

The Usefulness of Ambulatory Phonation Monitoring (APM)

Cheol Min Ahn¹, Hye Jin Lim², Min Soo Kim² and Jae Ho Jung²

¹Speech-Voice Center of Prana ENT Clinic, Seoul; and ²Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, National Medical Center, Seoul, Korea

Ambulatory Phonation Monitoring (APM)의 유용성

안철민¹ · 임혜진² · 김민수² · 정재호²

프라나이비인후과 음성센터,¹ 국립중앙의료원 이비인후과²

Received March 11, 2010
Revised May 17, 2010
Accepted May 25, 2010

Address for correspondence
Cheol Min Ahn, MD, PhD
Speech-Voice Center of Prana
ENT Clinic, Seocho 1-dong,
Seocho-gu, Seoul 137-881, Korea
Tel +82-2-525-1713
Fax +82-2-525-1714
E-mail voiceacm@naver.com

Background and Objectives The use of voice can be a cause of common voice disorders but may also affect the course of treatment. The information of voice use has been limited by relying on the subjective patient self-report in the past. In this study, however, we tried to determine the effectiveness of ambulatory phonation monitoring, which can provide objective vocal use parameters such as phonation time, fundamental frequency and sound pressure level.

Subjects and Method Four subjects (2; normal, 2; vocal disease) were recorded with Ambulatory Phonation Monitor Model 3,200 (KayPENTAX) during a working day. Ambulatory Phonation Monitor (APM) is an unobtrusive, portable device consisting of a small accelerometer, a microprocessor and the APM software. All subjects were instructed to wear APM during the entire day of normal activities and write an activity diary according to time.

Results APM data displays 5 graphs which reveal important characteristics of each subject's phonatory behavior throughout the day. The patient's diary can provide the person's schedule and the correlation between subject's self recognition and the objective data analyzed by APM.

Conclusion APM is an overall useful device for measuring phonation parameters and evaluating voice behaviors in natural conditions. It can be used not only for the diagnosis of vocal diseases but also as a voice therapy for feedback on voice use.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2010;53:360-5

Key Words Ambulatory monitoring · Voice disorder · Phonation · Voice use.

서론

음성 사용은 음성 질환의 직접적인 원인이 되기도 하고, 음성 질환의 치료 과정에 영향을 미치기도 한다. 따라서 임상 의들은 음성 환자의 음성 사용이 질환에 미치는 영향을 알아보고, 음성의 사용을 변형시켜 치료에 도움이 되고자 음성 분석 방법에 대하여 연구해 왔다. 일상생활에서의 음성은 생활 중의 감정, 환경, 습관 등이 모두 내포된 소리인 반면, 검사실에서 들려지는 음성은 어느 정도 조절된 음성이라고 할 수 있다. 따라서 일반적인 음성 평가는 임상의를 대면하였을 때나 검사실에서 이루어지기 때문에 일상생활에서 이루어지는 자연스런 발성 형태, 발성 습관, 발성 강도 등의

음성 상태를 판단하기는 쉽지 않다. 기존의 음성검사는 음성 상태를 확인하기 위해서 주로 환자의 진술 및 검사실이나 진료실에서 검사자의 주관적인 판단 등이 포함되어 신뢰성이 떨어지는 면이 있었다. 이런 문제점을 개선하기 위하여 많은 연구자들은 객관적으로 일상생활에서의 음성 상태를 확인할 수 있는 방법을 찾고자 노력하였다. 음성 사용의 특성을 측정할 수 있는 기기에 대한 연구는 1974년 Holbrook 등¹⁾에 의해 처음 보고된 이래 monitoring 또는 biofeedback 여부의 기능적인 면, 마이크(microphone)의 위치, 크기, 기록 가능 시간 등에서 지속적인 발전을 해왔다.²⁾ 생활 속에서 음성의 높이, 음성강도, 사용시간 등을 24시간 연속해서 측정할 수 있는 ambulatory phonation monitoring (APM)은 음

성 사용 평가의 한계점을 어느 정도 해결해 줄 수 있는 기기로 생각된다. 아직까지는 APM을 이용한 음성 분석 보고들이 많지 않고, 국내에서는 보고된 바가 없어 이 기기의 유용성과 임상에 어떻게 적용할 지에 대한 연구가 필요하다.

이에 저자들은 정상인과 성대 질환 환자를 대상으로 하여 기기의 사용 방법, 사용시 문제점 및 실제로 얻어지는 정보인 발성 시간(phonation time), 기본 주파수(fundamental frequency, F0), 음성 강도(sound pressure level, SPL)의 상태, 질환과의 연관성 등에 대하여 확인하여 APM 검사의 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

기 기

Ambulatory Phonation Monitor Model 3,200 (KayPE-NTAX, Lincoln Park, New Jersey, USA)을 사용하였다.

이 기기는 대상자의 경부 흉골상 절흔 직상부에 silicone pad를 통해 부착하는 금속으로 된 작은 직사각형 모양의 accelerometer (contact microphone, throat sensor, size: 8.4×5.6×3.8 mm), 허리주머니에 넣고 다니는 microprocessor (hardware module, 정보 수집기)와 hardware module에 저장된 정보들을 전송 받아 저장하여 분석하는 APM software로 구성되어 있다(Fig. 1A). 이렇게 하루 동안 초당 20번 수집된 음성 정보들은 그래프와 통계로 자동 분석된다. 검사 시작 전에 각 대상자들마다 음성강도 측정을 위

해 accelerometer를 보정(calibration)해야 한다. 15-cm spacer를 이용하여 윗입술과 일정한 거리에 있는 마이크를 이용하여 시행하며, 대상자에게 깊게 숨을 들이쉬게 한 후 “아-” 모음을 가장 작은 강도에서 점차적으로 크게 가장 큰 강도의 소리로 약 10초간 지속하여 발성하도록 하여, 이때 자동화된 calibration program을 통해 보정한다(Fig. 1B).

대상 및 방법

2명의 정상인과 2명의 음성 환자를 대상으로 하였으며, 연령은 21세에서 40세로 평균 29.8세였고, 모두 여자 환자였으며, 대상의 직업은 다음과 같았다(Table 1).

대상들은 오전에 병원에 방문하여 APM을 착용하였다. 순서에 따라 accelerometer를 기기에 포함되어 있는 의료용 접착제(secure adhesive)로 흉골상 절흔 직상부에 부착하고(Fig. 1C), cable을 통해 microprocessor와 연결하여 보정한 후, 허리에 부착하였다(Fig. 1D). 대상자들은 출근하여 평소와 동일하게 생활하게 하고, 시간대별로 하는 일에 대하여 간단한 일기를 적게 하였다. 퇴근 후 집에서 잠자기 전에 스스로 accelerometer와 microprocessor를 분리한 후, 다음 날 아침 병원에 반납한 후 출근하도록 하였다. 반납된 microprocessor는 병원의 APM 컴퓨터 본체와 연결하여 수집된 정보를 분석하였고, 대상들에게 사용상의 불편함과 accelerometer의 탈부착 상태, 불편감 등에 대하여 확인하였다.



Fig. 1. APM components (A) and preparation for an APM procedure (B-D). APM component setting (A). The calibration of the throat sensor is performed (B). Attachment of the throat sensor on the patient's neck in the area above the sternal notch and below the larynx (C). The patient worn a waistpack containing microprocessor during daily activity (D). APM: Ambulatory Phonation Monitor.

결 과

대상 1은 사무직의 40세 여성으로 성대 질환이 없는 정상인이었다. 자동화된 APM 분석 결과 30~40 dB 정도의 크지 않은 일정한 음성강도와 200 Hz 전후의 기복이 없는 일정한 상태의 음성을 사용하였으며, 일기에서도 단순 업무와

전화 외에는 특별한 상황은 없었다(Fig. 2).

대상 2는 사무직의 20대 정상 여성으로 대상 1보다는 약간 큰 목소리를 사용하여 50 dB을 약간 넘는 정도의 음성강도를 나타냈고 80~300 Hz 사이의 기복이 심한 음성을 보였지만, 음성 사용 시간은 거의 없었다(Fig. 3). 대상 3은 성대 결절이 있는 30대 여자 강사로 50~65 dB 사이의 강한 음성강도와 50~450 Hz 사이의 기복이 심한 음성을 보였으며, 음성 사용 시간도 대부분의 시간에서 확인되었다. 그러나 직접 작성한 일기에서는 말하는 양이 많지 않았다고 기술하여 본인의 발성 습관에 대한 이해가 부족한 것으로 생각되었다(Fig. 4).

Table 1. Subjects profiles

Subject	Vocal disease	Age/ Sex	Occupation
1	None	40/F	Office worker
2	None	25/F	Office worker
3	Vocal nodule	33/F	Teacher
4	Muscle tension dysphonia	21/F	Student

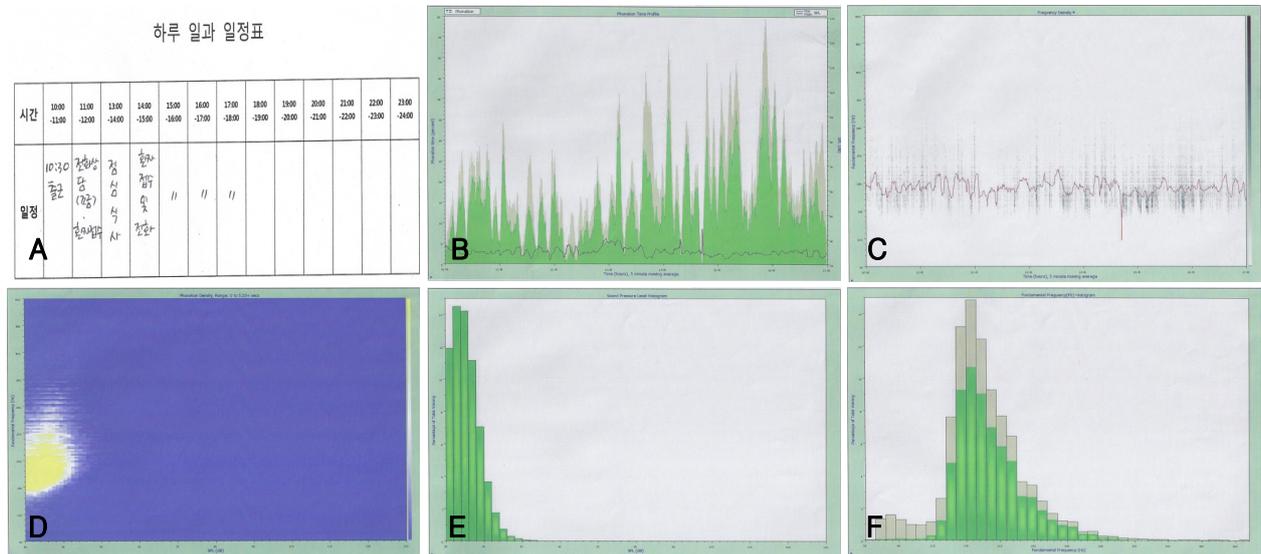


Fig. 2. Results of "Subject 1". A: Diary. B: SPL (dB), phonation time profile graph. C: F0 density graph. D: Phonation density graph. E: SPL Histogram. F: F0 histogram. SPL: sound pressure level, F0: fundamental frequency.

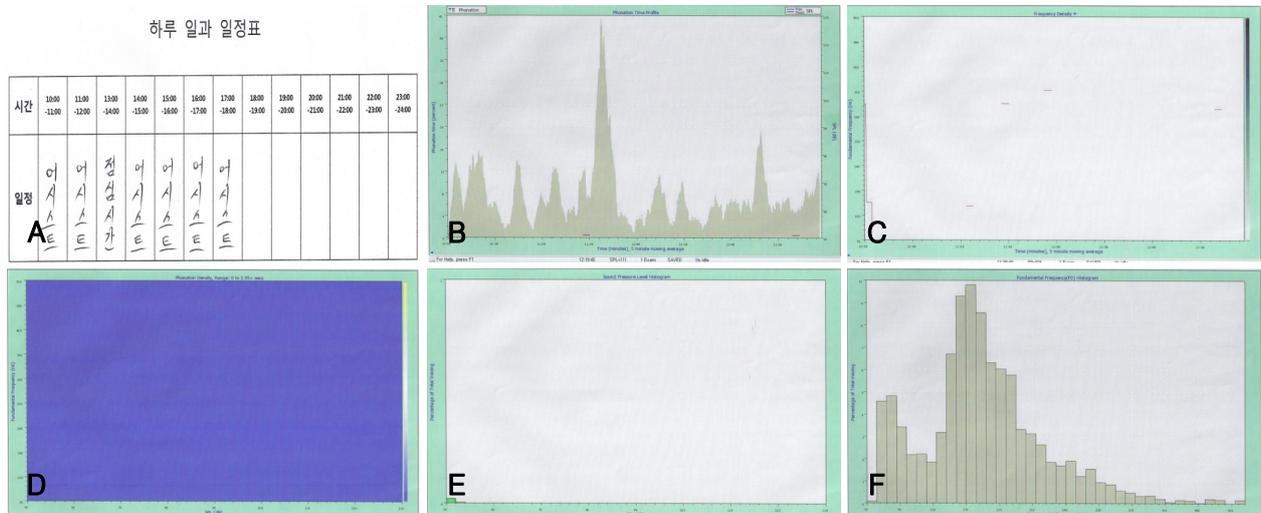


Fig. 3. Results of "Subject 2". A: Diary. B: SPL (dB), phonation time profile graph. C: F0 density graph. D: Phonation density graph. E: SPL Histogram. F: F0 histogram. SPL: sound pressure level, F0: fundamental frequency.

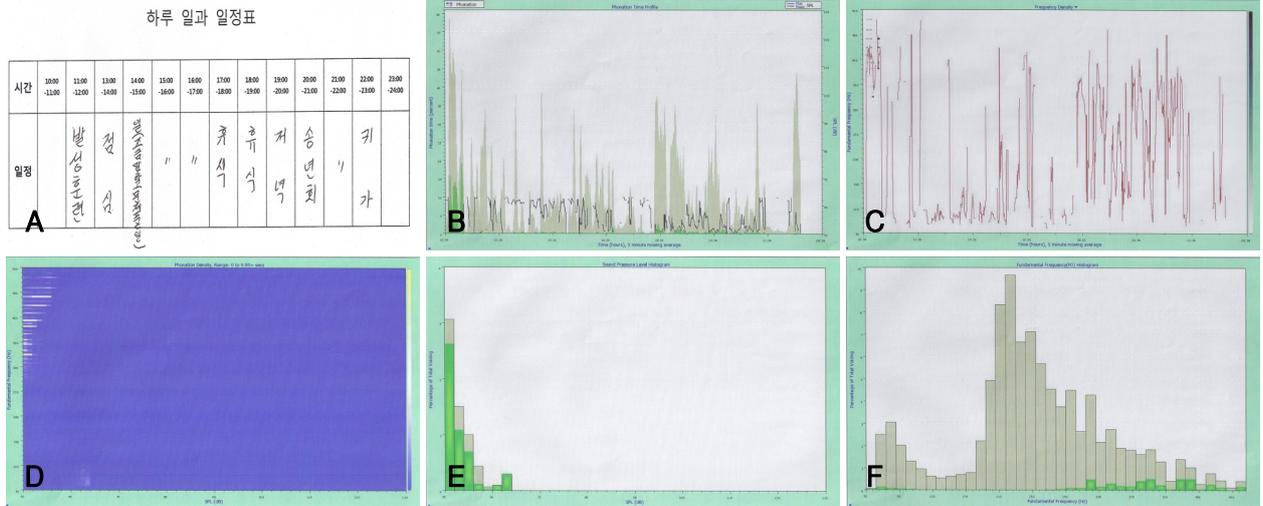


Fig. 4. Results of "Subject 3". A: Diary. B: SPL (dB), phonation time profile graph. C: F0 density graph. D: Phonation density graph. E: SPL Histogram. F: F0 histogram. SPL: sound pressure level, F0: fundamental frequency.

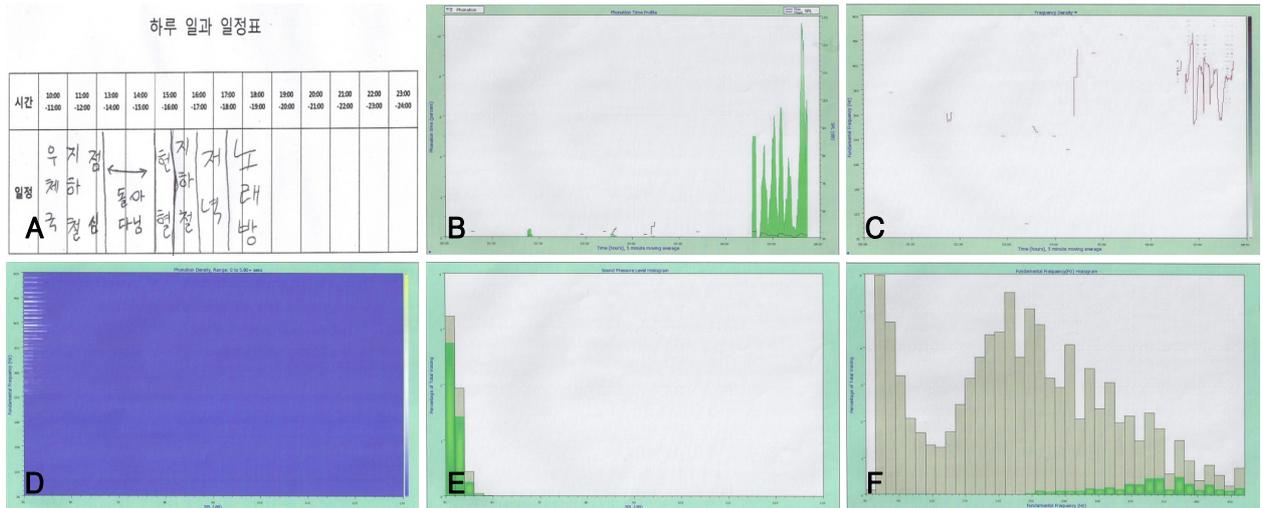


Fig. 5. Results of "Subject 4". A: Diary. B: SPL (dB), phonation time profile graph. C: F0 density graph. D: Phonation density graph. E: SPL Histogram. F: F0 histogram. SPL: sound pressure level, F0: fundamental frequency.

대상 4는 근긴장성 발성(muscle tension dysphonia)이 있는 20대 여자 학생으로 50 dB을 약간 넘는 음성강도와 400 Hz 전후의 높은 기본주파수를 사용하는 것으로 나타났고, 음성 사용 시간은 많지 않았지만 일시적으로 과도한 사용을 보였다(Fig. 5).

기기는 쉽게 탈부착이 가능하여 처음 사용하는 사람도 어려움 없이 사용할 수 있었다. 경부에 부착된 마이크는 일상 생활을 하는 동안 떨어지지 않고 피부에 불편을 주지 않으면서 적절한 음성 신호를 수집하게 하였으며, 떼어낼 때에도 기기에 무리가 가거나 어려움은 없었다. 분석 정보는 하루에 말하는 발성 시간, 음성강도, 음성의 기본주파수를 시간대별로 측정할 수 있었다. 하루 동안의 발성 상태를 확인할 수 있었고, 집중적으로 발성이 일어난 시간과 그때의 상황 등

에 대하여 일기를 기록하게 하여 발성 상태를 쉽게 알 수 있었다. 또한 대상의 발성 시 음성 강도와 음성의 기본주파수 분포 범위도 자동화된 프로그램으로 도표화하여 알 수 있었다.

고 찰

음성 사용은 음성 질환의 중요한 원인으로 성대폴립, 성대결절이 있는 환자들의 음성치료 과정에서도 중요한 역할을 하므로, 일상생활에서의 개개인의 음성 사용 평가에 대한 관심은 지속적으로 있어왔다. 이에 진료실이 아닌 일상생활에서의 음성 사용 상태를 객관적으로 수치화하여 모을 수 있는 APM 기기 또한 계속 발전하여 왔으며, 그 유용성에 대한

여러 연구 또한 보고되어 왔다.

APM 기기는 크게 accelerometer, microprocessor, APM software 3가지로 구성되어 음성 사용의 정보 수집 및 분석이 가능하며, 본 연구에 사용한 APM 3,200의 경우 추가적으로 진동호출기와 같은 기능이 있는 tactile monitor를 포함하고 있어 실시간으로 음성 사용에 대한 피드백(real-time vibrotactile feedback) 또한 가능하게 되어있다.

Holbrook 등¹⁾은 음성 사용에 대한 monitoring보다는 biofeedback 기능을 가진 기기를 보고하였으며, 당시에는 sound level 만을 측정하여 이를 통해 음성 남용 환자들에게 적용 시켜 음 강도를 조절할 수 있었다.

음성을 감지하는 마이크의 위치도 기관 또는 갑상선 위에 위치시키는 contact microphone에서부터 입 앞이나 대상자의 책상 근처 등 다양한 곳에 위치시키는 free-air microphone 등으로 다양하게 보고되었다.²⁾ 눈에 잘 보이는 곳에 위치하는 경우, 검사를 받는 사람이나 검사자와 실제로 대화하는 사람에게 대화 내용의 기밀성 여부 등을 신경 쓰이게 하여 실제 자연스런 음성 사용 시와 같은 정보를 얻기 힘들 수 있고, 다른 사람의 말소리나 소음 등의 원치 않은 정보가 수집 될 가능성이 있다. 이런 면에서 APM Model 3,200의 경우 throat sensor 자체가 8.4×5.6×3.8 mm의 작은 직사각형 크기로 흉골상 절흔 직상방에 부착하여, 셔츠 등에 쉽게 가려지는 크기와 위치로 잘 보이지 않는다는 장점이 있다. 본 연구에서도 환자에게 기기가 대화 내용 자체는 녹음하지 않고 음성 상태를 판단할 수 있는 지표들만 수집하여 기록하여 대화 내용에 대한 비밀 유지에 대해서는 염려할 필요가 없음을 주지시켜 일상적인 음성 상태를 최대한 반영하도록 하였다.

2006년 Hillman 등³⁾은 accelerometer(contact microphone)와 마이크로 음성 지표(phonation duration, fundamental frequency, sound pressure level)들을 측정하여 음성 질환의 경증도에 따른 정확도를 비교하였으며, 그 결과 마이크보다 accelerometer가 발성 시 나타나는 경부 성문하 부위의 피부 진동을 통해 좀 더 정확하게 측정한다고 보고하였다. 과거의 기기들은 음성 분석 지표로 음성강도, 발성 시간, 기본주파수를 측정하였으며,²⁾ 그 외에도 하루 중 실제 총 음성 사용 시간(speaking times), 시간당 음성 사용 비율 또한 측정하여 개개인의 음성 사용 습관에 대해 알고자 하였다.⁴⁾

APM software는 12시간 이상의 긴 시간 동안의 방대한 음성 사용 자료들을 어떻게 효과적으로 분석하고, 도표화 할지 연구 되어 왔다. 기기 사용시간은 본 연구에서 사용한 APM Model 3,200의 경우, 완전히 충전된 건전지로 14시

간까지 사용할 수 있다고 되어 있으며, 본 연구를 진행하는데 있어서 건전지가 소진되어 녹음하지 못한 경우는 없었다. 예전의 기기들은 음성 정보 분석 간격에 따라 6시간에서 60시간까지 다양하게 사용할 수 있다고 보고되었다.²⁾ 본 연구에서는 발성 상태 녹음 시간은 최소 8시간에서 최대 12시간이었으며, 기기 사용 중 중간에 전원이 꺼져 녹음하지 못한 경우는 없었다.

APM software는 수집된 정보들을 분석하여 5가지 도표로 나타내게 된다. 대상1의 결과를 보면 Fig. 2A는 환자가 직접 작성한 하루 일과를 기록한 일기이다. 5가지 도표를 자세히 보면, Fig. 2B는 phonation time profile로 시간(x축)에 따른 발성시간(%)이 5분 단위로 평균 내어져 연두색으로 표시 되어있고(좌측 y축), 평균 음성 강도(average amplitude, dB SPL)(우측 y축) 또한 검은 선으로 표시되어 하루 동안의 음성 사용 정도를 잘 보여주고 있다. 환자는 하루 종일 꾸준히 음성을 사용해 왔으며, 평균적으로 30~40 dB 내에서 고른 음성 강도로 말하였음을 알 수 있다. Fig. 2C는 frequency density를 나타내는 것으로 시간(x축)에 따른 기본주파수(y축)를 한눈에 볼 수 있고, 약 200 Hz 정도의 여성 성인의 평균 범위(190~225 Hz)내의 음도를 보이고 있다.⁵⁾ 기본주파수와 발성시간에 대한 일중 변동 기록이 있기 때문에,^{6,7)} 하루 정도의 긴 시간 동안의 측정이 추천되어 왔으며, 본 연구에서도 Fig. 2B and C에서 보듯이 음성강도등의 수치화된 자료 뿐만 아니라 도표를 통해 자료 수집 기간 중 발성이 언제, 어떤 형태로 실제 일어났는지 보여준다. Fig. 2D는 phonation density를 나타낸 표로 음성 강도(dB SPL)를 x축에, 기본주파수(Hz)를 y축에 나타내고, z축은 특정 음성강도와 기본주파수에 해당하는 발성의 총 시간을 색으로 표시하여, 음성사용시간이 더 길수록 색 지표가 파란 색에서 노란 색으로 높이 올라가도록 표시하였다. Fig. 2E는 음성강도의 histogram으로 각 음성강도(x축)에서 대상자가 얼마만큼의 시간을 발성했는지(y축, percent of total voicing) 한눈에 알 수 있게 보여준다. Fig. 2F는 기본주파수의 histogram으로 각 음도(x축)에서의 총 발성 시간 % (y축)를 나타낸다.

결과에 대한 분석에서 대상 1은 하루종일 지속적으로 말을 사용하지만 과도하게 큰 소리나, 높은 소리를 내지 않는 정상적인 발성을 하는 경우이고, 대상 2는 정상보다 크고 높은 음성을 사용하지만 발성 시간이 짧은 상태로 음성 사용 방법과 발성 시간과의 관계 등을 생각하게 한다. 대상 3은 성대질환과 음성 변화를 갖고 있는 상태이지만 환자 스스로는 자신의 음성 사용 습관에 대한 이해가 부족한 경우로, 치료할 때 이런 점을 고려하여 환자의 음성에 대한 교육이 더

중요하고, 음성위생이나 강도조절 같은 치료 방법을 선택하는 데 도움을 받을 수 있다. 대상 4는 발성 시간은 길지 않지만 말할 때 과도하게 크고 높은 긴장성 음성을 내는 특징적인 근긴장성 발성질환의 한 형태를 보이고 있어 환자의 진단에 보다 정확성을 기할 수 있다.

이처럼 APM을 이용하였을 때 기존의 음성검사에서 확인할 수 없는 부분들에 대한 점검으로 진단과 치료에 도움을 받을 수 있다. 시간적으로 기존의 검사에 비해 장시간 검사를 해야 하기는 하지만, 기기 착용 후 검사하는 동안 일상생활을 하는 데 무리가 없고 하루 동안의 실제 음성 사용 특성을 장시간 분석할 수 있다는 점이 장점으로 작용할 수도 있다. 따라서 대상 3의 경우처럼 성대 질환을 가지고 있고 잘못된 발성 습관을 가졌으나 본인의 상태에 대한 이해가 부족한 환자의 경우, 기존의 검사만으로는 검사 당시의 환자의 음성 상태를 평가할 수는 있으나, 환자의 평소 음성 사용 습관은 환자의 진술만으로 파악하기에는 무리가 있을 수 있다. 이러한 환자들에게 APM을 이용해 음성 사용 상태를 객관적으로 수치화하여 측정하여, 환자에게 본인의 상태를 인지하고 교육하는 데 도움을 줄 수 있고, 또한 그 자료를 바탕으로 음성 치료 시에도 간접적으로나 또는 직접적으로 biofeedback 기능을 이용하여 도움을 줄 수 있다. 즉, 검사 시간과 효용성 측면을 고려할 때, 모든 환자들에게 시행하기 보다는 질환과 그 원인 간의 관계가 불명확하거나, 진단 자체가 애매한 경우, 일상생활에서 음성 오용이나 남용 습관의 확인이 필요한 경우, APM 기기를 이용하여 치료가 필요할 경우에 치료 전의 기준 설정을 위한 경우 등에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

기기 사용 방법에 대한 숙지는 큰 어려움 없이 할 수 있었으며, 과거에 보고되었던 장시간 accelerometer 부착 시 중간에 떨어지는 경우나, 제거 후 하루 동안 경증의 피부 발진이 일어났던 부작용은 없었다.³⁾ 본 연구에서 대상자들은 불편함을 크게 호소하지는 않았지만, hardware module이 무게는 아주 가볍지만 부피가 작지 않아 허리 가방에 넣어 차고 다녀야 하는 번거로움과 눈에 띈다는 단점이 있으므로 hardware module의 크기를 줄이는 데에도 노력이 필요할

것으로 여겨진다.

국내에는 APM 기기에 대한 소개나 연구가 아직 없는 상태로, APM으로 얻을 수 있는 정보들에 대한 연구가 앞으로 더 필요 할 것으로 생각된다. 과거에도 호출 진동기와 같은 장치를 이용하여 음성을 분석한 후 바로 음성 사용이나 음성 휴식시 biofeedback하는 용도로 사용하여 지나치게 음성강도를 높여 음성을 사용하는 환자를 대상으로 vocal intensity를 조절하였던 것처럼,^{2,8)} 음도(pitch) 등 다른 음성 분석 지표들에 대해서도 진료실 밖에서의 음성 치료의 개념으로 이용할 수 있을 것이며, 음성 치료의 효과를 높이는 데 도움이 되리라 생각된다.

결론적으로, ambulatory phonation monitoring 기기는 일상생활에서 실시간의 발성 상태와 발성 습관, 본인 스스로의 발성에 대한 인식 등 다양한 정보를 객관적으로 제공하는 유익한 기기라고 생각되며, 음성 질환을 진단하는 데 뿐만 아니라 음성 치료 시에도 유용하게 사용될 것이라고 사료된다.

REFERENCES

- 1) Holbrook A, Rolnick MI, Bailey CW. Treatment of vocal abuse disorders using a vocal intensity controller. *J Speech Hear Disord* 1974; 39(3):298-303.
- 2) Cheyne HA, Hanson HM, Genereux RP, Stevens KN, Hillman RE. Development and testing of a portable vocal accumulator. *J Speech Lang Hear Res* 2003; 46(6):1457-67.
- 3) Hillman RE, Heaton JT, Masaki A, Zeitels SM, Cheyne HA. Ambulatory monitoring of disordered voices. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2006;115(11):795-801.
- 4) Ryu S, Komiyama S, Kannae S, Watanabe H. A newly devised speech accumulator. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 1983; 45(2):108-14.
- 5) Robin AS. Voice Analysis. In: Cummings CW, Flint PW, Harker LA, Haughey BH, Richardson MA, Robbins KT, et al, editors. *Cummings Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 4th ed. St Louis, USA: Elsevier Mosby;2005. p.2008-25.
- 6) Szabo A, Hammarberg B, Håkansson A, Södersten M. A voice accumulator device: evaluation based on studio and field recordings. *Logoped Phoniatr Vocol* 2001;26(3):102-17.
- 7) Austin MD, Leeper HA. Basal pitch and frequency level variation in male and female children: a preliminary investigation. *J Commun Dis* 1975;8(4):309-16.
- 8) McGillivray R, Proctor-Williams K, McIister B. Simple biofeedback device to reduce excessive vocal intensity. *Med Biol Eng Comput* 1994;32(3):348-50.