

중재 시술용 기능성 기관-기관지 팬텀의 유용성

— Usefulness of a Functional Tracheobronchial Phantom for Interventional Procedure —

아산재단 서울아산병원 방사선과 · 한서대학교 방사선학과*

김태형 · 임청환* · 김정구* · 김명수* · 최원찬 · 임진오 · 이광종
박인애* · 김미옥* · 정은미* · 신령미* · 정승기* · 윤선희*

— 국문요약 —

중재 시술용 기능성 기관-기관지 팬텀을 제작하고, 스텐트 삽입술을 시행하여 그 유용성을 평가하고자 한다.

중재 시술용 기능성 기관-기관지 팬텀은 실리콘으로 제작하였으며, 기관을 통하여 스텐트 삽입술이 가능하도록 삽입구를 제작하였다. 팬텀은 지점토를 이용하여 인체와 동일한 형태로 기관, 기관지 분지부와 양쪽 상부 기관지를 재현하였고, 사각형의 틀에 지점토를 고정시킨 후 액상의 실리콘을 채워 건조시킨 후 지점토를 제거하여 제작하였다.

인체, 동물, 팬텀에서 기관지스텐트 삽입 후 흉부 촬영 필름의 농도와 기관지 분지부의 각도를 측정하여 비교하였다. 기관지스텐트는 세선의 교차가 다른 2가지(X-type, Y-type) 형태를 삽입하였으며, 스텐트 삽입술 후 기관 상부, 기관 분지부, 좌기관지, 우기관지, 스텐트 삽입부의 필름농도를 측정하였다.

필름농도는 기관 상부의 경우, 인체 $0.76(\pm 0.011)$, 동물 $0.97(\pm 0.015)$, 팬텀 $0.45(\pm 0.016)$ 이었고, 기관 분지부의 경우는 인체 $0.51(\pm 0.006)$, 동물 $0.65(\pm 0.005)$, 팬텀 $0.65(\pm 0.008)$ 이었고, 우기관지의 경우는 인체 $0.14(\pm 0.008)$, 동물 $0.59(\pm 0.014)$, 팬텀 $0.04(\pm 0.007)$ 이었고, 좌기관지의 경우는 인체 $0.54(\pm 0.004)$, 동물 $0.54(\pm 0.008)$ 로 팬텀 $0.08(\pm 0.008)$ 이었고, 스텐트 삽입부의 경우는 인체 $0.54(\pm 0.004)$, 동물 $0.59(\pm 0.011)$, 팬텀 $0.04(\pm 0.007)$ 이었다. 기관 분지부가 이루는 각도는 인체의 좌기관지에서 $42.6(\pm 2.07)^\circ$, 우기관지에서 $32.8(\pm 2.77)^\circ$ 이었으며, 동물에서 각각 $43.4(\pm 2.40)^\circ$, $34.6(\pm 1.94)^\circ$, 팬텀에서 각각 $35(\pm 2.00)^\circ$, $50.2(\pm 1.30)^\circ$ 이었다.

본 연구팀이 제작한 기관-기관지 팬텀은 기관지 스텐트 삽입술의 재현이 가능하여 중재시술의 술기연습용이나 스텐트를 평가하기 위한 체외실험에 사용이 가능할 것으로 사료된다.

I. 서 론

호흡기계(respiratory system)의 협착 환자의 중재 시술은 병소 부위가 환자의 호흡과 직접 관련된 부분이므로 응급한 상황에서 시행하며, 주로 수술적 치료법이 적용되지 못하는 환자에서 시행한다^{1,2)}. 현재 시행되고 있는 치료법

은 수술 요법, 방사선 요법(radiotherapy), 냉열 요법(cryotherapy), 레이저 요법(endoscopic laser treatment), 온열 요법 등의 치료법이 시행되고 있으며, 방사선학의 한 분야인 중재적 치료(interventional treatment)로 풍선 확장술(balloon dilatation)과 스텐트 삽입술(stent insertion)을 시행하여 많은 결과를 보고하고 있다¹⁾.

중재시술에 사용되는 스텐트나 각종 의료기기는 개발 과정에 있어서 기구의 용이성과 효용성을 평가하기 위하여 임상에 사용하기 전에 인체와 동일한 조건에서 동물 실험과 체외 실험을 시행한다. 호흡기계용 스텐트의 경우도 다양한 방법으로 동물 실험이 진행되고 있으나³⁾, 동물 실험 전의 체외 시험을 통한 물리적 특성 등에 대한 평가가 미흡한 실정이며, 동물 실험이나 임상 시험 전에 체외 시험을 통하여 보다 충분하고 객관적인 성능 평가를 필요로 한다.

본 연구팀은 호흡기계 스텐트의 체외 시험이 가능한 기능성 기관-기관지 팬텀(functional tracheobronchial phantoms)을 제작하고 유용성을 평가하여 스텐트의 체외 시험에서 보다 객관적 자료를 제시할 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 기관-기관지 팬텀의 제작

팬텀은 방사선 투시상에서 임상에서와 동일한 효과를 재현하기 위하여 인체에서 방사선 반응과 유사한 조건을 가진 조직등가물질인 실리콘을 사용하여 제작하였다(Fig. 1). 제작은 지점토(고려지점토, 서울, 한국)로 인체의 해부학적 구조한 유사한 형태로 기관과 기관지 모형을 제작하고 이를 이용하여 기관-기관지 형태를 떠내는 방법으로 제작하였다. 지점토로 제작된 모형은 기관(trachea), 기관 분지부(tracheobronchial carina)와 양측의 상엽 기관지(both upper lobe bronchus)만을 재현하였으며, 우

엽의 중부 기관지(right intermediate bronchus)는 생략하였다. 제작된 지점토 기관-기관지 모형을 가로 24.5 cm, 세로 26 cm, 폭 7.5 cm의 사각형 아크릴 함의 중앙에 고정시키고 액상의 실리콘(Shin-Etsu Chemical Co., Tokyo, Japan)을 채워 24시간 동안 진공 상태로 상온에서 건조시켰다. 완전히 건조된 실리콘에서 지점토 모형을 제거하고, 팬텀 내부에 기관과 기관지의 관(lumen)이 형성되도록 하였다. 이는 중재시술을 위한 시험시 안내철사와 스텐트 삽입관의 통과를 원활히 하기 위함이며, 기관과 기관지의 직경은 각각 평균 22 mm, 평균 14 mm를 유지하도록 하였다.

2. 유용성 평가

제작된 팬텀은 기관지 스텐트 삽입술을 시행하여 팬텀 내에서의 필름 농도를 측정하여 임상에서와 비교하여 유사한 방사선 불투과도의 재현가능성을 평가하였고, 기관 분지부의 각도를 측정하여 해부학적 구조의 적합성을 평가하였다.

팬텀의 유용성 평가는 인체, 실험 동물, 팬텀을 대상으로 3군으로 나누어 시행하였다. 인체의 경우는 기관지 스텐트 삽입술을 시행한 환자 10명을 대상으로 스텐트 삽입술 후 시행한 흉부 방사선 촬영을 하였으며, 실험 동물은 평균 몸무게 20 kg의 잡견 10마리를 대상으로 인체에서와 동일한 방법으로 스텐트 삽입술과 흉부 방사선 촬영을 시행하였다. 실험에 사용된 기관지 스텐트는 금속 세선의 교차 구조가 다른 2가지 형태(X, Y-type, (주)에스엔지바이오텍, 서울, 한국)로 직경 12~20 mm, 길이 20~40 mm의 니티놀 금속 스텐트를 삽입하였다(Fig 2).

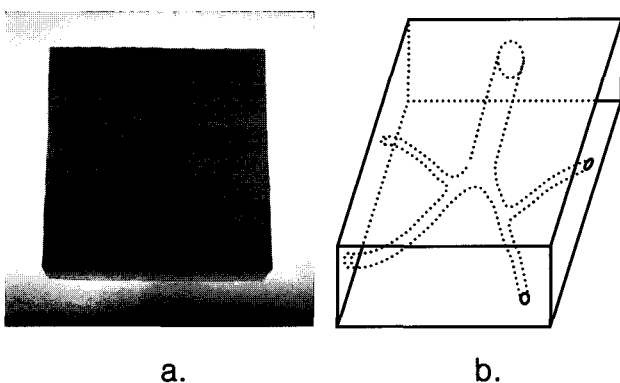


Figure 1. Photograph(a) and schematic diagram(b) of functional tracheobronchial phantom for interventional procedure.

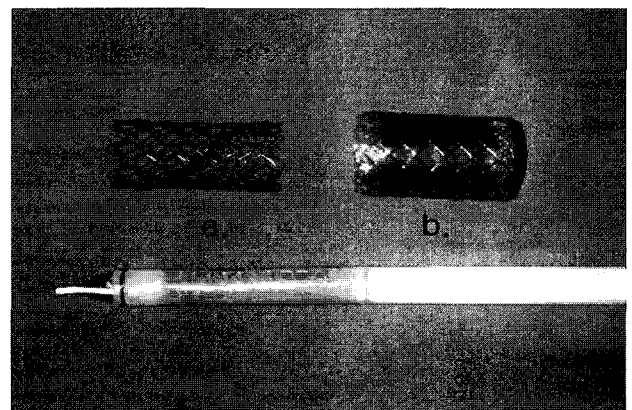


Figure 2. A photographs of the Bronchial stents(a: X-type, b: Y-type) and introducer set.

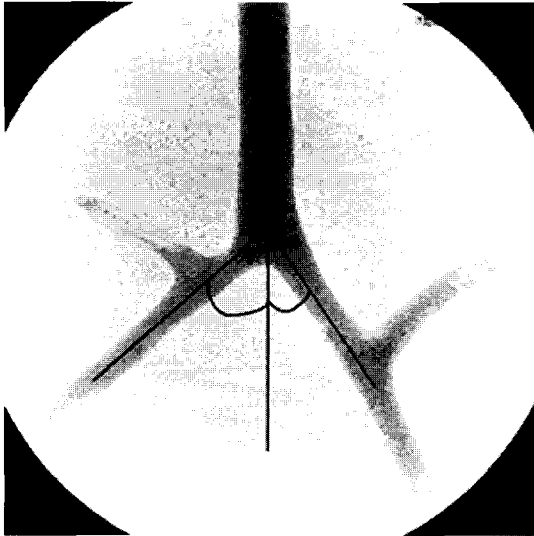


Figure 3. Measurement apparatus in the tracheobronchial carina level

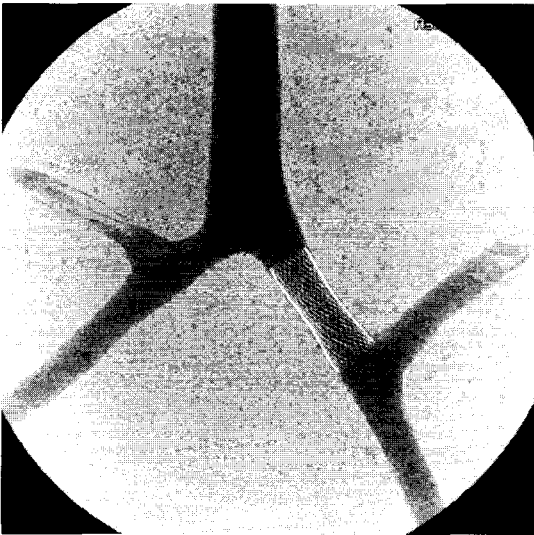


Figure 4. Radiograph of the tracheobronchial stent in the phantom

각 군에서의 필름농도는 Digital Densitometer(X-rite Inc., MICH, USA)를 사용하여 기관 상부, 기관 분지부, 좌·우 기관지, 스텐트 삽입부에서 측정하여 결과를 비교하였다.

기관 분지부의 각도는 스텐트 삽입술 후 현상된 흉부 방사선 필름에서 기관의 중앙에서 원위부 방향으로 평행하게 사선을 긋고, 양쪽 기관지에서도 동일하게 사선을 그어 두선이 만나는 교차점이 이루는 각도를 측정하였다(Fig 3). 호흡기계

Table 1. Film density of experimental groups

	Human	Animal	Phantom
Upper Trachea	0.76±0.011	0.97±0.015	0.45±0.016
Tracheobronchial Carina	0.51±0.006	0.65±0.005	0.65±0.008
Rt. Main Bronchus	0.14±0.008	0.59±0.014	0.04±0.007
Lt. Main Bronchus	0.54±0.004	0.54±0.008	0.08±0.008
Stent	0.54±0.004	0.59±0.011	0.04±0.007

*: mean ± standard deviation, Rt.: Right, Lt.: Left

Table 2. Tracheobronchial angle of experimental groups

	Human	Animal	Phantom
Carina vs. Lt. Main Bronchus	42.6(±2.07) ^o	43.4(±2.40) ^o	35.0(±2.00) ^o
Carina vs. Rt. Main Bronchus	32.8(±2.77) ^o	34.6(±1.94) ^o	50.2(±1.30) ^o

*: mean ± standard deviation, Lt.: Left, Rt.: Right

III. 결 과

모든 실험군에서 스텐트는 성공적으로 삽입되었고, 팬텀에서도 기관지 스텐트 삽입술의 재현이 가능하였다(Fig. 4).

방사선 불투과도의 재현가능성을 위한 필름농도 실험은 기관 상부의 경우, 인체 0.76(±0.011), 동물 0.97(±0.015), 팬텀 0.45(±0.016)이었고, 기관 분지부의 경우는 인체 0.51(±0.006), 동물 0.65(±0.005), 팬텀 0.65(±0.008)이었고, 우측 기관지의 경우는 인체 0.14(±0.008), 동물 0.59(±0.014), 팬텀 0.04(±0.007)이었고, 좌측 기관지의 경우는 인체 0.54(±0.004), 동물 0.54(±0.008)로 팬텀 0.06(±0.008)이었고, 스텐트 삽입부의 경우는 인체 0.54(±0.004), 동물 0.59(±0.011), 팬텀 0.04(±0.007)이었다(Table 1).

기관 분지부가 이루는 각도 측정은 인체의 경우는 좌측 기관지에서 42.6(± 2.07)^o, 우측 기관지에서 32.8(±2.77)^o이었으며, 동물에서는 각각 43.4(±2.40)^o, 34.6(±1.94)^o, 팬텀에서는 각각 35(±2.00)^o, 50.2(±1.30)^o이었다(Table 2).

IV. 고 찰

호흡기계 협착 환자에서 이를 치료하기 위한 인공적인

내강 확장 용구 삽입술은 1967년 Anderson 등에 의해 최초로 보고되었고⁴⁾, 방사선과 영역에서 방사선 투시상에서 시행한 자기 팽창형 금속 스텐트 삽입술은 1990년 Varela 등에 의해 최초로 보고되었다⁵⁾. 그 후로, 많은 종류의 금속 또는 비금속성 스텐트가 개발되어 호흡기계의 기관-기관지 협착 환자에서 사용되고 있으며^{6,7)}, 현재 주로 사용되고 있는 니티놀 금속재료를 이용한 스텐트는 1983년 Dotter와 Cragg에 의해 첫 동물 실험의 사례가 보고되었고^{8,9)}, 1991년 Rabkin에 의해 최초로 혈관과 비혈관 질환 환자에서 사용되어져 그 후로 지금까지 임상에서 널리 이용되고 있다^{10,11)}.

방사선과 영역에서 많은 팬텀이 사용되고 있으나 주로 방사선 장비의 기능 평가와 성능 유지를 위한 것으로 인체 부위에 따라 두부(skull), 수부(hand), 골반, 흉부, 족부(foot) 등과 같이 인체의 특정부위를 나누어 용도에 따라 사용되고 있다. 팬텀에 사용되는 재료는 인체에서 방사선의 흡수, 산란의 특성이 가능한 조직등가물질이 사용되고 있으며, 주로 사용되는 재료는 PMMA(Polymethyl Methacrylate), 실리콘, 아크릴, 알루미늄, 세라믹 등이 있다.

기관-기관지의 팬텀을 이용한 연구는 국내의 최 등에 의해 자체 제작한 팬텀을 이용하여 나선식 컴퓨터 단층촬영에서 3차원 영상의 직경측정에 영향을 주는 각도와 최적의 윈도우를 평가하기 위한 연구가 보고되었으며¹²⁾, Kenneth 등에 의해 심장의 기능성 팬텀을 이용하여 관상동맥의 석회화가 컴퓨터단층촬영과 전자빔에 미치는 영향에 대한 연구가 보고되었다¹³⁾. 최근에는 중재 방사선학문 분야의 연구가 활발히 진행됨에 따라 이 분야에 필요한 기능을 실행할 수 있는 기능성 팬텀에 대한 연구가 진행되고 있으며, 정 등은 대동맥 혈관 모델을 통한 혈류학적 분석을 연구하여 보고한 있고^{14,15)}, 김 등도 새로 개발된 대동맥 스텐트 그래프를 자체 제작한 기능성 팬텀을 이용한 체외 실험을 통해 평가한 바 있다¹⁶⁾. 인체의 해부학적 구조와 기능을 재현하는 모델은 국내에서 상품화 된 것은 전무하며, 미국의 Elastrat Sarl사의 실리콘 재질의 혈관질환 모델이 상용화되어 관련 연구분야에서 사용되고 있다¹⁷⁾.

본 연구팀이 개발한 기능성 기관-기관지 팬텀은 조직등가물질인 실리콘 재료로 제작하여 임상에서와 유사하거나 보다 증가된 방사선 불투과도를 나타낼 수 있고, 팬텀 내에 스텐트 삽입술이 가능한 입구가 제작되어 실제 임상에서 시행되는 중재시술과 유사하게 체외실험을 재현할 수 있다는 장점은 있었으나, 기관과 기관지의 직경,

길이, 기관 분지부의 각도 등이 인체와 다소 차이를 보여 좀 더 인체와 동일한 해부학적 구조를 가진 팬텀의 제작이 필요하며, 임상에서와 동일한 협착 질환을 가진 팬텀의 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

결론적으로, 본 연구팀이 제작한 기관-기관지 팬텀은 기관지 스텐트 삽입술의 재현이 용이하고, 임상에서와 유사한 방사선 불투과도를 나타내어 중재시술의 술기연습 용이나 새로 개발된 스텐트를 평가하기 위한 체외실험에 사용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. David J. Allison, Holger Pettersson, *Interventional Radiology. The NICER Year Book*, 1994, 317-329.
2. Andreas Adam, Robert F. Dondelinger, Peter R. Mueller, *Textbook of Metallic Stents, Isis Medical Media Ltd*, 1997, 127-142.
3. 김호성, 송호영, 김태형 외 3명. 양성 및 악성 기관-기관지 협착: 제거가능한 피막형 자가 팽창형 나이티놀 스텐트를 이용한 치료의 장기추적 검사. *대한방사선학회지* 2001;44:29-35.
4. Anderson HC, Egkund P. Intratracheal tube treatment of stenosis of the trachea. *Acta Otolaryngol* 1967;224:29-30
5. Varela AV, Maynar M, Irving D, et al. Use of Gianturco self-expandable stenta in the tracheobronchial tree. *Ann Thorac Surg* 1990;49:806-809.
6. Andreas Adam, Robert F. Dondelinger, Peter R. Mueller, *Textbook of Metallic Stents, Isis Medical Media Ltd*, 1997;129-142.
7. Dumon JF. A dedicated tracheobronchial stent. *Chest* 1990;97:328-332.
8. Dotter CT, Buschmann RW, McKinney MK et al. Transluminally expandable nitinol coil stent grafting: preliminary result. *Radiology* 1983; 147:259-260.
9. Cragg A, Lund G, Rysavy J et al. Nonsurgical placement of arterial endoprostheses: a new technique using nitinol wire. *Radiology* 1983; 147:261-263.

10. Rabkin JK. New types of technology in roentgenosurgery. IX. All-unions Konress uber Fortschritte in der Roentgen-Chirurgie. Moskau, USSR 1989.
11. Rabkin JK, Natzvlshvili ZG, Kavtelladz ZA. Seven years experience with Rabkin technology nitinol endoprotheses for vessels after balloon, laser and rotor recanalisation. *National Research Centre of Surgery*. Moscow, USSR 1991.
12. 최치훈, 광병국, 박용욱, 박정하 외 4명. 기관-기관지 Phantom의 나선식 CT: 3차원 영상의 직경측정에 영향을 주는 각도와 최적의 Window. *대한방사선 의학회지* 1999;40:1119-1123.
13. Kenneth D. Hopper, Diane C. Strollo, David T. Mauger. Comparison of Electron-Beam and Ungated Helical CT in Detecting Coronary Arterial Calcification by Using a Working Heart Phantom and Artificial Coronary Arteries. *Radiology* 2002;222:474-482.
14. Jung JW, Elkins C, Sakai T, Kato N, Vestring T, Semba CP, Slonim SM, Dake MD. True-lumen collapse in Aortic Dissection Part I. Evaluation of Causatic Factors in Phantoms with Pulsatic Flow. *Radiology* 2000;214:87-98.
15. Jung JW, Elkins C, Sakai T, Kato N, Vestring T, Semba CP, Slonim SM, Dake MD. True-lumen collapse in Aortic Dissection Part II. Evaluation of Treatment Methods in Phantoms with Pulsatic Flow. *Radiology* 2000;214:99-106.
16. 김태형, 성규보, 고기영, 김시훈 외 4명. 인조혈관스텐트삽입술용 복부대동맥류 모델의 개발. *대한방사선 의학회* 2002;46:207-211.
17. <http://www.elastrat.com>

• Abstract

Usefulness of a Functional Tracheobronchial Phantom for Interventional Procedure

Tae-Hyung Kim · Cheong-Hwan Lim · Jeong-Koo Kim · Myeong-Soo Kim
Won-Chan Choi · Jin-Oh Lim · Kwang-Jong Lee · In-Ae Park · Mi-Ok Kim
Eun-Mi Jung · Ryung-Mi Shin · Seung-Ki Jung · Sun-Hee Youn

Department of Radiology, Asan Medical Center · Department of Radiology, Hanseo University

To evaluate usefulness of a functional tracheobronchial phantom for interventional procedure.

The functional phantom was made as a actual size with human normal anatomy used silicone and a paper clay mold. A tracheobronchial-shape clay mold was placed inside a square box and liquid silicone was poured. After the silicone was formed, the clay was removed.

We measured film density and tracheobronchial angle at the human, animal and phantom, respectively.

The film density of trachea part were $0.76(\pm 0.011)$ in human, $0.97(\pm 0.015)$ in animal, $0.45(\pm 0.016)$ in phantom. The tracheobronchial bifurcation part measured $0.51(\pm 0.006)$ in human, $0.65(\pm 0.005)$ in animal, $0.65(\pm 0.008)$ in phantom. The right bronchus part measured $0.14(\pm 0.008)$ in human, $0.59(\pm 0.014)$ in animal and $0.04(\pm 0.007)$ in phantom. The left bronchus were $0.54(\pm 0.004)$ in human, $0.54(\pm 0.008)$ in animal and $0.08(\pm 0.008)$ in phantom. At the stent part were $0.54(\pm 0.004)$ in human, $0.59(\pm 0.011)$ in animal and $0.04(\pm 0.007)$ in phantom, respectively. The tracheobronchial angle of the left bronchus site were $42.6(\pm 2.07)^\circ$ in human, $43.4(\pm 2.40)^\circ$ in animal and $35(\pm 2.00)^\circ$ in phantom, respectively. The right bronchus site were $32.8(\pm 2.77)^\circ$ in human, $34.6(\pm 1.94)^\circ$ in animal and $50.2(\pm 1.30)^\circ$ in phantom, respectively.

The phantom was useful for in-vitro testing of tracheobronchial interventional procedure, since it was easy to reproduce.

key wards : Phantoms, Model, anatomical, Tracheo-bronchial, Interventional Procedure