

적출후두 고정장치의 개발

부산대학교 의학전문대학원 이비인후과학교실,¹ 부산대학교병원 이비인후과,²
양산부산대학교병원 이비인후과³

신성찬¹ · 성의숙¹ · 왕수진¹ · 권현근¹ · 정다운¹ · 차원재¹
이진춘¹ · 김근효² · 이연우² · 배인호³ · 이병주¹

Development of Ex-vivo Laryngeal Holder Device

Sung-Chan Shin, MD¹, Eui-Suk Sung, MD¹, Soo-Geun Wang, MD, PhD¹, Hyun-Keun Kwon, MD¹,
Da-Woon Jung, MD¹, Wonjae Cha, MD, PhD¹, Jin-Choon Lee, MD¹, Geun-Hyo Kim, PhD, SLP²,
Yeon-Woo Lee, SLP², In-Ho Bae, PhD, SLP³ and Byung-Joo Lee, MD, PhD¹

¹Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University School of Medicine, Busan; and

²Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University Hospital, Busan; and

³Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University Yangsan Hospital, Yangsan, Korea

– ABSTRACT –

Objectives : It is important to observe vocal fold vibration in detail for phonatory research. Ex-vivo larynx is a representative universally used material for phonatory research. We developed a new ex-vivo larynx holder device to fix the larynx more easily and to provide vocal fold adduction effectively for ex-vivo larynx experiments. To evaluate the utility of this laryngeal holder device, we performed two-dimensional videokymography (2D VKG)

Methods : We developed the new ex-vivo laryngeal holder device for mounting ex-vivo larynx. The 2D VKG was used to assess the vocal fold vibration of ex-vivo canine larynx fixed with our ex-vivo larynx holder device.

Results : Our ex-vivo larynx holder device provided fixing the ex-vivo larynx more easily and fast without additional arytenoid approximation. With this ex-vivo laryngeal holder device, we could evaluate ex-vivo canine vocal fold vibration successfully using 2D VKG without additional arytenoid approximation and mucosal dehydration.

Conclusions : This newly developed ex-vivo laryngeal holder device is expected to help the phonatory researchers to study vocal cord movement more easily. (J Clinical Otolaryngol 2017;28:219-224)

KEY WORDS : Excised larynx · Holder device · Two dimensional videokymography.

서 론

음성연구를 위해서 성대 및 후두의 운동을 영상 장비를 통해 직접 관찰하는 것은 중요하다. 성대 진동을 관찰

하고 분석하는 것은 음성연구에 필수적 요소로서, 발생하는 인체의 후두를 내시경을 통해 직접 관찰하는 것이 가장 손쉽고 간단한 방법이나, 발생하는 인체 후두에 여러 조건을 부여하면서 조작을 가하는 것은 현실적으로 어렵다. 반면, 적출된 동물후두나 사체후두를 이용할 경

논문접수일 : 2017년 9월 28일 / 논문수정일 : 2017년 10월 19일 / 심사완료일 : 2017년 11월 22일

교신저자 : 이병주, 49241 부산광역시 서구 구덕로 179 부산대학교 의학전문대학원 이비인후과학교실

전화 : (051) 240-7675 · 전송 : (051) 240-2162 · E-mail : voiceleebj@gmail.com

우 연구자의 목적에 따라 다양한 조건을 부여하면서 후두를 직접 조작할 수 있고, 후두의 운동을 여러 영상장비를 통해 인체 후두보다 더욱 근접하여 자세히 관찰할 수 있다는 장점이 있다.

개의 후두는 인체 후두와 해부학적으로 유사한 구조를 지니고 구하기가 쉬워, 적출된 동물후두를 이용한 음성 연구에서 가장 많이 사용되는 재료 중 하나이다.^{1,2)} 그러나 적출된 동물후두는 생체후두(in vivo larynx)와는 달리 자연적 발성을 할 수 없는 조건이므로, 사전에 제작된 고정장치에 적출후두를 장착한 후 공기를 기관을 통해 주입하여 성대의 진동을 유발시킨다. 이때 적절한 성대의 진동을 유발하기 위해서는 성대가 충분히 내전되어 양측 성대가 접촉을 이루고 있어야 한다.³⁾ 적출후두의 성대 내전을 위한 방법에는 양측 피열연골을 봉합사를 이용해 내전(adduction) 또는 근사(approximation)시키고 동시에 성대 전교련(anterior commissure)를 앞쪽으로 당겨 성대에 긴장도를 주는 것이다.⁴⁾ 하지만 이 방법은 생리적 발성을 재현하지 못하고 또한 성대 내전 및 후두 고정 과정에 시간이 소요되므로, 후두 점막의 탈수 및 건조가 발생하여 실험이 거듭될수록 성대진동이 감소할 수 있다는 단점이 있다. 따라서 좀 더 생리적인 발성을 위해 적출후두에 관류(perfusion)를 시키면서 신경을 전기 자극하여 후두근육을 자극시켜 발성을 시키는 방법도 고안되었으나, 기술적으로 어려움이 많은 방법이다.⁵⁾

본 저자들은 이전에 적출 개후두를 이용한 2차원 비디오 오카이모그래피의 유용성에 대해 발표하였다.⁶⁾ 당시 연구를 위해 적출후두 고정장치를 제작하였으나, 적출후두 고정장치만으로는 성대내전이 불충분하여 봉합사를 이용한 피열연골근사(arytenoid approximation)를 따로 시행해줘야 했었고, 이로 인해 실험 수행시간이 많이 걸려 성대 점막의 탈수가 진행되어 실험시간이 지날수록 성대 점막의 파동이 감소하였다.

이에 본 저자들은 적출후두를 보다 손쉽게 빠르게 고정하고, 성대내전을 효과적으로 시켜주는 새로운 적출후두 고정장치를 제작하였기에 적출후두를 음성연구 실험에 이용하는 후두음성연구자들을 위해 보고하고자 한다.

방 법

적출 개 후두 모델

8 kg의 개를 안락사 시킨 이후에, 후두를 적출하였다. 후두적출은 4번째 기관부터 설골까지 적출을 한 후, 성대관찰이 용이하도록 성문상부의 구조물들은 제거하여, 사전에 제작된 적출후두 고정장치에 개의 후두를 장착하였다. 이후 후두고정장치의 적출후두 고정용 집계를 이용하여, 피열연골을 내전시키고 동시에 양측 갑상연골판(lamina of thyroid cartilage)의 전면부를 눌러 성대가 내전되어 접촉되도록 하였다. 성대 진동을 유발하기 위해 기관(trachea)에 기관내튜브(endotracheal tube)를 거치시키고 공기유출이 없도록 밀봉한 후 질소가스를 주입하여 성대 진동을 유발하였다.

적출후두 고정장치의 개발

적출동물 후두고정장치는 70×100 cm 크기의 직사각형 폴리에틸렌(polyethylene)판과 지름 18 cm 원통형 MC 나일론(Monomer-Cast Nylon)판을 사용하여 만들었다. MC 나일론과 폴리에틸렌은 시중에서 손쉽게 저렴한 가격으로 구할 수 있는 재료이며 내구성이 좋다고 알려져 있다. MC 나일론은 경도가 폴리에틸렌에 비해 우수하다고 알려져 있다.⁷⁾ 따라서 MC 나일론이 탭홀(tap-hole)을 만들기에 더 적합하다고 판단되어 여러 개의 탭홀이 필요한 후두고정틀(Fig. 1A)과 10 mm 내시경 거치대(Fig. 1G)를 만드는데 이용했다. 직사각형의 폴리에틸렌판은 후두고정장치의 바닥면(Fig. 1D)을 제작하는데 이용했다. 후두고정틀과 스테인리스 금속판에 다양한 각도를 가진 여러 개의 탭홀(Fig. 1F)을 만들어서, 여러 각도에서 볼트와 너트를 이용해 원하는 위치에 적출후두 고정용 집계를 고정할 수 있도록 하였다. 적출후두 고정용 집계(Fig. 1B)는 시중에 파는 포크(three prong)를 가공해서 사용했고, 피열연골 및 성문 전연합부를 여러 각도에서 누를 수 있도록 고안하여, 후두크기에 관계없이 성대 접촉이 잘되도록 제작하였다. 또한 후두고정틀은 좌우 이동이 가능하고, 내시경 거치대는 상하 높낮이가 조절이 가능하도록 제작하였다. 적출후두 고정장치 도면과 실물은 Fig. 1, 2와 같다.

적출후두 고정장치의 평가

적출후두 고정장치를 평가하기 위해 적출 개후두를 이용하여 2차원 비디오카이모그래피(two dimensional videokymography, 2D VKG)를 이용하여 성대진동영상을 촬영하였다. 2D VKG는 롤링 셔터를 이용한 USC-710 HD(U-medical Co., Korea) 카메라, 10 mm 0도 내시경(Storz, 5.8 mm 8700 CKA, Germany), 300W 제논광원(Storz, NOVA 300, Germany)을 이용하였고, 프레임속도는 초당 25프레임이었다.

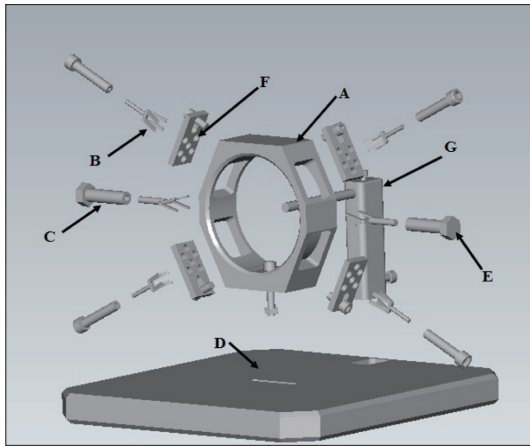


Fig. 1. The blueprint of ex-vivo larynx holder device. A : Larynx holder made with MC nylon. B : Three prong for pressing thyroid cartilage lamina. C : Hexagonal headed bolt for modulating three prong. D : Stanchion plate made with polyethylene. E : Hexagonal headed bolt. F : Tap-hole. G : Endoscope holder.

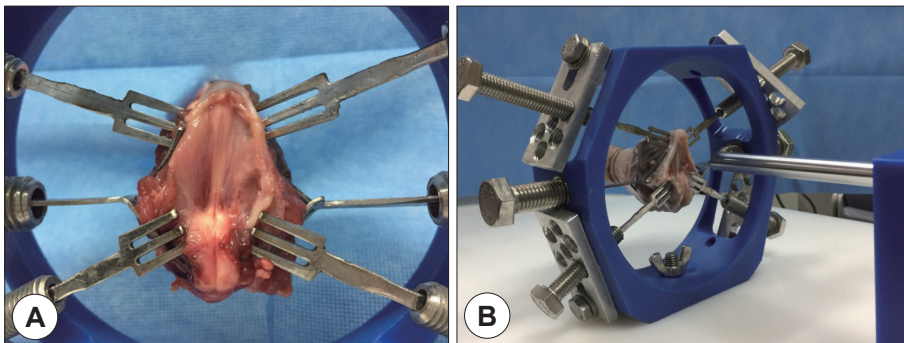


Fig. 2. Real model of ex-vivo larynx holder device. A : Front view. B : Oblique view with 10 mm 0 degree endoscope mounting status.

결 과

총 제작 비용 및 소요시간

장치의 무게는 약 10 kg이고, 제작에 소모된 비용은 재료구입비 10만원, 금형업체 장치제작 의뢰 비용 60만원으로 총 70만원이 소요되었다. 제작에 소요된 기간은 도면제작을 포함하여 한달 정도의 기간이 소요되었다.

적출후두 고정장치를 이용한 성대진동 영상

적출 개 후두를 우리가 제작한 후두고정장치에 장착 후, 2차원 비디오카이모그래피를 이용해서 성대 진동영상을 성공적으로 획득할 수 있었고, 정지영상을 통해 적출후두의 성대 진동에 대한 다양한 변수의 정량 분석이 가능한 수준이었다. 또한 실험이 빠르고 손쉽게 진행되어 성대점막의 탈수를 최소화 할 수 있었고, 갑상연골과 성대근육 사이에 간극이 벌어지는 것도 최소화 할 수 있었다(Fig. 3).

고 찰

음성생성과정은 후두골격시스템, 성대 근육, 인대, 점막의 조화로운 운동에 의해 일어나는 복잡한 과정으로,¹³⁾ Hirano 등⁸⁾이 제시한 Body-Cover이론에 따르면 상피와 고유층의 표층이 cover에 해당하고, 성대근육이 body에 해당하여 성대진동 과정에서 body와 cover는 각기 독립적인 움직임을 보인다. 후두음성연구를 위해 이러한 복잡미묘한 운동에 의해 유발된 성대의 진동을 관찰하

고 분석하는 것은 중요하며, 이를 위해 과거로부터 다양한 방법이 시도되었다. 먼저, 발생하는 인체의 후두를 내시경을 통해 직접 관찰하는 것이 성대진동 관찰을 위한 가장 손쉽고 간단한 방법이나, 발생하는 인체 후두에 여러 조건을 부여하면서 조작하는 것은 현실적으로 어려워 다양한 후두음성연구를 진행하기에는 한계가 있다. 반면, 적출된 동물후두나 사체후두를 이용할 경우 연구자의 목적에 따라 다양한 조건을 부여하면서 후두를 조작할 수 있고, 후두의 운동을 여러 영상장비를 통해 인체 후두보다 더욱 근접하여 자세히 관찰할 수 있다는 장점이 있다.

적출후두는 생체후두와 달리 성대의 진동을 인위적으로 만들어야 하므로, 생리적인 발성이 이뤄지지 않는다는 단점이 있지만, 후두음성연구자들이 쉽게 구할 수 있는 재료를 이용하여 연구자의 목적에 따라 다양한 조건을 부여하면서 자세한 음향학적, 영상학적 분석이 가능하므로, 적출후두를 위한 연구는 후두음성학 연구에서 중요한 부분을 차지한다. 실험에 사용되는 적출후두는 크게 동물후두와 사체후두로 나눌 수 있으며, 동물후두는 개, 돼지, 소, 양의 후두 등이 흔히 이용되는 재료이다.

Alipour 등은 개, 양, 돼지, 소의 적출후두를 사체 적출후두와 음향학적으로 비교하는 연구를 하였고, 사체후두는 개후두와 평균주파수(average frequency)가 가장 유사하였으나, 진동 양상 및 넓은 주파수역 대는 돼지 후두와 유사하다고 보고하였다.¹⁾ 사체후두를 이용한 연구는 적출후두의 한계점을 극복하여, 보다 생리적인 발성을 도모하기 위한 목적으로 주로 이용되었는데, Mendelsohn 등은 사체후두를 혈관, 신경, 주변 근육들을 포함하여 en bloc으로 절제한 후 동맥에 전혈(whole blood)을 관류하면서 후두내근(intrinsic muscle)의 수축을 유발하고, 음향학적 변수들을 측정하였다.⁹⁾ 또한 Howard 등⁵⁾도 사체후두에 혈류를 관류하면서 후두반회신경과 상후두신경 외분지를 자극해서, 후두의 신경근육계를 활성화하여 체외 발성(ex vivo phonation)을 도모하는 연구를 진행하기도 하였다. 그러나 이처럼 사체후두에 관류작업을 하는 것은 현실적으로 많은 기술적 어려움이 존재하므로, 동물 적출후두를 이용하는 것이 손쉽고 보편적인 방법이다.

적출 동물후두를 이용한 후두음성연구에서는 적출후두를 장치에 고정한 후, 성대의 진동을 인위적으로 유발시켜야 한다. 이를 위해서는 양측 성대가 잘 접촉되어 있

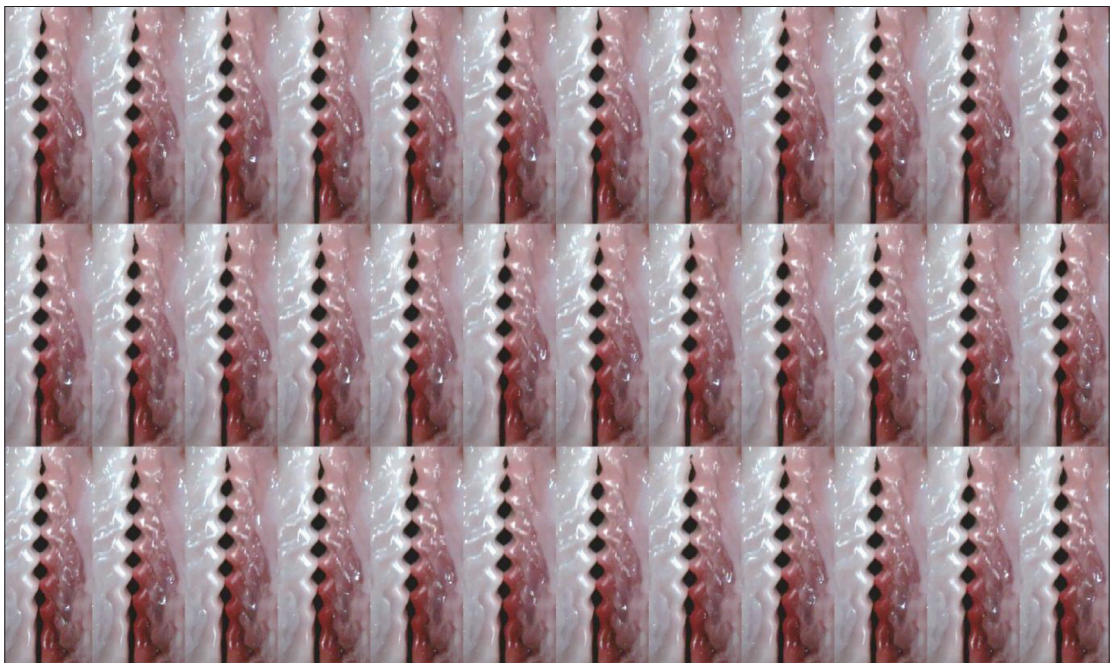


Fig. 3. Sequential images of the ex-vivo canine vibrating vocal folds captured by two dimensional videokymography.

는 상태에서 성문하부로부터 일정한 공기의 흐름이 있어야 적절한 성대의 진동이 유발된다. 적출후두에서 성대의 진동을 유발하기 위한 방법은 여러 가지가 있다. Alipour 등은 피열연골의 근돌기(muscular process)를 봉합사를 이용해 전방으로 당겨서 양측 성대를 내전시키는 방법을 사용했으며,¹⁾ JiangRegner 등은 봉합사를 이용해 피열연골을 근사(arytenoid approximation)시키면서 동시에 갑상연골 전방을 봉합사를 이용해 전방으로 견인하여 성대의 길이의 연장을 유도하여, 적절한 성대의 진동이 유발될 수 있는 조건을 만들었다.¹⁰⁾ 그러나 이런 방법은 성대내전을 위해 적출후두에 추가 시술을 해야하므로, 시간이 많이 소요되고, 이로 인해 성대점막이 탈수, 건조되어서 실험 시간이 지날수록 성대의 진동이 감소하게 된다는 단점이 있다. 실험시간이 길어지면 기관 및 후두에 주입하는 공기를 가슴을 하여도 성대점막의 탈수가 진행되고, 성대점막의 탈수는 성대진동에 부정적 영향을 주므로, 성대점막의 탈수 없이 손쉽게 빠르게 간단하게 실험을 하는 것이 중요하다.¹¹⁾

본 저자들도 적출 개후두를 활용한 후두음성연구를 과거부터 많이 시행하여 왔다. 적출 개후두 이용한 2D VKG의 최초 적용이라는 연구를 위해 적출후두용 고정장치를 사전에 제작한바 있다.¹²⁾ 당시 연구에서 적출 개후두를 사전에 주문 제작해 놓은 후두 고정장치에 장착하여 2D VKG를 성공적으로 촬영했으나, 그 장치로는 피열연골의 근사(arytenoid approximation)가 잘 이뤄지지 않아 봉합사를 이용해 피열연골 근사를 추가로 따로 시행하여만 했다. 또한 실험시간이 경과할수록 성대점막의 탈수와 성대근육의 위축이 유발되고, 갑상연골과 성대 근육 사이에 간극이 생겨 실험 초기에 비해 후반부로 갈수록 성대점막 파동이 감소하는 것을 경험하였다.¹²⁾

이에 본 저자들은 적출후두를 보다 손쉽게 고정하여서 성대의 진동을 유발할 수 있도록 새로운 장치를 고안하였고, 새로이 개발한 적출후두 고정장치를 이용해서 적출 개후두의 성대 진동 영상을 2차원 비디오카이모그래피를 통해 성공적으로 얻을 수 있었다.

본 저자들이 개발한 후두고정장치는 주변에서 값싸고 손쉽게 구할 수 있는 강한 내구성을 가진 재료인 MC 나일론과 폴리에틸렌을 이용한 판(plate)을 가공하여 제작하였다. 또한 고정틀에 다양한 크기의 탭홀을 만들어서

연구자가 원하는 적출후두의 일정 지점을 정확히 누를 수 있도록 하였다. 본 고정장치를 이용하여서 피열연골의 봉합이나 갑상연골의 전방 견인 같은 인위적인 조작 없이 손쉽게 빠르게 성대의 내전을 유발하여, 성대점막 탈수에 따른 성대진동의 간섭효과 없이 양질의 성대진동 영상을 획득할 수 있었다.

결론

본 연구진이 개발한 적출후두 고정장치를 이용하면 적출후두를 보다 손쉽게 빠르게 장치에 고정하여, 성대점막의 탈수로 인한 간섭효과를 최소화하면서 양질의 성대진동 영상을 획득할 수 있으리라고 생각된다. 이에 본 저자들은 손쉽게 구할 수 있는 재료를 이용해 적출후두 고정장치를 제작하여 연구에 활용하고 있기에 국내 후두음성연구자들을 위해 이를 보고하는 바이다.

중심 단어 : 적출후두 · 고정장치 · 2차원 비디오카이모그래피.

REFERENCES

- 1) Alipour F, Finnegan EM, Jaiswal S. *Phonatory characteristics of the excised human larynx in comparison to other species. J Voice* 2013;27(4):441-7.
- 2) Alipour F, Jaiswal S. *Phonatory characteristics of excised pig, sheep, and cow larynges. J Acoust Soc Am* 2008;123(6):4572-81.
- 3) Regner MF, Tao C, Ying D, Olszewski A, Zhang Y, Jiang JJ. *The effect of vocal fold adduction on the acoustic quality of phonation: ex vivo investigations. J Voice* 2012;26(6):698-705.
- 4) Jiang JJ, Regner MF, Tao C, Pauls S. *Phonation threshold flow in elongated excised larynges. Ann Otol Rhinol Laryngol* 2008;117(7):548-53.
- 5) Howard NS, Mendelsohn AH, Berke GS. *Development of the ex vivo laryngeal model of phonation. Laryngoscope* 2015;125(6):1414-9.
- 6) Wang SG, Park HJ, Cho JK, Jang JY, Lee WY, Lee BJ, et al. *The first application of the two-dimensional scanning videokymography in excised canine larynx model. J Voice* 2016;30(1):1-4.
- 7) Cho I, Ahn J-H. *Monomer casting of nylon 6. Polymer (Korea)* 1977;1(2):101-8.
- 8) Hirano M. *Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and its variations. Folia Phoniatrica et Logopaedica* 1974;26(2):89-94.
- 9) Mendelsohn AH, Zhang Z, Luegmair G, Orestes M, Berke

- GS. *Preliminary study of the open quotient in an ex vivo perfused human larynx. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 2015;141(8):751-6.
- 10) Regner MF, Jiang JJ. *Phonation threshold power in ex vivo laryngeal models. J Voice* 2011;25(5):519-25.
- 11) Hanson KP, Zhang Y, Jiang JJ. *Ex vivo canine vocal fold lamina propria rehydration after varying dehydration levels. J Voice* 2011;25(6):657-62.
- 12) Park HJ, Cha W, Kim GH, Jeon GR, Lee BJ, Shin BJ, *et al.* *Imaging and analysis of human vocal fold vibration using two-dimensional (2d) scanning videokymography. J Voice* 2016;30(3):345-53.
- 13) Wang SG, Roh HJ, Goh EK, Choi KM, Baek MJ, *et al.* *Functional anatomy of Korean laryngeal framework. J Clinical Otolaryngol* 1998;9(1):109-25.