방법을 개발할 수 있는 기초가 된다고 생각한다. 또 의공학 등의 도움을 받는다면 기관지 결손 발생시 결손부위를 정확히 대체하여 삽입할 수 있는 연골로 제작한 튜브도 제작이 가능하리라 생각을 한다. 현재는 Mesh를 제작하여 여기에 배양한 연골세포를 뿌린 만든 인공 기관지를 이식을 하는 시술이 있다. 물론 살아있는 연골세포를 잉크처럼 사용해 3차원 프린터에서 입체적으로 인쇄해야 하는

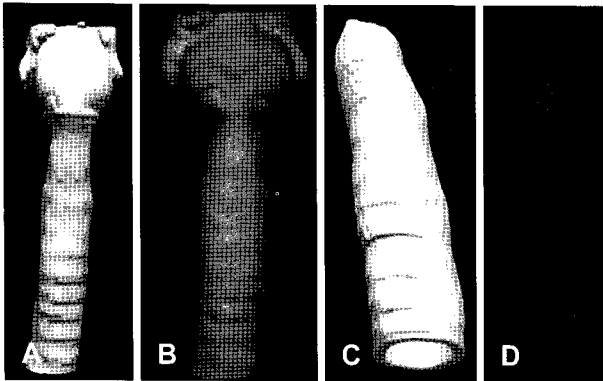


Fig. 7. Rapid prototypes made from 3D data. A: 3D reconstructed image of laryngotrachea. B: Rapid prototype of 3D image in A. C: tracheal inner surface-mimicked tube. D: Rapid prototype of 3D image in C.

Table 2. Sizes of the tubes (mm)

		Diameter	Length	Thickness
Old 1	Vertical Limb	12.5	57.84	1.2
	Horizontal Limb	6.68	16.55	1.26
Old 2	Vertical Limb	11.28	56.59	2.23
	Horizontal Limb	6.28	34.15	1.13
Custom 1	Vertical Limb	12.28	61.21	1.18
	Horizontal Limb	7.8	16.91	1.47
Custom 2	Vertical Limb	20.28	56.83	1.75
	Horizontal Limb	10.06	20.4	1.35

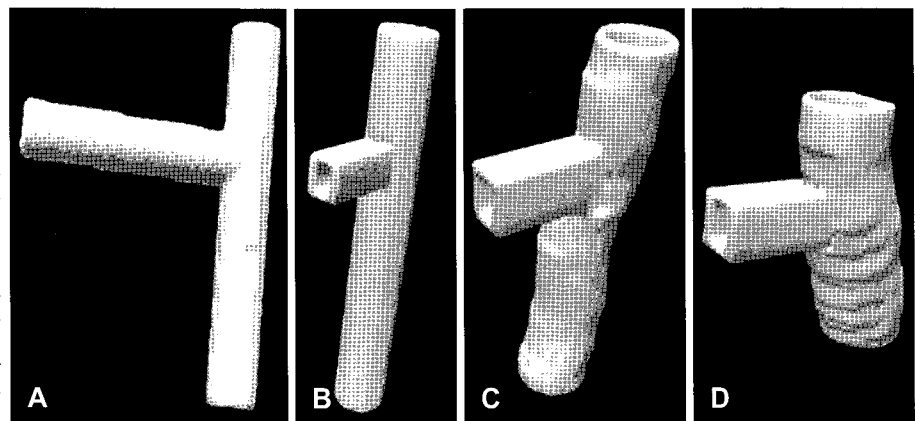


Fig. 8. Three dimensional reconstructed tubes. A: Old 1. Normal t-tube available on the market. B: Old 2. Horizontal limb of old 1 type is square cylinder-shaped. Vertical limb is cylinder-shaped. C: Custom 1. Vertical limb is curved cylinder-shaped along the orientation of trachea. Cut surface is circular or semi-circular. Square cylinder-shaped horizontal limb. D: Custom 2. Vertical limb mimicks the shape and orientation of tracheal lumen. It fits the tracheal lumen tight. Square cylinder-shaped horizontal limb.

데 살아있는 세포의 생존성이나 오염문제를 고려해야 할 것이고 이것이 실현된다고 해도 경제성을 고려해야 할 것이다. 실리콘 튜브를 직접 프린터로 입체 제작을 하는 방법도 있지만 일차적으로 고품의 튜브를 맞춤형으로 제작하고 금형을 제작하여 의료용으로 사용한 가능한 실리콘 등의 재료로 부어 만드는 것이 현실적일 것이다.

기성품의 장단점은 가격 저렴하고 교체 가능하지만 잘 빠지고 환자의 몸에 맞지 않는 경우 육아종이나 궤양을 유발할 수 있다. 이는 기관지에 생기는 경우 치명적인 합병증으로 커질 수 있다.

이에 비해 맞춤형 튜브는 기관지의 굴곡을 따라 원형 튜브로 제작하므로 고정이 수월하고 육아종 등이 적게 발생할 것으로 예상된다. Tube 내면에 가피가 형성되거나 suction을 삽입 시 어려움을 줄이기 위해서는 tube의 내면은 기존 tube같이 일자로 된 원통형으로 제작하는 것을 고려해야 하고 표면을 매끈하게 처리해야 하는데 이는 기술적으로 해결할 부분이다.

또한 제작비용이 비싸고 교체 시 제작에 시간 걸리는 것이 문제이지만 한번 틀이나 설계용 파일이 만들어지면 필요 시 신속하게 만들 수 있고 삼차원 프린터 등을 갖춘 병원에서 바로 만들어 사용할 수 있게 될 것이다.

맞춤형 2 튜브가 기관지의 내면으로 그대로 본떠서 만든 단일 폐곡선을 누적해서 만드는 경우 기관지 내면에 꼭 맞게 되므로 움직이지 않겠지만 점막을 압박하여 궤사를 일으켜 오히려 염증이나 육아종 등의 원인이 될 수도 있을 것 같다. 그래서 기관지 내경 중 가장 좁은 부위를 기준으로 원통형 튜브를 제작하여 삽입한다면 그런 문제를 줄일 수 있을 것이고 기관지의 입체적인 방향성(orientation)을 고려한 원통형 튜브를 제작하면 환자에게 더욱 도움이 되는 맞춤형 튜브가 될 것으로 보인다.

원형 단면에 기관지 굴곡을 따라 설계한 맞춤형 1이나 구형 1, 2는 튜브 외경을 기관지의 최소 내경에 맞춘 형태가 이상적이라 생각하지만 환자의 상태에 따라 여러 형태로 맞춤형 제작을 한다면 tube의 움직임 등을 고려하여 다양하게 활용할 수 있을 것이다. CT자료가 carina부위까지 나오면 이 부위까지 닿는 tube제작이 가능함은 물론이다.

기관지 절개창으로 나오는 튜브는 소프트웨어 기능의 제약으로 정사각 기둥으로 만들었지만 실제 임상에 사용을 하더라도 큰 문제는 없을 것 같다. 1 mm CT를 이용하여 제작이 가능하지만 이 역시 장시간의 수작업이 소요되어 추가로 CAD와 같은 다른 소프트웨어로 추가 처리를 한다면 원통형으로 만들 수 있을 것이다.

삼차원 재건 기술은 의용공학 등에서는 오래 전부터 연

구되어온 분야로 향후 endotracheal tube, stent 등을 만들 수 있는 기술로 생각이 되고 동영상을 이용한 교육용 모델을 제작하는 데도 활용이 가능하리라 생각한다.

튜브의 길이, 두께, 모양 등을 원하는 대로 조절하여 제작이 가능하고 일단 3차원적으로 설계가 되면 환자의 상태에 따라 얼마든지 맞춤형으로 튜브나 stent 등을 제작할 수 있고 응용이 가능하다고 생각한다.

결 론

석고재료로 만든 기관지 모델과 고무재질로 만든 튜브는 실제 모양과 잘 맞았다. 설계를 한 각종 튜브 들은 유연성 있는 재료로 만들어 보면 향후 실제 T-튜브를 제작하는데 응용할 수 있으리라 생각한다.

REFERENCES

- 1) Agrawal S, Payal Y, Sharma J, Meher R, Varshney S. Montgomery T-tube: anesthetic management. *Journal of Clinical Anesthesia* 2007; 9:135-7.
- 2) Wooten CT, Rutter MJ, Dickson JM, Samuels PJ. Anesthetic management of patients with tracheal T-tubes. *Pediatric Anesthesia* 2009; 19:349-57.
- 3) Wahidi M. The montgomery T-tube tracheal stent. *Clinics in Chest Medicine* 2003;24:437-43.
- 4) Pinedo-Onofre JA, Téllez-Becerra JL, Patiño-Gallegos H, Miranda-Franco A, Lugo-Álvarez G. Subglottic Stenosis Above Tracheal Stoma: Technique for Montgomery T-Tube Insertion. *The Annals of Thoracic Surgery* 2010;89:2044-6.
- 5) Kau CH, Richmond S, Incrapera A, English J, Xia JJ. Three-dimensional surface acquisition systems for the study of facial morphology and their application to maxillofacial surgery. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery* 2007;3: 97-110.
- 6) Yu Z, Mu X, Feng S, Han J, Chang T. Flip-Registration Procedure of Three-dimensional Laser Surface Scanning Images on Quantitative Evaluation of Facial Asymmetries. *Journal of Craniofacial Surgery* 2009;20:157-60.
- 7) Lanza A, Laino L, Rossiello L, Perillo L, Ermo A, Cirillo N. Clinical Practice: Giant Cell Tumour of the Jaw Mimicking Bone Malignancy on Three-Dimensional Computed Tomography (3D CT) Reconstruction. *Open Dent J* 2008;2:73-7.
- 8) Robinson RJ, Russo J, Doolittle RL. 3D Airway Reconstruction Using Visible Human Data Set and Human Casts with Comparison to Morphometric Data. *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology* 2009;292:1028-44.
- 9) Hu A, Wilson T, Ladak H, Haase P, Fung K. Three-dimensional Educational Computer Model of the Larynx, Voicing a New Direction. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2009;135:677-81.
- 10) Cho S, Lee H, Park C. CT angiography with 3D reconstruction for the initial evaluation of penetrating neck injury with retained knife. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 2007;136:504-5.
- 11) Rizzo E, Pugnale M, McKee T, Qanadli SD. Intimal sarcoma of pulmonary artery: multi-slice ECG-gated computed tomography findings with 3D reconstruction. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery* 2005;27:919.
- 12) Shiraishi I, Yamagishi M, Hamaoka K, Fukuzawa M, Yagihara T. Simulative operation on congenital heart disease using rubber-like ure-

thane stereolithographic biomodels based on 3D datasets of multislice computed tomography. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery* 2010;37:302-6.

13) Choi E, Yoon Y, Kwon H, Kim D, Park B, Hong Y, et al. A case of pulmonary artery intimal sarcoma diagnosed with multislice CT scan with 3D reconstruction. *Yonsei Med J* 2004;45:547-51.