

인두 삼킴의 정량적 평가 방법론

삼킴을 보다 간단하고 안전하게 측정하기 위하여 삼킴 측정에 특화된 검사 장비를 개발하고 삼킴을 과학적으로 진단하기 위하여

咽喉

연구에 대한 저자의생각



✎ 포스텍 산업경영공학과 박사과정 이백희
지도교수 유희천
mail x200won@postech.ac.kr
소속 인간공학설계기술연구소

식사 하실 때 어떤 생각들 하시나요? 보통 사람들은 음식이 맛있는지 맛없는지를 주로 생각한다고 합니다. 그러나 음식을 잘 삼키는 것조차 힘든 분들은 과연 어떨까요? 그리고 이렇게 음식을 삼키기 힘든 분들은 병원에서 어떻게 진단하고 있을까요? 현재 음식을 삼키기 어려운 분들을 진단하기 위해서 고가의 다소 복잡하고 일부 안전하지 못한 검사 장비들을 활용하여 의사의 소견으로만 진단되고 있는 실정입니다. 따라서, 저는 삼킴을 보다 간단하고 안전하게 측정하기 위하여 삼킴 측정에 특화된 검사 장비를 개발하고 삼킴을 과학적으로 진단하기 위하여 기존 육안으로 관찰되던 검사 결과를 정량화하는 연구를 소개하고자 합니다.

이 연구가 왜 필요한가요?

삼킴 장애(연하 곤란, dysphagia)는 음식을 먹는 과정에서 발생하는 어려움의 질병으로서 주로 신경계통 질병 환자와 65세 이상 노년층에서 유병률이 높다. 삼킴(swallowing)은 음식물을 구강(oral cavity) 으로부터 인두(pharynx)를 거쳐 식도(esophagus)로 넘기는 과정이다. 삼킴은 생명 유지에 필수적인 활동 중 하나로서 인간은 하루 평균 580 ~ 2,000번정도 삼키는 것으로 알려져 있다. 삼킴 장애는 음식물을 구강으로부터 위까지 이동시킬 때 방해가 발생하는 것을 일컫는다. 신경계통 질병 환자는 대부분 삼킴 장애를 동반하는데, 예를 들면 Daniels et al. (1998)은 뇌졸중 환자의 65%가 삼킴 장애를 동반하는 것을 파악하였다. 한편, 65세 이상의 삼킴 장애 유병률은 11% ~ 38%인 것으로 보고되는데, 예를 들면 Miura et al. (2007)은 65세 이상의 일본 노인 85명(81 ± 7세)을 대상으로 15가지 삼킴 장애 평가 항목에 대하여 자가 평가 및 간병인 평가를 수행하여 65세 이상 노년층의 삼킴 장애 유병률을 35.3%로 파악하였다.

삼킴 장애는 흡인성 폐렴 등을 유발하여 심해지면 사망에 이를 수 있기 때문에 정확한 진단과 신속한 치료가 중요하다. 삼킴장애는 주로 흡인, 폐렴, 탈수, 영양 실조 등을 유발하여 삶의 질을 저하시킨다. 예를 들면, 흡인성 폐렴은 기관지 및 폐로 이물질이나 병원균이 들어가 발생하는데, 특히 65세 이상 삼킴 장애 환자의 흡인성 폐렴은 암, 뇌혈관 질환, 심장 질환에 이어서 4번째로 잦은 사망 원인으로 보고된다. 또한, 삼킴 장애로 인한 흡인 때문에 폐 합병증이 발생하여 매년 약 50,000명의 미국인들이 사망하고 있는 것으로 파악된다. 따라서, 최근 의학계에서는 삼킴 장애 환자의 과학적 진단, 신속한 치료 및 관리가 중요하게 고려하고 있다.

삼킴 시의 육안 관찰이 어려운 인두 삼킴의 측정을 위해서는 특화된 검사 장비가 필요하다. 정상 삼킴 단계는 그림 1과 같이 구강 단계(oral phase), 인두 단계(pharyngeal phase), 그리고 식도 단계(esophagus phase)의 3단계로 구분된다. 첫째, 구강 단계는 음식물을 씹고 침과 덩어리(bolus)를 형성하여 인두로 밀어 넣는 단계이다. 둘째, 인두 단계는 연구개 거상, 설골-갑상연골 거상, 인두 연동운동 등의 협응을 통하여 덩어리를 식도로 밀어 넣는 단계이다. 마지막으로, 식도 단계는 식도 연동을 통하여 덩어리를 위로 밀어 넣는 단계이다. 구강 단계의 삼킴 장애는 육안으로 쉽게 관찰이 가능하며 비교적 쉽고 정확하게 진단이 가능하나, 인두 및 식도 단계의 삼킴 장애는 육안으로 인두 내부 관찰이 어렵고 목의 외형적 움직임만 관찰할 수 있다. 따라서, 인두 및 식도 삼킴 장애를 보다 정확하게 평가하기 위해서는 특화된 검사 장비(예 : 비디오 투시 조영 검사 장치)가 필수적으로 활용되고 있는 실정이다.

연구

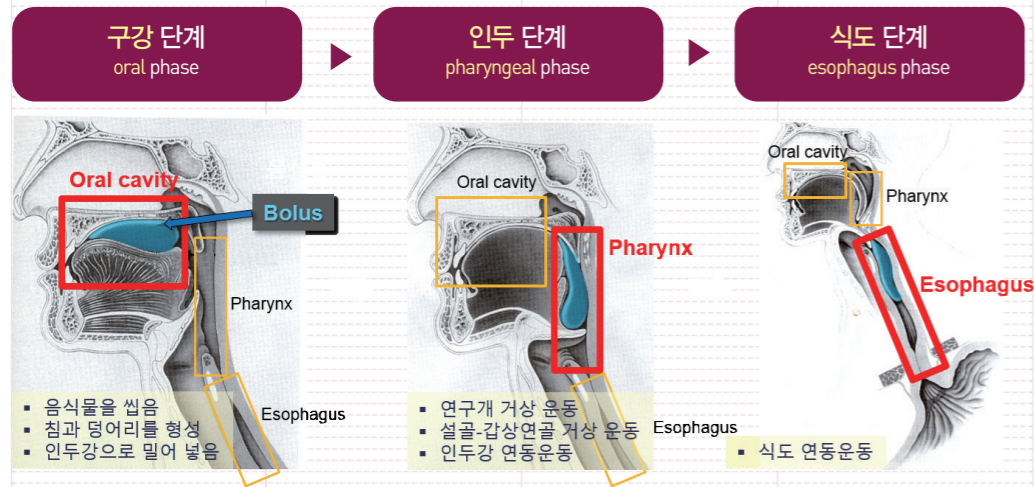
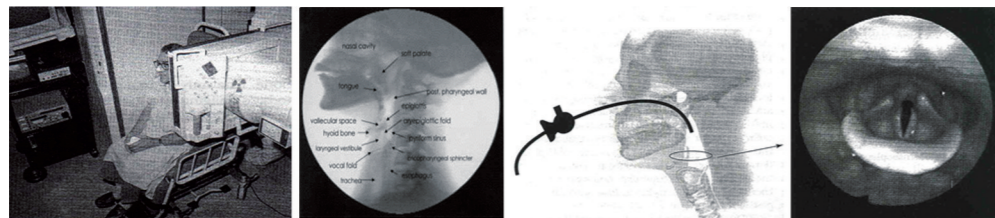


그림 1. 정상 삼킴 단계

삼킴 장애는 주로 비디오 투시 조영 검사(videofluoroscopic swallowing study, VFSS)와 비디오 내시경 검사(fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing, FEES)를 통하여 진단되고 있으나, 안전성이 낮고 장비의 사용이 불편하다는 한계가 있다. VFSS는 그림 2a와 같이 X선 촬영(x-ray)을 이용하여 형광 screen에 투시되는 영상을 기록하여 삼키는 동작의 기능적인 이상 여부를 평가하고, FEES는 그림 2b와 같이 유연한 내시경을 코를 통해 구강에 삽입하여 음식물을 삼키기 전과 후를 비교 평가하는데 활용된다. 그러나, VFSS는 임상가가 삼킴에 관여하는 해부학적 구조를 육안으로만 확인할 수 있고, 환자는 방사선에 노출되어야 한다. 한편, FEES는 임상가가 삼킴 시의 기능의 확인이 불가능하며 환자에게는 침습의 불편함이 발생한다. 그리고, VFSS와 FEES 공통적으로는 고가의 범용 장비, 일상생활 중의 삼킴 측정 불가, 그리고 삼킴 장애 치료 효과의 적시 확인 불가 등의 한계가 있다. 따라서, 전술된 한계점들을 보완하여 삼킴 장애를 보다 안전하고 정량적으로 평가할 수 있는, 삼킴 장애 평가에 특화된 방법 및 장비의 개발이 필요하다.



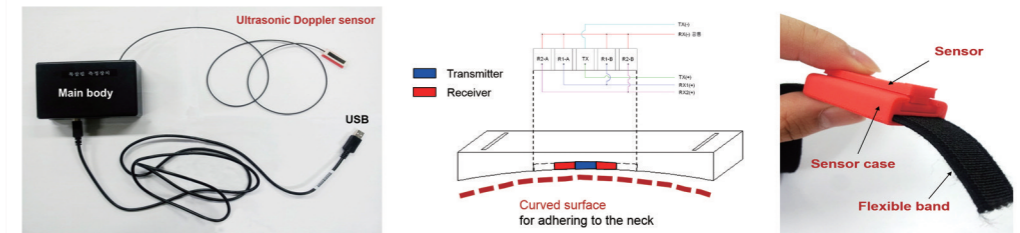
(a) 비디오 투시 조영 검사 (b) 비디오 내시경 검사

그림 2. Typical evaluation methods of dysphagia

이 연구를 어떻게 했나요?

삼킴 측정 장비 개발

본 연구는 그림 3과 같은 삼킴 측정 장비(swallowing measurement device, SMD)를 개발하여 삼킴 시 측정되는 swallowing signal을 정량화하였다. 본 SMD는 삼킴 시 인두 내부기관의 움직임을 측정하는 ultrasonic Doppler sensor, 측정된 움직임을 signal로 변환하는 main body, 그리고 signal을 PC로 전송하기 위한 USB port로 구성되어 있다. Ultrasonic Doppler sensor는 그림 3a와 같이 1개의 transmitter와 2개의 receiver로 구성되어 있으며 목 외부에 부착이 용이하도록 곡선 형태로 제작되었다. Ultrasonic Doppler sensor는 그림 3b와 같이 sensor case 및 flexible band에 결합되어 목의 어느 위치에나 부착될 수 있다. 또한, 그림 3c와 같은 SMD의 분석 S/W는 측정된 swallowing signal을 실시간으로 plotting하고 VFSS와 연동할 수 있는 기능이 구현되어 있다.



(a) 장비 구성 (b) Ultrasonic Doppler sensor (c) Case and Band

그림 3. 개발된 삼킴 측정 장비(SMD)

개발된 장비의 검증을 위한 삼킴 실험

삼킴 실험에는 20대 ~ 70대 남녀 정상인 120명과 삼킴 장애 환자 36명이 참여하였다. 본 연구의 정상인은 20대 ~ 70대 남녀 각각 10명씩 모집되었으며, 삼킴 장애를 진단 받은 적이 없고 또는 삼킴 장애 증상(예 : coughing, pain, regurgitation 등)이 나타나지 않는 자로 선별되었다. 본 연구의 삼킴 장애 환자로서는 삼성서울병원에서 삼킴 장애를 진단을 받아 2013년 1월 ~ 3월에 내원하던 자를 대상으로 20대 ~ 70대 남녀가 모집되었으며, 20대의 경우는 삼킴 장애 환자가 부재하여 모집되지 못하였다. 삼킴 장애 환자는 36명 중 34명인 94%가 50대 이상인 것으로 나타났으며, 여성과 남성의 비율이 2:5로 모집되었다. 본 삼킴 실험은 식품의약품안전청의 의료기기 임상시험계획 승인 및 삼성서울병원 IRB의 승인을 받아 수행되었다.

삼킴 실험은 S1, introduction, S2, exercise, S3, swallowing session, 그리고 S4, debriefing의 네 단계 절차가 적용되었다. 첫째, introduction 단계(3분)에서는 피실험자에게 실험 진행 절차를 설명해 주고 IRB의 실험참여 동의서를 받았다. 둘째, exercise 단계(5분)에서는 swallowing signal이 가장 잘 감지되는 ultrasonic Doppler sen-

sor의 부착 위치가 결정되었다. 셋째, swallowing session 단계(7분)에서는 피실험자가 마른침(dry saliva, DS), 묽은 액체(thin liquid, TN) 1, 3, 9 ml, 진한 액체(thick liquid, TK) 1, 3, 9 ml의 7가지 삼킴 종류 및 용량을 무작위 순서로 삼켰다. 피실험자는 7가지 삼킴 종류 및 용량을 각 3회씩 반복 삼켜 총 21회 삼킴을 수행하였다. 휴식 시간으로는 각 삼킴 후 5초씩과 7회 삼킴 때마다 30초가 제공되었다. 마지막으로, debriefing 단계(5분)에서는 실험 진행자가 21회의 삼킴 결과를 확인해보고 잘 측정되지 못한 삼킴에 대하여 실험을 재 수행되었다.



이 연구의 결과와 의의는 무엇인가요?

본 연구는 그림 4와 같이 대표 삼킴 유형을 분류를 통하여 정상인은 인두 내부기관의 움직임 시간이 1초 미만이지만 삼킴 장애 환자는 약 80%가 1초 이상인 것을 파악하였다. 본 연구는 3가지 삼킴 정량화 척도(peak amplitude, duration time, number of peaks)가 사용된 군집 분석을 통하여 정상인의 세 가지 삼킴 유형(short-double peak, short-single peak, short-multiple peak)과 삼킴 장애 환자의 세 가지 삼킴 유형(short-double peak, long-double peak, long-multiple peak)으로 분류하고 대표 삼킴 유형을 선정하였다. 인두 내부기관의 움직임 시간이 1초 미만이고 peak가 2개인 short-double peak 유형은 정상인(395 msec, 43%)과 삼킴 장애 환자(465 msec, 19%)에서 공통적으로 나타났으나, 나머지 2개씩의 유형의 경우 인두 내부기관의 움직임시간이 정상인은 1초 미만(short-single peak: 199 msec, 39%; short-multiple peak: 662 msec, 18%)이고 삼킴 장애 환자는 1초 이상(long-double peak: 1,041 msec, 65%; long-multiple peak: 1,463 msec, 16%)으로 나타났다. 본 연구에서 파악된 정상인과 삼킴 장애 환자의 대표 삼킴 유형은 SMD를 사용한 삼킴 정량화 시 개개인의 삼킴 특성을 분류하는 가이드로 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

본 연구는 정상인의 경우 음식물의 점성이 낮을수록, 음식물을 많이 삼킬수록 인두 내부기관의 움직임이 증가하는 삼킴 특성을 파악하였다. 본 연구는 정상인이 삼킴 시 인두 내부기관의 움직임의 정도와 관련된 삼킴

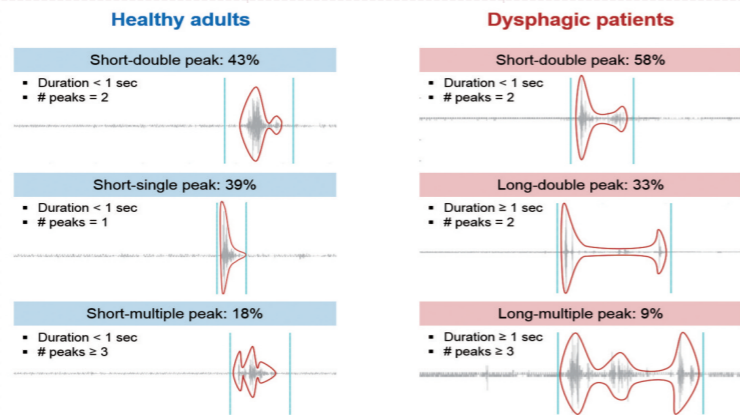


그림 4. 대표 삼킴 유형

강도(peak amplitude)와 인두 내부기관 총 움직임(impulse)에 대하여 각각 삼킴 종류 및 삼킴 용량 효과가 공통적으로 유의한 것을 파악하였다. 정상인은 진한 액체를 삼킬 때보다 상대적으로 점성이 낮은 묽은 액체를 삼킬 때 인두 내부기관의 움직임을 24% 정도 크고 36% 정도 많이 움직인다. 이는 삼킴 장애 환자가 연하근관환자용 점도증진제(예: Thick&Easy, Hormel Health Labs, USA)를 음식물에 혼합하여 점성을 높임으로써 삼킴 유관 기관의 움직임을 감소시켜 삼킴이 용이하도록 만들어 주어 삼킴을 보조해줄 수 있다는 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 정상인은 1 ml보다 9 ml를 삼킬 때 인두 내부기관의 움직임을 30% 정도 크고 37% 정도 많이 움직인다. 이는 삼킴을 위하여 구강(oral cavity)내의 음식물이 혀의 안쪽을 지나는 순간 삼킴 반사(swallowing reflex)가 발생할 때 오른쪽 대뇌 반구(cerebral hemisphere)에서 삼킴 용량 정보를 계산하여 삼킴 용량에 적합한 삼킴 유관 기관의 움직임을 유도하는 과정에 의하여 설명될 수 있다. 본 연구는 그림 5와 같이 삼킴 시 삼킴 장애 환자가 정상인 보다 인두 내부기관의 움직임의 크기가 1/3 정도로 작고 움직이는 시간이 2.6배 정도로 긴 것을 정량적으로 파악하였다. 본 연구는 정상인과 삼킴 장애 환자에 대하여 마른침, 묽은 액체 1ml, 묽은 액체 3ml, 진한 액체 1ml, 그리고 진한 액체 3ml의 삼킴 특성을 분석해본 결과, 삼킴 장애 환자가 정상인보다 삼킴 종류와 용량에 관계 없이 모든 삼킴 조건에서 삼킴 능력이 저하되는 것을 파악하였다. 이는 삼킴 시 삼킴 장애 환자의 swallowing signal의 특성이 정상인과 상이하다는 것을 나타내며 swallowing signal에 대한 평가를 통하여 삼킴 장애를 판별할 수 있는 가능성을 보여준다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 파악된 삼킴 장애 환자와 정상인의 삼킴 특성은 swallowing signal로 측정된 삼킴의 평가 시 중요한 가이드로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.



Swallowing quantification measures		Comparison graph	Healthy adults	Dysphagic patients
Peak amplitude			1	0.7 ↓
Duration time			1	2.6 ↑
Number of peaks			1	1.7 ↑
Peak-to-peak interval			1	4.3 ↑
Impulse			1	0.8 ↓

그림 5. 삼킴 특성 비교: 정상인 vs. 삼킴 장애 환자

본 연구는 삼킴 시 인두 내부기관의 상승/하강 움직임을 측정하여 삼킴을 정량화했다는 점에서 의의가 있다. 본 연구는 ultrasonic Doppler sensor를 사용하여 인두 내부기관의 움직임을 swallowing signal로 변환해주는 swallowing measurement device (SMD)를 개발하였다. 본 연구는 삼킴 시 SMD를 사용하여 측정된 swallowing signal에서 noise를 제거하고 삼킴 특성을 보다 명확하게 파악하기 위하여 signal rectification과 smoothing의 특화된 signal processing 기법을 개발하고 삼킴 실험을 통하여 그 효용성을 검증하였다. 현재 임상에서는 주로 비디오 투시 조영 검사와 비디오 내시경 검사를 통하여 삼킴을 진단하고 있는데, 이들은 모두 삼킴을 임상가의 주관으로 평가한다는 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서 개발된 삼킴 정량화 protocol은 삼킴 시 인두 내부기관의 움직임을 체계적으로 정량화하여 삼킴을 보다 정확하게 평가하는데 기여할 수 있다. ●●●