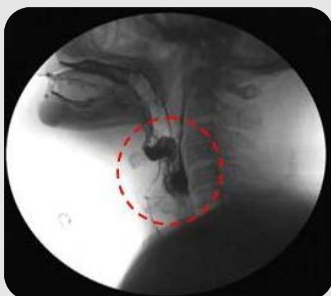


# 초음파 도플러 센서를 이용한 삼킴 장애의 정량적 평가 시스템 개발

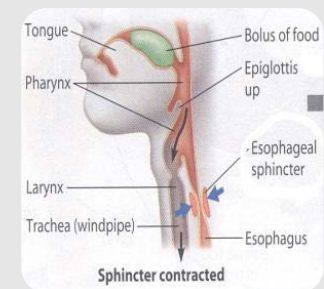
*Development of a Quantitative Assessment System for Dysphagia  
Using Doppler Ultrasound*

2012. 5. 10



이백희<sup>1</sup>, 정기효<sup>2</sup>, 양길태<sup>3</sup>, 서미경<sup>4</sup>, 나덕렬<sup>4</sup>, 유희천<sup>1</sup>

- 1 포항공과대학교 산업경영공학과
- 2 울산대학교 산업경영공학부
- 3 엑스트론 아이앤티(Xtron I&T)
- 4 성균관의대 서울삼성병원 신경과



---

# AGENDA

---

- Background
  - Research Objective
  - Method
  - Results
  - Discussion
-

# 삼킴 장애의 정의 및 임상적 중요성

## □ 삼킴 장애(연하곤란, dysphagia)

- ✓ 음식을 먹는 과정에서 발생하는 어려움을 포괄적으로 일컫는 용어
- ✓ **병인: 뇌졸중, 중추신경 및 말초신경의 퇴행성 질환, 외상성 뇌질환, 두경부 종양, 근육질환 환자**
  - 뇌졸중 환자의 29 ~ 64%에서 삼킴 장애 발생(Barer, 1989; Mann et al., 1999)
  - 파킨슨 환자의 81%에서 삼킴 장애 발생(Coates et al., 1997)



[http://news.kbs.co.kr/news/actions/VodPlayerAction?type=2&cmd=showMP4&vod\\_info=D%7C10%7C/news9\\_gyeongin/2012/02/07/40.mp4%7CN%7C%7CF%7C10%7C/news9\\_gyeongin/2012/02/07/1000k/40.mp4%7CN&news\\_code=2431741](http://news.kbs.co.kr/news/actions/VodPlayerAction?type=2&cmd=showMP4&vod_info=D%7C10%7C/news9_gyeongin/2012/02/07/40.mp4%7CN%7C%7CF%7C10%7C/news9_gyeongin/2012/02/07/1000k/40.mp4%7CN&news_code=2431741)

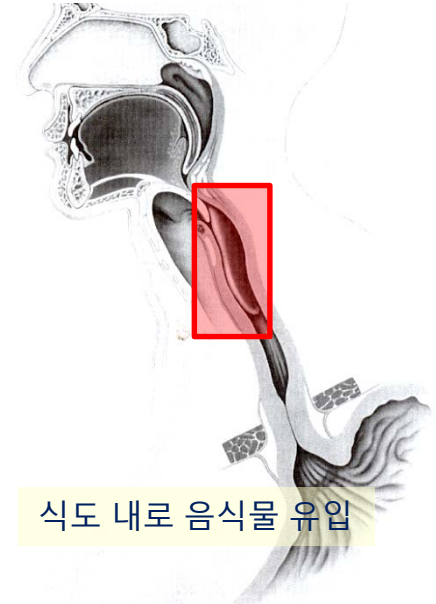
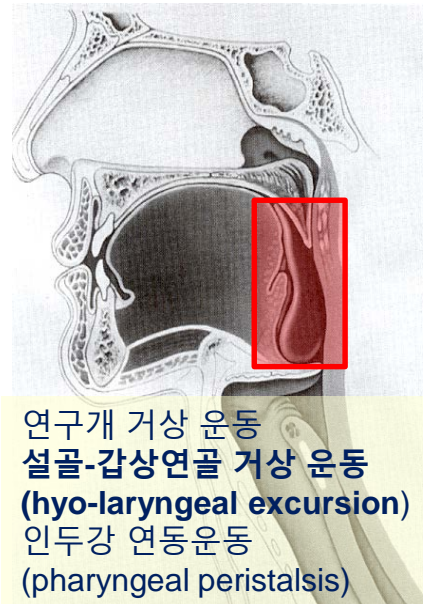
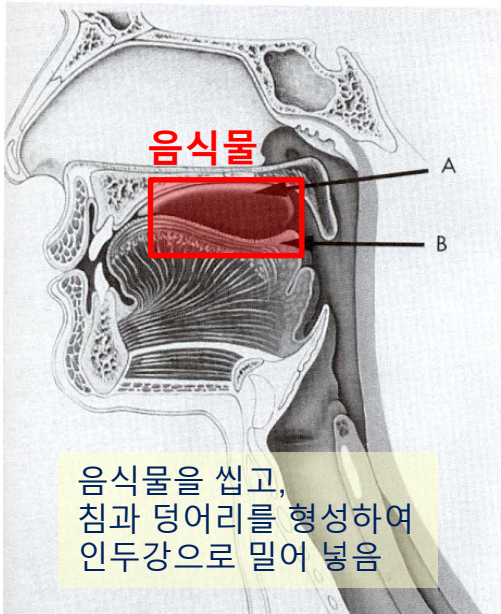
⇒ 삼킴 장애의 심각성 정도는 질환 및 원인에 따라 차이가 있으나, 장애가 심해지면 사망에 이를 수 있어(Ekberg, 2002) **삼킴 장애의 과학적 진단과 치료에 대한 관심 ↑**

# 정상인의 삼킴 과정

구강 준비단계(oral preparatory phase)  
구강 단계(oral phase)

인두강 단계(pharyngeal phase)

식도 단계(esophageal phase)



- ⇒ 구강 단계는 육안으로 관찰 가능하여 특별한 장비 없이 비교적 정확한 검사가 가능하나,
- ⇒ **인두강 단계**는 육안으로 내부 관찰이 어렵고, 목의 외형적 움직임만 관찰할 수 있어,  
**특수 검사 장비가 있어야 정확한 구조와 기능을 측정할 수 있음**

# 기존 삼킴 장애 측정 장비 현황 및 문제점

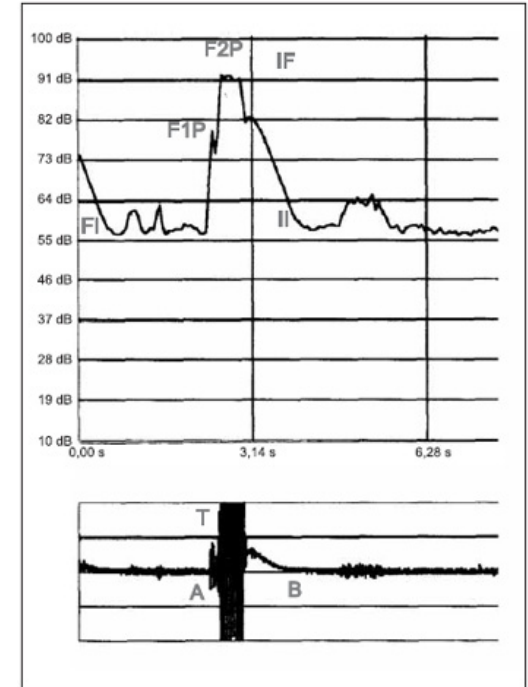
	<p style="text-align: center;"><b>비디오 투시 조영 검사 장치</b> (VideoFluoroscopic Swallowing Study, <b>VFSS</b>)</p>	<p style="text-align: center;"><b>비디오 내시경 검사 장치</b> (Fiberoptic Endoscopic Evaluation of Swallowing, <b>FEES</b>)</p>
		
<p>측정방법</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· x-ray를 이용하여 형광 screen에 투시되는 영상을 기록하는 방법</li> <li>· 삼키는 동작의 기능적인 이상 여부를 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유연한 내시경(flexible endoscope)을 코를 통해 구강 삽입하여 음식을 삼키기 전과 삼킴</li> </ul>
<p>한계점</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 삼킴에 관여하는 해부학적 구조를 <b>육안으로 확인</b></li> <li>· <b>삼킴 장애만을 위한 장치가 아님</b></li> <li>· <b>고가의 범용 장비</b></li> <li>· <b>일상생활 중의 삼킴 특성 측정 불가</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- VFSS: 방사선에 환자가 노출되어야 함</li> <li>- FEES: 침습검사(코에 내시경을 삽입)</li> </ul> </li> <li>· <b>삼킴 장애 치료 효과의 적시 확인 불가</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>실제 삼킴이 이루어질 때의 구강 및 인두강 기능은 확인할 수 없음</b></li> </ul>

⇒ 기존 삼킴 장애 측정 장비의 한계점을 보완할 수 있는 **특화된 삼킴 장애 측정 장비 개발 필요**

# 삼킴 장애와 관련된 선행 연구들의 한계점

## □ 초음파를 이용하여 삼킴 시의 소리를 측정한 삼킴 장애 연구들

	Santos and Macedo-Filho (2006)	Cagliari et al. (2009)
Title	Sonar Doppler as an Instrument of Deglutition Evaluation	Doppler Sonar Analysis of Swallowing Sounds in Normal Pediatric Individuals
Number of participants	Brazilian 50 persons (25 females, 25 males; mean age: 32 years, 18 ~ 50 years)	Brazilian 90 persons (45 females, 45 males; 3 groups: 2~5, 5~10, 10~15 years)
Equipment	Sonar Doppler	Sonar Doppler
Analysis S/W	VOX METRIA	VOX METRIA
Swallowing food and volume	- Saliva - Liquid (10 ml of water) - Pasty (10 ml)	- Saliva - Liquid (*N.S.) - Pasty (N.S.)
Parameters	- Peak intensity - Peak frequency - Swallowing duration time	- Peak intensity - Peak frequency - Swallowing duration time
Results	- Mean $\pm$ 95% C.I.	- Mean $\pm$ 95% C.I. - Gender, age group, swallowing food effects (ANOVA)



⇒ 삼킴 시의 소리를 측정하는 것은 삼킴에 직접적으로 관여하지 않는 소리(예: 호흡, 기관의 진동 등)를 포함하는 한계가 있음

# 연구 목적

## 초음파 도플러 센서를 이용한 휴대용 삼킴 측정장비 개발 및 정량적 평가 시스템 개발

### 1. 휴대용 삼킴 측정장비 개발

- ✓ 인두강 내부기관의 움직임 측정이 가능한 초음파 도플러 센서 개발
- ✓ 휴대성(portability)을 고려하여 일상생활에서도 삼킴을 측정할 수 있는 장비 개발

### 2. 삼킴의 정량적 평가 시스템 개발

- ✓ 삼킴 신호 정량화 절차 및 척도 개발
- ✓ 삼킴 신호 측정 및 평가 시스템 개발

### 3. 유용성 검증: 정상인과 삼킴 환자 삼킴 특성 비교

- ✓ 정상인과 삼킴 환자의 삼킴 신호 비교
- ✓ 삼킴 환자의 장애 등급 정도를 정량적으로 판별할 수 있는 시스템 개발

# 연구 방법

S1. 휴대용 삼킴 측정장비 및 시스템 개발

- 초음파 도플러 센서 사용
- 인두강 내부 구조의 움직임 파악

S2. 삼킴 정량화 척도 개발

- 삼킴 신호 처리 기술 사용
- 삼킴 정량화 척도 추출

S3. 삼킴 실험: Pilot Test

- 실험대상: 정상인, 삼킴 환자
- 다양한 삼킴 종류/용량으로 실험

S4. 유용성 검증: 정상인 vs. 삼킴 환자

- 정상인 삼킴 특성 분석
- 삼킴 장애 정도 별 삼킴 특성 분석

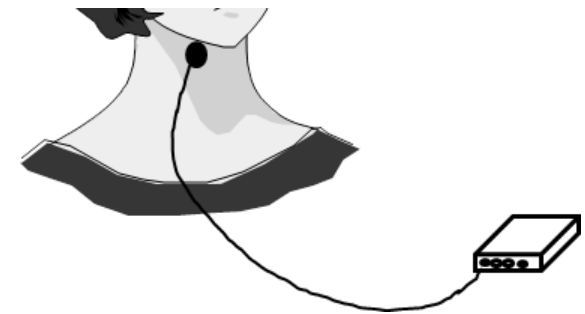


# S1. 휴대용 삼킴 측정장비 및 시스템 개발

1 / 2

## □ 휴대용 삼킴 측정장비 개발(Xtron I&T)

- ✓ 목적: 인두강 내부 구조의 움직임 파악
- ✓ 초음파 도플러 센서 사용(주파수: 2 ~ 5 MHz, 세기: 94 mW/cm<sup>2</sup>, 출력: 20 mW 이하)



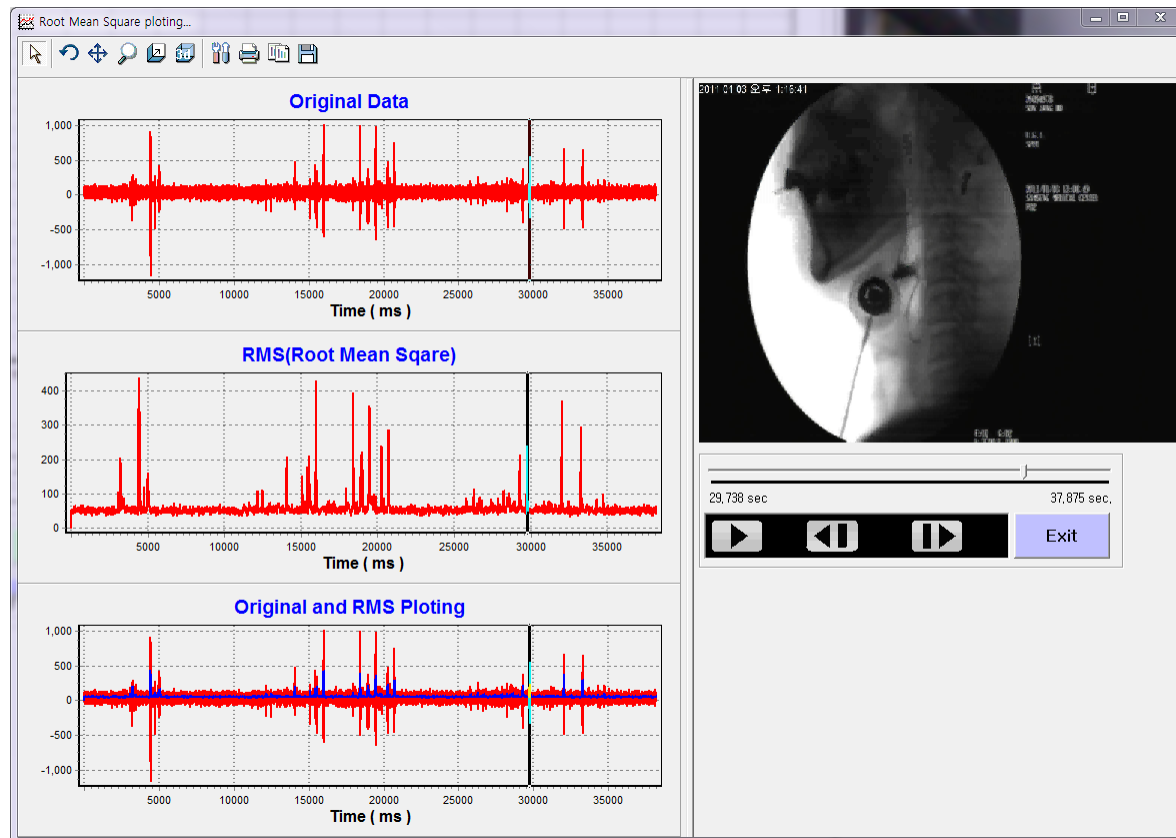
Transducer의 목 부착 장면

# S1. 휴대용 삼킴 측정장비 및 시스템 개발

2 / 2

## □ 삼킴 신호 분석프로그램 개발(Xtron I&T)

- ✓ 측정된 삼킴 신호와 RMS가 적용된 신호를 실시간으로 plot 해줌
- ✓ 비디오 투시 조영 검사 장치(VFSS)와 연동: 삼킴 신호가 가지는 의미를 파악할 수 있도록 함



# S2. 삼킴 정량화 척도 개발: 삼킴 신호 처리 기술

S1. Signal **rectification**: (-) values → (+) values



S2. **Smoothing** with moving average



▪ Lag  $n = 150$

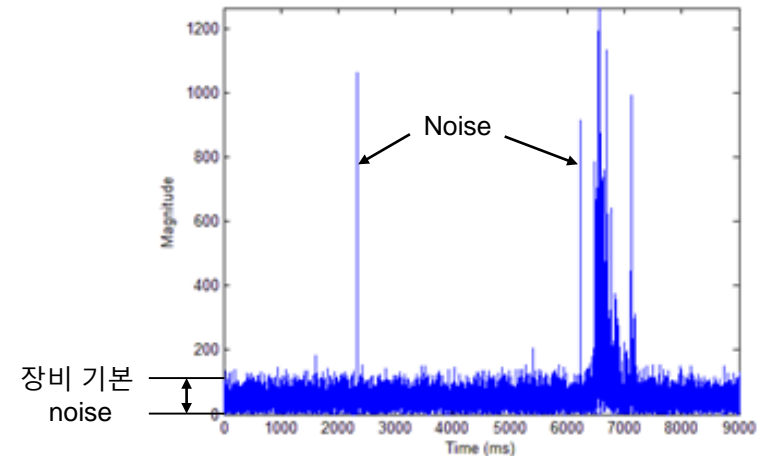
S3. **Starting and ending point** detection



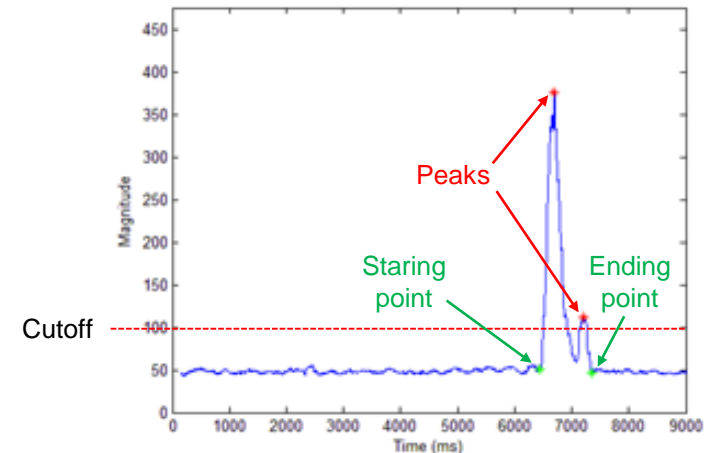
▪ Detecting slope = 0.9

S4. **Peak** detection

▪ Cutoff = 50



Rectified signal

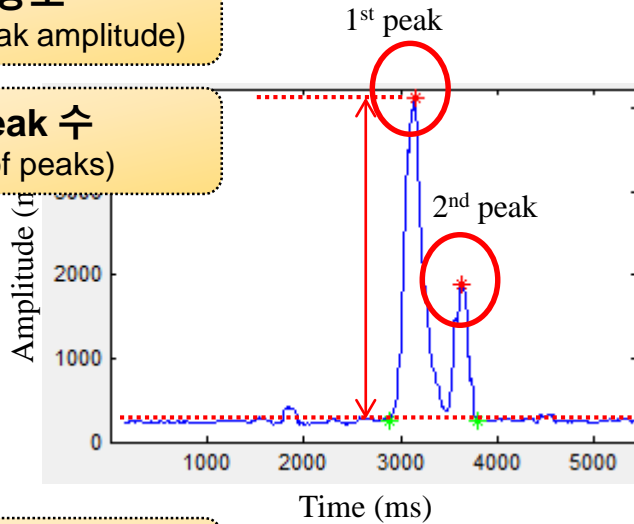


Smoothed signal

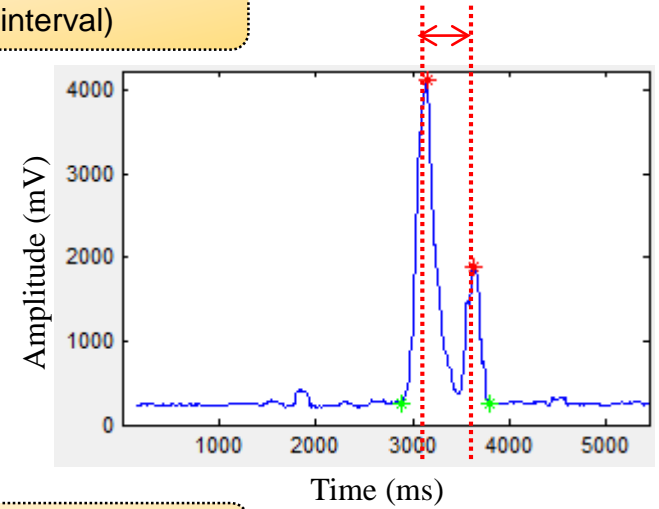
# S2. 삼킴 정량화 척도 개발: 삼킴 정량화 척도 추출

**삼킴 강도**  
(swallowing peak amplitude)

**삼킴 peak 수**  
(number of peaks)

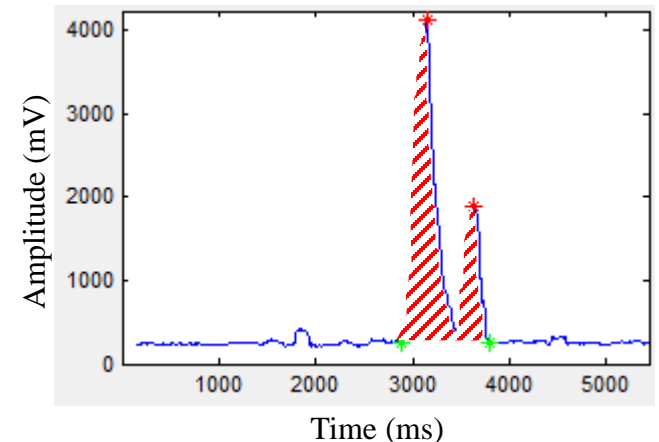
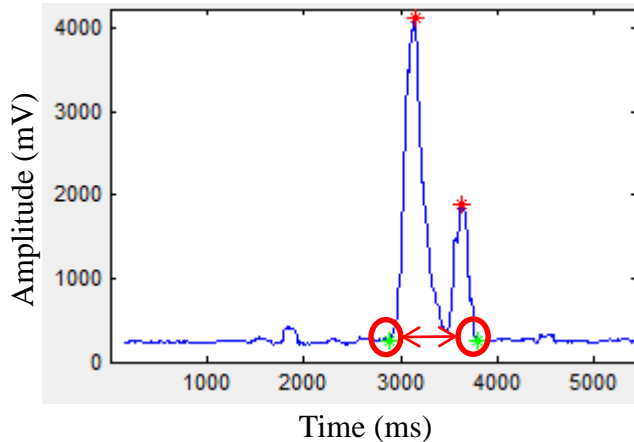


**삼킴 peak 간격**  
(peak interval)

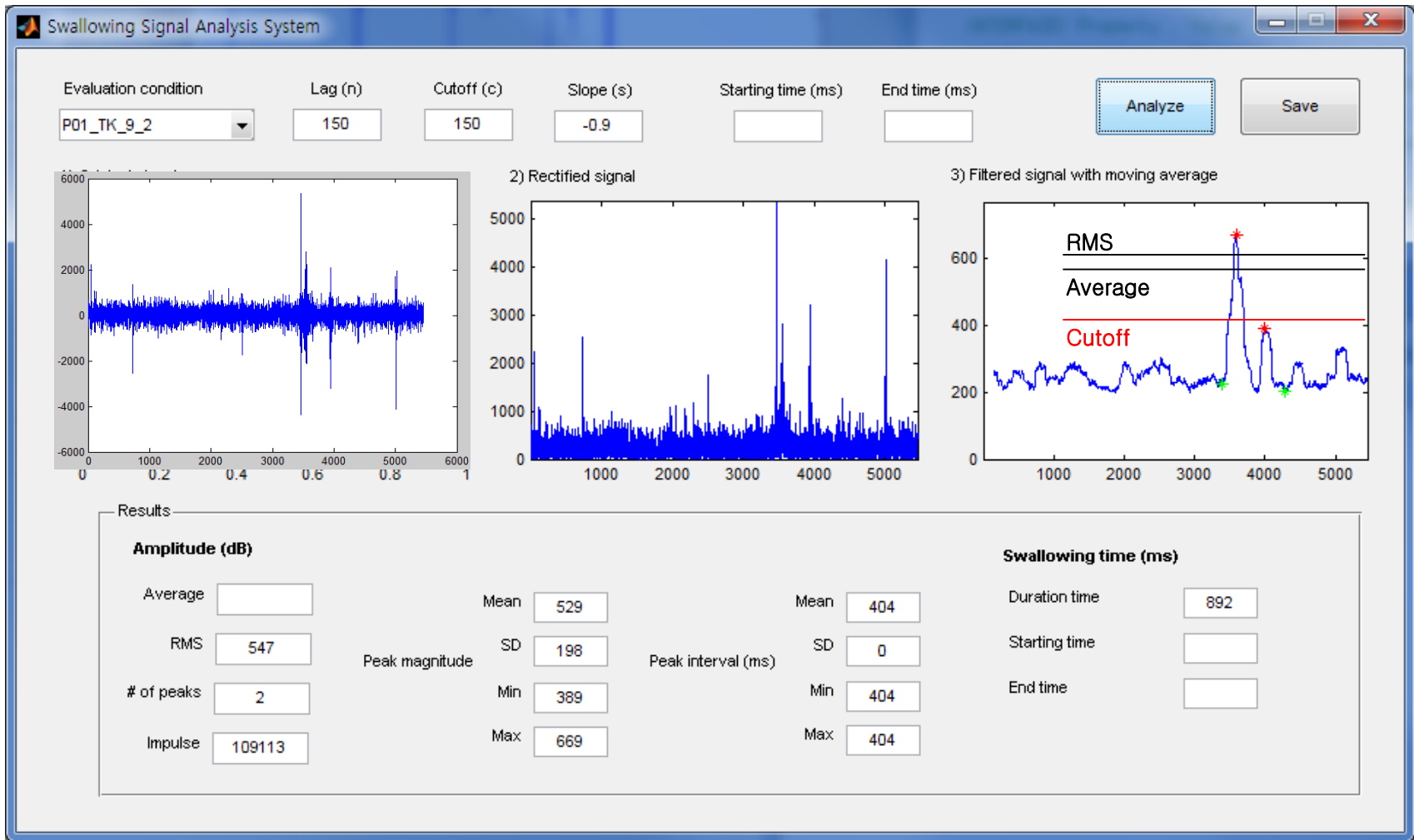


**삼킴 지속시간**  
(swallowing duration time)

**삼킴 충격량**  
(swallowing impulse)



# S2. 삼킴 정량화 척도 개발: 삼킴 정량화 S/W



⇒ 삼킴 실험 후 실험 data만 연결하면 5가지 삼킴 정량화 척도가 추출되는 프로그램 개발

# S3. 삼킴 실험: Pilot Test

- ❑ 실험참여자: 정상인 10명, 삼킴 환자 10명(표 1 참조)
- ❑ 삼킴 종류 및 용량
  - ✓ Saliva(침)
  - ✓ Thin liquid(생수): 1, 3, 9 ml
  - ✓ Thick liquid(매실주스 + 연하곤란환자용 점도증진식품): 1, 3, 9 ml
- ❑ 반복횟수: 2회

표 1. 실험참여자의 연령과 성별

		Normal	Patient
Sample size (n)		10	10
Age	Mean	45.7	70.5
	SD	26.8	9.1
	Range	25 ~ 82	60 ~ 82
Gender	Male	4	7
	Female	6	3



매실주스



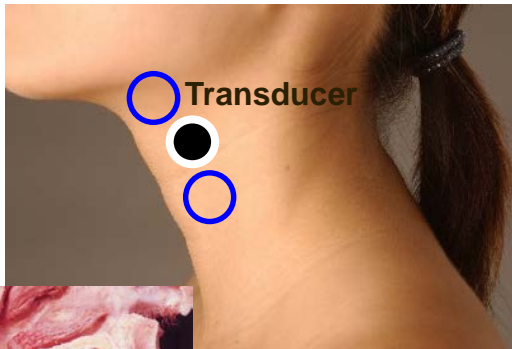
Thick&Easy  
(Hormel HealthLabs, USA)

Thick liquid

# S3. 삼킴 실험: Pilot Test



1인당 실험시간: 20분



※ 설골의 움직임이 detecting되는 위치를 찾아서 부착

※ 삼킴 종류는 random으로 결정

< 예시 >

Session 1: thin liquid 1, 3, 9 ml 순으로 2회 삼킴(중간 휴식 5초)

↓  
준비 및 휴식 30초

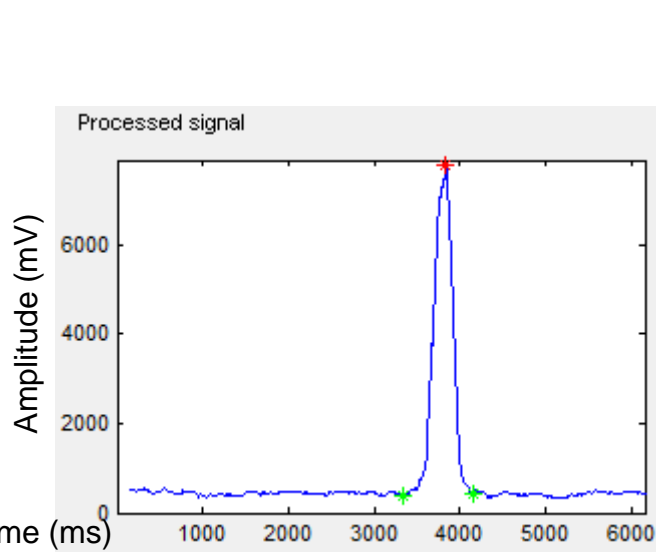
Session 2: saliva 2회 삼킴(중간 휴식 5초)

↓  
준비 및 휴식 30초

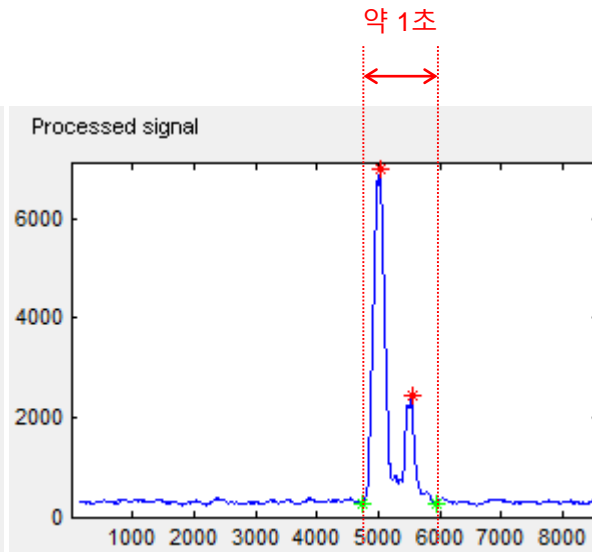
Session 3: thick liquid 1, 3, 9 ml 순으로 2회 삼킴(중간 휴식 5초)

# S4. 유용성 검증: 정상인 삼킴 특성

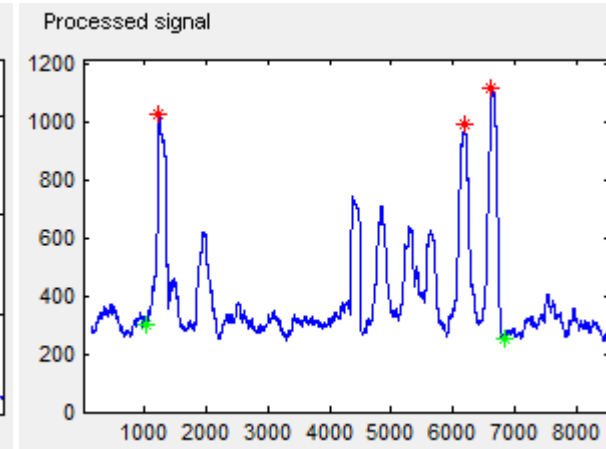
- 정상인 swallowing signal 유형은 크게 3가지로 분류됨
  - 1) Peak가 한 개인 경우(약 25%)
  - 2) Peak가 두 개인 경우(약 70%)
  - 3) Peak가 세 개 이상인 경우(약 5%): noise가 삽입된 것으로 추정



1) Peak가 한 개인 경우



2) Peak가 두 개인 경우



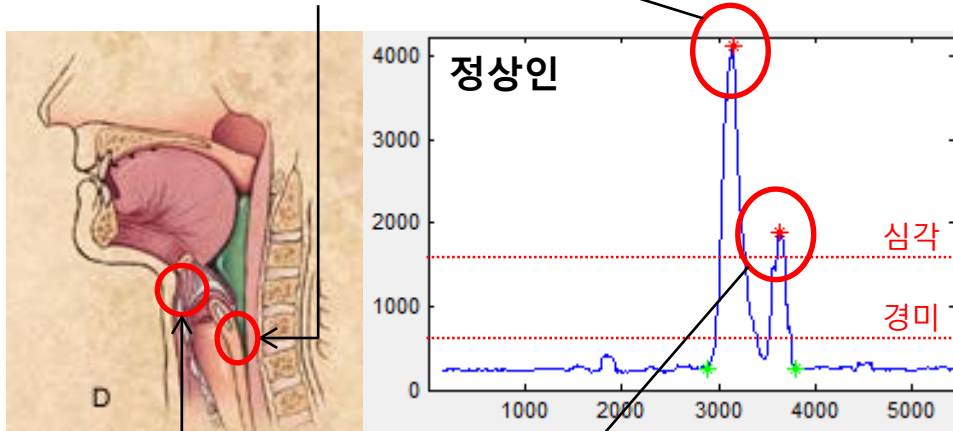
3) Peak가 세 개 이상인 경우



# S4. 유용성 검증: 환자의 삼킴 특성

- 삼킴 환자는 정상인과 현저히 다른 삼킴 특성을 나타냄
  - ✓ 정상인: 대부분 명확한 2개의 peak 발생
  - ✓ 삼킴 환자: 장애 등급에 따라 peak 발생 유형이 다르게 나타남

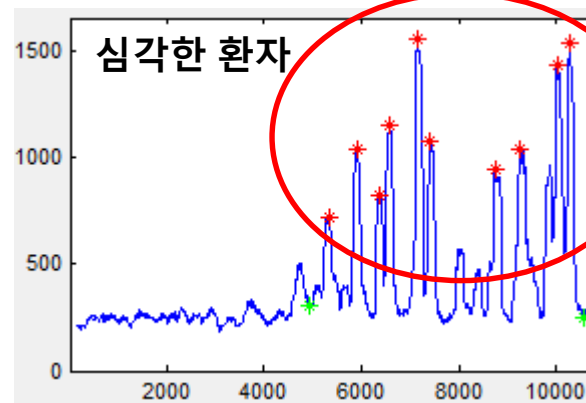
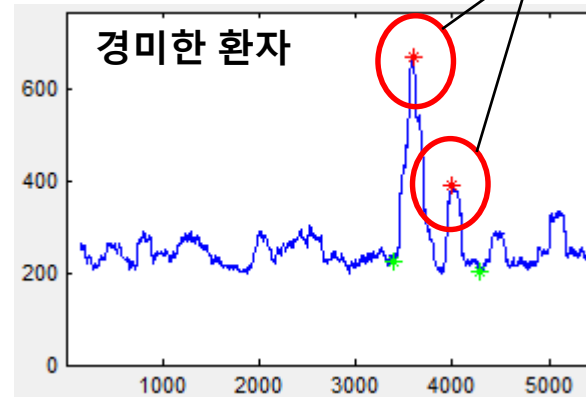
상부식도괄약근(upper esophageal sphincter)이 열릴 때 발생



후두(laryngeal)가 아래로 이동할 때 발생

※ Reference: Hamlet et al. (1992)

정상인과 유사한 삼킴 경향

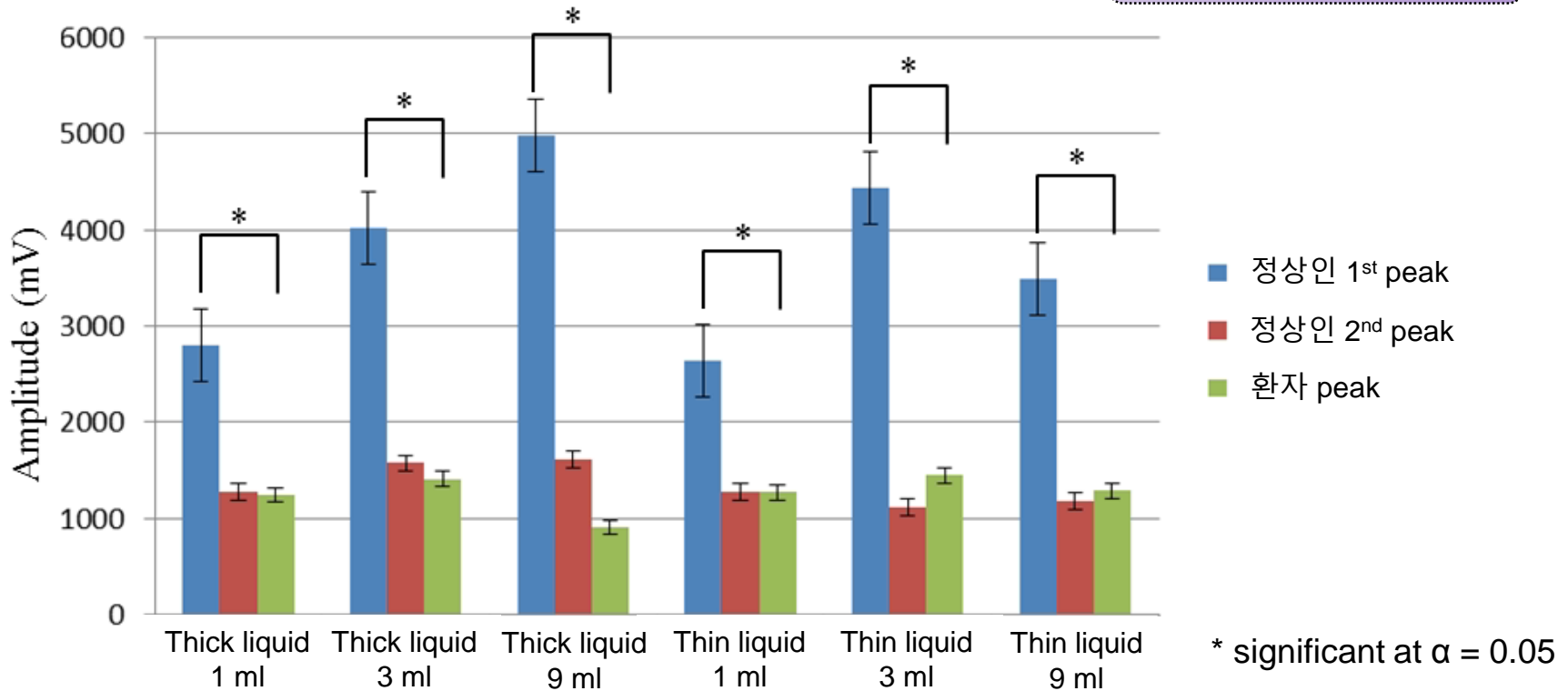


다수의 peak 발생

# S4. 유용성 검증: 정상인 vs. 삼킴 환자

- 정상인의 삼킴 강도(peak amplitude)는 삼킴 환자에 비해 모든 삼킴 종류와 용량에 대해서 2 ~ 3배 유의하게 큰 것으로 분석됨

삼킴 강도 분석 예시

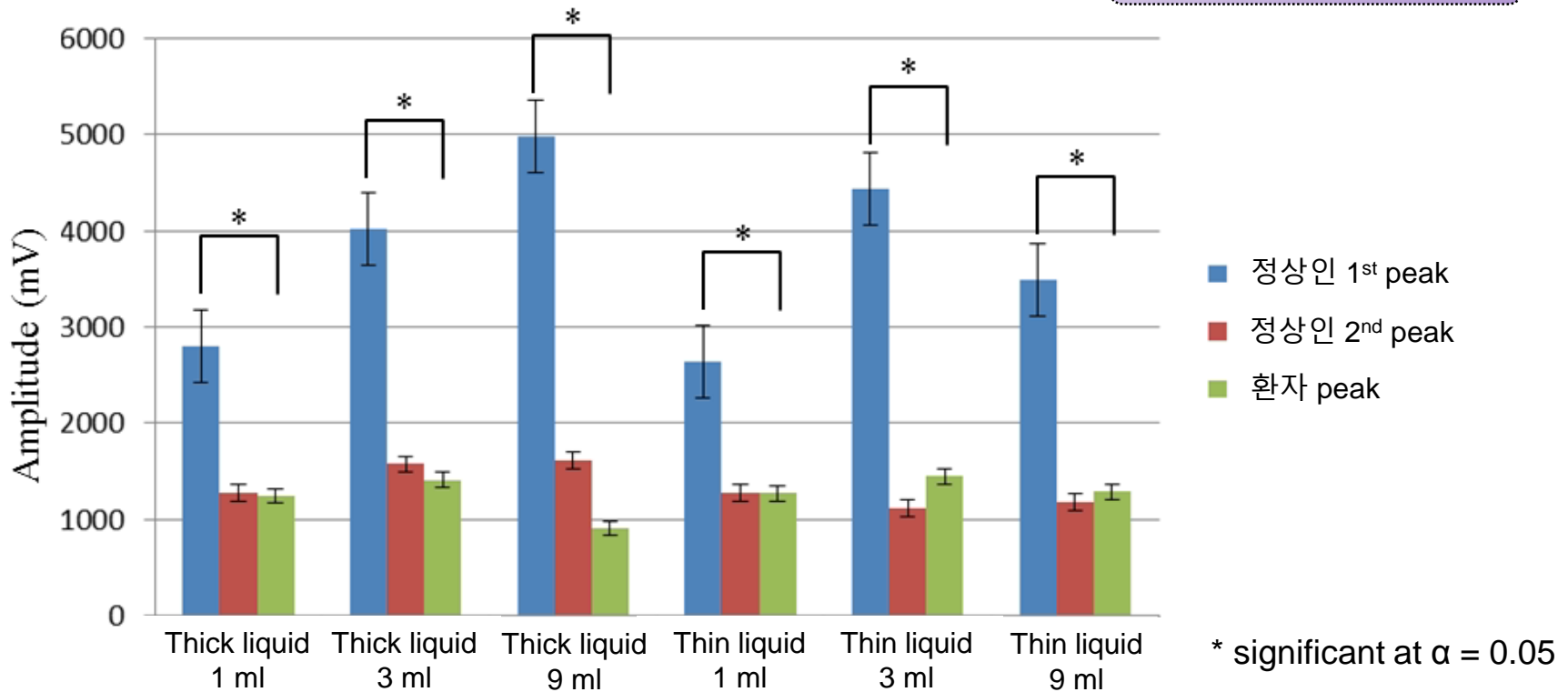


⇒ 정상인은 삼키는 종류에 관계없이 삼킴 환자에 비해 더 세게 삼키는 것으로 파악됨

# S4. 유용성 검증: 정상인 vs. 삼킴 환자

□ 정상인의 삼킴 지속시간(duration time)은 삼킴 환자에 비해 전반적으로 짧은 것으로 분석됨

삼킴 지속시간 분석 예시



⇒ 환자는 정상인에 비해 **음식물을 여러 번 씹어 지속적으로 삼키는 경향**이 있는 것으로 파악됨

# 토의

## □ 휴대용 삼킴 측정장비 및 분석 시스템 개발

- ✓ 기존 삼킴 측정장비의 한계점(침습, 방사선 노출, 고가) 보완
- ✓ 초음파 도플러 센서를 사용: 인두강 내부 기관의 움직임을 측정하여 삼킴 특성 파악
- ✓ 휴대성(portability)이 고려되어 일상생활에서도 삼킴 측정 가능

## □ 삼킴 정량화 척도 및 평가 시스템 개발

- ✓ 기존 삼킴 장애 정성적 평가의 한계(육안 관측) 보완
- ✓ 5가지 삼킴 정량화 척도(삼킴 강도, 삼킴 지속시간, 삼킴 peak 수, 삼킴 peak 간격, 삼킴 충격량) 개발

## □ 정상인과 삼킴 환자의 삼킴 특성 파악

- ✓ 정상인은 대부분(70%) 2개의 명확한 peak 발생하지만, 환자는 장애 등급에 따라 다양하게 나타남
- ✓ 정상인은 삼킴 환자보다 2 ~ 3배 유의하게 세게 삼키며, 지속시간이 짧은 경향이 있는 것으로 파악됨

## □ 비디오 투시 조영 검사 장치(VFSS)연동하여 삼킴 신호의 정확한 의미 파악 필요

## □ 삼킴 신호가 잘 측정될 수 있는 transducer 목 부착 위치(해부학적) 정립 필요

# 추후 연구

삼킴 실험  
(본 실험)



삼킴 신호 분석

삼킴 S/W

정량화 척도 추출을 위한  
기준 정립

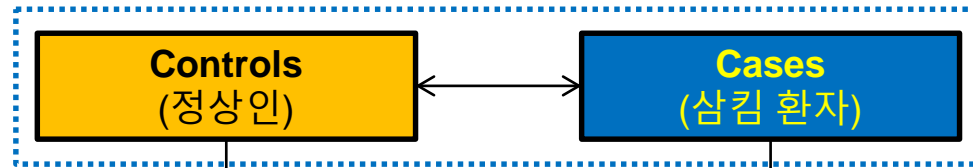
- 1) Smoothing (lag  $n$ )
- 2) Cutoff ( $c$ )
- 3) Threshold ( $t$ )

비교분석 (삼킴 종류 및 용량 별) +

- 1) Amplitude (dB)  
: peak, average, RMS
- 2) Duration time (ms)
- 3) Peak interval (ms)
- 4) Number of peaks (unit)

삼킴에 유의한 인자 파악(ANOVA)

- 1) 삼킴 종류(TK, TN)
- 2) 삼킴 용량(1, 3, 9 ml)
- 3) 연령(age group: 추후 결정)
- 4) 성별(female, male)



정상인의 삼킴 특성 파악  
(normative database)

- 1) Descriptive statistics  
(mean, SD, range)
- 2) 95% confidence interval

삼킴 장애 판별모형 개발

- 1) 삼킴 정량화 척도간 연관관계  
(correlation analysis)
- 2) 인두단계 기능장애간 연관관계  
(correlation analysis)
- 3) 정량화 척도와 기능장애간 연관관계  
(trend analysis: 1차 or 2차)

연관인자 추출

Ordinal logistic regression

Validation

# Q & A

