

## 항문 괄약근을 이용한 새로운 의사소통 기기

연세대학교 의과대학 재활의학교실, 근육병 재활연구소 및 <sup>1</sup>보건과학대학 의공학과

강성웅 · 손홍석 · 강연승 · 유태원 · 김정은 · 이정훈<sup>1</sup> · 홍규석<sup>1</sup> · 심 훈<sup>1</sup> · 윤영로<sup>1</sup>

**A New Communication Device Using the Anal Sphincter**

Seong-Woong Kang, M.D., Hong Seok Sohn, M.D., Yeoun-Seung Kang, M.D., Tae-Won Yoo, M.D., Jung-Eun Kim, M.D., Jeong Hoon Yi, M.S.<sup>1</sup>, Kyu Seok Hong, B.H.Sc.<sup>1</sup>, Hoon Shim, B.H.Sc.<sup>1</sup> and Young Ro Yoon, Ph.D.<sup>1</sup>

*Department of Rehabilitation Medicine and Rehabilitation Institute of Muscular Disease, College of Medicine and <sup>1</sup>Department of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yonsei University*

**Objective:** The purpose of this study was to invent a new communication device by utilizing the function of anal sphincter muscles that was another residual motor function to the last in amyotrophic lateral sclerosis (ALS) patients. **Method:** We designed a sensor which worked by changing intensity of the contraction and was enable severely paralyzed patients to communicate by means of self-regulation of the anal sphincter contraction. This device made sentences through combination of selected Korean letters deprived from sphincter contractions. **Results:** This device was composed of three parts. Anal sensor: the head part of the sensor regulated by sphincters

was located in the rectum, signal processing module: the raw signal from the sensor was boosted up and set up on the baseline voltage equal to threshold by threshold detector, and device program: the icon mode which was composed of routine questions and requested to their care-givers. And in user-writing mode, patients could choose syllable elements using the sensor operating by sphincter. **Conclusion:** This system was designed for advanced ALS patients with only the available function of sphincter muscles and could give them another new option in selecting communication devices. (**J Korean Acad Rehab Med 2006; 30: 513-521**)

**Key Words:** Communication device, Anal sphincter, Amyotrophic lateral sclerosis

### 서 론

근위축성 측삭경화증(amyotrophic lateral sclerosis, ALS)은 척수, 연수 및 대뇌피질에 위치한 운동신경원의 변성이 진행되는 병으로 근력 약화, 근육의 위축, 근육 부분수축(fasciculation) 등의 하부 운동신경원 징후와 항진된 반사, 경도의 경직 등과 같은 상부 운동신경원 징후를 모두 나타낸다.<sup>9,17)</sup> 이 병은 주로 여자보다 남자에게서 더 많이 나타나며 중장년 이상의 나이에서 많이 호발하는 것으로 알려져 있다.<sup>9)</sup> 병의 초기에 근력의 약화로 인해 환자가 보행 시에 기민함이 떨어지는 것을 자각증상으로 느끼기도 하지만, 말하기나 음식물을 삼킬 때의 장애를 처음 호소하기도 하는데, 이는 처음 침범하는 병소가 어딘가에 기인하는 문제로서 주로 척수나 연수의 운동신경원에 빈발한다. 그 후로

근력의 약화와 근육의 위축은 계속 진행하게 되고 상부 운동신경원과 하부 운동신경원이 지배하는 영역의 기능을 모두 감소시키며, 환자는 의식과 사고가 명료한 상태임에도 불구하고 발성에 필요한 근육이 기능을 하지 못하여 의사소통을 못하게 된다. 하지만 항문의 괄약근 기능, 장관과 방광의 기능, 안구의 움직임, 감각을 느끼는 기능, 지적 능력, 피부의 연속성 등은 비교적 보존된다.<sup>10,16)</sup> 병의 말기에는 모든 일상생활에 의존적이 되며 호흡부전으로 인한 인공호흡기 보조와 음식물 섭취를 위한 위조루술이 필요하게 된다.<sup>9)</sup> 환자들은 대다수에서 진단 받은 후 5년 이내에 사망하게 되며 대부분 호흡 부전이나 폐렴이 사망의 원인이 된다.<sup>11)</sup>

근위축성 측삭경화증은 그 병인이 확실하게 알려져 있지 않으므로 그 치료 방법도 명확하지 않다. 병은 빠르게 진행되며 이에 따라 의료진은 목 근육의 약화로 초래되는 두경부 자세의 지지부터 타액의 조절, 영양공급의 문제 및 경피적 위조루술의 시기, 호흡의 문제, 기관절개의 시기 등의 여러 육체적인 변화에 따른 판단과 대처에 신경을 써야하므로 놓치기 쉬운 부분, 즉 환자의 삶의 질에 관한 부분을 간과하기가 쉽다. 대부분의 환자들은 진단 후 투병기간 중 육체적인 장애뿐 아니라 심리적, 정서적으로도 많은 어려움에 부딪히게 되며 그 중에서도 진행되는 경직성 발음장애

접수일: 2006년 3월 10일, 게재승인일: 2006년 8월 1일  
 교신저자: 강성웅, 서울시 강남구 도곡동 146-92  
 ☎ 135-270, 연세대학교 영동세브란스병원 재활의학과  
 Tel: 02-2019-3492, Fax: 02-3463-7585  
 E-mail: swoong@yumc.yonsei.ac.kr  
 본 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 이루어졌음(KRF-2003-041-E00227).

는 결국 의사소통의 기능마저 힘들게 만든다.<sup>13)</sup> 환자들은 운동 기능의 소실에 대한 두려움뿐만 아니라 자신의 요구나 느낌을 상대방에게 전달할 수도 없는 상황에 대한 불안감도 느끼게 되며 의사소통을 위한 카드, 눈 깜박임, 손동작, 얼굴 표정근, 글씨쓰기 등 환자의 상황에서 가능한 방법을 통하여 의사표현을 하려고 하지만 빠르게 진행되는 병의 특징상 이마저도 어려운 상황에 처하게 된다.

신체를 전혀 움직일 수 없는 환자에서 의사소통은 삶의 질과 질병 관리에 중요한 요소이다. 의사소통 기능은 환자가 가족 및 타인과의 사회관계에도 필요하며, 환자가 자신의 상태를 표현하여 적절한 치료를 가능케 함으로써 합병증의 예방 및 조기치료에도 도움이 될 수 있다. 컴퓨터를 이용한 의사소통 방식은 더 이상 새로운 기술이 아니다. 과거 40년 전부터 중환자실에서는 컴퓨터를 이용한 환자의 감시, 환자의 정보수집, 그리고 환자의 교육을 행하여 왔었다.<sup>15)</sup> 말기 근위축성 측삭경화증 환자가 이용할 수 있도록 현재 개발되어 있는 의사소통 보조도구는 대부분 안구 근육이나 동작을 이용한 것들이다.<sup>8)</sup> 이러한 기구들 중 어느 정도 원만한 의사소통을 할 수 있는 기구들은 그 구조의 복잡성과 정밀성으로 인해 가격이 고가일 수밖에 없어 보편적으로 사용되고 있지 못하며 이마저도 국내에는 극히 제한적으로 이용되고 있다. 안구 운동근육 외에 항문 괄약근의 기능도 남아있지만 국내의 어디에서도 이 근육의 기능을 이용하여 의사소통 보조도구를 개발하려는 시도는 없었다.

근위축성 측삭경화증 환자에서 항문과 요도의 괄약근을 이루는 횡문근은 기능적으로 잘 침범이 되지 않는다고 알려져 있고 이것은 병리학적 연구에서도 괄약근에 분포하는 신경의 세포체(cell body)가 있는 Onuf 핵이 병의 진행 시 다른 신경의 세포체에 비해 상대적으로 덜 침범된다는 결과를 보고한 바가 있다.<sup>6,7)</sup> 본 연구에서는 말기 근위축성 측삭경화증 환자에서 마지막까지 보존되는 항문 괄약근을 이용하여 의사소통을 할 수 있는 보조 기구를 개발하고자 하였다.

## 연구대상 및 방법

항문 괄약근을 이용한 의사소통 기기(the communication device using the anal sphincter, CDAS system)는 항문으로 직접 들어가는 장치인 항문센서, 항문센서에서 수집된 정보를 모아서 분류, 전달하는 장치인 전환 기구(processing device), 그리고 전달받은 정보를 눈으로 볼 수 있게 신호로 바꾸어 주는 CDAS 프로그램, 이 3부분으로 구성되도록 하였다. 본 연구에서는 항문 괄약근을 이용한 단순한 수축 기능일지라도 이를 이용하면 전기적 신호를 통하여 작동하는 프로그램화된 의사소통 기기를 개발할 수 있음을 보이고자 하였다.

임상 적용가능성 여부는 기기 개발을 완료한 후 2005년 1월부터 2006년 1월까지 본원에 내원한 환자들 중에서 심한 구음장애로 인해 언어소통이 불가능한 근위축성 측삭경화증 환자를 대상으로 하였다. 각 환자에서 다음과 같은 환자의 전반적 기능과 호흡기능을 평가하였고, 이들 중 근력이 현저하게 저하되어 손이나 손가락 및 발가락을 이용한 의사소통이 불가능한 환자들에게 항문센서를 이용하여 시스템을 사용하게 하였다. 의사소통 기구의 임상 사용 가능성 여부는 항문 수축을 이용하여 컴퓨터상에 글자를 쓸 수 있느냐 여부이므로 본 연구에서는 임의로 3단어로 구성된 문장의 작성이 가능한지를 기준으로 하였다.

### 1) 근력측정

약화된 사지의 근력과 항문괄약근의 상태를 평가하기 위하여 도수근력검사와 직장수지검사를 시행하였다.

### 2) 폐활량(vital capacity, VC)

MicroSpirometer (Micro Medical Ltd., UK) 폐활량 측정기를 이용하여 측정하였는데, 횡격막 근육이 약해져 정상적으로 누운 자세에서 수면을 취하지 못하는 환자가 많으므로 앉은 자세와 앙와위로 누운 상태에서 각각 측정하였으며 최소한 3번 이상 시행하여 얻은 측정치의 수치 중 최대값을 선택하였다. 각 위치에서 3900P 맥박산소계측기(Datex-Ohmeda, USA)를 사용하여 산화헤모글로빈 포화도를 측정하고 BCI8200 Capnograph capnometer (BCI international, USA)를 사용하여 종말호기 후 이산화탄소 분압을 측정하여 폐 환기의 적절성 여부를 파악하였다.

### 3) 최대 기침유량(peak cough flow, PCF)

기도 절개가 시행된 환자들이 있을 수가 있으므로 ASSESS<sup>®</sup> (Health Scan Products Inc., USA) 최대 유량 측정기 외에 보조 기침 도구를<sup>1)</sup> 함께 이용하여 측정하였다. 본 연구에서는 환자 스스로 흡입할 수 있는 최대 용량을 들이 마신 후 최대한 힘차게 기침을 할 때 힘차게 복부를 밀어주면서 측정하는 보조 최대 기침유량(assisted peak cough flow, assisted PCF)을 측정하였다. 이 과정을 최소한 3번 이상 시행하여 얻은 측정치의 수치 중 최대값을 선택하였다.

## 결 과

### 1) 시스템 하드웨어의 개관

(1) 항문 센서: 센서는 집게의 형상을 하고 있으며, 집게의 한 쪽에는 자력을 발생시키기 위한 소형 자석이, 이와 쌍을 이루는 다른 한 쪽에는 발생된 자력의 세기에 비례하여 전압을 발생시키는 홀 소자로 이루어져 있다. 이러한 구조는 비단 항문 괄약근에서뿐만 아니라 근 수축 작용이 소멸되지 않은 다른 신체 부위, 예를 들어 입술이나 손가락,

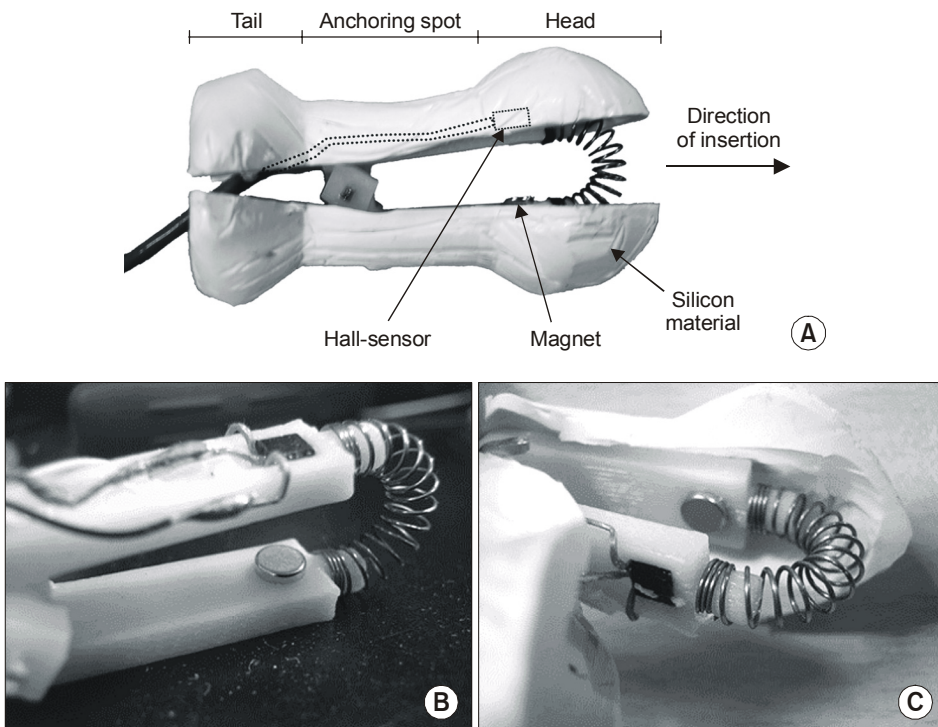
혀와 입천장 사이 등의 부위에서도 쉽게 작동시킬 수 있는 구조로써, 환자의 증상에 따라 다양하게 적용할 수 있다는 장점이 있다. 실제 기구부의 크기는 직경이 약 1 cm 이내의 작은 크기이나, 항문 괄약근의 수축 시에도 외부로 흘러내리는 것을 방지하고 환자의 근육으로부터 큰 힘을 전달받기 위하여 실험적으로 약 2~2.5 cm 정도가 되도록 실리콘 성형체를 센서의 외면에 보강하였다. 실리콘 성형체는 먼저 삽입되는 머리 부분이 직경 약 2.5 cm이며 몸체 부분의 직경은 약 1.8 cm로, 항문 삽입 후 괄약근의 수축력에 의하여 밖으로 밀려나오지 않도록 하였다(Fig. 1). 실제 환자는 괄약근을 수축시킬 때 센서의 머리 부분을 직접 수축시키게 제작되었다.

(2) 전환 기구: 항문 센서에서 발생하는 전기적인 신호는 괄약근의 수축과 이완 시의 전압 차이가 20~500 mV 정도이며, 이는 수축과 이완을 구분하기가 어려운 신호이기 쉽다. 그러므로 환자의 괄약근으로부터 전달되는 정보의 종류는 수축 또는 이완으로 표현되는 2진(binary) 정보의 형태이므로, 적절한 회로를 통하여 디지털 정보의 형태로 인식할 수 있도록 하는 과정이 필요하다.

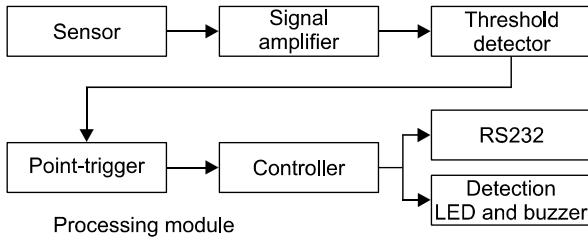
괄약근의 수축으로 흡 소자에서 발생한 전압은 교류의 형태를 지니며, 진폭이 일정하지 않고 기저선(괄약근 이완 상태의 전압) 또한 환자마다 다르며 심지어 동일한 환자에서도 센서를 삽입하고 난 이후 시간의 경과에 따라 비선형적인 변동을 나타내기 때문에 일반적인 아날로그 증폭기를 사용하여 신호를 증폭하는 것은 적절하지 않다. 센서에서 나오는 아직 가공되지 않은 신호는 0.2에서 0.5 볼트 사이의

낮은 출력을 가지고 있으므로 이 기기의 신호처리 회로 부분은 미약한 신호를 증폭하고, 신호 발생의 분기점을 설정하여 변동하는 기저선에 의존적인 역치 비교를 한 후, 역치 전압을 넘어서는 순간을 괄약근의 수축 시점으로 검출하는 등의 부분 즉, 신호 증폭부, 역치 탐지부, 포인트 트리거의 세 부분으로 이루어져 있다. 이를 위하여 변동하는 기저선의 비교적 낮은 주파수 성분을 참고 전압으로 하고, 상대적으로 높은 주파수 성분을 포함한 수축 시의 파형과 참고 전압과의 차이만을 증폭하도록 하는 교류 증폭 회로를 고안하였다. 이렇게 증폭된 신호가 참고 전압보다 약 100 mV 높게 설정된 역치 전압을 초과하는 순간을 시작으로 하여 약 1초간 지속되는 사각 펄스를 생성하도록 되어 있으며, 항문 괄약근의 수축이 1 Hz 이상으로 발생하는 것은 특히 근위축성 측삭경화증 환자에게는 희박한 상황이기 때문에, 이전 사각 펄스의 발생이 종료된 이후 나타난 최초 상승 파형 이후 1초 이내에 발생하는 역치 이상의 전압은 항문 괄약근 신호로 간주하지 않도록 설계하였다. 본 시스템에서 환자가 사용하는 프로그램 또한 문자와 문자로 이동하는 선택 커서의 속도가 1문자 간격당 1초로 설정하였기 때문에 이러한 설계는 타당하다고 할 수 있겠다.

발생된 사각 펄스는 MSP430F149라는 마이크로컨트롤러<sup>4)</sup>에 의하여 실시간으로 인식되며, 따라서 사각 펄스가 발생하지 않은 상태인 이완 구간에서는 논리 0, 사각 펄스가 발생한 상태인 수축 구간에서는 논리 1인 디지털 정보로 전환되어 인식된다. 마이크로컨트롤러는 논리 1이 발생한 순간부터 최대 96 $\mu$ s 이내로 CDAS 프로그램에 환자에 의해 팔



**Fig. 1.** Detailed image of the anal sensor showed the mechanism of signal processing. (A) The anal sensor was consisted of tail, anchoring spot, and head. (B, C) The hallsensor and magnet were covered with silicon materials for smooth and comfortable insertion.



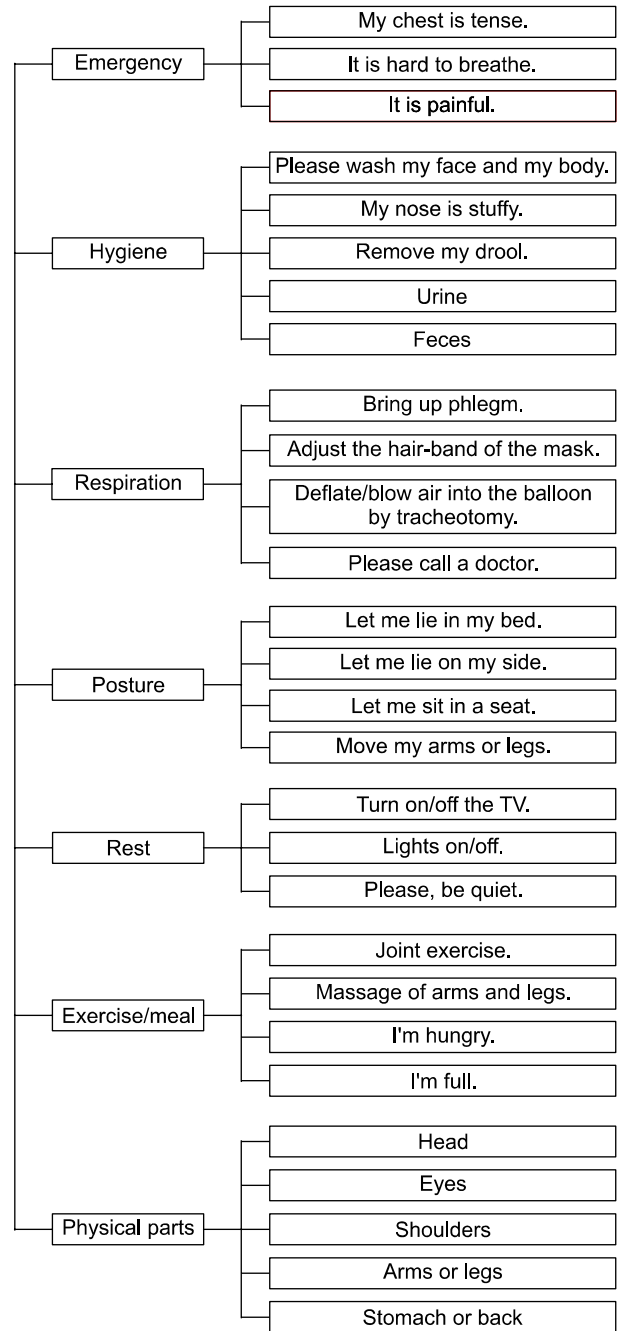
**Fig. 2.** Raw signals from the sensors were amplified and transferred to the controller. Then, the controller sent information to the personal computer by using the RS232 program. A light emitting diode (LED) light and a beep sound would occur with contraction (click) of the sensor by the patient.

약근이 수축되었음을 알리는 신호를 전송하도록 되어 있다. 이때 신호를 전송하기 위하여 컴퓨터와 마이크로컨트롤러 사이에는 비동기 직렬 통신의 한 종류인 RS232 통신 프로토콜<sup>3)</sup>을 사용하였으며, 환자 본인에게 팔약근의 수축이 인식되었음을 알려거나 보호자에게 환자가 무엇인가 전달할 것이 있거나 전달하고 있음을 알리기 위해 짧은 비프음(beep)과 발광 다이오드(light emitting diode, LED)의 점등을 발생시켰다(Fig. 2). 이는 환자에게 CDAS 시스템의 사용시 지루함을 덜어 보다 빠른 시간에 사용법을 습득하도록 하며, 의사 전달의 기능 향상을 위한 약간의 바이오피드백 효과를 기대할 목적으로 설계되었다.

**2) 시스템 소프트웨어**

CDAS 프로그램은 적절하게 가공되어 전달된 환자의 팔약근으로부터 발생된 2진 정보를 취합하여 환자가 원하는 것을 보호자 또는 의사에게 전달하도록 하는 목적으로 개발되었다. 개발 프로그램 언어로는 ‘델파이(delphi)’를 사용하였으며, 이 프로그램은 윈도우 기반의 개인용 컴퓨터나 노트북 등에서 자유롭게 설치가 가능하다. CDAS 프로그램은 크게 두 가지 모드로 구분할 수 있으며, 하나는 임상 전문가에 의해 미리 정해진 시나리오를 불과 몇 번의 수축으로 간편하게 알릴 수 있는 ‘아이콘 모드’이고, 다른 하나는 환자가 원하는 문장을 자유롭게 작성할 수 있는 ‘글자 쓰기 모드’가 있다.

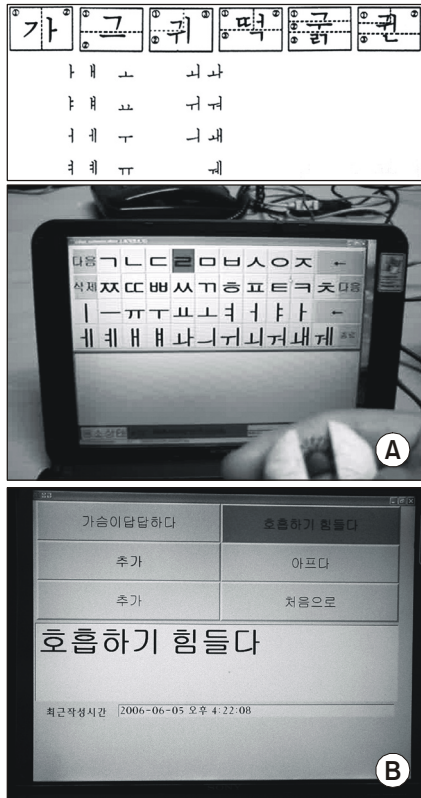
(1) 아이콘 모드: CDAS 프로그램은 기능들이 쓰여진 버튼을 커서가 순환하는 방식으로 동작하였다. 아이콘 모드는 근위축성 측삭경화증 환자들에게 빈번하게 발생하는 상황을 카테고리별로 분류, 구성하여 즐겨 쓰는 단문들을 모아 한번에 쓸 수 있도록 만들어졌다. ‘응급’, ‘위생’, ‘호흡’, ‘자세’, ‘휴식’, ‘운동/식사’, ‘신체 부위’의 일곱 가지 경우로 대분류하였고, 각 카테고리별로 소분류하였다(Fig. 3). 아이콘 모드에서는 환자가 외부로 최소한의 시간 동안에 자신의 상황이나 요구사항을 전달할 수 있도록 배려하였다. 위 카테고리에서는 ‘응급’이나 ‘호흡’처럼 환자의 안정을 위해



**Fig. 3.** This diagram showed the categories and expressions in the communication device using the anal sphincter (CDAS system). The icon mode was similar to a tree structure. It had seven categories with three to five specific expressions in each branch. The patients, by clicking the apparatus, would be able to choose the category and command he or she wishes.

신속하게 처리해주어야 하는 상황들 또한 정의되어 있다.

(2) 글자 쓰기 모드: 아이콘 모드는 간편하기는 하지만, 환자가 원하는 모든 정보를 표현하기에는 그 경우의 수가 너무 적다는 단점이 있다. 미리 정해져 있는 상황일지라도



**Fig. 4.** In the user-writing mode (A): (1) Writing could be accomplished by choosing a syllable elements of Hangul. (2) This picture showed an example of choosing syllable elements of Hangul by using the anal sensor and whole letter board in the monitor. Icon mode (B).

미묘하게 다른 의미를 전달하기 위해서는 오히려 선정된 상황 때문에 오해가 발생할 소지도 있다. 따라서 글자 쓰기 모드에서는 환자가 원하는 것을 문장으로 표현할 수 있도록 모든 한글 자음과 모음을 구성하였다. 이 모드에서는 14개의 모음과 21개의 자음 중에서 하나의 음소씩 택해서 조합하는 구조로 이루어져 있어서 환자가 원하는 문자를 모두 쓸 수 있도록 되어 있다.

모니터의 화면에는 첫째 행과 둘째 행에 자음이 배열하게 되고, 셋째 행과 넷째 행에는 모음이 배열되어 있다. 커서는 왼쪽에서 오른쪽으로, 위에서 아래 방향으로 순서대로 정해주는 시간에 따라 움직이며 모니터 왼쪽하단 부에 초성, 중성, 종성의 음소 상태를 표시하게 하여 환자가 선택한 자음이 초성인지 중성인지 구분을 하여 다음 글자로 넘어가는 데 편리하도록 제작하였다. 한글 문장을 적기 위해서는 상당히 많은 괄약근의 수축 횟수가 필요하고, 또한 많은 시간을 필요로 하기 때문에, CDAS 프로그램에서는 효율적으로 한글 문장을 작성하기 위한 새로운 알고리즘을 고안하였다.<sup>18)</sup> 한글은 자음-모음, 또는 자음-모음-자음(받침)으로 구성되는 것을 기본으로 하고 있다. 중자음이나 이

중모음 등은 한번에 선택할 수 있도록 모든 경우를 나열하였다. 즉, CDAS 프로그램에서는 한글 문자를 ‘자음’과 ‘모음’의 두 집단으로 해석하고 있으며, 받침이 없는 글자를 적을 경우는 받침 대신 ‘다음’이라는 버튼을 선택하도록 개발하였다. 이렇게 되면 하나의 글자를 적기 위해서 환자는 항상 세 번의 음소를 선택하게 된다. 자음과 모음이 배열된 프로그램은 1초에 한 번씩 정해진 순서에 따라 옆이나 위·아래로 또는 자음에서 모음으로 이동하는 ‘커서’에 의해 활성화 되며, 커서가 놓여진 버튼을 선택하게 되면 해당하는 음소 하나가 적히도록 하고 있다(Fig. 4). 이를 정리하면 한글 한 자를 적기 위해서 환자에게 요구되는 순서는 자음-모음-다음(받침 없음) 또는 자음-모음-자음(받침)의 두 경우로 요약할 수 있다. 이러한 방식은 환자가 익히기에 매우 쉽고 원하는 거의 모든 문장을 만들어 외부로 전달할 수 있다는 이점이 있다. 좀 더 익숙해진 환자의 경우는 커서의 이동 속도를 약간 빠르게 할 수도 있으며, 이와는 반대로 초보자나 학습이 느린 환자의 경우는 커서의 이동 속도를 약간 느리게 할 수도 있는 기능이 있다.

### 3) 임상 평가

유용성 검사는 5명의 환자들을 대상으로 하여 시행하였다. 이들은 모두 심한 연수근 마비를 동반한 말기 근위축성 측삭경화증 환자였으며 이 중 4명은 도수 근력 검사에서 상하지 모두 0/0 grade였고, 1명은 족관절 배측 굴근과 족저 굴근에서 0/3 grade 외에는 상하지 모두에서 0/0 grade를 보였다.

환자 1은 64세 남자 환자로 2년 전 근위축성 측삭경화증으로 진단되었으며, 연수근 마비로 인한 심한 구음장애를 가지고 있었고 경피적 위조루술을 시행하였으며, 타액으로 인한 기관 내 흡인으로 양와위로 누워서 잘 수 없는 상황에서 기관절개를 시행하여 24시간 호흡기를 사용하고 있던 환자로 침상생활만 가능하였던 환자였다. 도수 근력 검사에서 상하지 근력은 모두 0/0 grade로 측정되었다. 호흡기능 평가에서는 앉은 자세에서의 폐활량은 1,050 ml, 누운 자세에서 측정 시에는 840 ml였고 보조 최대기침유량은 250 L/min이었다. 검사 전 얼굴을 찡그리거나 눈을 깜박이는 것으로 의사 표시를 하였으나 원활한 의사소통은 불가능한 상태였다. 환자는 향문으로 센서를 삽입하여 사용하였으며 사용자 쓰기모드에서는 집중력이 떨어져 2단어 이상의 문장에서는 커서의 움직임을 놓치는 경우가 많았지만 아이콘 모드에서 원하는 항목을 정확하게 선택하였다.

환자 2는 58세 여자 환자로 구음장애가 심하였으며 보호자와의 눈깜박임으로 의사소통을 하였으나 자세한 표현은 불가능한 상태였다. 유병기간은 3년이었으며, 도수 근력 검사에서 상하지 0/0 grade였고, 검사 당시 경피적 위조루술과 기관절개술을 시행한 상태였다. 호흡기능 평가에서는 앉은 자세에서의 폐활량은 850 ml, 누운 자세에서 측정 시에는

800 ml였고, 보조 최대기침유량은 180 L/min이었다. 아이콘 모드 사용에 별 문제가 없었으며, 사용자 쓰기모드에서 3단어 이상의 문장도 문자판에 쓸 수 있었지만 문장의 완성까지는 시간이 많이 걸리는 문제가 있었다.

환자 3은 70세 남자 환자로 경피적 위조루술과 기관절개를 시행한 상태였으며, 유병기간은 2년 6개월로 도수 근력 검사에서 사지 모두 0/0 grade로 측정되었다. 호흡평가 상 앉은 자세에서 폐활량은 930 ml, 누운 자세에서는 800 ml, 보조 최대기침유량은 300 L/min로 측정되었다. 보호자와의 의사소통은 불편한 사항을 물어 봤을 때 눈을 깜박이거나 눈짓을 이용하여 시행하였고 자신의 요구 사항을 직접 표현하는 것은 거의 불가능하였다. 아이콘 모드 사용에 별 문제가 없었으나, 글자쓰기 모드에서 3단어를 썼으나 소요 시간이 오래 걸려 환자 2와 마찬가지로 숙련을 위해서는 훈련이 필요할 것으로 생각되었다.

환자 4는 38세 남자 환자로 경피적 위조루술과 기관절개를 시행한 상태였고 유병기간은 1년 6개월이었다. 도수 근력 검사에서 좌측 족관절 배측 굴근과 족저 굴근에서 grade 3외에는 사지 모두 0/0 grade 보였다. 호흡평가 상 앉은 자세에서 폐활량은 1,250 ml, 누운 자세에서는 1,100 ml, 보조 최대기침유량은 380 L/min, 의사소통은 글자판을 이용하여 눈이나 왼쪽 발로 신호를 보내는 상태였다. 처음에 향문을 이용하여 의사소통을 하는 것에 거부감을 보였지만 아이콘 모드를 사용하였을 때 만족하였고, 글자쓰기 모드에서는 3단어 쓰기가 어려웠다.

환자 5는 39세 남자 환자로 경피적 위조루술과 기관절개를 시행한 상태로 침상생활을 하는 환자였다. 유병기간은 2년이었으며, 도수 근력 검사 상 사지 모두 0/0 grade를 보였다. 호흡기능 평가에서는 앉은 자세에서의 폐활량은 1,300 ml, 누운 자세에서 측정 시에는 1,080 ml였고 보조 최대기침유량은 300 L/min이었다. 몇 개월 전까지도 왼쪽 손가락으로 휴대폰의 문자판을 누를 수 있을 정도였으나 병이 빠르게 진행되어 검사 당시에는 글자판을 보며 간병인이 가리키는 해당 자음 모음에서 눈을 깜박여 글자를 맞추는 방식으로 의사소통을 하고 있었다. 아이콘 모드 사용에 별 문제가 없었으며 글자쓰기 모드에서도 3단어 이상 쓰기가 가능하였다.

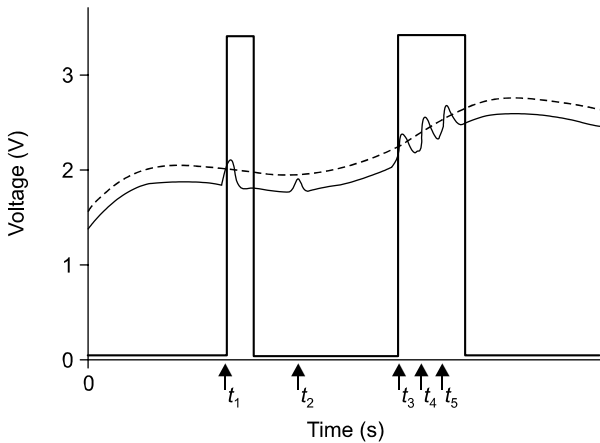
평가를 실시한 5명의 환자 모두 기기의 필요성과 향후 사용 의향을 표명하였으나 아이콘 모드 사용에는 큰 문제가 없었으나 글자쓰기 모드에서는 커서의 움직임을 놓쳐 시간이 많이 소요되는 문제점을 호소하였다.

## 고 찰

근위축성 측삭경화증 환자들은 의식이 없는 상태에서 생명만 유지하는 식물인간 상태와는 달리 의식이 명료하기 때문에 어떠한 방식이든 본인의 의사소통은 이루어져야

만 한다. 근위축성 측삭경화증 환자는 마지막까지 보존되는 향문 팔약근을 이용하여 자발적으로 팔약근의 수축 강도 및 수축 시간을 조절할 수 있으므로 본 연구에서는 환자가 컴퓨터 스크린을 보면서 향문 팔약근을 수축시키면 아이콘으로 만들어진 문장이 선택되거나 자음과 모음이 선택되어 문장이 만들어지게 시스템을 개발하여 의사소통을 하게 하였다. 의사소통 기기 중 향문센서를 향문에 삽입할 때에는 감염방지를 위해 센서에 콘돔이나 고무골무를 씌운 후 피검자에게 삽입하게 하였다. 센서가 장착된 성형체가 실리콘 재질로 만들어져 있기는 하지만 반복적인 삽입에 의해 발생할 수 있는 향문주위 피부의 욕창이나 향문 점막의 자극이 일어나지 않도록 콘돔이나 고무골무를 씌우고 그 위에 적정량의 윤활제를 사용하였다. 향문센서가 집게 모양으로 생겼으므로 향문 밖으로 밀려나오는 일은 없었으나 많은 윤활제가 향문 안으로 들어가면 센서 머리부분의 고정에 지장을 주게 되므로 주의할 필요가 있었다. 향문의 팔약근은 안쪽으로 평활근 섬유로 이루어진 내향문 팔약근, 그 바깥쪽으로 횡문근 섬유로 이루어진 외향문 팔약근으로 이루어져 있으며 이는 각각 자율신경계와 체성신경계의 지배를 받는다.<sup>14)</sup> 그러므로 향문의 자발적 수축을 감지하기 위해서는 외향문 팔약근의 원위부에 향문센서의 고정장치(anchoring spot) 부분이 고정되고 향문센서의 머리부분이 수축하는 힘을 가장 많이 받을 수 있는 외향문 팔약근의 중간 부위에 위치하도록 하여 수축을 감지할 수 있도록 하는 것이 가장 좋으며 이를 위해 향문센서를 앞뒤로 조금씩 움직인 후 환자에게 향문을 수축하게 하여 자리를 잡아주는 요령이 필요하지만 수 차례의 적용 후 쉽게 환자가 사용할 수 있을 정도로 센서의 민감도를 조정하여 사용하도록 하는 것이 가장 쉽게 사용할 수 있는 방법으로 생각한다. 향문에 센서를 삽입한다는 것이 다소 불편할 수는 있으나 마비 증세를 겪고 있는 근위축성 측삭경화증 환자들의 경우 자신의 의사를 전달할 수 있다는 심리적 안정감이 상대적으로 더 크다고 할 수 있겠다.

향문센서의 머리를 오므린 후 삽입을 하여 몸통부에 외향문 팔약근이 오게 한 후 환자에게 팔약근을 수축하게 할 때 수축하는 속도를 너무 빠르게 했을 경우에는 신호의 전달이 일어나지 않았다. 이 시스템에서 신호를 발생시키는 한계역치는 정적으로 정해져 있는 것이 아니라 동적으로 움직이고 있어서 그림에서 보는 것처럼 팔약근을 수축하는 힘이 충분하지 못해 역치를 넘지 못했을 경우나 다시 수축하는 간격이 너무 짧았을 경우 이를 센서가 감지해 내지 못하게 되어 있다(Fig. 5). 그러므로 다음 아이콘이나 음소를 선택할 때는 적어도 1초간의 간격은 두어야 원활하게 문장을 쓸 수가 있었고 실제 환자들도 향문을 빠르게 수축하여 사용할 수 있는 능력을 가지고 있지 않으므로 이 정도의 시간은 시스템을 원활하게 사용하는 데 아무런 문제가 되지 않았다.



**Fig. 5.** The original sensor signal (solid line) was compared with the threshold voltage (dashed line) following the original signal. The output signal was triggered on time while the original signal exceed the threshold.

이 시스템은 좀 더 나은 기능을 가진 환자들, 즉 말기 근 위축성 측삭경화증 환자를 포함한 근육신경계 환자들 중에서 입술의 동작이나 손의 집게 동작, 발가락의 모으기 동작 만 어느 정도 가능한 환자에서 항문괄약근을 사용하지 않고서도 쉽게 사용할 수가 있다. 현재 손에 쓰는 도구를 잡고 휴대용 칠판에 글씨를 쓰는 방법으로 의사소통을 하는 방법이 불가능하더라도 약간의 집게 동작 또는 버튼을 누르는 동작만 가능하다면 쉽게 항문센서를 누를 수가 있고 이 기기를 잘 사용할 수가 있다. 간병인이나 보호자가 환자의 바로 곁에 있지 않더라도 응급상황이나 필요한 요구를 보다 쉽게 전달할 수가 있다.

환자들은 큰 거부감 없이 시스템을 이용하였다. 항문센서를 항문으로 넣어 사용해야 한다는 설명에 거부감을 표현하기도 하였지만 휴대용 컴퓨터와 모니터로 구성된 시스템을 보고 난 후에는 오히려 컴퓨터를 이용한 새로운 의사소통기구는 사실을 더 흥미롭게 받아들이고 적응하였다. 하지만 컴퓨터에 친숙하지 못한 고령의 환자들에서는 모니터를 계속 바라봐야 하는 작업에 집중력을 유지하지 못하는 문제점을 보일 수도 있다. 모니터가 환자에게서 멀리 있게 되는 경우 환자는 모니터를 바라보기 위해 체위변경을 하거나 고개를 돌리기가 힘이 드는 문제점을 해결하기 위해 실생활에서 사용을 하는 경우 좀더 작은 크기의 출력기구, 예를 들면 휴대용 개인정보 단말기(personal digital assistants, PDA) 등에 프로그램을 설치하여 환자의 시야 가까이에서 이용할 수 있도록 하게 될 것이다.

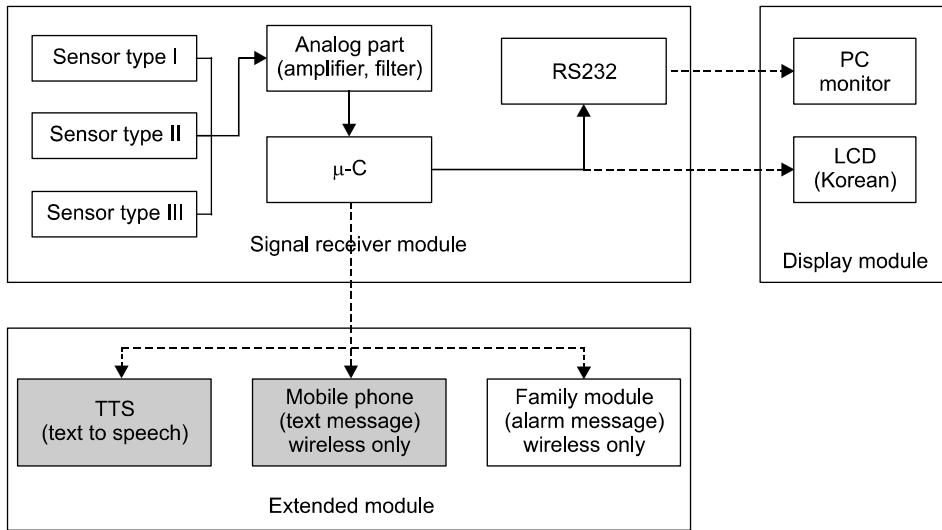
이 시스템에서 문제가 되는 것은 의사소통을 하기 위해 문장을 쓰는 시간이 많이 걸린다는 점이었다. 이 시스템을 실제로 사용함에 있어 환자가 자주 사용하는 요구나 표현은 아이콘 모드에 저장하여 사용할 수가 있기 때문에 이 모드를 잘 이용할 때 신속한 환자의 의사 전달도 가능하다.

그러나 커서가 자유롭게 전후좌우로 옮겨 다닐 수 있게 되어 있지 않고 순환하는 방식이므로 환자는 진행하는 커서의 움직임을 따라가야 하고 또 정확하게 항문을 수축해야 한다. 특히 사용자 쓰기모드에서 커서의 움직임이 너무 늦을 때는 집중하기가 어렵고 시간이 많이 걸리게 되며, 또 커서의 움직임이 너무 빠를 때는 원하는 음소를 놓칠 수가 있어 수정이 필요한 경우가 자주 발생하는 문제점을 나타내었다. 이러한 문제점이 기계적인 보완을 통해서 계속되어야 할 것으로 생각하고 이러한 문제점이 해결된다면 어떤 방법으로도 의사소통이 어려운 환자에 이 방법을 통한 의사소통은 환자에게 큰 의미가 될 것이다.

환자는 필요한 경우에 이 시스템을 사용하게 되지만 이 시스템을 24시간 장착하여 사용할 수 있는 것은 아니다. 그리고 환자의 배변 습관에 맞게 배변을 시행한 후에 사용해야 하는 제한점도 가지고 있다. 이 시스템은 아직 완벽하다고 말할 수는 없고 보다 보완이 되어야 하겠지만, 환자에게 의사소통기구의 선택에 있어서 선택의 폭을 다양하게 해주고자 하는 목적에는 기여하는 바가 크다고 할 수 있다. 첨단 기기와 장치의 사용이 첨가될수록 보다 효율적인 결과를 얻을 수 있겠지만 비용적인 측면에서 이용에 제한이 있을 수가 있고, 계속 진행되는 병의 특성상 환자의 상황에 적합한 시스템을 모두 갖출 수도 없다. 안구운동을 이용한 시스템은 가격이 최소 500만 원 이상이며 사용하는 방법에 있어서도 장시간 안구운동을 지속해야 하며 커서를 움직이는 센서를 자극하기 위해서는 안구의 움직임도 제법 커야하므로 사용 초기에는 안구운동 근육의 피로가 쉽게 발생하며 숙련을 위해 많은 훈련이 필요하다. 따라서 가격이 저렴하고 다른 기능을 이용할 수 있는 기기가 있다면 환자의 선택의 폭이 넓어질 수 있을 것이다. 항문 괄약근을 이용한 이 기기는 제작비용이 저렴하고 이러한 면에서 큰 의미를 둘 수 있는 기기라 할 수 있겠다. 이번 연구에서는 시스템의 개발과 사용의 가능 여부에 중점을 두어 진행하였으나 향후 더 많은 환자들에게 사용하도록 한 후 환자의 만족도에 대한 조사를 시행하여 좀 더 편리하게 사용할 수 있는 기기의 시스템 연구가 보완되어야 할 것으로 생각한다.

최근에 들어서는 다양한 호흡 재활 도구와 기술의 발달로 인하여 비침습적으로 인공호흡기를 사용할 수 있는 여건이 용이해져 장기간 가정에서 인공호흡기를 사용하는 사람들이 늘어나고 있으며 이로 인하여 환자들의 수명은 인공호흡기를 사용하지 않을 때보다 연장되고 있는 상황이다.<sup>2)</sup> 최근에는 정보 과학기술의 발전과 기계공학의 발전으로 인하여 인간의 장애를 보충해 줄 수 있는 기기들이 꾸준히 개발되어 환자의 삶에 큰 장애가 되었던 것들이 아무런 문제가 되지 않는 경우가 많아지고 있으므로 의료진의 좀 더 적극적인 관심을 두고 치료에 임한다면 더 나은 삶의 질을 유지하면서 생명을 연장시킬 수 있을 것이다.

항문 괄약근을 이용한 의사소통 보조기구의 개발은 기존



**Fig. 6.** The ultimate goal of the the communication device using the anal sphincter (CDAS system) was not only to display on personal computer monitor, but also to be able to communicate with friends and family members away from the patient using text to speech (TTS), text message, and alarm message.

에 개발되어 있는 안구동작을 이용한 의사소통기구와 함께 비록 제한적인 기능을 가진 환자들이지만 그 선택의 폭을 넓혀줄 수 있을 것이며 작동의 간편성과 가격의 경제성으로 인해 의사소통 보조기구의 보편화에 기여할 것이다. 또 이 시스템을 좀 더 확장된 장치들과 함께 조합을 이루어 사용을 한다면 음성문자전환(text to speech, TTS)<sup>12)</sup>이 가능해질 수가 있고 휴대폰으로 문자를 전송할 수도 있는 방법으로 사용되어(Fig. 6), 환자와 떨어져 있는 가족이나 친구와도 의사소통이 가능해지는 날도 기대할 수 있을 것으로 생각하며 이와 같은 시스템의 개발은 과학기술의 발달과 함께 계속 시도되어야 할 것이다.

**결 론**

본 연구에서는 근위축성 측삭경화증에서 병의 말기까지도 자발적 수축이 가능한 항문 괄약근을 이용한 의사소통 기기를 개발하였다. 본 기기는 환자가 항문을 수축시킬 때 항문센서를 통해 발생하는 전기적 신호를 이용하여 환자가 아이콘으로 만들어진 문장을 선택하거나 자음과 모음을 선택하여 문장을 만들 수 있게 고안하였다. 항문괄약근을 이용한 의사소통 보조도구의 개발은 기존에 개발되어 있는 안구동작을 이용한 의사소통기구와 함께 비록 제한적 기능을 가진 환자들이지만 그 선택의 폭을 넓혀 줄 수 있을 것이며 작동의 단순함과 가격의 경제성으로 인해 의사소통 보조기구의 보편화에 기여할 것으로 생각한다. 따라서 이 시스템은 환자가족과 간병하는 사람에게도 보다 많은 정보를 전달하여 환자의 개인의 정서적 측면에서의 안정뿐 아니라 가족들의 환자관리에도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각한다.

**참 고 문 헌**

- 1) 강성용, 김정은, 유태원, 강연승: 보조기침 향상을 위한 새로운 기구의 고안 -성문 기능의 보조를 통하여. 대한재활의학회지 2005; 29: 219-224
- 2) 강성용, 박중현, 류호현, 강연승, 문재호: 말기 신경근육 환자에서 비침습적 호흡기 관리. 대한재활의학회지 2004; 28: 71-77
- 3) 김근재: c 프로그래머를 위한 시리얼 커뮤니케이션, 초판, 서울: 인포북, 1995, pp496-520
- 4) 남상엽: 마이크로컨트롤러의 구조 및 응용, 초판, 서울: 상학당, 2001, pp13-19
- 5) Hudson AJ: The motor neuron disease and related disorders. In: Joynt RJ, editor. Clinical neurology, vol 4, Philadelphia: JB Lippincott, 1996, pp1-35
- 6) Mannen T, Iwata M, Toyokura Y, Nagashima K: The Onuf's nucleus and the external anal sphincter muscle in amyotrophic lateral sclerosis and Shy-Drager syndrome. Acta Neuropathol (Berl) 1982; 58: 255-260
- 7) Mannen T, Iwata M, Toyokura Y, Nagashima K: Preservation of a certain motoneuron group of the sacral cord in amyotrophic lateral sclerosis: its clinical significance. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1977; 40: 464-469
- 8) Miglietta MA, Bochicchio G, Scalea TM: Computer-assisted communication for critically III patients: a pilot study. J Trauma 2004; 57: 488-493
- 9) Mitsumoto H, Chad DA, Piro EP: Amyotrophic lateral sclerosis, Philadelphia: Davis, 1998, pp9-15
- 10) Mosier DR, Siklos L, Appel SH: Residence of extraocular motor neuron terminals to effects of amyotrophic lateral sclerosis sera. Neurology 2000; 54: 252-255
- 11) Neudert C, Oliver D, Wasner M, Borasio GD: The course of the terminal phase in patients with amyotrophic lateral sclerosis. J Neurol 2001; 248: 612-616

- 12) Oh YH, Lee SH: A text analyzer for Korean text to speech system. In: Bunnell HT, Idsardi W, editors. Proceeding of the 4th International conference on spoken language processing, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1996, pp1692-1695
  - 13) Simmons Z: Management strategies for patients with amyotrophic lateral sclerosis from diagnosis through death. *Neurologist* 2005; 11: 257-270
  - 14) Stiens SA, Bergman SB, Goetz LL: Neurogenic bowel dysfunction after spinal cord injury: clinical evaluation and rehabilitative management. *Arch Phys Med Rehabil* 1997; 78: S86-102
  - 15) Tegtmeier K, Ibsen L, Goldstein B: Computer-assisted learning in critical care: from ENIAC to HAL. *Crit Care Med* 2001; Suppl 8: N177-182
  - 16) Walling AD: Amyotrophic lateral sclerosis: Lou Gehrig's disease. *Am Fam Physician* 1999; 59: 1489-1496
  - 17) Williams DB, Windebank AL: Motor neuron disease: amyotrophic lateral sclerosis. *Mayo Clin Proc* 1991; 66: 54-82
  - 18) Yang JW, Lee YJ: Toward translating Korean speech into other languages. In: Bunnell HT, Idsardi W, editors. Proceeding of the 4th International conference on spoken language processing, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1996, pp2368-2370
-