

내후두근의 작용 : 개에서의 생체발성 모형

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실, 음성언어의학연구소

최 홍 식

= Abstract =

Behavior of Intrinsic Laryngeal Muscles : In vivo Canine Model

Hong-Shik Choi, M.D.

*Department of Otorhinolaryngology, The Institute of Logopedics & Phoniatrics,
Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea*

Behavior of the intrinsic laryngeal muscles : Thyroarytenoid(TA), cricothyroid(CT), lateral cricoarytenoid(LCA), interarytenoid(IA), and posterior cricoarytenoid(PCA) : were evaluated under the in vivo canine laryngeal model in three individual papers. This is the review of the relating three articles. In vivo preparation of the laryngeal model was summarized. Videolaryngoscopic findings of the individual intrinsic laryngeal muscles were documented by electrical stimulation of the individual muscular branches of the laryngeal nerve. Effects on fundamental frequency, subglottic pressure, intensity and open quotient by the stimulation of the individual intrinsic laryngeal muscles were tested.

KEY WORDS : Intrinsic laryngeal muscle · In vivo canine model · Fundamental frequency(F0)
· Subglottic pressure · Intensity · Open quotient(OQ).

서 론

후두는 생리적으로 4가지의 중요한 기능을 가지고 있다. 첫째로, 호흡통로로서의 기능과 호흡조절의 기능, 둘째로, 하부 기도의 보호기능과 연하 기능, 셋째로, 발성 기능과 언어조절 기능, 넷째로, 흉강 고정의 기능 등이다.

이러한 다양한 기능들을 수행하기 위하여 후두를 이루고 있는 연골 등의 골격구조, 두 개의 관절, 후두 내강을 덮고 있는 점막 등이 중요한 역할을 수행하고 있으나, 가장 중요한 역할을 담당하고 있는 것은 역시 내후두근(intrinsic laryngeal muscles)일 것이다. 호흡

통로로서 흡기 시에 성문 저항을 감소시키기 위해서는 성문면적을 넓게해야 하므로 성대의외전(vocal cord abduction)을 담당하는 성대의외전근이 주로 작용할 것이며, 하부 기도의 보호나 연하기능의 수행, 흉강 고정을 위해서는 성대나 가성대의 강한 내전(forceful adduction)이 필요하므로 성대의내전근들이 주로 작용될 것이다.

발성을 위해서는 위에서 언급한 흡기 시의 성대의외전과 연하기능 수행, 흉강 고정을 위한 강한 성대 내전의 중간 정도도의 성대 내전이 필요하다. 즉, 양쪽의 성대가 너무 벌어져서도 안되고 너무 강하게 내전되어 심한 접촉을 이루지 않는 대신, 적절하게 내전되어야만 효과적으로 발성이 시작될 수 있는 것이다. 발성을 위해서

후두는 4가지의 중요한 기능을 하고 있다. 첫째로, 폐에서 기관지, 기관을 거쳐서 후두에 이르는 직류형인 공기의 흐름을 내전된 성대의 개폐 운동에 의해 펄스의 형태인 alternating on-off flow로 바꾸어 주는 일을 한다. 둘째로, 기본주파수(fundamental frequency)를 조절하는 역할을 한다. 셋째로, 소리의 크기(loudness)를 조절하는 기능이 있다. 넷째로, 음성의 질(quality of voice)를 조절하는 기능이 있다.

발성과 관련된 위에서 열거한 중요한 기능들을 후두에서 수행하기 위해서는 두가지의 필수 조건이 필요하다. 즉, 호흡근들의 작용에 의하여 폐로부터 후두쪽으로 유출되는 지속적인 공기의 흐름이 필요하며, 성대의 적절한 여닫힘이 필수적이다. 즉, 여러 가지의 내후두근의 적절한 상호작용에 의하여 성대의 적절한 내전이 이루어져야 하는 것이다.

내후두근에는 윤상갑상근(crico-thyroid muscle, CT), 갑상피열근(thyro-arytenoid muscle, TA), 측윤상피열근(lateral crico-arytenoid muscle, LCA), 피열근(inter-arytenoid muscle, IA)과 후윤상피열근(posterior crico-arytenoid muscle, PCA)이 있다. 기능적으로 분류할 때, 윤상갑상근(CT)과 갑상피열근(TA)은 성대의 긴장도를 증가시키는 긴장근(tensor muscles)으로 분류되고, 갑상피열근(TA), 측윤상피열근(LCA), 피열근(IA)은 성대 내전근(adductor muscles)으로 분류될 수 있고, 후윤상피열근(PCA)만이 유일하게 성대 외전근(abductor muscle)으로 일반적으로 분류되고 있다.

하지만, 각각의 내후두근이 발성 시의 음의 높낮이 조절이나 음의 크기 조절에 어떤 역할을 담당하고 있는지를 정확히 알기는 그리 쉬운 일이 아니다. 여태까지 주로 내후두근의 발성과 관련된 역할을 규명하고자 하여 사용되어오던 방법으로는 후두근전도검사(laryngeal EMG)가 있었다. 상당히 좋은 방법이기도 하지만, 전극을 내후두근에 직접 찔러 넣어야하는 침습적인 검사(invasiveness procedure)라서 자원하는 사람이 필요하며, 여러 내후두근에 전극을 찔른 상태에서 발성을 시켜서 몇 개의 채널에서 동시에 근전위를 얻고 동시에 음성 신호를 얻으면 소리의 높낮이와 크기 조절에 각각의 내후두근의 역할을 알 수 있는 좋은 방법이기도 하지만, 그 때 호흡의 양을 일정하게 유지하기가 쉽지 않으므로 순수한 각각의 내후두근의 기능을 이해하는데

에는 한계점이 있는 검사 방법이다¹⁾.

연구자는 그 동안에 사람의 후두와 상당히 유사한 모습을 가지고 있으면서 몸집의 크기에 비하여 후두의 크기가 상대적으로 더 크며, 목이 길어서 실험하기에 편리한 잠종개의 후두를 여러차례 마취된 상태에서 상후두신경(superior laryngeal nerve, SLN)과 반회후두신경(recurrent laryngeal nerve, RLN)의 분지들을 수술적인 방법으로 추적 박리하여 전기 자극을 통하여 각 내후두근 마다의 분지를 확인해본 결과 상당히 일관적인 모습을 확인할 수 있었다. 즉, 상후두신경은 목의 상당히 높은 부분인 두개저 부위에서 이미 미주신경에서 갈라져 나온 후 설골 부위에서 상후두신경의 내지(internal branch)와 외지(external branch)로 나뉘어서 내지는 갑상연골의 최상단의 작은 구멍 또는 갑상설골막을 통하여 후두내로 들어가며, 외지는 후두의 측면을 따라 내려오다가 윤상갑상근으로 분포되는 것이 확인되었다. 한편, 반회후두신경(RLN)은 개에서는 하후두신경(inferior laryngeal nerve)라고도 하는데 윤상갑상관절(crico-thyroid joint) 바로 아랫 부분에서 첫 번째의 큰 분지를 내는데 이것은 주로 감각신경으로 구성되어 있는 Galen's anastomosis로서 후두 내에서 상후두신경의 내지와 만나는 모습을 확인할 수 있었다. 그 다음에 나오는 아주 가늘고 짧은 신경 분지는 후윤상피열근(PCA)분지이며 보통 반회후두신경의 뒷가지(posterior branch)라고 한다. 반회후두신경은 윤상갑상관절 부위에서 후윤상피열근분지를 낸 후에 이어서 후윤상피열근과 갑상연골의 후연 사이의 골을 따라서 후두의 윗쪽으로 주행하게 된다. 이때 피열분지(IA branch)와 측윤상피열분지(LCA branch)가 잇따라 나오게 되며, 피열분지는 후윤상피열근의 근막과 윤상연골 lamina의 연골막 사이로 주행하여 피열근으로 들어간다. 측윤상피열분지는 피열분지 보다 약 5mm 원위부(distal part)에서 기시하여 측방에 위치한 측윤상피열근(LCA)으로 들어간다. 측윤상피열분지를 낸 이후의 반회후두신경은 약 1~1.5cm 가량 윗쪽으로 주행하게 되는데 이것이 마지막 분지인 갑상피열분지(TA branch)이다(Fig. 1)^{3,5)}.

연구자는 위와 같이 후두 내의 반회후두신경과 상후두신경의 분지의 주행이 해부학적으로 사람의 그것과 거의 유사한 양상을 보이는 보통 크기의 잠종개를 이용하여 미국 UCLA 후두생리연구소의 생체 발생모형에

적용함으로써, 일정한 조건에서 실험하고자 하는 각각의 내후두근을 선택적으로 추가 자극하여 내후두근 각각의 기능을 규명하고자 하였다.

실험방법

그동안 실시하였던 3편의 논문 내용중 실험방법을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 생체발성모형을 위한 실험 동물의 준비(Fig. 2)
 - 몸무게 약 20~25kg의 잠중 중개를 사용하였다.
 - Pentobarbital sodium(Nembutal)을 정맥 주사하여 전신마취하였다.
 - 바로 눕힌 자세(supine position)에서 기관삽관을 하고 목의 털을 깎은 후 소독함
 - 경부 중앙을 수직절개한 후 기관과 식도 사이에서 후두반회신경의 몸통(trunk)를 찾음
 - 흉골갑상근(sterno-thyroid muscle)의 바로 측방에서 상후두신경의 외지를 찾음
 - 실험하고자 하는 각각의 내후두근(예를 들면 : TA, IA, PCA)의 신경 분지를 다치지 않게 확인하고 전극을 부착시킴.

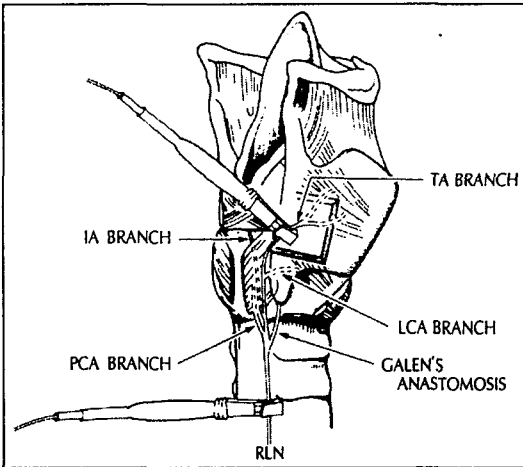


Fig. 1. In vivo canine model. Cartilage windows were made at lateral margin of thyroid cartilage to expose thyroarytenoid(TA) branch of RLN. This branch was cut distal to LCA branch, and electrode was applied. IA- interarytenoid, PCA- posterior cricoarytenoid.

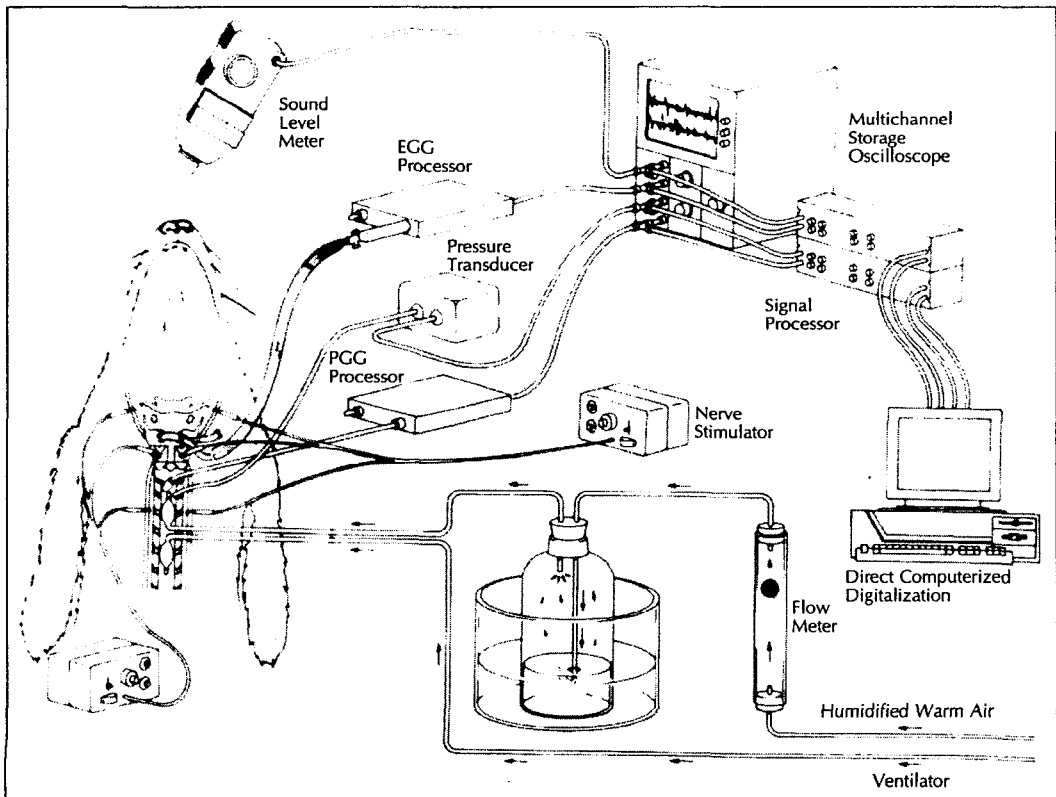


Fig. 2. Schematic drawing of experimental model. EGG- electroglottographic, PGG- photoglottographic.

- 후두반회신경의 몸통과 상후두신경의 외지에도 특수 제작된 전극을 부착시킴.
 - 기관의 아랫쪽에 두 개의 기관절개공을 만들고 아래의 구멍으로는 마취 튜브를 삽입함
 - 윗쪽 기관절개공으로는 기관삽관을 후두 방향으로 하되 삽관의 끝이 성대보다 약 10cm 하방에 위치되도록 하고, 섭씨 37도로 덥혀진 습한 공기를 보낼 수 있도록 함.
- (2) 성문하압(subglottic pressure), 기본주파수(fundamental frequency), 소리 크기(sound intensity) 및 성대개방율(open quotient)의 측정 (Fig. 2)
- 성문하압의 측정을 위해서는 소형화된 압력센서(catheter-tipped pressure transducer: Millar Instruments, model SPC 330, Houston, Tex)를 윗쪽 기관절개공을 통해 삽입하여 성문하 2cm 부위에 위치시킨 후 측정하였다.
 - 소리 크기 및 기본주파수의 측정은 성대 위치에서 30cm 앞쪽에 sound level meter를 설치하여 측정 당시의 소리의 크기를 측정하였고, 동시에 음성 신호는 A/D board를 통해 컴퓨터로 입력하여 분석하였다.
 - 성대개방율의 측정은 갑상연골의 양측에 전극을 직접 부착시킨 후 발성이 유발될 때 성대 접촉면의 변화를 전기적인 그래프로 측정할 수 있는 방법인 전기성문파형검사(electroglottography)와 빛을 감지하는 센서(photo-sensor: Centronics OSD 50-2)를 성문하부에 직접 부착시키고 후두 상부의 인두강에 빛을 조사하면서 성대의 여단힘에 의해 파형을 얻어내는 광성문파형검사법(photoglottography)을 동시에 측정하였다.
 - 이와같이 측정되는 전기적인 신호들은 필터를 통과하고 12bit의 A/D converter(DT 2821)를 통하여 컴퓨터에 입력하였으며, 사용된 software는 다용도의 다채널 분석 프로그램인 CSpeech version 3.1을 이용하여 분석하였다.
- (3) 비디오 후두내시경검사(video-laryngoscopy)
- O도 내시경과 CCD 카메라를 이용하여 각각의 내후두근을 전기적으로 자극하여 수축시켰을 때의 성대의 모습을 비디오 녹화하여 분석하였으며, 공

기의 흐름을 유발시켜서 성대가 진동되도록하여 그때의 점막 파동의 움직임을 stroboscopy로 관찰하고 녹화하였다.

실험 Design

- (1) 갑상피열근(TA)의 작용을 보기 위한 모형 (Fig. 1)
- 갑상연골의 하연에 연골창을 만든후 반회후두신경의 갑상피열분지(TA branch)를 자르고 전극을 부착함
 - 나머지 내전근들의 수축을 도모하기 위하여 다른 전극을 반회후두신경의 몸통(trunk)에 부착함.
 - 갑상피열분지가 잘린 상태인 반회후두신경의 몸통을 자극한 상태, 즉 측윤상피열근(LCA)와 피열근(IA)의 수축에 의해 성대의 내전이 이루어진 상태에서 공기의 흐름을 유발시켜서 목소리의 발생을 유발시킨 뒤, 갑상피열분지의 전기 자극의 강도를 차츰 증가시킬 때의 목소리의 변화를 측정함.
- (2) 윤상갑상근(CT)의 작용을 보기 위한 모형
- 위의 (1)의 모형과 같은 형태에서 갑상피열근과 측윤상피열근, 피열근의 수축을 도모하고 발성을 유발시킨 상태에서, 상후두신경의 외지의 자극을 차츰 증가시켜서 윤상갑상근의 수축이 목소리의 변화에 미치는 영향을 조사함.
- (3) 피열근(IA)의 작용을 보기 위한 모형
- 피열분지를 개별적으로 전기적 자극하기에는 크기가 너무 작고 짧아서 어려움이 있기에 subtraction method 를 사용함
 - 위의 (1)의 모형과 같은 형태에서 TA분지는 일정한 전기 자극으로 수축시킨 상태에서 반회후두신경의 몸통 즉 LCA+IA의 수축을 증가시키며 목소리의 변화를 먼저 측정한 다음에, IA branch 를 자르고 같은 크기로 실험을 반복하여 값의 차이를 구하여 피열근(IA)의 역할을 산출함.
- (4) 후윤상피열근(PCA)의 작용을 보기 위한 모형
- 반회후두신경의 앞쪽 분지(anterior branch)를 자르고 전극을 부착함.
 - 이때 반회후두신경의 몸통은 후윤상피열분지(PCA branch)와만 연결되어 있음.

- 양측 반회후두신경의 앞쪽 분지만을 자극하여 목소리를 유발시킨 상태에서 후윤상피열 분지 즉 반회후두신경의 몸통을 전기적으로 자극하여 목소리의 변화를 측정함.

결 과

(1) 비디오후두경술에 의한 성대 모습 관찰

- TA 수축 : 막양성대(membranous vocal fold)의 좌우 및 위아래 두께가 두꺼워지고, 막양성대의 앞 뒤 길이가 짧아지고 전반적으로 약간의 성대의 내전이 관찰됨. 양측의 갑상피열근의 수축에 의하여 성문부 중 막양성대부위 즉 성문부 앞쪽 1/2의 강한 내전이 관찰됨(Fig. 3).
- CT 수축 : 막양성대의 앞 뒤 길이가 길어지고 좌우 및 위아래 두께가 다소 얇아짐. 성대의 내전은 확실히 관찰할 수 없었음. 양측 윤상갑상근의 수축에 의하여 삼각형 모양의 성문부의 삼각형 높이가 커짐에 따른 성문부 면적의 증가가 관찰됨.
- LCA수축 : 피열연골의 성대돌기(vocal process) 부위의 내전이 관찰됨. 막양성대의 두께나 길이의 변화는 뚜렷하지 않음. 양측 측윤상피열근의 수축에 의하여 성문 앞·뒤 길이의 중간 부분인 피열연골의 성대돌기부분의 내전에 의한 접촉으로 성문 면적을 효과적으로 줄일 수 있음. 그러나, TA와 IA의 수축이 동반되지 않으므로 성문부와 후열부의 틈(chink)이 관찰됨(Fig. 4).
- IA 수축 : 피열연골 몸체 부위의 강한 내전으로 인하여 성문의 후열(posterior commissure)이 내전되어 틈이 완전하게 없어지는 것이 관찰됨. 막양성대 부위의 길이나 두께의 변화는 현저하지 않음(Fig. 5).
- PCA수축 : 피열연골의 성대돌기의 외전이 현저함. 막양성대의 길이는 늘어나고 두께가 얇아지는 양상임. 양측 후윤상피열근의 수축으로 인하여 성문부 면적을 효과적으로 넓힐 수 있음.

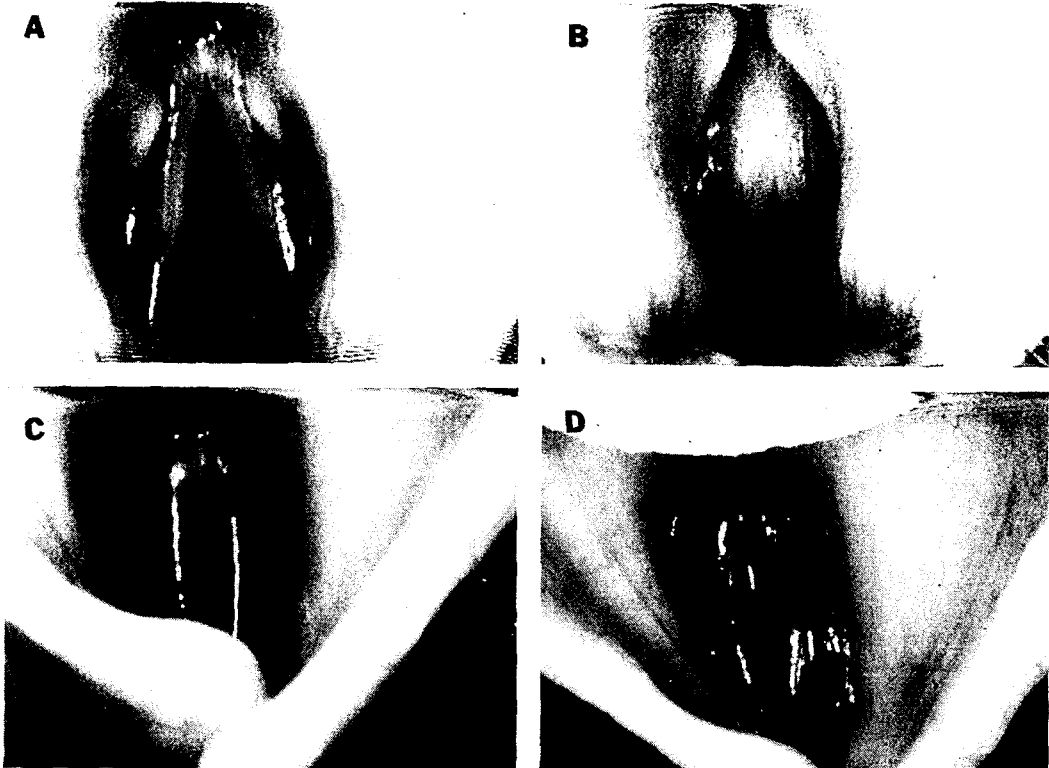


Fig. 3. Photographs taken from videotape. A)Resting state. B)Stimulation of TA branch. Medial bulging of membranous vocal fold with some adduction was noted. C)Stimulation of RLN trunk without TA branch. Chink is seen in midmembranous vocal fold. D)Stimulation of RLN together with TA branch. Vocal fold is completely closed.

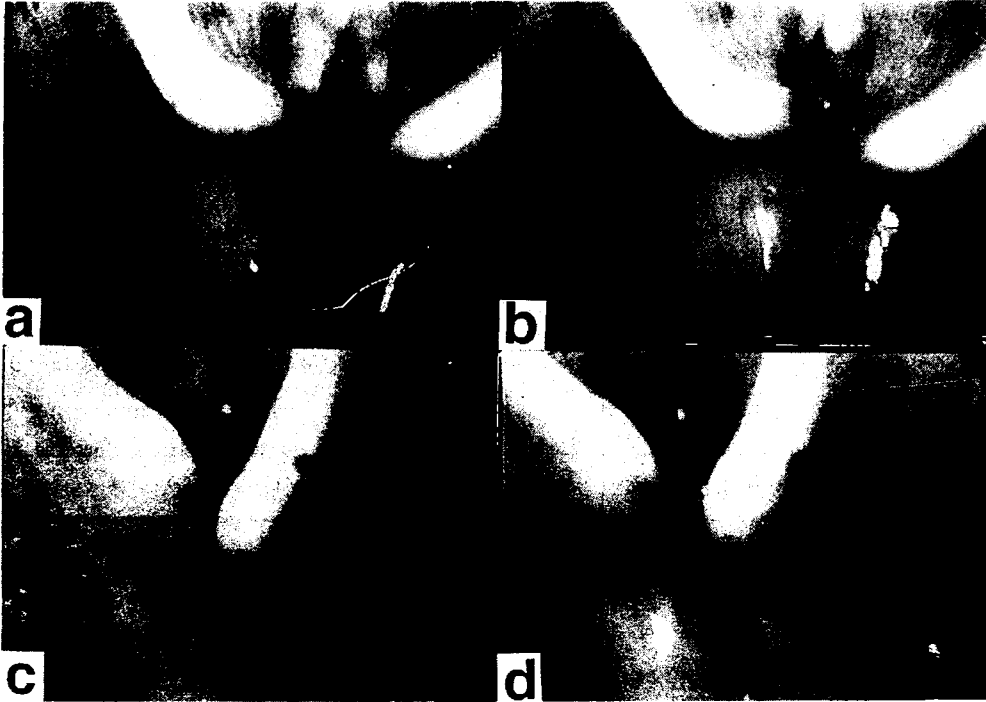


Fig. 4. Photographs taken from video tapes : LCA(cut IA) setup. a) resting, b) TA stimulation, c) LCA(cut IA) stimulation, d) LCA(cut IA)+TA stimulation. LCA : lateral cricoarytenoid, IA : interarytenoid, TA : thyroarytenoid.

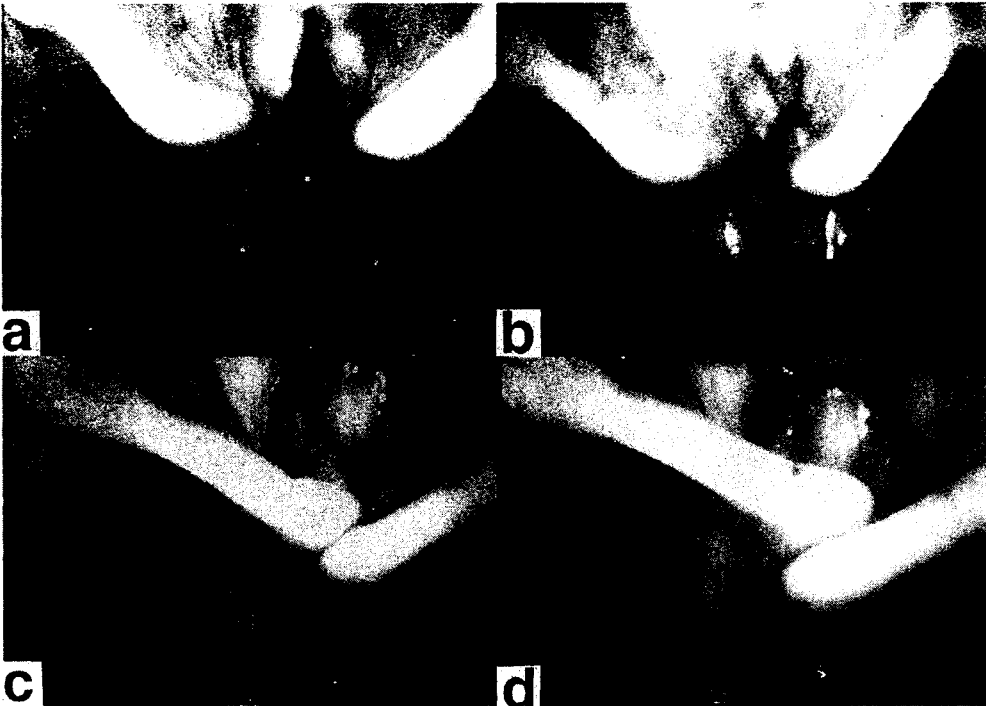


Fig. 5. Photographs taken from video tapes : LCA+IA setup. a) resting, b) TA stimulation, c) LCA+IA stimulation, d) LCA+IA+TA stimulation. LCA : lateral cricoarytenoid, IA : interarytenoid, TA : thyroarytenoid.

Table 1. 내후두근 TA, CT, LCA, IA 및 PCA가 각각 기본주파수, 성문하압, 소리크기 및 성대개방률(OQ)에 미치는 영향

내후두근	F0	성문하압	소리크기	OQ
TA	초기에 감소하다가 점차 증가됨(Fig. 6)	증가됨(Fig. 6)	커짐	감소됨(Fig. 6)
CT	증가됨	별변화 없음	별변화 없음	별변화 없음
LCA	증가됨	증가됨	다소 커짐	별변화 없음
IA	증가됨	증가됨	다소 커짐	별변화 없음
PCA	감소됨	감소됨	감소됨	다소 증가되다가 감소됨

(2) 검사 대상인 내후두근을 제외한 내후두근을 수축하여 소리를 유발시킨 뒤 대상 내후두근의 점진적인 수축을 가할 때의 기본주파수(fundamental frequency), 성문하압(subglottic pressure), 소리 크기(sound intensity) 및 성대개방률(open quotient)의 변화(Table 1).

고 찰

Van den Berg(1958)의 myoeleastic-aerodynamic theory of phonation에 의하면 성대에서 발성이 되기 위해서는 다음의 과정을 거치는 것으로 설명하고 있다. 즉, 1) LCA와 IA의 수축에 의하여 양측의 성대가 3mm 이내로 내전이 되어야 하고, 2) 폐로 부터의 호기가 후두를 통하여 vocal tract로 유입되어야 하고, 3) Bernoulli의 공기역학적 효과에 의하여 성대가 빨려들어가서 접촉을 하게되고, 4) 양측 성대의 접촉으로 인하여 성문을 통한 공기의 흐름은 차단되고 대신 성문하압이 커지기 시작하고, 5) 성문하압이 점차 커져서 성대를 양쪽에서 누르고 있는 힘보다 커지면 성대는 저절로 벌어지고 그 사이로 공기가 성문상부로 빠져나가게 된다. 6) 성문하압은 떨어지게 된다. 7) 피열연골은 내전된 상태에서 막양성대의 중간 부분이 5)의 과정에 의해 벌어진 것이므로 성대 조직의 탄력성(elasticity)에 의하여 다시 제자리로 돌아오게 된다. 8) 이어서 제2의 cycle이 시작되게 된다²⁾.

이와같이 하여 기본적인 '성대음(glottal sound)'은 발생되는데, 이때 다른 조건이 똑같은 때, 즉, 공기의 흐름이 일정할 때, 여러 가지 내후두근의 수축이 목소리의 질에 어떠한 영향을 끼치는지를 개를 이용한 생체 발생모형을 통하여 알아보려 한 것이다.

TA, LCA와 IA는 모두 성대내전근으로서 TA는 성대의 앞부분의 내전을 주로 일으키고, LCA는 성대들기 부분 즉 성대의 중간 부분의 내전을 주로 담당하며,

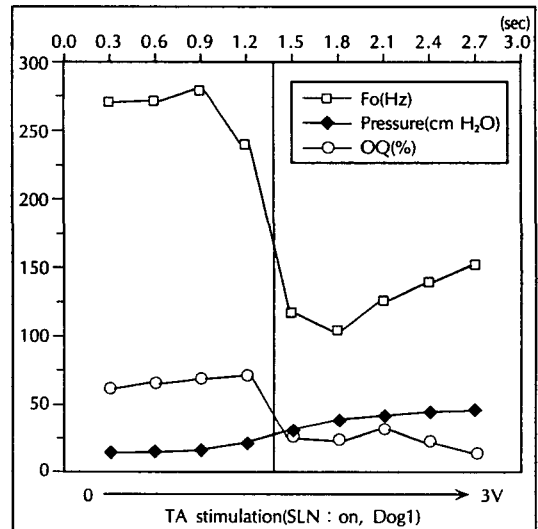


Fig. 6. Representative dynamic trial from individual dog. SLN Stimulation is present. Fundamental frequency (F0), subglottic pressure, and open quotient(OQ) were measured every 0.3 second while intensity of TA stimulation varied dynamically from 0 to 3V in 3 seconds. In this plot, y-axis represents units for each variable. Time is on x-axis. Vertical line-sudden shift from high frequency to modal phonation.

IA는 성문과 성대의 뒷부분 즉 후열(posterior commissure)의 내전을 담당한다. 따라서, 이 세가지의 내전근의 작용은 성대 내전을 필요로 하는 어떠한 신체적 행위(예를 들면, 연하작용, 기침, 발성 등등)에 따라서 적절하게 상호작용할 것으로 생각된다. 발성에 있어서도 목소리의 종류에 따라서 이 세가지 내전근의 상호 조절 및 보완 작용이 있을 것으로 생각된다. 세가지 내전근의 수축은 모두 성문하압을 상승시키는 것으로 밝혀졌으며, 목소리를 크게 내고자 할 때에는 세가지 내전근육의 동시 수축이 예상된다. 그러나, 세가지 근육의 기능이 모두 같은 것은 아니라고 생각된다. 특히, TA는 다른 두가지 근육에 비하여 OQ를 감소시키는 기능이 우수하며, 기본주파수(F0) 조절에 있어서도 dual effect를 나타내는 등 목소리의 조절에서는 가장 중

요한 역할을 담당하는 근육이라는 것을 알 수 있다. TA의 수축과 음의 높이와의 관계는 TA의 수축이 초기에는 성대의 cover의 긴장도를 저하시켜서 음의 높이가 저하되지만, 계속해서 TA의 수축이 커지려는 body 긴장도의 상승이 cover 긴장도의 저하나 성대 길이의 감소보다 커지게 되어 성문하압의 상승을 유발함으로써 음높이의 상승이 초래되는 것을 본실험을 통하여 확인할 수 있었다³⁾(Fig. 6).

또한, 세가지의 성대내전근 중에서 IA의 수축이 없이는 성대를 생성이 어려운 경우가 대부분일 만큼, 발생 시에 IA의 적절한 수축이 성문하압의 유지에 필수적이라는 것을 알게 되었으며, IA가 다른 근육과 달리 양측 반회후두신경의 동시 지배(dual innervation) 받는 원인일 것으로 추정되었다⁵⁾.

CT는 성대의 길이를 늘이며 긴장도를 증가시키고 성대의 두께를 얇게 하여 기본주파수를 높이는데 가장 중요한 역할을 할 것으로 추정되었다. 한편, CT는 성문하압, OQ, 소리의 크기증가에는 통계적으로 의미있는 변화를 보이지는 않았다³⁾.

인체 후두근전도 실험에서 크고 높은 소리를 지를 때 모든 내전근과 CT 뿐만 아니라 PCA의 수축도 관찰되었는데, 이는 내전근과 CT의 수축이 피열연골을 앞으로 잡아당기는 힘을 가하게 되는 것이므로 PCA의 수축이 피열연골을 뒤쪽으로 붙잡아주는 bracing의 역

할을 하는 것만으로 생각하였으나, 본 실험을 통하여 검사한 결과 성대의 긴장도를 일부 증가시키며, 성문하압, 음의 높이, 음의 크기를 낮추는 역할을 동시에 이룰 수 있으므로, 크고 높은 소리를 내하고자할 때 적절한 수준을 유지할 수 있도록 feedback inhibition 하는 역할도 하는 것으로 추정된다⁴⁾.

References

- 1) Hirano M : *The laryngeal muscles in singing*. In : *Hirano M, Kirchner JA, Bless DM. Neurolaryngology : recent advances*. 1st ed. Boston : College-Hill, 1987 ; 209-230
- 2) Van den Berg : *Myoelastic-aerodynamic theory of voice production*. *J Speech Hear Res*. 1958 ; 1 : 227
- 3) Choi HS, Berke GS, Ye M, Kreiman J : *Function of the thyro-arytenoid muscle in a canine laryngeal model*. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1993 ; 102 : 769-776
- 4) Choi HS, Berke GS, Ye M, Kreiman J : *Function of the posterior crico-arytenoid muscle in phonation : In vivo laryngeal model*. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1993 ; 109 : 1043-1051
- 5) Choi HS, Ye M, Berke GS : *Function of the inter-arytenoid(IA) muscle in phonation : In vivo laryngeal model*. *YMJ*. 1995 ; 36 : 58-67