

CT Quantification of Central Airway in Tracheobronchomalacia

기관-기관지연화증 환자에서 CT상 중심 기관지의 정량화

Won Hyeong Im, MD¹, Gong Yong Jin, MD^{1,2,3*}, Young Min Han, MD^{1,2,3}, Eun Young Kim, MD^{1,3}

¹Department of Radiology, Chonbuk National University Hospital, Jeonju, Korea

²Department of Radiology, Chonbuk National University School of Medicine, Jeonju, Korea

³Research Institute of Clinical Medicine of Chonbuk National University-Biomedical Research Institute of Chonbuk National University Hospital, Jeonju, Korea

Purpose: To know which factors help to diagnose tracheobronchomalacia (TBM) using CT quantification of central airway.

Materials and Methods: From April 2013 to July 2014, 19 patients (68.0 ± 15.0 years; 6 male, 13 female) were diagnosed as TBM on CT. As case-matching, 38 normal subjects (65.5 ± 21.5 years; 6 male, 13 female) were selected. All 57 subjects underwent CT with end-inspiration and end-expiration. Airway parameters of trachea and both main bronchus were assessed using software (VIDA diagnostic). Airway parameters of TBM patients and normal subjects were compared using the Student *t*-test.

Results: In expiration, both wall perimeter and wall thickness in TBM patients were significantly smaller than normal subjects (wall perimeter: trachea, 43.97 mm vs. 49.04 mm, $p = 0.020$; right main bronchus, 33.52 mm vs. 42.69 mm, $p < 0.001$; left main bronchus, 26.76 mm vs. 31.88 mm, $p = 0.012$; wall thickness: trachea, 1.89 mm vs. 2.22 mm, $p = 0.017$; right main bronchus, 1.64 mm vs. 1.83 mm, $p = 0.021$; left main bronchus, 1.61 mm vs. 1.75 mm, $p = 0.016$).

Conclusion: Wall thinning and decreased perimeter of central airway of expiration by CT quantification would be a new diagnostic indicators in TBM.

Index terms

Tracheobronchomalacia
 CT
 Airway Remodeling
 Quantitative Evaluation

서론

기관-기관지연화증(tracheobronchomalacia: 이하 TBM)은 선천적 또는 후천적 원인에 의해 지지연골의 연화와 근탄력성 성분의 저긴장성이 발생하여 기관과 기관지 벽이 약해지는 질환으로, 이로 인해 호기 시 기도가 과도하게 좁아지는 특징을 가진다(1-5). 이전에 TBM의 유병률에 대한 대규모 연구는 거의 없었지만, 기관지 내시경을 통한 기존 연구에 따르면 만성적인 기침을 호소하는 비흡연자의 약 4.1%, 호흡기 증상을 호소하는 환자 중 약 4.5%에서 TBM으로 진단되었다(6, 7).

de Jong 등(3)은 전산화단층촬영(computed tomography; 이하 CT) 기술의 발전으로 기도의 비정상상을 발견하고 기도 병변을 정량화하는 것이 가능해졌다고 보고했으며, 그 이후 기도질환과 폐질환에 대해 주관적인 시각적 접근 대신 소프트웨어를 이용한 객관적인 CT 정량화와 관련된 연구가 진행되었다(4, 8, 9). 만성폐쇄성폐질환 환자에서 폐기종의 CT 정량화는 폐기종의 진단뿐만 아니라 치료 방법의 선택이나 치료 효과의 판단 등에 시도되고 있으며, 비특이적인 임상 증상을 보이는 만성기관지염에서도 CT를 사용하여 기도벽 비후를 객관적으로 측정하려고 시도되었다(10-12).

Received July 10, 2015

Revised December 22, 2015

Accepted January 30, 2016

*Corresponding author: Gong Yong Jin, MD
 Department of Radiology, Chonbuk National University Hospital, Chonbuk National University School of Medicine, Research Institute of Clinical Medicine of Chonbuk National University-Biomedical Research Institute of Chonbuk National University Hospital, 20 Geonji-ro, Deokjin-gu, Jeonju 54907, Korea.
 Tel. 82-63-250-2307 Fax. 82-63-272-0481
 E-mail: gyjin@jbnu.ac.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

현재까지 TBM의 확진 방법은 정립되지 않았으나, 흡기에 비해 호기 시 기도 단면적이 50% 이상 감소되었을 때 TBM으로 진단할 수 있으며 이러한 진단에 형광 투시진단법이나 기관지내시경, 또는 전산화단층촬영(CT)이 사용되고 있다(5, 13). 또한, 임상 증상, 위험 인자, 폐 기능 검사 등의 정보를 보조적으로 진단에 사용하고 있다. 정상인에서도 호기 시에 기도 단면적이 50% 이상 감소될 수 있다는 일부 보고들이 있었으나(14, 15), 이 논문들은 모두 일반적인 호기 상태에서 촬영한 것이 아니라 역동적 강제 호기 상태에서 촬영하였다. TBM 환자는 호흡 곤란으로 인하여 역동적 강제 호기 자체가 어렵기 때문에 이러한 연구 설계는 적절하지 못한 것으로 판단이 되며, 이에 본 연구는 통상적인 흡기와 호기 상태에서 흉부 CT를 촬영한 TBM 환자와 정상 환자의 기관과 좌우 기관지의 내강 단면적뿐만 아니라 벽의 두께와 기도 내강 둘레 등을 정량화함으로써 기존에 알려졌던 인자 외에 어떤 인자가 TBM을 진단하는 데 도움이 되는지 알아보고자 하였다.

대상과 방법

대상 환자 및 대조군 설정

본 연구는 본 병원의 임상시험심사위원회 승인을 받았으며 환

자의 영상자료와 진료기록지를 후향적으로 검토하였으며 대상 환자의 서면동의는 생략하였다. 2013년 4월부터 2014년 7월까지 CT에서 TBM으로 의심되었던 총 21명의 환자에 대하여 후향적으로 연구를 진행하였다. TBM의 객관적인 진단을 위해 중심 기관지의 허탈지수(collapsibility index; 이하 CI)를 이용하였다. CT에서 중심 기관지의 흡기 시 단면적의 최소값에 대한 흡기 시 단면적의 최소값과 호기 시 단면적의 최소값의 차이값의 비율을 허탈지수로 정의하였고, 흡기와 호기 CT에서 허탈지수가 0.5 이상인 환자를 본 연구의 TBM 환자군($n = 19$)으로 선정하였다. 선정된 환자군에 대해 각각 비슷한 나이(5살 내외)와 동일한 성별을 지닌 정상군을 환자군에 비해 두 배로 선별하여 환자-대조군 연구를 하였다. 선별된 정상군은 호흡기계와 관련된 증상이나 과거력이 없었으며 흉부 CT에서 특별한 이상 소견은 보이지 않았다.

환자군의 허탈지수는 기관 0.50 ± 0.11 , 우측 주 기관지 0.54 ± 0.19 , 좌측 주 기관지는 0.57 ± 0.19 였으며, 정상군의 허탈지수는 기관 0.05 ± 0.18 , 우측 주 기관지 0.14 ± 0.11 , 좌측 주 기관지는 0.13 ± 0.12 로, 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$).

환자군과 정상군의 평균 나이는 68.0 ± 15.0 세, 65.5 ± 21.5 세였으며 남자 6명, 여자 13명으로 남자가 약 32%, 여자가

Table 1. Demographics of TBM Patients

Patient No.	Age (yr)	Sex	BMI	Smoking	Clinical History	PFT	Bronchoscopy
1	36	F	15.12	Non-smoker	Dyspnea, old TBc	Restrictive	0
2	51	F	17.39	Non-smoker	Dyspnea, asthma, old TBc	Obstructive	0
3	52	F	24.00	Non-smoker	Dyspnea, asthma	X	X
4	60	F	21.21	Non-smoker	Dyspnea, asthma	Normal	0*
5	61	F	25.85	Non-smoker	Chronic cough	Normal	0
6	63	F	31.01	Non-smoker	Dyspnea, asthma	Normal	0
7	66	F	28.18	Non-smoker	Dyspnea, bronchiectasis	Normal	0
8	67	F	16.89	Current smoker (20 PYS)	Dyspnea, asthma	Mixed	X
9	68	F	36.74	Non-smoker	Chronic cough	Restrictive	0*
10	73	F	26.67	Non-smoker	Dyspnea, asthma	Mixed	X
11	74	F	25.80	Non-smoker	Dyspnea, old TBc	Normal	X
12	77	F	18.81	Non-smoker	Dyspnea, chronic bronchitis	Restrictive	0
13	78	F	33.77	Non-smoker	HF, chronic cough	Obstructive	0
14	64	M	20.05	Ex-smoker (10 PYS)	Dyspnea, emphysema	Obstructive	0
15	75	M	30.20	Ex-smoker (30 PYS)	Chronic bronchitis, emphysema	Mixed	X
16	75	M	23.03	Ex-smoker (30 PYS)	Dyspnea, asthma	Mixed	X
17	78	M	26.35	Ex-smoker (50 PYS)	Chronic bronchitis, emphysema	Obstructive	X
18	82	M	20.20	Current smoker (15 PYS)	Dyspnea, chronic bronchitis	Mixed	0*
19	83	M	26.13	Ex-smoker (2.5 PYS)	Dyspnea, asthma	Mixed	X

In bronchoscopy, 0 means that bronchoscopic examination was done, but TBM was not diagnosed at bronchoscopy, X means that bronchoscopic examination was not done, 0* means that bronchoscopic examination was done and TBM was diagnosed at bronchoscopy.

BMI = body mass index, HF = heart failure, PFT = pulmonary function test, PYS = pack-years, TBc = tuberculosis, TBM = tracheobronchomalacia

약 68%를 차지하였다. 또한, body mass index (이하 BMI)($p = 0.697$)와 흡연력($p = 0.735$)에 대해 환자군과 대조군을 비교해 보았을 때, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1).

CT 촬영과 영상 분석 방법

본원에서 시행하는 모든 흉부 CT (SOMATOM Sensation 16, Siemens Healthcare, Forchheim, Germany or SOMATOM Definition Flash; Siemens Healthcare, Erlangen, Germany)는 일반적으로 호기 말과 흡기 말을 포함하고 있었으며, 흡기 말에는 200 mAs, 120 kVp, 절편 두께, 2.0 mm로, 호기 말에는 50 mAs, 120 kVp, 절편 두께, 2.0 mm로 CT를 촬영하였고, 모두 B35f 재구성 커널(kernel)을 사용하였다. 본 연구에서 시행한 모든 CT는 조영증강을 시행하지 않았다.

CT에서 기관과 기관지의 정량화 분석(quantitative analysis)

은 영상소프트웨어 프로그램인 VIDA diagnostics (Pulmonary Workstation, version 2, Apollo®, Coralville, IA, USA)를 이용하였다. 이 소프트웨어는 촬영한 흉부 CT 영상에서 기관과 기관지를 삼차원으로 자동적으로 재구성하며, 각각의 위치에 맞게 라벨링(labeling)만 해 주면 자동적으로 각각 기관과 좌우 주 기관지에 대해 기도와 관련된 변수들의 정량화된 수치들이 계산이 되었다. 대부분은 자동적으로 기관과 기관지를 삼차원으로 재구성하지만 소프트웨어 오류로 인해 그렇지 못한 경우에는 다음과 같은 수동적 방법으로 재구성을 하였다. 촬영한 흉부 CT 영상을 VIDA diagnostics로 불러들여 온 후 두미축(craniocaudal axis)을 따라 기관과 기관지 내강 내부에 임의의 지점들을 설정하여 자동적으로 삼차원으로 재구성된 기관과 기관지의 영상을 획득하였다. 이를 전산화단층촬영 영상과 비교하여 같은 방법으로 부족한 영역은 추가로 설정하거나 과도한 영역은 삭제하여

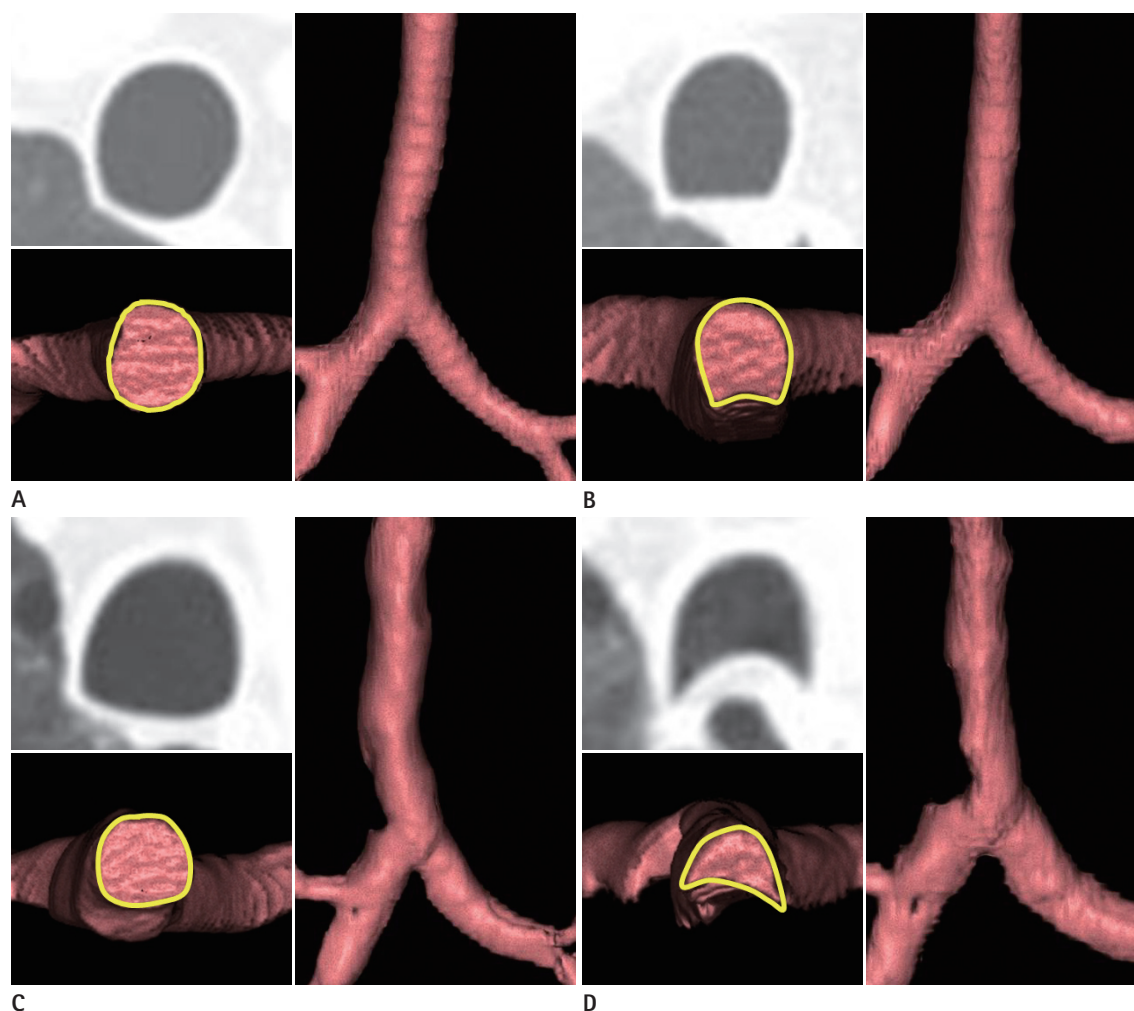


Fig. 1. CT (axial plane) and three-dimensional reconstructed VIDA images (axial and coronal view) of normal and tracheobronchomalacia group. Inspiration (A) and expiration (B) of normal subjects: there is no significant change of tracheal luminal area on inspiration and expiration. Inspiration (C) and expiration (D) of tracheobronchomalacia patients: the luminal area of the trachea on reduces on exhalation, as compared with inhalation.

최대한 순수한 기관과 기관지만을 포함하도록 하였다(Fig. 1).

소프트웨어를 통해 자동적으로 얻어진 기관과 기관지의 정량화된 변수들은 다음과 같다: 1) 기도 내강 단면적의 최소값(mm^2), 2) 기도 내강 둘레의 평균값(mm), 3) 기도 벽의 평균 두께(mm), 4) 전체 기도 단면적에 대한 벽 단면적의 비율의 평균값(Fig. 2). 이러한 변수들을 흡기 말과 호기 말 CT 영상에서 기관과 양쪽 주 기관지에서 각각 얻었다.

통계

TBM 환자군과 정상군의 BMI와 흡연력, 기관과 양쪽 주 기관지를 정량화한 변수들과 허탈지수는 정규성 검정을 통해 정규 분포를 보이는 인자들에 대해서는 Student *t*-test를 이용하여 비교하였으며, 정규 분포를 보이지 않는 인자들에 대해서는 Mann-Whitney U test를 이용하여 비교하였다. 또한 흡기와 호기 사이 변화 정도(%)는 흡기의 변수값에서 호기의 변수값을 뺀 값을 흡기의 변수값으로 나눈 값에 100을 곱한 값으로 정의

하여, 각각 변수들의 흡기와 호기 사이의 변화 정도에 대해서도 추가적으로 TBM군과 정상군을 비교하였다.

모든 통계 분석은 SPSS version 20.0 (IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하여 평가하였으며, 통계적 유의수준은 *p*값이 0.05 미만인 경우로 정의하였다.

결과

기관

흡기 말 CT에서는 TBM 환자군과 정상군의 기관의 정량화 변수들에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 호기 말 CT에서는 TBM 환자군과 정상군의 내강 단면적의 최소값($108.80 \pm 43.26 \text{ mm}^2$ vs. $169.12 \pm 53.60 \text{ mm}^2$, $p < 0.001$), 내강 둘레의 평균값($43.97 \pm 8.75 \text{ mm}$ vs. $49.04 \pm 6.82 \text{ mm}$, $p = 0.020$), 기관 벽의 평균 두께($1.89 \pm 0.48 \text{ mm}$ vs. $2.22 \pm 0.48 \text{ mm}$, $p = 0.017$)에 차이를 보였으며,

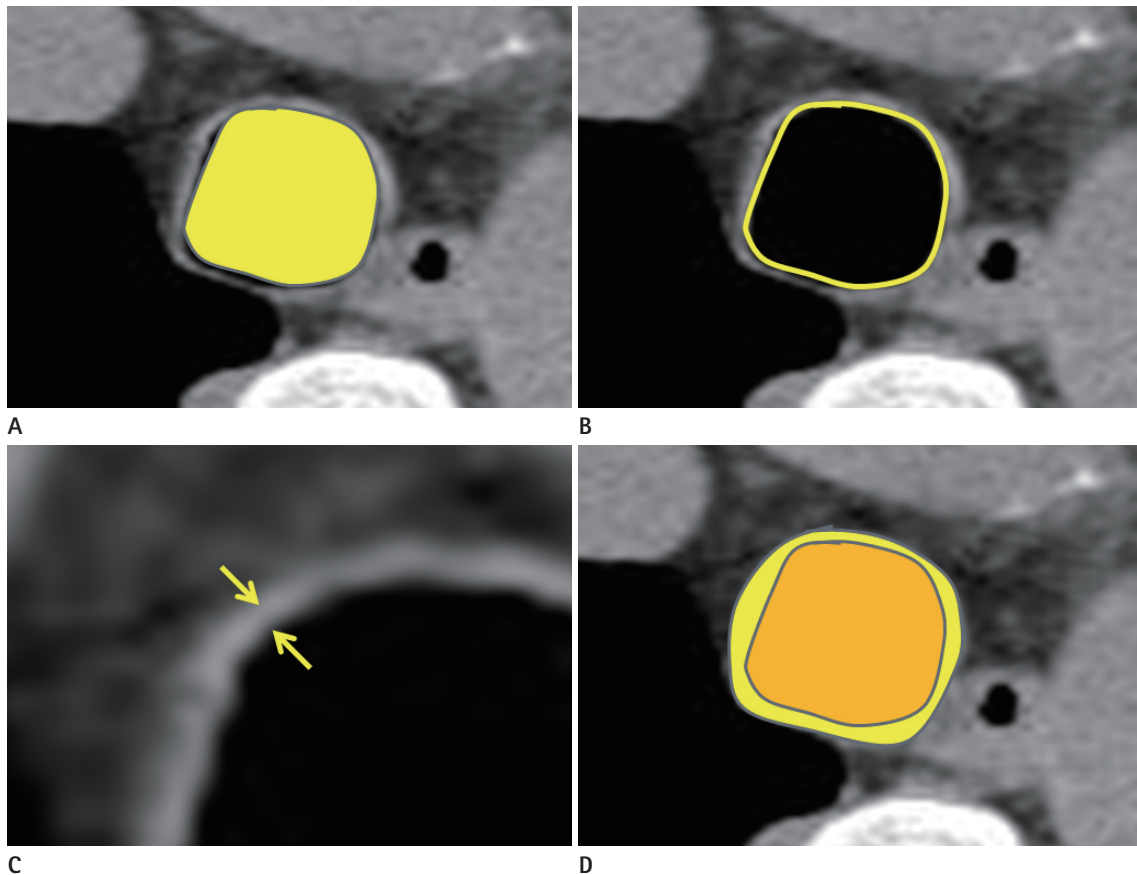


Fig. 2. Quantified four airway parameters of normal 37-year-old woman at inspiration.

A. Minimal luminal area: 145.91 mm^2 .

B. Luminal perimeter: 43.36 mm .

C. Wall thickness between outer and inner margin (arrow): 2.69 mm .

D. Wall to total area ratio: 0.49 .

TBM 환자들이 정상군에 비해 통계적으로 유의하게 더 낮은 결과값을 보였다. 하지만, 전체 기관 단면적에 대한 벽 단면적의 비율의 평균값에 대해서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(0.41 ± 0.05 vs. 0.40 ± 0.04 , $p = 0.454$)(Table 2, Fig. 3).

우측 주 기관지

흡기 말 CT에서는 TBM 환자군과 정상군의 우측 주 기관지의 정량화 변수들에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 호기 말 CT에서는 TBM 환자군과 정상군의 내강 단면적의 최소값(58.54 ± 31.97 mm² vs. 120.22 ± 23.31 mm², $p < 0.001$), 내강 둘레의 평균값(33.52 ± 7.91 mm vs. 42.69 ± 4.82 mm, $p < 0.001$), 우측 주 기관지의 평균 두께(1.64 ± 0.25 mm vs. 1.83 ± 0.37 mm, $p = 0.021$)에 차이가 있었으며, TBM 환자군이 정상군에 비해 통계적으로 유의하게 더 낮은 결과값을 보였다. 또한, TBM 환자군의 우측 주 기관지 단면적에 대한 벽 단면적의 비율의 평균값은 정상군에 비해 통계적으로 유의하게 더 높은 결과값을 보였다(0.48 ± 0.07 vs. 0.41 ± 0.04 , $p < 0.001$)(Table 2).

좌측 주 기관지

흡기 말 CT에서는 TBM 환자군과 정상군의 좌측 주 기관지의 정량화 변수들에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 호기 말 CT에서는 TBM 환자군의 내강 단면적의 최소값(40.42 ± 26.42 mm² vs. 71.49 ± 20.41 mm², $p < 0.001$),

내강 둘레의 평균값(26.76 ± 7.66 mm vs. 31.88 ± 4.27 mm, $p = 0.012$), 좌측 주 기관지의 평균 두께(1.61 ± 0.18 mm vs. 1.75 ± 0.21 mm, $p = 0.016$)가 정상군에 비해 통계적으로 유의하게 더 낮은 결과값을 보였으며, 환자군의 좌측 주 기관지 단면적에 대한 벽 단면적의 비율의 평균값은 정상군에 비해 통계적으로 유의하게 더 높은 결과값을 보였다(0.52 ± 0.07 vs. 0.46 ± 0.03 , $p = 0.002$)(Table 2).

TBM군과 정상군의 흡기와 호기 사이 각 변수들의 변화 정도 비교

각 변수들의 흡기와 호기 사이의 변화 정도를 TBM군과 정상군에서 비교해 보았을 때, 기관에서는 내강 단면적의 최소값($p = 0.000$)과 내강 둘레의 평균값($p = 0.003$)에서 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 우측 주 기관지에서는 내강 단면적의 최소값($p = 0.000$)과 내강 둘레의 평균값($p = 0.000$), 우측 주 기관지 단면적에 대한 벽 단면적의 비율의 평균값($p = 0.007$)에서 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 좌측 주 기관지에서는 내강 단면적의 최소값($p = 0.000$)과 내강 둘레의 평균값($p = 0.000$), 좌측 주 기관지의 평균 두께($p = 0.018$), 좌측 주 기관지 단면적에 대한 벽 단면적의 비율의 평균값($p = 0.006$)에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 3).

또한, TBM 환자에서 각각의 변수들에 대하여 흡기와 호기 사이 변수들의 변화 정도를 기관과 우측 주 기관지, 좌측 주 기관지에서 비교해 보았을 때 모두 통계적으로 의미 있는 차이를 보이지 않았다(Table 4).

Table 2. Quantification of Central Airway on CT in TBM Patients and Normal Subjects

Variables	Inspiration			Expiration		
	TBM	Normal	<i>p</i>	TBM	Normal	<i>p</i>
Trachea						
MLA (mm ²)	180.02 ± 67.36	184.06 ± 65.00	0.828	108.80 ± 43.26	169.12 ± 53.60	0.000
LP (mm)	51.77 ± 9.22	51.92 ± 8.27	0.951	43.97 ± 8.75	49.04 ± 6.82	0.020
WT (mm)	2.21 ± 0.50	2.38 ± 0.36	0.184	1.89 ± 0.48	2.22 ± 0.48	0.017
WTAR	0.40 ± 0.04	0.42 ± 0.04	0.140	0.41 ± 0.05	0.40 ± 0.04	0.454
Right main bronchus						
MLA (mm ²)	124.60 ± 45.55	141.45 ± 32.59	0.114	58.54 ± 31.97	120.22 ± 23.31	0.000
LP (mm)	43.05 ± 8.37	45.54 ± 5.02	0.244	33.52 ± 7.91	42.69 ± 4.82	0.000
WT (mm)	1.99 ± 0.50	2.13 ± 0.40	0.243	1.64 ± 0.25	1.83 ± 0.37	0.021
WTAR	0.43 ± 0.04	0.42 ± 0.04	0.775	0.48 ± 0.07	0.41 ± 0.04	0.000
Left main bronchus						
MLA (mm ²)	86.37 ± 44.01	82.46 ± 23.55	0.720	40.42 ± 26.42	71.49 ± 20.41	0.000
LP (mm)	35.05 ± 8.43	34.06 ± 4.36	0.637	26.76 ± 7.66	31.88 ± 4.27	0.012
WT (mm)	1.83 ± 0.42	1.76 ± 0.20	0.350	1.61 ± 0.18	1.75 ± 0.21	0.016
WTAR	0.45 ± 0.05	0.44 ± 0.03	0.466	0.52 ± 0.07	0.46 ± 0.03	0.002

LP = luminal perimeter, MLA = minimal luminal area, TBM = tracheobronchomalacia, WT = wall thickness, WTAR = wall to total area ratio

고찰

본 연구에서는 CT의 중심 기관지를 정량화함으로써 TBM의 통상적인 진단 기준인 호기 시 단면적 감소 외에 기도 둘레와 기도 벽 두께 감소와 같은 기도 개형(airway remodeling)에 대한 새로운 정보를 얻을 수 있었으며(3, 4), 이를 근거로 TBM의 새로운 진단적 접근 방법을 제시하였다. 기존에 호기 시의 단면적 감소 외에 TBM의 새로운 진단 방법을 찾기 위한 여러 연구들이 보고되었다. 2004년 Zhang 등(16)은 역동적 CT를 이용하여 TBM 환자와 정상인의 공기 포획(air trapping) 정도를 비교하였으며 TBM 환자가 정상인에 비해 더 높은 빈도와 심한 정도의 공기 포획을 보인다고 보고하였고, 2007년 Loring 등(17)은 기관지 내시경과 압력 측정 장치를 이용하여 TBM 환자의 중심 기도 역학(central airway mechanics)과 유동 한계(flow limitation)를 분석하여 TBM 환자의 중심 기관지 허탈과 공기 흐름의 관계를 언급하였다. 하지만 이러한 연구들은 TBM 환자에서 보일 수 있는 간접적인 특징들을 분석했을 뿐, 지지연골의 연화와

근탄력성 성분의 저긴장성으로 인한 기관과 기관지 벽의 약화와 이에 동반되는 호기 시의 기도 허탈에 대한 병태생리학적 정보를 충분히 반영하지 못하기 때문에 한계가 있었다.

기관 벽은 정상적으로 앞, 옆쪽에는 16~20개의 C자 모양의 연골고리가, 뒤쪽에는 섬유성 탄성 조직과 근육 성분(횡문근섬유, 종주근섬유)으로 이루어져 있다. 통상적으로 TBM은 조직 소견이 아닌 직간접적인 시각적 판단에 의해 진단되어 왔기 때문에 어떠한 조직병리 변화가 발생하는지에 대해서는 거의 알려지지 않았다. 하지만 지금까지 소아에서 시행된 부검 연구에 따르면 TBM 환자가 정상에 비해 연골 대 근육의 비율이 더 낮았고 연골 조직과 평활근 섬유의 수가 감소되어 있었다(18, 19). 성인에서 시행된 부검 연구 또한 비슷한 결과를 보였다(20, 21). 본 연구에서는 중심 기관지 정량화를 통한 TBM 환자와 정상인 사이의 호기 시 기도 벽 두께의 비교를 했을 때, TBM 환자가 정상군에 비해 기관은 평균 0.3 mm, 우측 주 기관지는 평균 0.2 mm, 좌측 주 기관지는 평균 0.15 mm로 더 얇았으며, 지금까지 알려진 조직병리학적 변화인 연골 조직과 평활근 섬유의 감

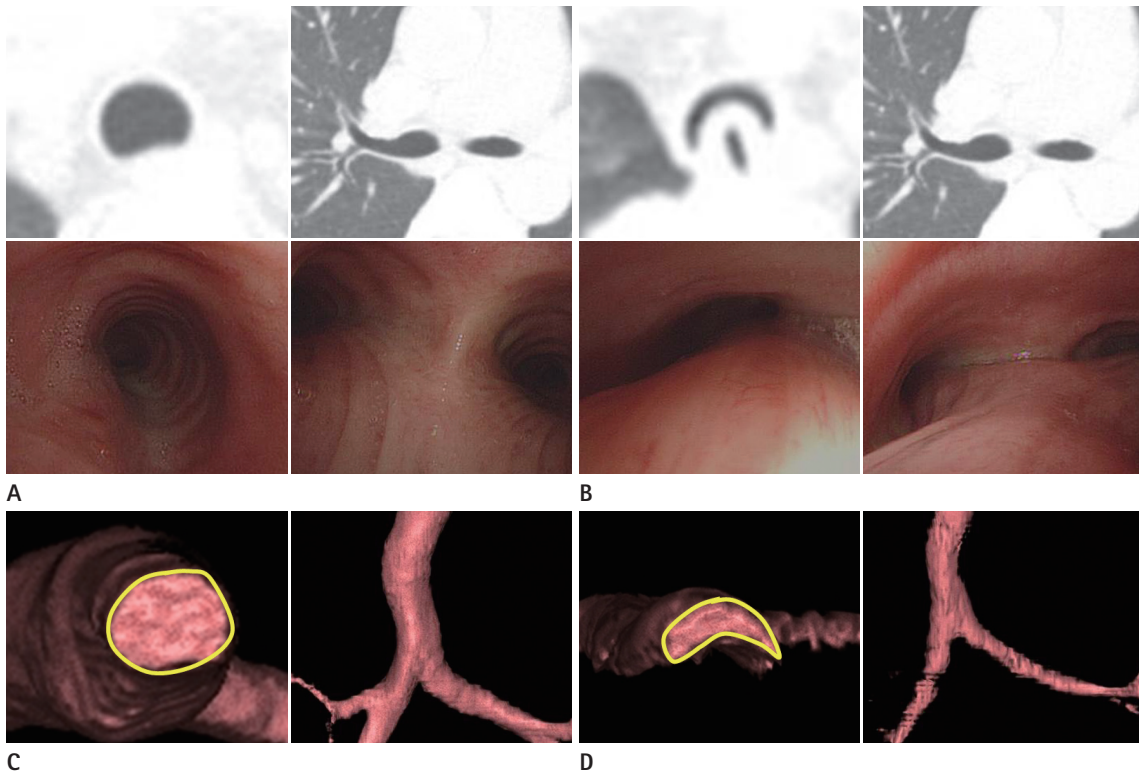


Fig. 3. A 61-year-old woman complained of dyspnea of 2 months duration. She was diagnosed as tracheobronchomalacia by HRCT and bronchoscopy. CT and bronchoscopy images in **(A)** inspiration and **(B)** expiration. Luminal area of trachea at expiration is significantly decreased, compared with inspiration. 3D reconstructed VIDA images from HRCT images in **(C)** inspiration and **(D)** expiration. All luminal areas, wall thickness and luminal perimeter were calculated automatically by 3D reconstruction. Calculated parameters for inspiration vs. expiration are as follows - minimal luminal area: 108.90 mm² vs. 21.23 mm²; luminal perimeter: 43.72 mm vs. 23.52 mm; wall thickness: 1.65 mm vs. 1.49 mm; wall to total area ratio: 0.37 vs. 0.54.

HRCT = high-resolution computed tomography, 3D = three-dimensional

Table 3. Comparison of Variable Changes between Inspiration and Expiration in TBM Patients and Normal Subjects

Variables	TBM	Normal	p
Trachea			
MLA (%)	39.77 ± 18.61	5.26 ± 18.13	0.000
LP (%)	14.69 ± 12.07	5.12 ± 5.61	0.003
WT (%)	9.75 ± 31.96	6.69 ± 13.39	0.693
WTAR (%)	-6.18 ± 18.90	1.11 ± 10.47	0.131
Right main bronchus			
MLA (%)	51.79 ± 21.60	13.59 ± 10.93	0.000
LP (%)	21.52 ± 15.20	6.06 ± 6.22	0.000
WT (%)	12.67 ± 26.67	12.04 ± 17.34	0.915
WTAR (%)	-12.59 ± 22.54	3.61 ± 10.70	0.007
Left main bronchus			
MLA (%)	50.74 ± 23.43	12.61 ± 11.67	0.000
LP (%)	23.16 ± 14.67	6.27 ± 6.23	0.000
WT (%)	9.44 ± 15.13	-0.01 ± 8.01	0.018
WTAR (%)	-16.23 ± 14.97	-5.20 ± 5.73	0.006

LP = luminal perimeter, MLA = minimal luminal area, TBM = tracheobronchomalacia, WT = wall thickness, WTAR = wall to total area ratio

Table 4. p Values Comparison of Variable Changes among Trachea, RMB, LMB in Tracheobronchomalacia Patients

Variables	Trachea & RMB	Trachea & LMB	RMB & LMB
MLA	0.074	0.119	0.887
LP	0.134	0.060	0.738
WT	0.761	0.971	0.649
WTAR	0.348	0.078	0.561

LMB = left main bronchus, LP = luminal perimeter, MLA = minimal luminal area, RMB = right main bronchus, WT = wall thickness, WTAR = wall to total area ratio

소와 일치한다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

본 연구에서 CT를 통해 TBM 환자와 정상군의 기도 내강의 단면적, 기도 내강 둘레, 기도 벽의 두께, 전체 기도 단면적에 대한 벽 단면적의 비율에 대한 정량화를 하였을 때, 호기 말 CT 영상에서 TBM 환자가 정상군에 비해 기도 내강의 단면적, 기도 내강 둘레와 기도 벽의 두께 모두에서 의미 있는 차이를 보였다. TBM 환자의 호기 시 기도 내강 단면적 감소는 이미 잘 알려져 있으나(5, 13), 기도 내강 둘레와 기도 벽 두께 감소는 TBM을 CT로 정량화했을 때 얻을 수 있는 새로운 인자이다. 본 연구에서 유일하게 의미 있게 통계적 차이를 보이지 않은 전체 기도 단면적에 대한 벽 단면적의 비율 증가는 TBM의 호기 시 가속화된 기도 내강 자체의 감소와 기도 벽 자체의 감소뿐만 아니라 기도 내강과 기도 벽 사이의 상호작용이 관계되는 인자로서 이러한 결과가 나온 원인에 대해서는 기도 내강과 기도 벽 사이의 상호작용에 대한 분석이 향후 필요할 것으로 생각된다. 또한, 흡기와 호기 사이에 각 변수들의 변화 정도를 TBM군과 정상군에서 비

교해 보았을 때 기관과 우측, 좌측 주 기관지에서 공통적으로 기도 내강의 단면적, 기도 내강 둘레에서 의미 있는 차이를 보였으나 기도 벽 두께와 기도 단면적에 대한 벽 단면적의 비율에서는 공통적으로 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 이를 통해 보았을 때 TBM군이 정상군에 비해 기도 내강 단면적과 마찬가지로 기도 내강 둘레의 변화 정도가 더 크다는 것을 알 수 있으며, 기도 벽 두께의 변화 정도는 두 군에서 차이가 없는 것을 알 수 있다. 즉, 앞의 분석과 종합해 보았을 때, 호기 시 기도 내강 둘레 자체는 TBM군이 정상군에 비해 더 작으며 흡기와 호기 사이 변화 정도도 더 큰 것을 알 수 있고, 호기 시 기도 벽 두께 자체는 TBM군이 정상군에 비해 더 얇으나 흡기와 호기 사이 변화 정도는 차이가 없는 것을 알 수 있다. 추가적으로, TBM군 내에서 흡기와 호기 사이 각 변수들의 변화 정도를 기관, 우측 주 기관지, 좌측 주 기관지에서 서로 비교해 보았을 때 모두에서 의미 있는 차이를 보이지 않아 이러한 변화 정도는 기도의 위치에 따라 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

본 연구의 제한점으로, 첫째, 본 논문은 후향적인 연구로서, 비교 분석한 TBM 환자군과 정상군의 수가 적었다. 이로 인해 TBM군과 정상군 간에 Student *t*-test와 Mann-Whitney U test를 이용한 단순 비교만 가능하였으며, 여러 위험인자들을 이용한 다중 회귀 분석을 시행할 수 없었다. 두 군 간의 정확한 비교를 위해서는 더 많은 TBM 환자를 대상으로 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 둘째, 모든 TBM 환자군은 흉부 CT를 이용하여 진단했으나, 추가적인 확인을 위해 기관지 내시경을 따로 시행하지는 않았다. 초기 2명에서 CT로 진단 후 기관지 내시경을 시행했으나 CT와 같은 소견을 보여, 임상과에서 그 이후로는 기관지 내시경을 추가로 시행하지 않았다. 그러나, 본 연구에서 선정한 환자들은 TBM에 합당한 임상 증상과 위험 인자들을 가지고 있었으며, 허탈지수(CI) > 0.5인 객관적인 기준 또한 만족했기 때문에 이에 대해서는 보완이 되었을 것으로 생각된다. 셋째, 기도 정량화를 위한 중심 기관지의 VIDA를 통한 삼차원 재구성과정에서 일부 환자군과 정상군에서는 자동적으로 결과값을 얻어낼 수 없어 수동적인 방법으로 재구성 영상을 얻어냈기 때문에 중심 기관지 정량화 변수 간에 약간의 오차가 발생할 수 있었다. 마지막으로, TBM군과 정상군 사이에 의미 있는 차이를 보였던 기도 벽 두께 감소와 내강 둘레 감소에 대한 절단값(cut-off value)을 구하기 위해 receiver operating characteristic curve를 이용해 보았지만 의미 있는 결과값은 구할 수 없었다. 이러한 이유는 환자군의 수가 적은 점이 원인이 될 수 있으며 벽 두께와 내강 둘레 자체가 작은 수치를 보이고 있어 환자군 간에 수치 차이가 너무 작다는 점이 원인이 되었을 것으로 판단된다. 이에 대해서는 추후 광범위한 연구가 필요할 것으로 생

각된다.

결론적으로, CT 정량화를 통해 TBM의 새로운 진단적 지표로서 기도 둘레 감소와 기도 벽 두께 감소를 새롭게 발견할 수 있었으며 이러한 진단 지표는 TBM을 진단하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Baxter JD, Dunbar JS. Tracheomalacia. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1963;72:1013-1023
- Nuutinen J. Acquired tracheobronchomalacia. A clinical study with bronchological correlations. *Ann Clin Res* 1977; 9:350-355
- de Jong PA, Müller NL, Paré PD, Coxson HO. Computed tomographic imaging of the airways: relationship to structure and function. *Eur Respir J* 2005;26:140-152
- Hackx M, Bankier AA, Gevenois PA. Chronic obstructive pulmonary disease: CT quantification of airways disease. *Radiology* 2012;265:34-48
- Johnson TH, Mikita JJ, Wilson RJ, Feist JH. Acquired tracheomalacia. *Radiology* 1973;109:576-580
- Palombini BC, Villanova CA, Araújo E, Gastal OL, Alt DC, Stolz DP, et al. A pathogenic triad in chronic cough: asthma, postnasal drip syndrome, and gastroesophageal reflux disease. *Chest* 1999;116:279-284
- Jokinen K, Palva T, Sutinen S, Nuutinen J. Acquired tracheobronchomalacia. *Ann Clin Res* 1977;9:52-57
- Topalovic M, Exadaktylos V, Peeters A, Coolen J, Dewever W, Hemeryck M, et al. Computer quantification of airway collapse on forced expiration to predict the presence of emphysema. *Respir Res* 2013;14:131
- Schmithorst VJ, Altes TA, Young LR, Franz DN, Bissler JJ, McCormack FX, et al. Automated algorithm for quantifying the extent of cystic change on volumetric chest CT: initial results in lymphangiomyomatosis. *AJR Am J Roentgenol* 2009;192:1037-1044
- Park KJ. Clinical use of chest CT in chronic obstructive pulmonary diseases. *Korean J Med* 2009;77:407-414
- Jang EH, Sun JS, Kang DK, Park KJ, Park KJ. Emphysema quantification using low dose chest CT: changes in follow-up examinations of asymptomatic smokers. *J Korean Soc Radiol* 2012;66:35-42
- Nam B, Hwang JH, Lee YM, Park JS, Jou SS, Kim Y. Quantitative CT assessment in chronic obstructive pulmonary disease patients: comparison of the patients with and without consistent clinical symptoms and pulmonary function results. *J Korean Soc Radiol* 2015;73:147-157
- Gilkeson RC, Ciancibello LM, Hejal RB, Montenegro HD, Lange P. Tracheobronchomalacia: dynamic airway evaluation with multidetector CT. *AJR Am J Roentgenol* 2001;176: 205-210
- Boiselle PM, O'Donnell CR, Bankier AA, Ernst A, Millet ME, Potemkin A, et al. Tracheal collapsibility in healthy volunteers during forced expiration: assessment with multidetector CT. *Radiology* 2009;252:255-262
- Litmanovich D, O'Donnell CR, Bankier AA, Ernst A, Millett ME, Loring SH, et al. Bronchial collapsibility at forced expiration in healthy volunteers: assessment with multidetector CT. *Radiology* 2010;257:560-567
- Zhang J, Hasegawa I, Hatabu H, Feller-Kopman D, Boiselle PM. Frequency and severity of air trapping at dynamic expiratory CT in patients with tracheobronchomalacia. *AJR Am J Roentgenol* 2004;182:81-85
- Loring SH, O'donnell CR, Feller-Kopman DJ, Ernst A. Central airway mechanics and flow limitation in acquired tracheobronchomalacia. *Chest* 2007;131:1118-1124
- Wailoo M, Emery JL. The trachea in children with respiratory diseases including children presenting as cot deaths. *Arch Dis Child* 1980;55:199-203
- Wailoo M, Emery JL. Structure of the membranous trachea in children. *Acta Anat (Basel)* 1980;106:254-261
- Kiener M, Koblet H, Wyss F. [Pathology of stenosed bronchial collapse with pulmonary emphysema]. *Schweiz Med Wochenschr* 1957;87:660-663
- Ikeda S, Hanawa T, Konishi T, Adachi M, Sawai S, Chiba W, et al. [Diagnosis, incidence, clinicopathology and surgical treatment of acquired tracheobronchomalacia]. *Nihon Kyobu Shikkan Gakkai Zasshi* 1992;30:1028-1035

기관-기관지연화증 환자에서 CT상 중심 기관지의 정량화

임원형¹ · 진공용^{1,2,3*} · 한영민^{1,2,3} · 김은영^{1,3}

목적: 흉부 CT에서 기관-기관지연화증의 중심 기관지 정량화를 통해 어떤 인자가 이 질환의 진단에 관여하는지 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 2013년 4월부터 2014년 7월까지 흉부 CT에서 기관-기관지연화증으로 진단받은 19명(68.0 ± 15.0세; 남자 6명, 여자 13명)과 정상인 38명(65.5 ± 21.5세; 남자 6명, 여자 13명)을 대상으로 하였다. CT는 호기와 흡기 말에 시행하였으며 각각의 영상에 대해서 기관과 좌우 기관지를 정량화하였다. 두 그룹에서 내강 둘레의 평균값, 벽의 평균 두께를 Student *t*-test를 이용하여 비교하였다.

결과: 호기 시에 기관-기관지연화증 환자의 중심 기관지 내강 둘레의 평균값이 정상군에 비해 더 작았다(기관: 43.97 mm vs. 49.04 mm, $p = 0.020$; 우측 주 기관지: 33.52 mm vs. 42.69 mm, $p < 0.001$; 좌측 주 기관지: 26.76 mm vs. 31.88 mm, $p = 0.012$). 기도 벽의 평균 두께 또한 환자군이 정상군에 비해 더 얇았다(기관: 1.89 mm vs. 2.22 mm, $p = 0.017$; 우측 주 기관지: 1.64 mm vs. 1.83 mm, $p = 0.021$; 좌측 주 기관지: 1.61 mm vs. 1.75 mm, $p = 0.016$).

결론: 중심 기관지의 CT 정량화를 통해, 호기 시의 기도 내강 둘레 감소와 벽의 두께 감소가 기관-기관지연화증 진단의 새로운 지표가 될 수 있다.

¹전북대학교병원 영상의학과, ²전북대학교 의학전문대학원 영상의학과, ³전북대학교 임상의학연구소 전북대학교병원 의생명연구원