

초음파 도플러 센서를 이용한 삼킴장애의 정량적 평가 시스템 개발

Development of a Quantitative Assessment System for Dysphagia using Doppler Ultrasound

이백희¹, 정기효², 양길태³, 서미경⁴, 나덕렬⁴, 유희천¹

¹포항공과대학교 산업경영공학과

²울산대학교 산업공학과

³엑트스톤아이엔티

⁴성균관대의대 서울삼성병원 신경과

Abstract

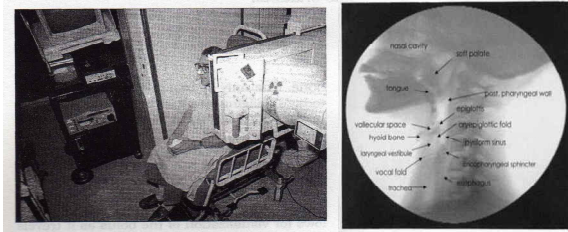
삼킴장애(dysphagia)는 음식을 먹는 과정에서 발생하는 어려움을 포괄적으로 일컫는 용어이다. 삼킴장애의 단계 중 인두강 단계는 현재 비디오 투시 조영 검사 장치(VFSS)와 비디오 내시경 검사 장치(FEES)가 사용되어 측정되고 있으나, 비교적 단시간 내에 삼킴 검사가 이루어져야 하기 때문에, 각 환자들의 일상생활에서의 삼킴장애 특성을 파악하는데 어려움이 있다. 본 연구는 초음파 도플러 센서를 사용하여 인두강 내부 구조들의 움직임을 파악할 수 있는 휴대용 삼킴측정장비를 개발하고, 삼킴의 특성을 평가할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 연구는 삼킴 특성의 정량화를 위하여 측정된 삼킴 신호로부터 5가지 삼킴 정량화 척도(삼킴 강도, 삼킴 지속시간, 삼킴 peak 수, 삼킴 peak 간격, 그리고 삼킴 충격량)를 분석할 수 있는 시스템을 개발하였다. 또한, 삼킴 정량화 척도들의 유용성 검증을 위하여 정상인과 환자 각각 10명씩의 삼킴을 측정하여, 삼킴 특성을 비교 분석하였다. 본 연구에서 개발된 삼킴측정장비 및 시스템은 추후 삼킴장애 환자를 판별하고, 지속적으로 삼킴 특성을 파악하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: dysphagia, swallowing disorders, Doppler ultrasound, quantitative assessment system

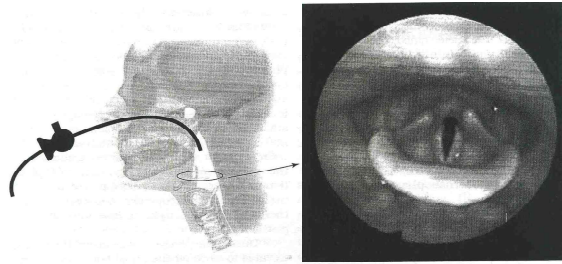
1. 서론

삼킴장애(연하곤란, dysphagia)는 음식을 먹는 과정에서 발생하는 어려움을 포괄적으로 일컫는 용어로서, 뇌졸중, 중추 신경 및 말초 신경의 퇴행성 질환, 외상성 뇌질환, 두경부 종양, 근육 질환 등의 환자들에게 발생한다. 삼킴장애는 음식물을 입에 넣고, 씹으며, 침과 덩어리를 형성하고 이를 인두강으로 밀어 넣는 구강 단계, 인두강으로 유입된 음식물이 연구개 거상 운동, 설골-갑상연골 거상 운동(hyo-laryngeal excursion), 인두강 연동운동(pharyngeal peristalsis), 상부 식도 괄약근(upper esophageal sphincter) 이완 등 여러 인두강 내부 구조들이 정교하게 협응을 이루는 일련의 움직임을 통해 식도 초입에 이르게 되는 인두강 단계, 마지막으로 상부 식도 괄약근의 이완을 통해서 식도 내로 음식물이 유입되는 식도 단계로 구성된다.

삼킴장애 단계 중 인두강 단계를 측정하기 위한 기존 삼킴측정장치들은 임상에서 사용하는데 몇 가지 한계점이 있다. 현재 대표적인 삼킴측정장치로는 그림 1과 같은 비디오 투시 조영 검사 장치(videofluoroscopic swallowing study, VFSS)와 비디오 내시경 검사 장치(fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing, FEES)가 있다(Langmore et al., 1988). VFSS는 엑스레이(x-ray)를 이용하여 형광 스크린(fluorescent screen)에 투시되는 영상을 기록하는 장치로서, 삼킴에 관여하는 해부



(a) 비디오 투시 조영 검사 장치(VFSS)



(b) 비디오 투시 조영 검사 장치(VFSS)

Figure 1. 대표적인 삼킴측정장치

학적 구조를 육안으로 확인할 수 있어 삼키는 동작을 하면서 기능적인 이상 여부를 평가하는데 이용되고 있으나, 규모가 크고 주 목적이 삼킴장애만을 측정하기 위한 장치가 아니라는 한계가 있다. FEES는 유연한 내시경(flexible endoscope)을 코를 통해 삽입하여 음식물을 삼키기 전과 삼킴 후의 인두강 내부 구조를 관찰하는 것으로, 실제 삼킴이 이루어질 때의 구강 및 인두강 기능은 확인할 수 없다는 단점이 있다. 따라서, 기존 삼킴측정장치들의 한계점이 보완된 삼킴측정에 특화된 장치의 개발이 필요하다.

현재 삼킴장애의 진단은 임상가의 환자 삼킴 관찰에 의해 수행되고 있어, 정량적으로 삼킴장애를 평가할 수 방법이 요구된다. Santos et al. (2006)은 Doppler sonar를 사용하여 삼킴 시의 소리를 측정하여 정상인 50명(평균연령: 32세, 범위: 18~50세)의 삼킴 peak 강도(intensity), 주파수(frequency), 그리고 삼킴 지속시간(duration time)을 파악하였으며, Cagliari et al. (2009)는 정상인 90명을 세 가지 연령대(2~5세, 5~10세, 10~15세)로 분류 후 특성을 분석하였다. 그러나, 삼킴 시의 소리를 측정하는 것은 인두강 내부 기관의 움직임 소리 외에도 삼킴에 직접적으로 관여하지 않는

소리(예: 호흡, 기관의 진동 등)를 포함하는 한계가 있다.

본 연구는 초음파와 도플러 센서를 사용하여 인두강 내부 기관의 움직임을 파악할 수 있는 휴대용 삼킴측정장비를 개발하고, 삼킴의 특성을 정량적으로 평가할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 연구는 삼킴 특성의 정량화를 위하여 측정된 삼킴 신호로부터 삼킴 특성을 나타낼 수 있는 5가지 척도를 정립하고, 정상인과 환자 각 10명의 삼킴을 측정하고 특성의 비교분석을 통하여 유용성을 검증하였다.

2. 삼킴측정장치 및 시스템 개발

본 연구의 초음파와 도플러 센서를 사용한 휴대용 삼킴측정장비는 그림 2와 같이 개발되었다. 본 삼킴측정장치(Xtron I&T, South Korea)의 도플러 센서(초음파 주파수: 2~5 MHz, 초음파 세기: 94 mW/cm² 이하, 초음파 출력: 20 mW 이하)는 그림 3과 같이 목에 부착했을 때, 인두강 내부 구조의 움직임을 파악할 수 있도록 개발되었다.



Figure 2. 개발된 휴대용 삼킴측정장치



Figure 3. 도플러 초음파 센서의 목 부착 위치

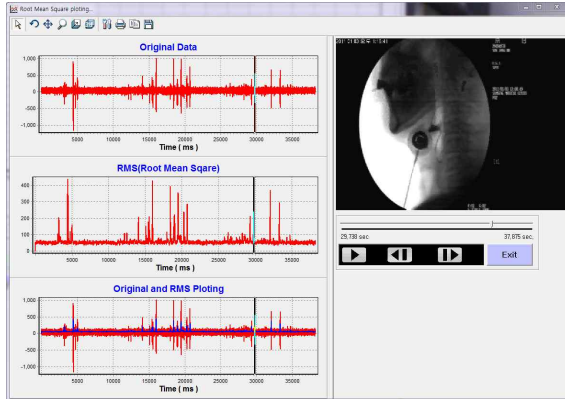


Figure 4. 삼킴신호 분석프로그램

본 연구는 개발된 삼킴측정장치가 수신하는 신호를 분석할 수 있는 삼킴신호 분석프로그램을 개발하였다(그림 4 참조). 본 삼킴신호 분석프로그램은 측정된 신호 및 root mean square(RMS)가 적용된 신호를 나타내주며, VFSS와 연동되어 삼킴신호가 가지는 의미를 파악할 수 있는 인터페이스를 제공한다.

3. 삼킴 정량화 척도 개발

본 연구는 측정된 삼킴신호를 정량화하기 위한 신호처리 방법으로 그림 5와 같은 네 단계 절차를 수행하였다. 첫 번째 단계에서는 측정된 삼킴신호의 특성분석을 위하여 음(negative)의 값을 양(positive)의 값으로 변환하였다. 두 번째 단계에서는 noise 제거를 위하여 moving average를 사용(예: lag $n = 150$)하여 smoothing 하였다. 세 번째 단계에서는 단위시간(msec)의 삼킴신호 기울기(slope)가 지정된 값(예: $|0.9|$) 이상이 되는 지점을 삼킴의 시작과 끝점으로

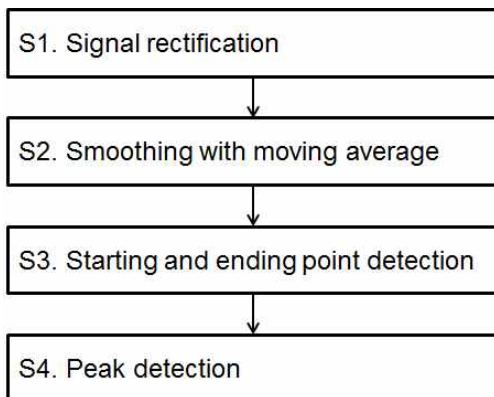
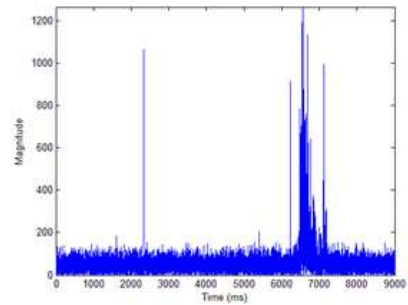
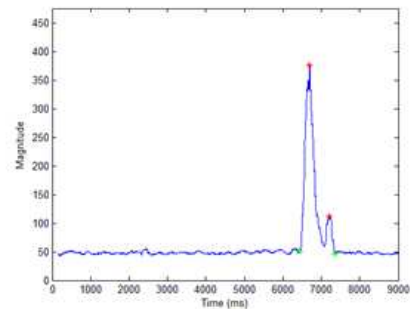


Figure 5. 삼킴신호 정량화 절차



(a) Rectified signal



(b) Smoothed signal

Figure 6. 삼킴신호 정량화를 위한 신호 처리 (green dot: starting and ending point, red dot: peak; cutoff value = 50 mV, lag $n = 150$)

선정하였다. 네 번째 단계에서는 지정된 cutoff(예: 50 mV) 이상에서 검출된 peak들을 삼킴 peak로 선정하였다.

본 연구는 선정된 3가지 삼킴변수(peak, starting point, ending point)를 사용하여 그림 7과 같은 5가지 삼킴 정량화 척도를 추출하였다. 첫째, swallowing peak amplitude(mV)는 삼킴 시 가장 강하게 움직인 정도를 나타내는 지표로서, 선정된 peak들 중 가장 큰 peak의 값을 나타낸다. 둘째, swallowing duration time(msec)은 삼킴 시 소요된 시간을 나타내는 지표로서, starting point와 ending point의 시간 간격으로 계산되었다. 셋째, number of peaks(unit)는 인두강 내부 움직임의 변화가 감지된 횟수로서, 지정된 cutoff 보다 높은 peak들의 개수이다. 넷째, peak interval(msec)은 인두강 내부 움직임의 변화간의 시간간격으로 peak와 peak 사이의 시간간격으로 계산되었다. 마지막으로, swallowing impulse(msec x mV)는 삼킴 시 인두강 내부 기관 움직임의 총량을

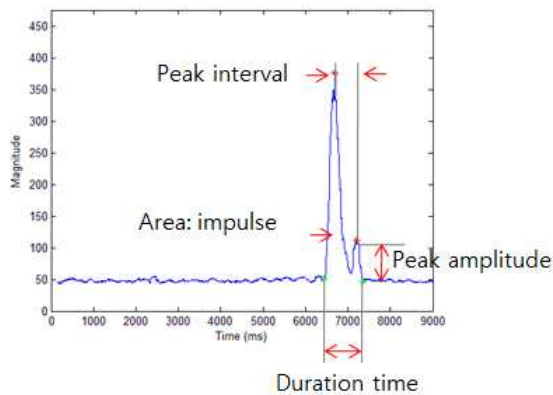


Figure 7. 삼킴 정량화 척도

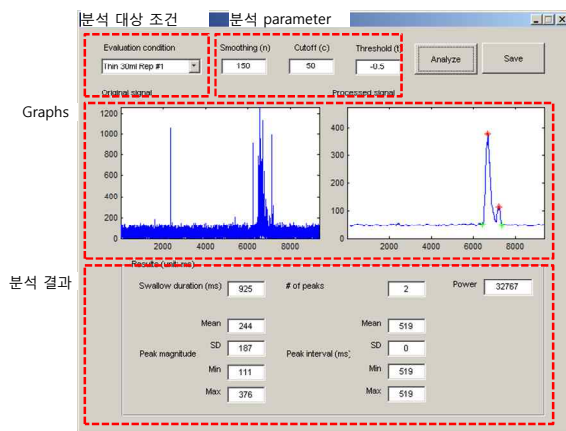


Figure 8. 삼킴신호 정량화 프로그램

나타내는 지표로서, starting point와 ending point 사이의 면적으로 계산되었다. 또한, 본 연구는 개발된 5가지 삼킴 정량화 척도가 삼킴신호로 부터 자동적으로 추출될 수 있도록 그림 8과 같은 삼킴신호 정량화 프로그램을 개발하였다.

4. 유용성 검증: 정상인과 환자의 삼킴 비교

본 연구는 개발된 삼킴측정장비 및 시스템의 유용성 검증을 위하여 표 1과 같은 정상인과 환자 각각 10명씩을 대상으로 삼킴 실험을 수행하고 특성을 파악하였다. 본 연구는 개발된 삼킴측정장비의 transducer를 목에 부착하기 위하여 그림 9와 같은 탄력있는 밴드(elastic band)를 사용하였다. 본 밴드는 실험참여자의 목에 부착된 transducer가 움직이지 않도록 하기 위하여, 실험참여자의 목과 transducer를 포

Table 1. 실험참여자

		정상인	삼킴환자
Sample size		10	10
Age	Mean	48.7	70.5
	SD	25.7	9.1
	Range	25~82	60~82



Figure 9. Transducer 고정을 위한 탄력적 밴드

함하여 감싼 후 벨크로(velcro)로 고정 후 사용되었다.

본 연구는 정상인과 환자의 삼킴 특성을 파악하기 위하여 3가지 삼킴종류(saliva, thin liquid, thick liquid)를 사용하였다. 첫째, 칫은 실험참여자가 자연스럽게 삼킬 수 있는 양만큼 삼키도록 유도되었다. 둘째, thin liquid로는 생수가 사용되었으며 1, 3, 9 ml를 삼키도록 유도되었다. 셋째, thick liquid로는 매실주스에 연하곤란환자용 점도증진제(Thick & Easy, Hormel HealthLabs, USA)를 혼합하여 사용되었으며 1, 3, 9 ml를 삼키도록 유도되었다.

삼킴실험은 네 단계 실험절차(S1. preparation, S2. detecting transducer attachment location, S3. main experiment, S4. debriefing)에 따라 수행되었다. 첫 번째 단계에서는 실험참여자에게 삼킴실험 진행절차에 대해 설명해주고, 실험참여 동의서를 받았다. 두 번째 단계에서는 실험참여자가 생수를 조금씩 삼키며 삼킴신호가 가장 잘 감지되는 transducer의 부착 위치를 선정하였다. 세 번째 단계에서는 실험참여자가 칫, thin liquid 1, 3, 9 ml, 그리고 thick liquid 1, 3, 9 ml 순으로 2회씩 삼킴을 수행하였다. 마지막 단계에서는 측정된 삼킴신호를 확인하고, 실험참여비를 지급하였다.

정상인의 삼킴신호는 대부분 그림 10과 같이 명확한 2개의 peak가 나타나는 것으로 파악되었다. 그러나 환자의 경우, 삼킴장애 정도에 따라 다양한 삼킴신호특성이 나타나는 것으로 분석되었다. 예를 들면, 그림 11.a는 경미한 환자의 삼킴신호를, 그림 11.b는 심각한 환자의 삼킴신호의 예시를 보여준다.

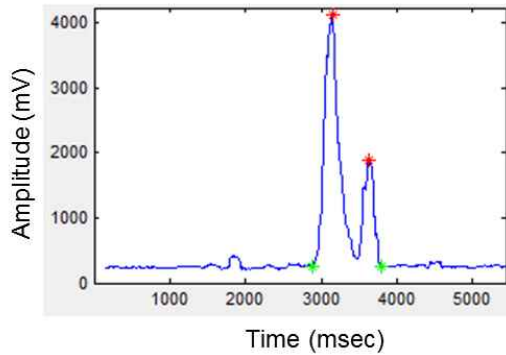
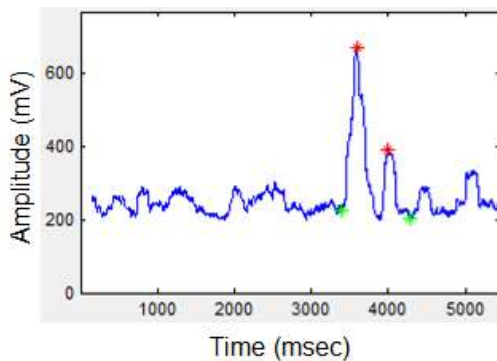
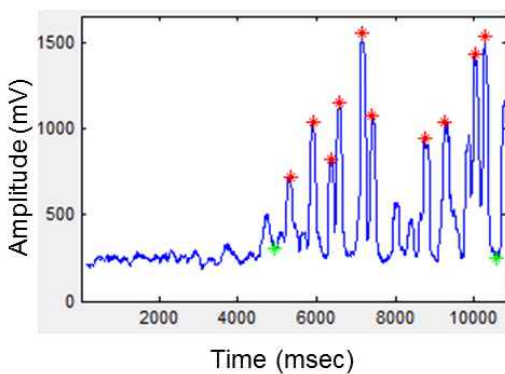


Figure 10. 정상인의 삼킴 신호



(a) 경미한 환자



(b) 심각한 환자

Figure 11. 삼킴환자의 삼킴 신호

본 연구는 정상인과 환자에 대해서 5가지 삼킴 정량화 척도를 비교 분석한 결과, 정상인과 환자의 삼킴신호 특성은 유의하게 차이가 있는 것으로 분석되었다. 예를 들면, 그림 12는 정상인과 환자의 삼킴강도(amplitude)는 모든 삼킴 종류와 용량(thin liquid: 1, 3, 9 ml, thick liquid: 1, 3, 9 ml)에 대해서 정상인이 환자보다 2~3배 유의하게 큰 것을 보여준다.

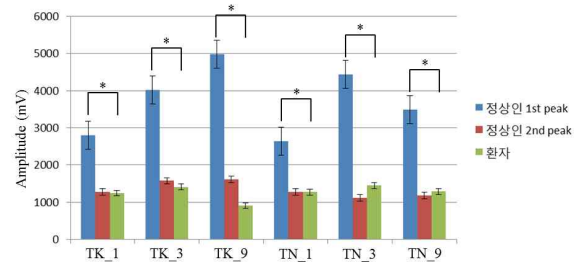


Figure 12. 정상인과 환자의 삼킴강도(amplitude) 비교분석 결과 (TN: thin liquid, TK: thick liquid; 유의수준: 0.05)

5. 토의

본 연구는 삼킴의 특성을 정량적으로 파악할 수 있는 휴대용 삼킴측정장비 및 분석시스템을 개발하였다. 본 연구는 인두강 내부 기관의 움직임을 파악할 수 있는 초음파 도플러 센서를 사용하여 기존 삼킴 시의 소리를 측정된 장비들(Santos et al., 2006; Cagliari et al., 2009)의 한계점을 보완하려고 노력하였다. 본 연구는 개발된 장비로 측정된 삼킴신호를 정량화할 수 있는 4단계 삼킴 정량화 절차(S1. signal rectification, S2. smoothing with moving average, S3. starting and ending point detection, S4. peak detection)를 적용하여 5가지 삼킴 정량화 척도 (swallowing peak amplitude, swallowing duration time, number of peaks, peak interval, 그리고 swallowing impulse)를 정립하였다. 본 연구에서 개발된 삼킴측정장비 및 분석시스템은 현재 임상에서 환자 관찰에 의해 삼킴장애의 정도를 파악하고 있는 한계점을 보완해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 개발된 삼킴측정장비 및 분석시스템을 통하여 정상인과 삼킴환자의 삼킴 특성을 비교분석하여 유용성을 검증하였다. 본

연구는 정상인과 환자 각각 10명씩을 5가지 삼킴 정량화 척도에 대하여 분석 결과, 정상인과 환자는 각 척도별로 유의하게 차이가 있는 것으로 분석되었다. 예를 들면, 정상인은 환자보다 모든 삼킴종류 및 용량(thin liquid: 1, 3, 9 ml, thick liquid: 1, 3, 9 ml)에 대해서 2~3배 유의하게 강하게 삼키는 것으로 파악되었다. 따라서, 본 연구는 추후 정상인과 구별되는 삼킴환자의 특성파악을 통하여 삼킴장애의 정도에 대하여 정량적인 분석 결과를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 초음파 도플러 센서를 사용한 삼킴측정장비는 지속적인 삼킴측정을 위해서 추가적인 보완이 필요하다. 본 연구에서는 삼킴신호 측정을 위해 목에 탄력적인 밴드를 부착하여 transducer를 고정하고, 실험참여자가 목을 움직이지 않는 상태에서 실험을 진행하였다. 그러나, 일상생활에서 삼킴측정을 수행하기 위해서는 목을 움직여도 신호를 측정할 수 있도록 transducer를 유연하게(flexible)하게 개발할 필요가 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 추후연구로는 삼킴환자들의 정량화 척도와 심각도 정도간의 연관관계 분석을 통하여 삼킴장애 유형 및 등급을 판별할 수 있는 모형의 개발이 수행될 예정이다.

참고문헌

- Cagliari CG., Jurkiewicz AL., Santos RS., and Marques JM (2009). Doppler Sonar Analysis of Swallowing Sounds in Normal Pediatric Individuals, *Braz J Otorhinolaryngol*, 75(5), *Ergonomics*, 26, 489-497.
- Cichero JAY, Murdoch BE (2002). Detection of Swallowing Sounds: Methodology Revisited. *Dysphagia*, 17(1), 40-49.
- Hiorns MP, Ryan MM (2006). Current Practice Videofluoroscopy. *Pediatr Radiol*, 36(9), 911-999.
- Santos RS and Macedo-Filho ED (2009). Sonar Doppler as an Instrument of Deglutition Evaluation. *Arq Intern Otorrinolaringol*, 10(3), 182-191.