



2020 대한인간공학회 추계학술대회

Development of an Ultrasonic Doppler Sensor-Based Swallowing Monitoring and Assessment System

최영근¹, 김민재¹, 이백희², Xiaopeng Yang³, 김진원¹, 권도훈¹,
이상억⁴, 김향희⁵, 남석인⁶, 홍세원⁷, 양길태⁸, 나덕렬⁹, 유희천¹

¹포항공과대학교 산업경영공학과

²현대자동차 Body Test Team

³ School of Artificial Intelligence and Computer Science, Jiangnan University

⁴에스포항병원 재활의학과

⁵연세대학교 대학원 언어병리학협동과정

⁶연세대학교 사회복지학과

⁷(주)디지털에코

⁸(주)시드테크

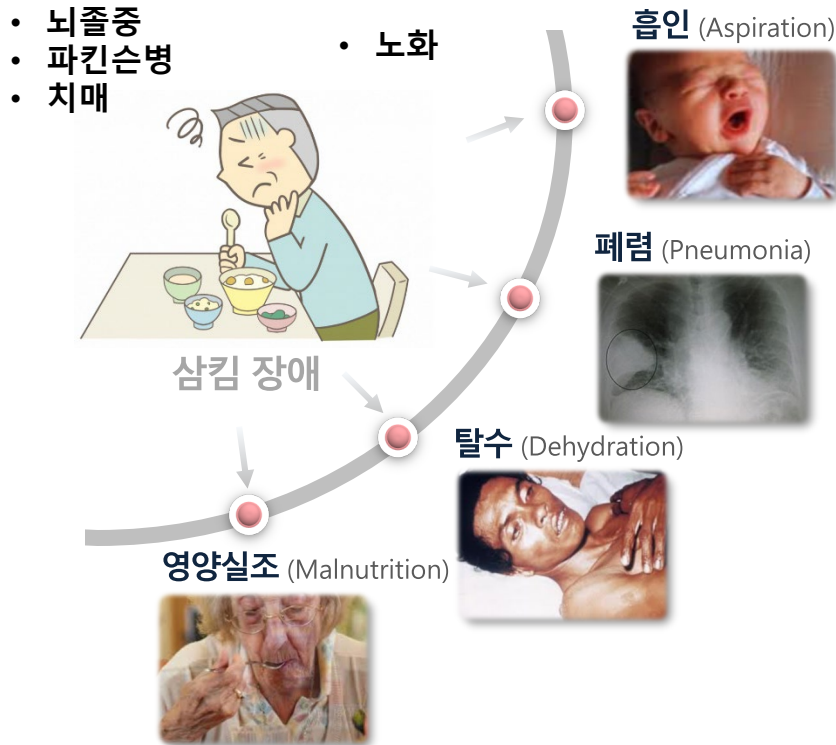
⁹삼성서울병원

Contents

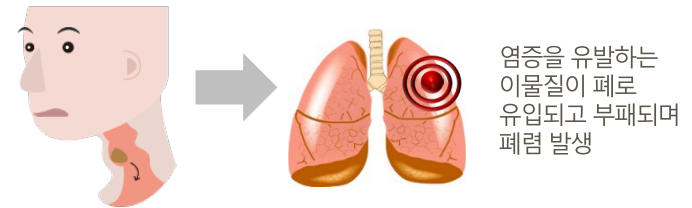
- 서론
 - ✓ 연구 배경
 - ✓ 연구 목적
 - 삼킴 모니터링 시스템 개발
 - 정상인 삼킴 측정 방법
 - 결과
 - 토의
-

삼킴 장애

- **흡인, 폐렴, 탈수, 영양실조 등을 유발**하여 삶의 질을 저하시킴(Ekberg et al, 2002)
- 흡인성 폐렴이 유발되어 심해지면 **사망에 이를 수 있음**(Sasaki, 1991)



삼킴장애로 인한 흡인성 폐렴의 발생



흡인성 폐렴은 일반 폐렴보다 사망률 2~3배



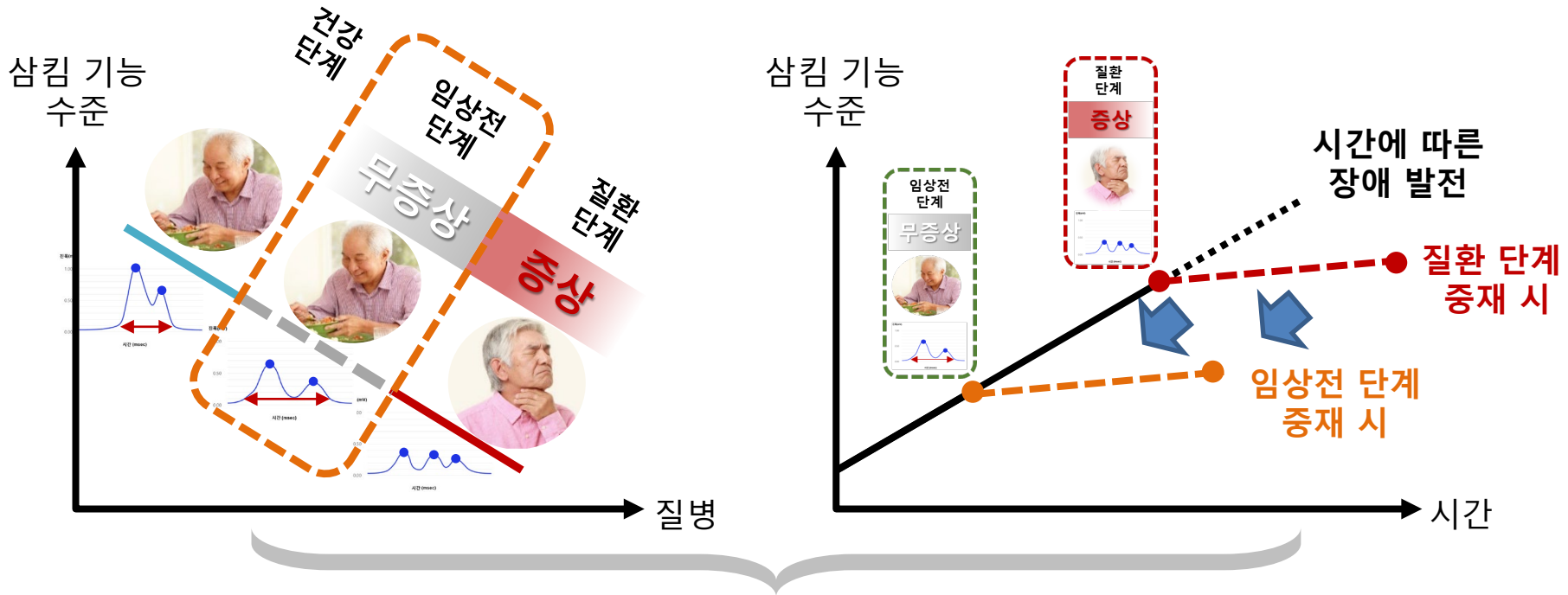
* 폐렴 사망률은 약 19~28%, 흡인성 폐렴 사망률 55~70% (DeLegge, 2002)

* 일반 폐렴 사망률 51% / 흡인성 폐렴 사망률 171% (박명숙 외, 2008)

삼킴장애 조기 탐지 및 중재 필요

□ 증상이 드러나지 않는 **임상전 단계에서 삼킴 문제를 조기 탐지 및 중재를 통해 삼킴 장애로의 발전을 방지하거나 장애 정도를 낮출 수 있음**

- 진행 단계의 시기 및 속도에 대한 지표를 마련하여 **조기 선별 근거 구축 필요**
- 노화 및 퇴행성 뇌질환의 삼킴 특성을 파악하여 **삼킴 기능 저하의 원인 규명 필요**



- 조기 선별 근거 구축
- 삼킴 기능 저하의 원인 규명

삼킴 기능에 대한 비침습적 & 객관적 측정 필요

- 현재 수행되고 있는 **비디오 투시 조영 삼킴 검사(VFSS, Videofluoroscopic Swallowing Study)**는 방사능에 노출되는 침습적 방법으로 지속적인 모니터링을 위한 평가 도구로 사용할 경우 **피측정자의 건강을 저해할 수 있음**
- **삼킴 기능 설문 평가**의 경우 직접적 관찰에 의해 평가되지 않아 **객관성 부족**
⇒ **비침습적이고 객관적인 측정 방법**의 활용이 필요함

비디오 투시 조영 삼킴 검사



삼킴 기능 설문 평가



초음파 도플러 센서 기반 삼킴 모니터링 및 분석 시스템 (Ultrasonic Doppler Sensor-Based Swallowing Monitoring and Assessment System, SMAS) 개발

1. 초음파 도플러 센서 기반 모니터링 기기 개발
2. 초음파 도플러 센서 기반 삼킴 신호 분석 S/W 개발
3. 정상인 삼킴 신호 측정 및 분석

초음파 도플러 센서 기반 모니터링 기기(1/2)

- 유선으로 초음파 도플러 센서와 신호 처리 회로만 포함한 1세대 기기를 기반으로 **무선으로 다양한 인체 크기를 수용**할 수 있는 5세대 기기로 점차 개선됨

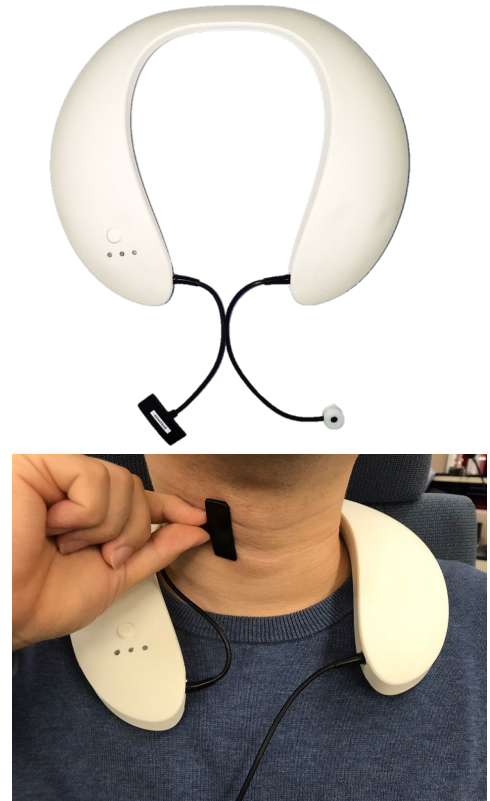
1세대(유선)



2세대(무선, 고정형)

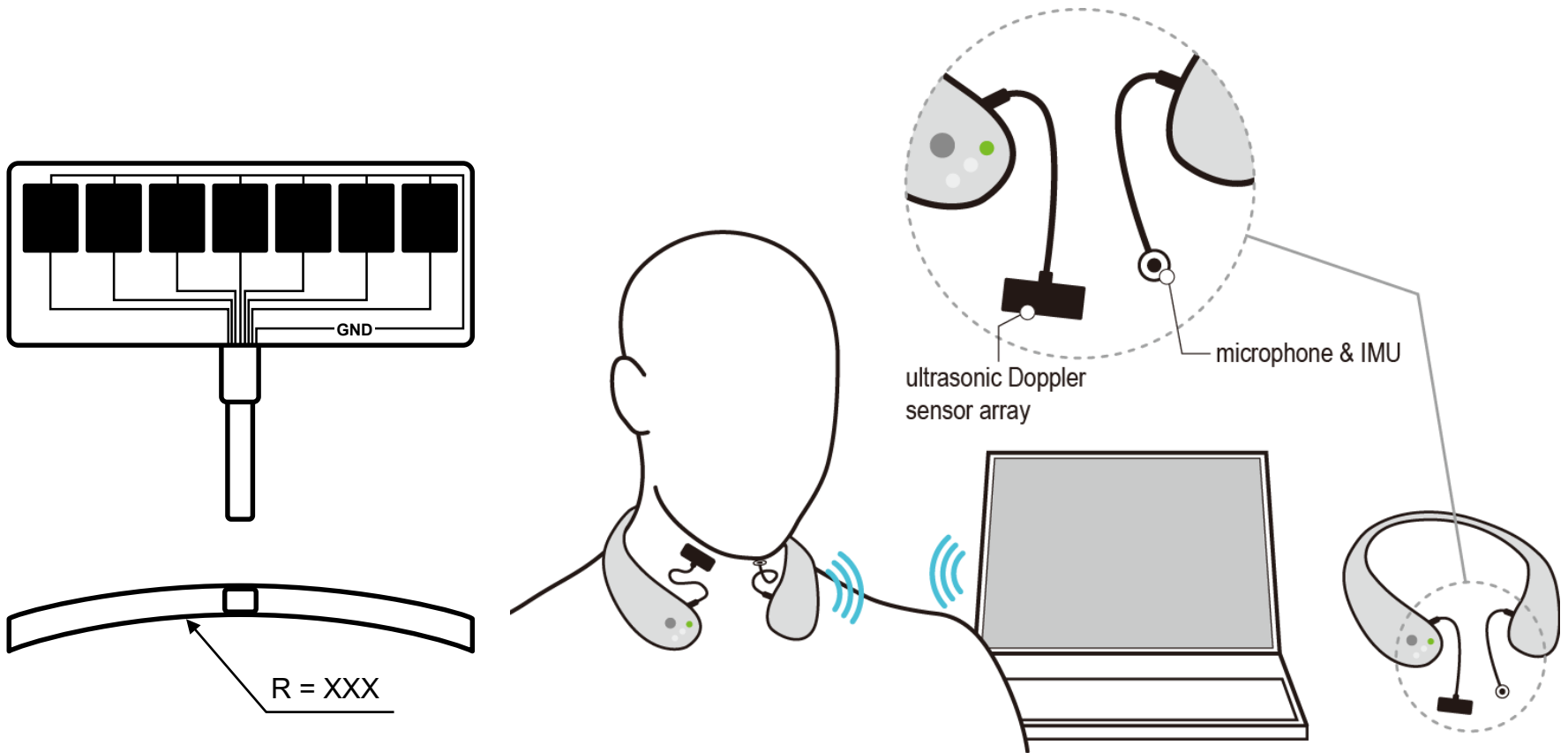


5세대(무선, 유연형)



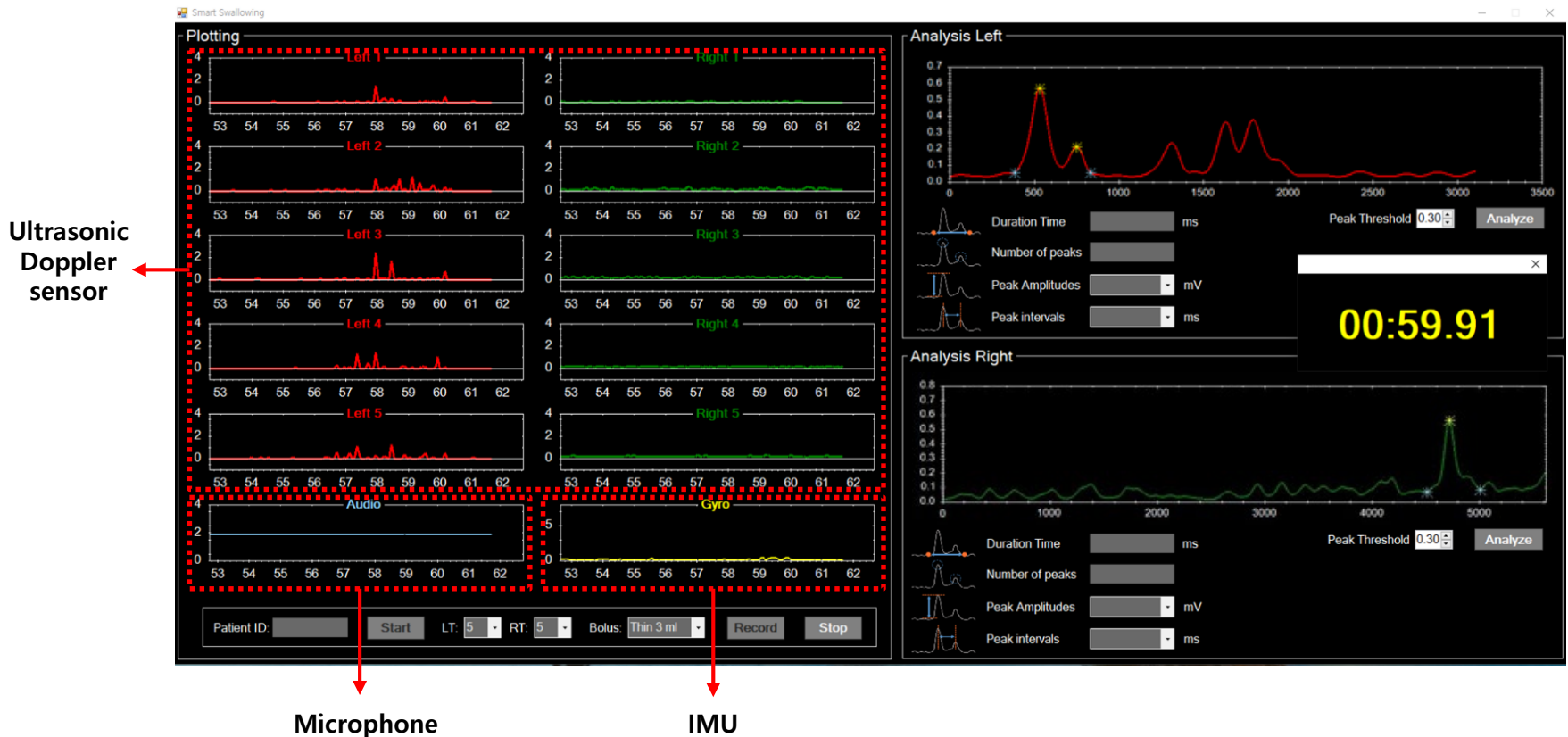
초음파 도플러 센서 기반 모니터링 기기(2/2)

- 무선 neck-band형 기기의 초음파 도플러 센서부는 **7개의 모듈이 곡면으로 구성**
- 삼킴 이외의 noise 신호를 감지하기 위해 **microphone과 IMU를 내장**



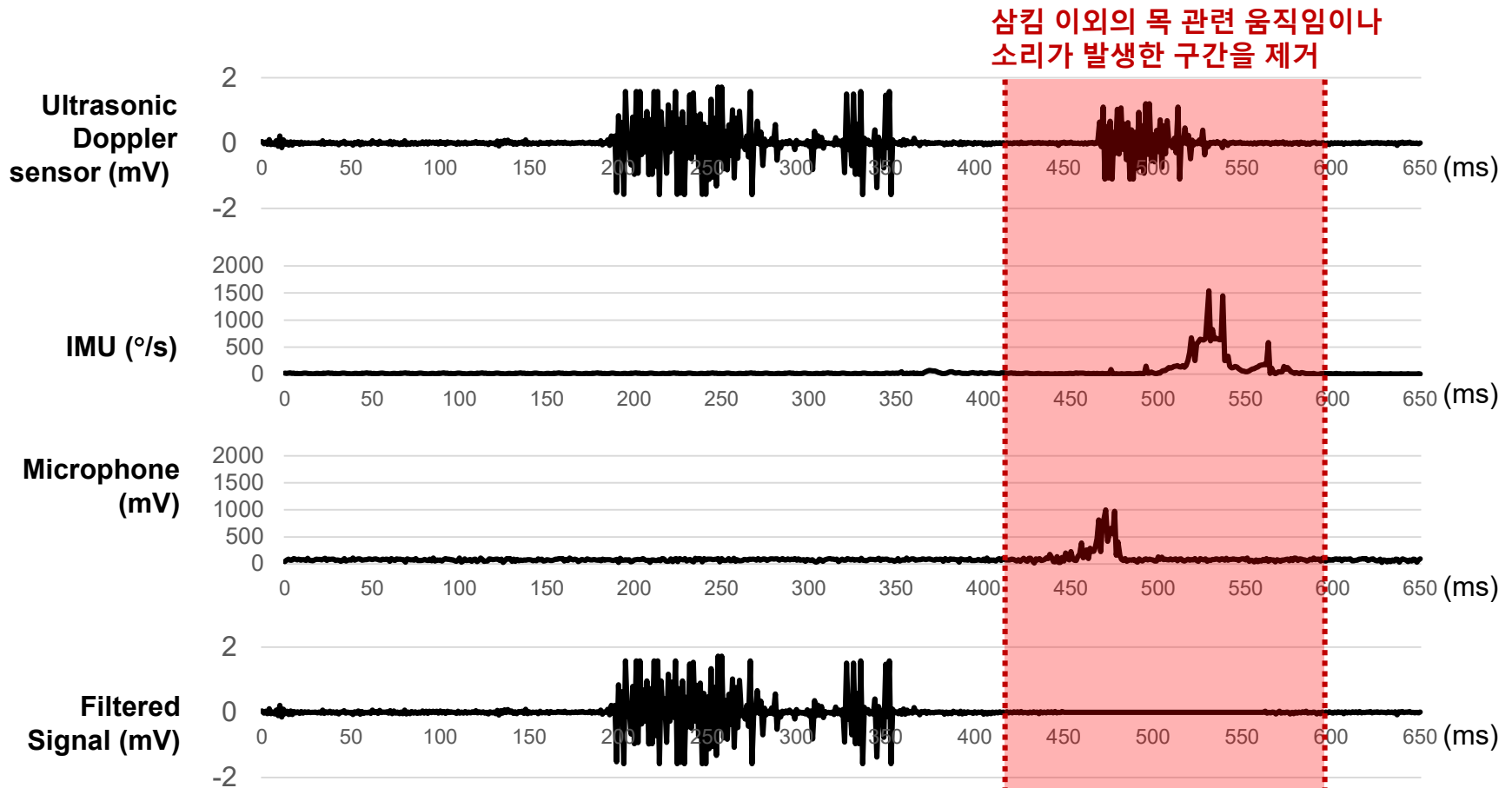
초음파 도플러 센서 기반 삼킴 신호 분석 S/W 개발 (1/3)

- 삼킴 모니터링 기기와 연결되어 **신호를 출력하고 분석할 수 있는 S/W**가 개발됨
- Windows 기반 application을 **android OS기반으로 추가 개발 중**



초음파 도플러 센서 기반 삼킴 신호 분석 S/W 개발 (2/3)

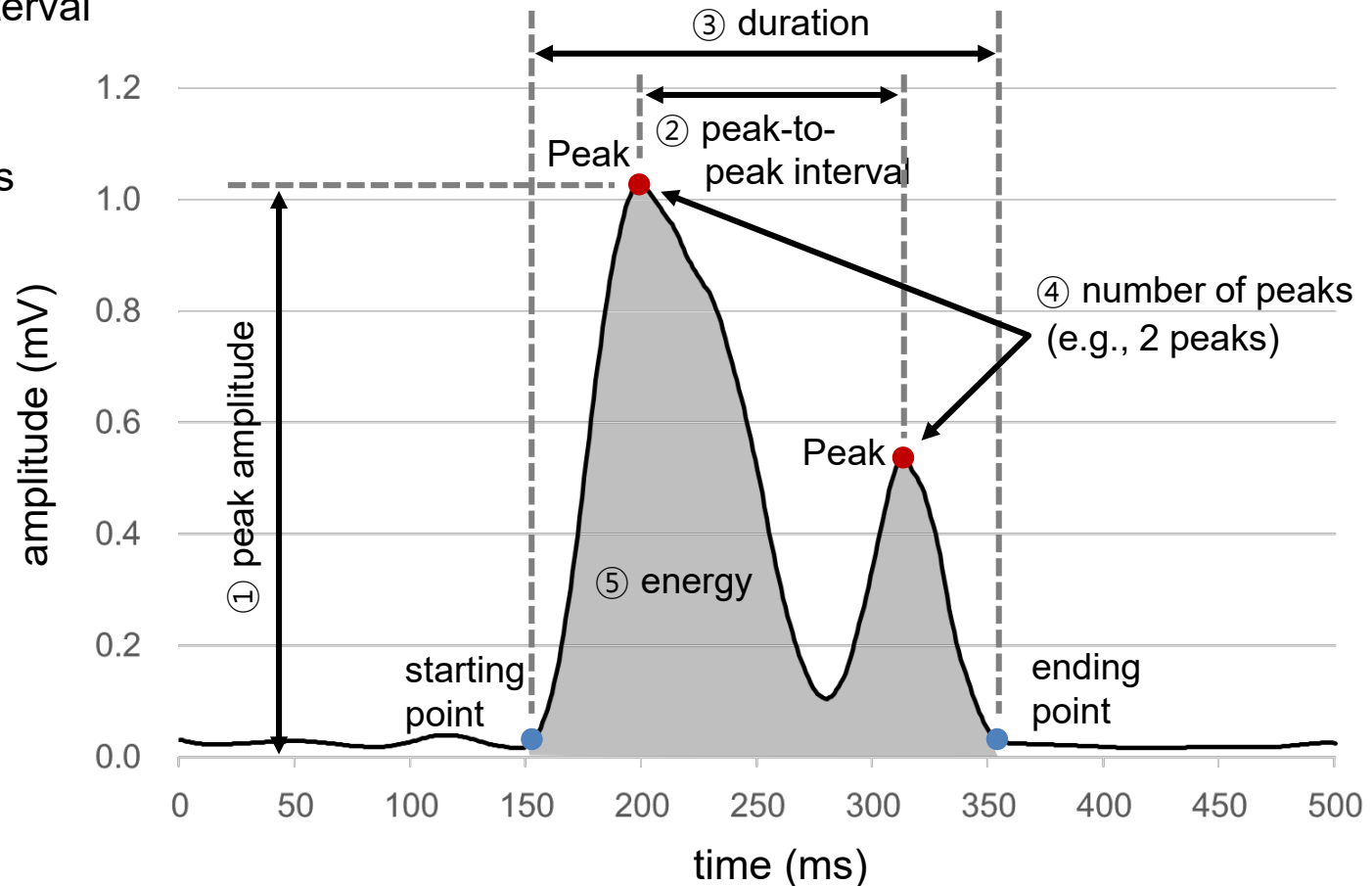
- 목의 움직임이나 기침, 음성으로 인해 초음파 센서에 **noise 신호가 발생**할 수 있음
- IMU를 활용해 목 부위의 움직임을 감지하고 **microphone**으로 외부 소음을 측정
- **Noise가 발생한 구간**의 삼킴 신호를 **분석 대상에서 제거**



초음파 도플러 센서 기반 삼킴 신호 분석 S/W 개발 (3/3)

□ 5가지 measure로 삼킴 특성을 분석

- Peak amplitude
- Peak-to-peak interval
- Duration
- Number of peaks
- Energy



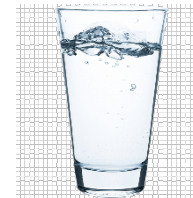
정상인 삼킴 신호 측정

□ 실험 참여자

- 24명(남성 14명, 여성 10명; 30.5 ± 7.6 세)
- 삼킴 장애 경험이 없는 건강한 사람

□ 측정 방법

- Thin liquid (물): 3 ml/ 9 ml 각 3회 삼킴
- Thick liquid (요플레): 3 ml/ 9 ml 각 3회 삼킴



Thin liquid
3 ml x 3회
9 ml x 3회



Thick liquid
3 ml x 3회
9 ml x 3회

ANOVA Table

Measure	Source	df	SS	MS	F	
1 st peak Amplitude (mV)	Viscosity [Vc]	1	1.080	1.080	80.8	**
	Vc × S	18	0.243	0.013		
	Volume [VI]	1	0.168	0.168	9.0	**
	VI × S	18	0.339	0.019		
	Vc × VI	1	0.034	0.034	2.0	
	Vc × VI × S	18	0.300	0.017		
	Subject [S]	18	4.257			
	Total	193	6.963	1.572		
2 nd peak Amplitude (mV)	Viscosity [Vc]	1	0.060	0.060	4.6	*
	Vc × S	18	0.233	0.013		
	Volume [VI]	1	0.012	0.012	0.9	
	VI × S	18	0.230	0.013		
	Vc × VI	1	0.005	0.005	0.5	
	Vc × VI × S	18	0.195	0.011		
	Subject [S]	18	1.962			
	Total	193	3.247	0.226		
peak-to-peak (PP) interval (ms)	Viscosity [Vc]	1	40,104	40,104	1.8	
	Vc × S	18	414,691	23,038		
	Volume [VI]	1	51,593	51,593	4.5	*
	VI × S	18	206,003	11,445		
	Vc × VI	1	14,165	14,165	1.2	
	Vc × VI × S	18	209,110	11,617		
	Total	193	4,646,565	322,590		

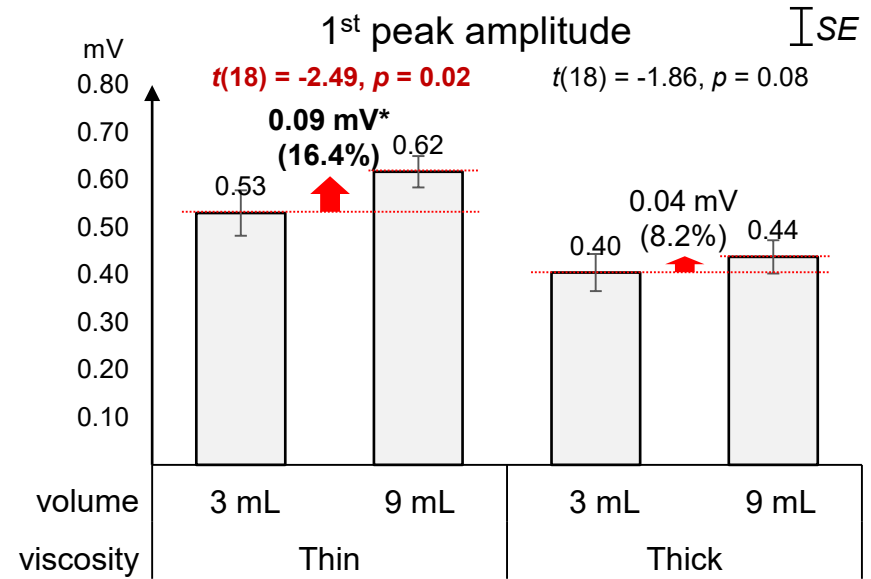
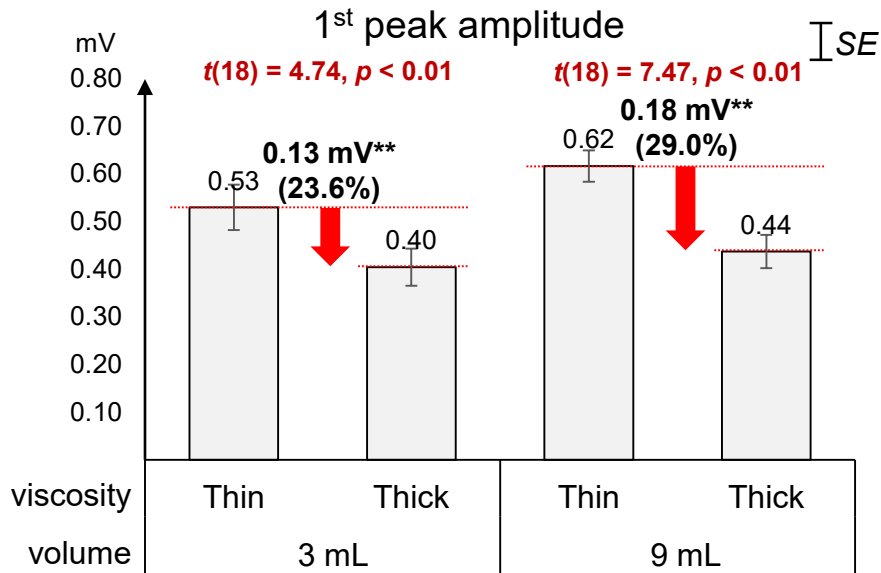
Measure	Source	df	SS	MS	F	
duration (ms)	Viscosity [Vc]	1	7,217	7217	0.2	
	Vc × S	18	539,724	29985		
	Volume [VI]	1	112,522	112522	5.8	*
	VI × S	18	352,796	19600		
	Vc × VI	1	5,872	5872	0.5	
	Vc × VI × S	18	199,791	11099		
	Subject [S]	18	3,375,375			
	Total	193	5,267,587	379218		
energy	Viscosity [Vc]	1	88735	88735.1	30.3	**
	Vc × S	18	53254	2958.6		
	Volume [VI]	1	8639	8639.5	21.5	**
	VI × S	18	7242	402.3		
	Vc × VI	1	1513	1512.7	2.9	
	Vc × VI × S	18	9430	523.9		
	Subject [S]	18	324209			
	Error	118	38077	322.7		
	Total	193	540733	121106.4		

(*: $P < .05$; **: $P < .01$)

1st Peak Amplitude

❑ Thin → thick, peak amplitude ↓ (3 ml: 23.6%; 9 ml: 29.0%)

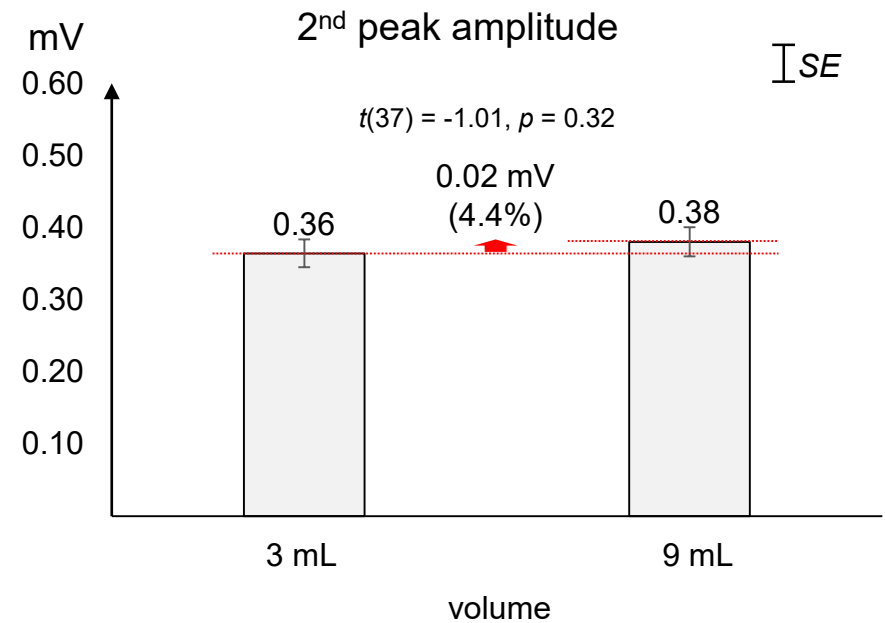
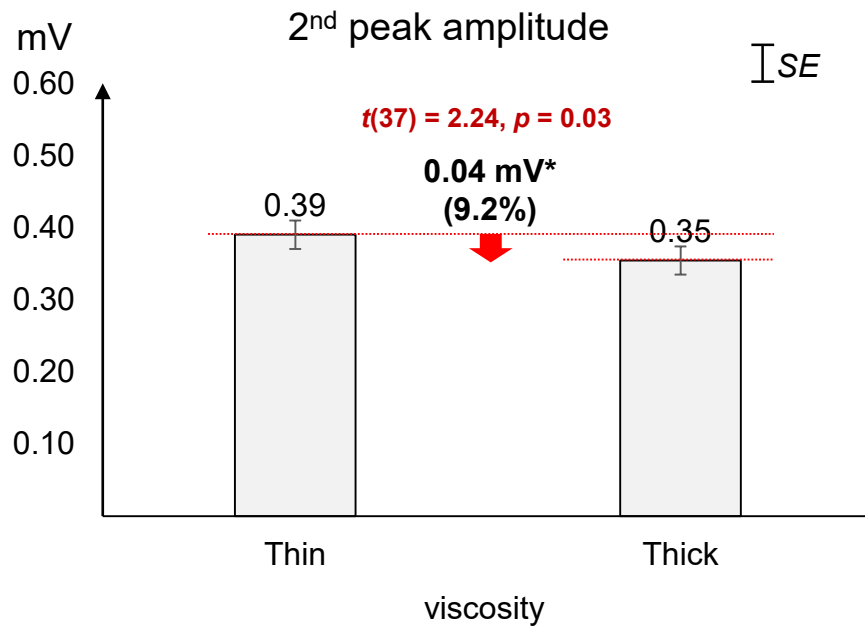
❑ 3 ml → 9 ml, peak amplitude ↑ (thin: 16.4%; thick: 8.2%)



2nd Peak Amplitude

□ Thin → thick, peak amplitude 9.2%↓

□ 3 ml → 9 ml, peak amplitude 4.4%↑

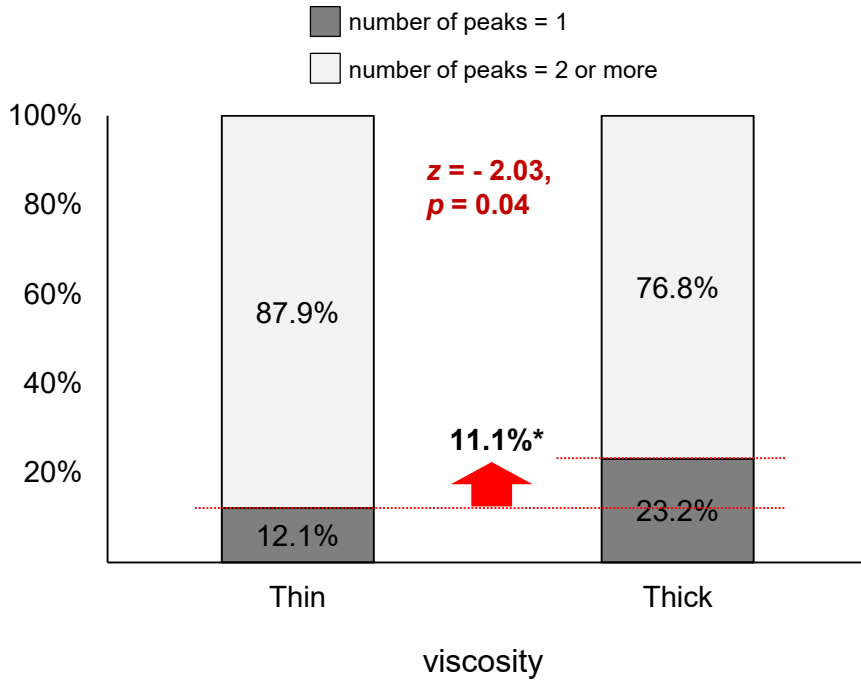


Number of Peaks

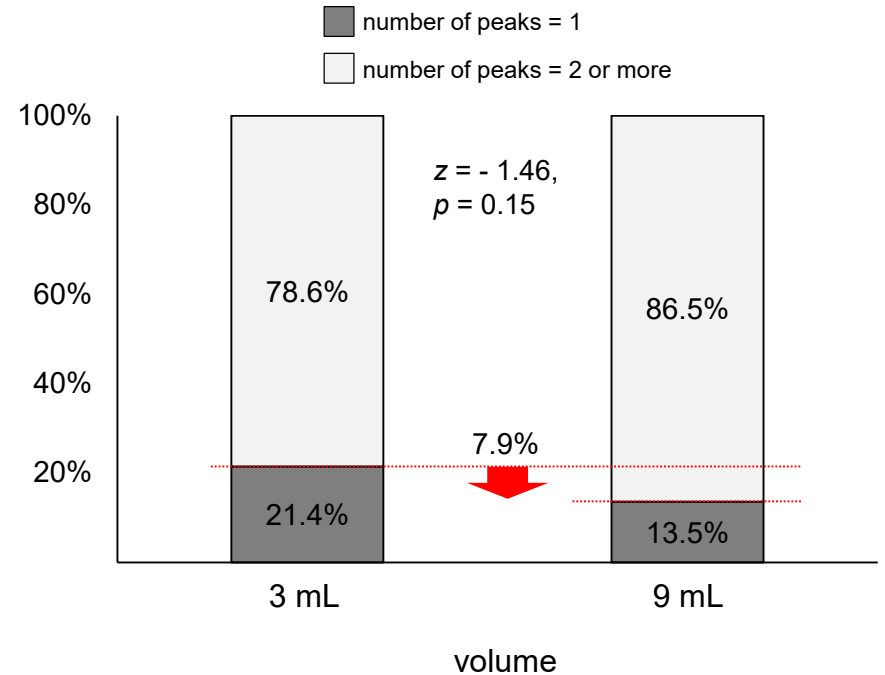
☐ Thin → thick, proportion of 2 peaks 11.1%↓

☐ 3 ml → 9 ml, proportion of 2 peaks 7.9%↑

Number of peaks



Number of peaks

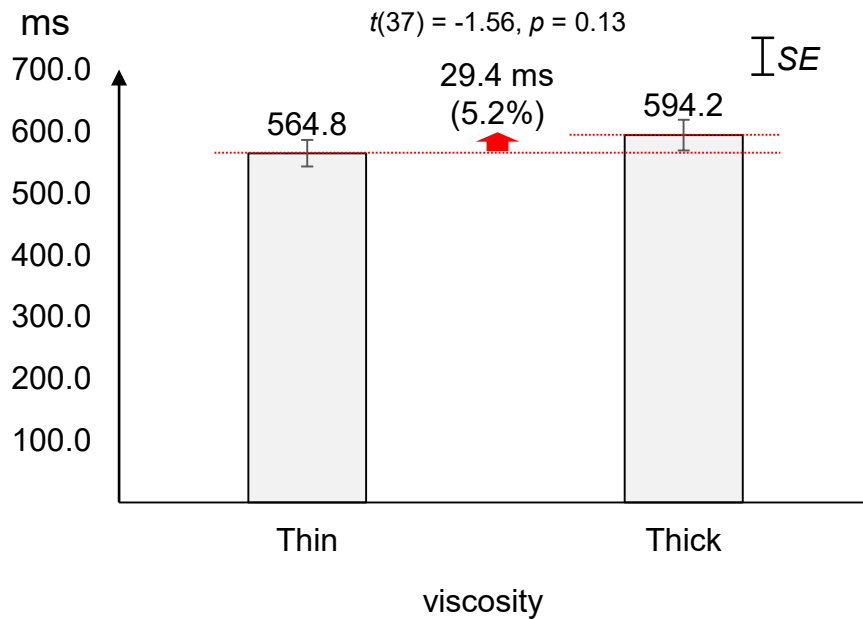


Peak-to-peak Interval

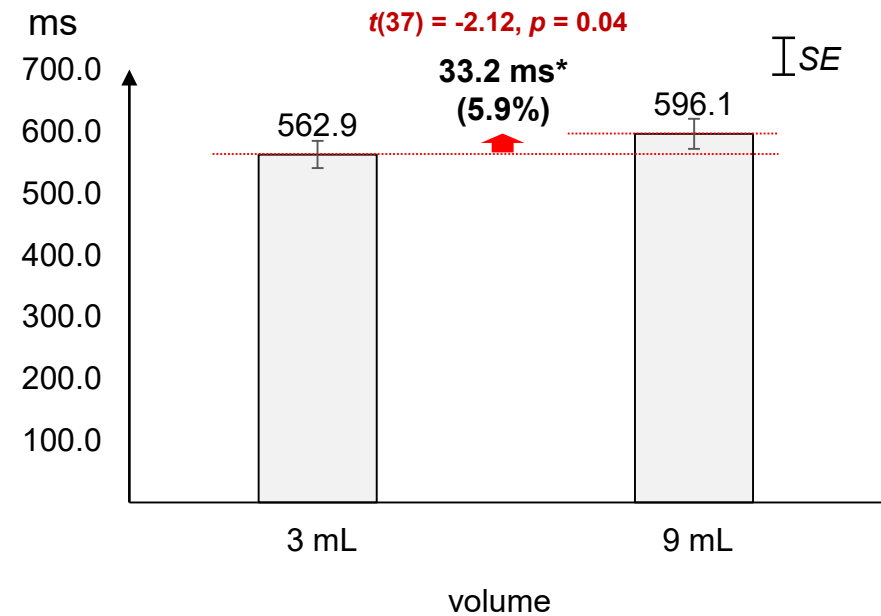
□ Thin → thick, peak-to-peak interval 5.2%↑

□ **3 ml → 9 ml, peak-to-peak interval 5.9%↑**

Peak-to-peak interval



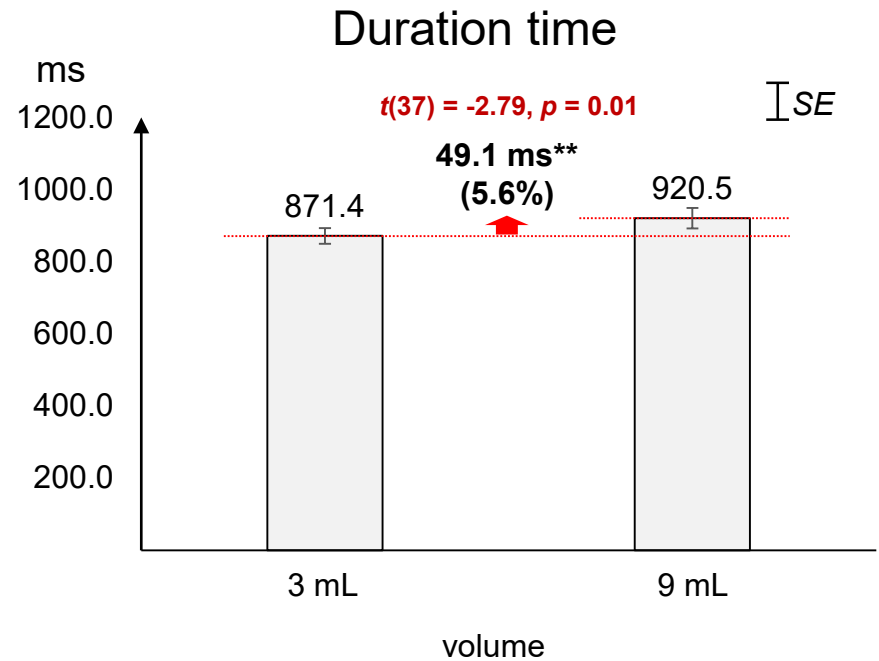
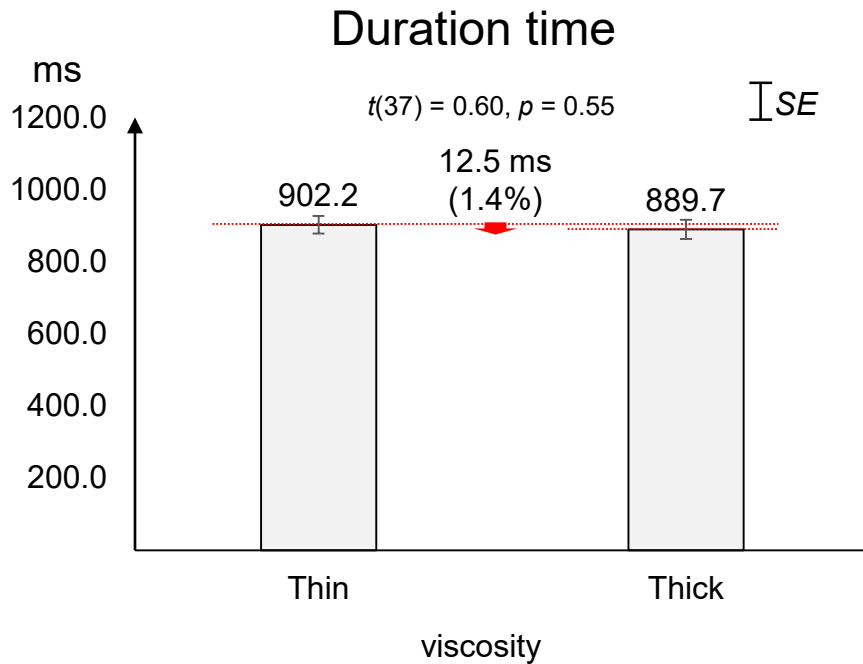
Peak-to-peak interval



Duration Time

□ Thin → thick, duration time 1.4%↓

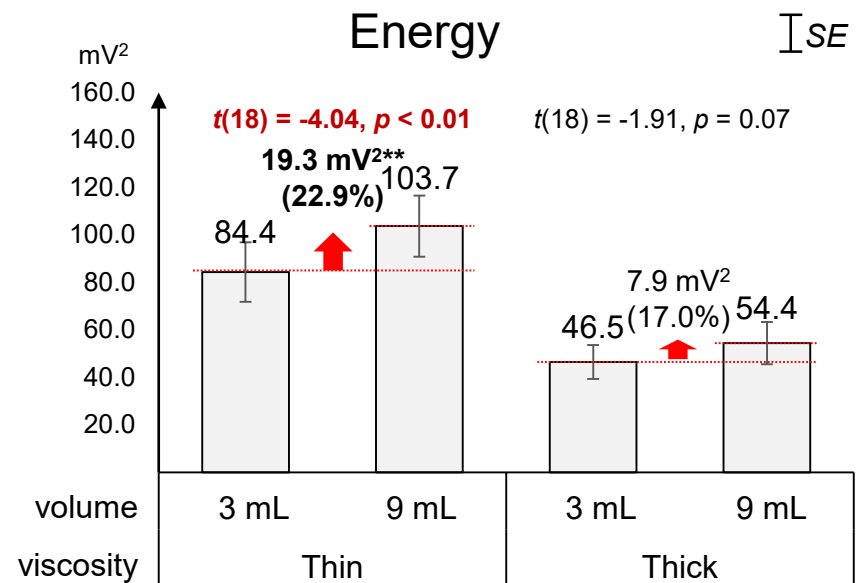
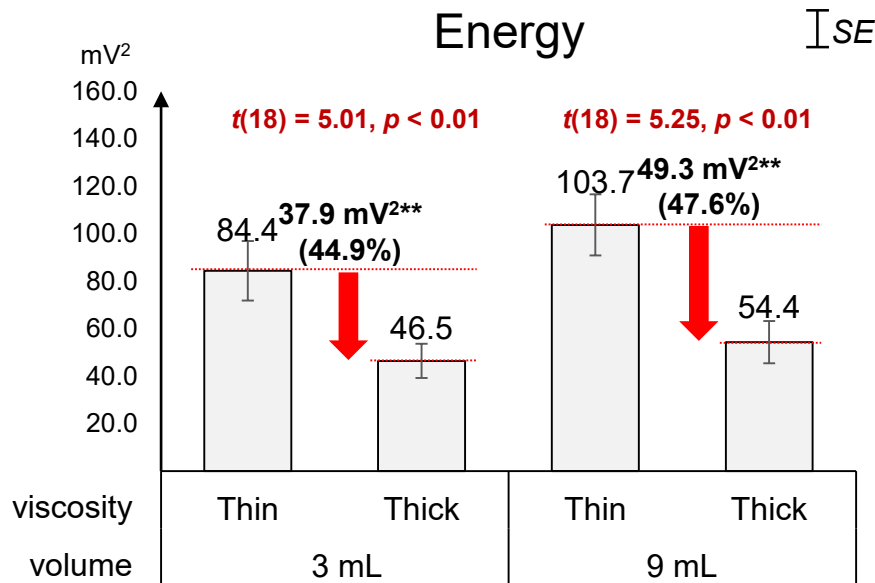
□ 3 ml → 9 ml, duration time 5.6%↑



Energy

❑ **Thin** → **thick**, **Energy** ↓ (3 ml: 44.9%; 9 ml: 47.6%)

❑ **3 ml** → **9 ml**, **Energy** ↑ (thin: 22.9%; thick: 17.0%)

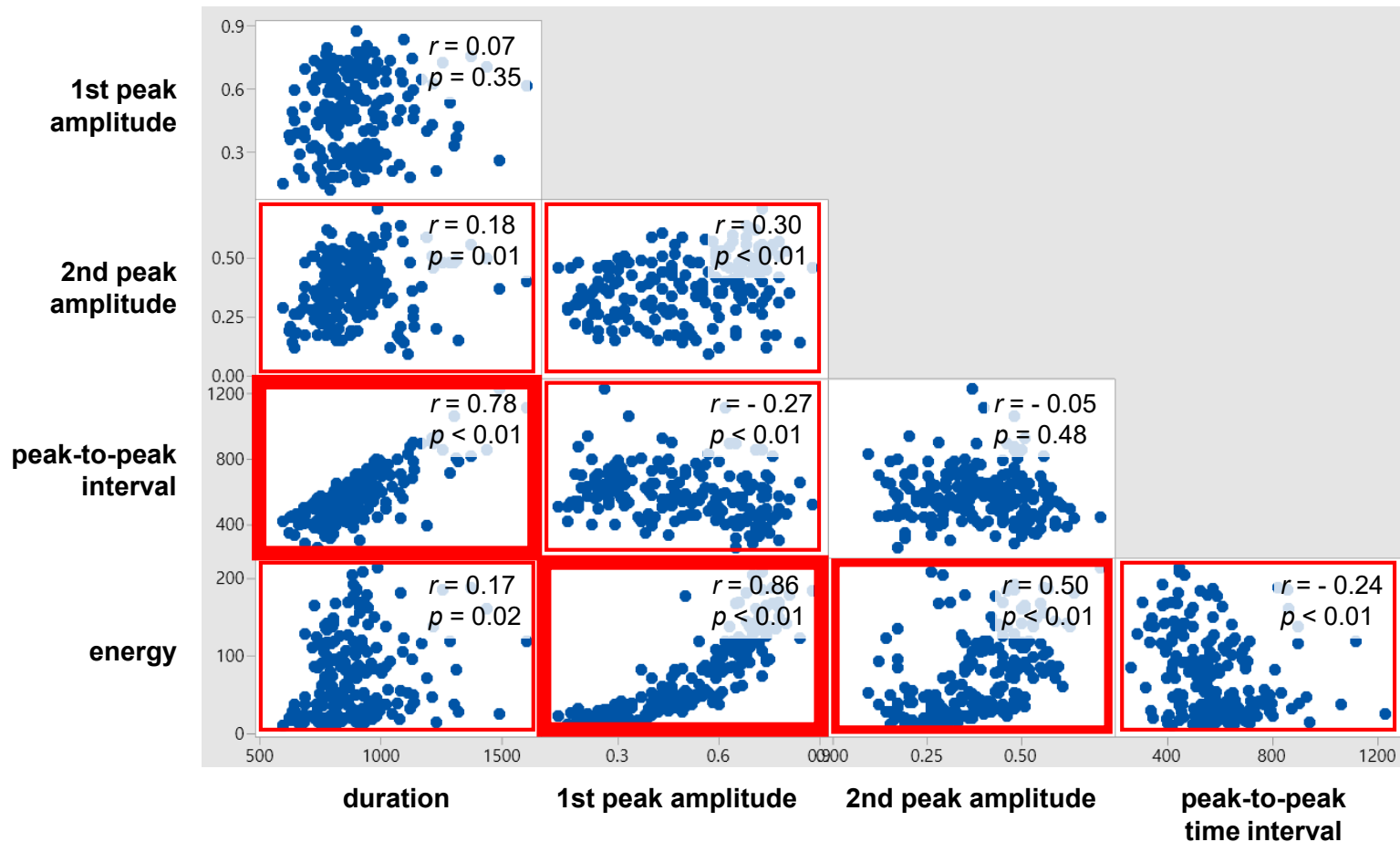


Correlation between Measures

❑ Strong correlation ($r \geq .7$)

➤ 1st peak amplitude와 energy ($r = 0.78$)

➤ Peak-to-peak interval과 duration time ($r = 0.86$)



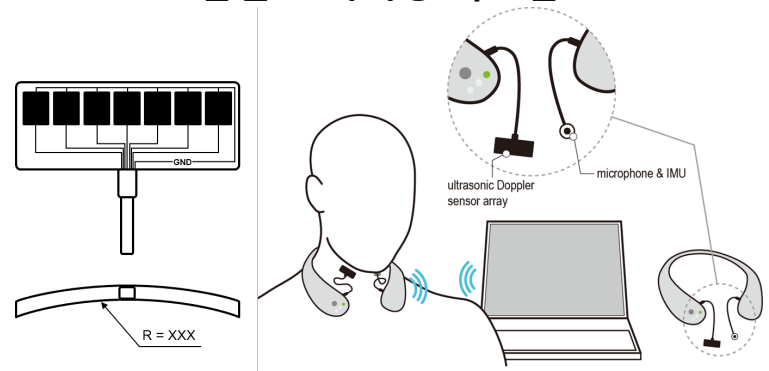
Discussion (1/4)

- 삼킴 모니터링에 특화된 무선 **neck-band형 초음파 도플러 모니터링 시스템**을 개발함
 - 목 형상을 고려한 **곡면으로 설계된 7개의 ultrasonic Doppler sensor 모듈**
 - 삼킴 이외의 noise 신호를 구별하기 위한 **microphone과 IMU를 내장**
- 기존 연구들은 **태아 진단을 위한 초음파 검사 장비를 활용**하여 삼킴을 연구함
 - Soria et al. (2015), Cagliari et al. (2009), 그리고 Santos & Filho (2006)는 1개의 초음파 도플러 모듈이 내장된 **태아용 휴대용 초음파 검사 장비를 활용**하여 삼킴 신호를 측정함
 - **정확한 모듈 부착 위치를 찾기 어려웠고 음성, 기침, 움직임이 발생하지 않도록 통제**했음

태아용 초음파 검사 장비

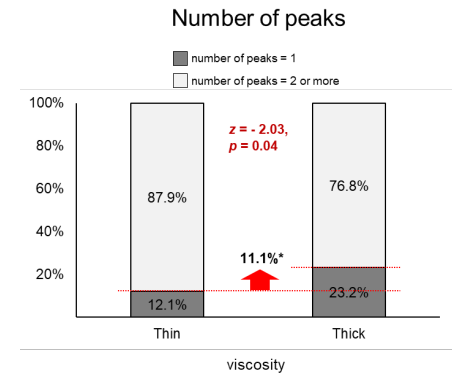
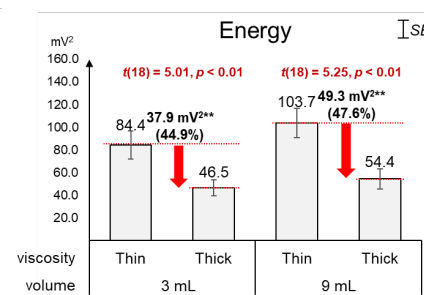
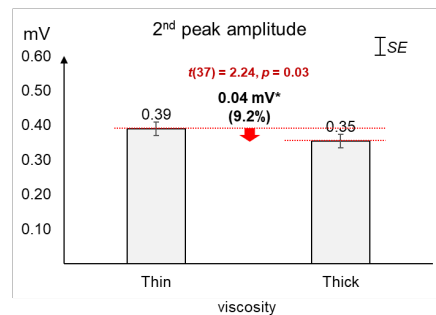
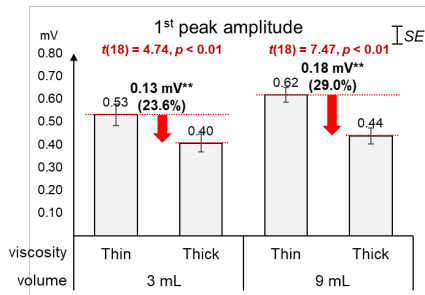


삼킴 모니터링 시스템



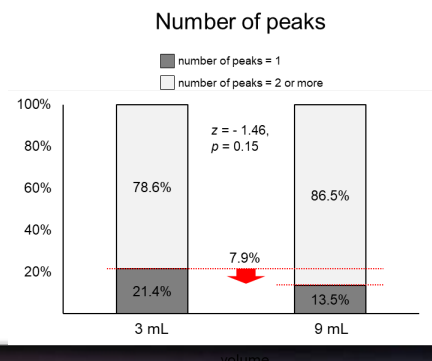
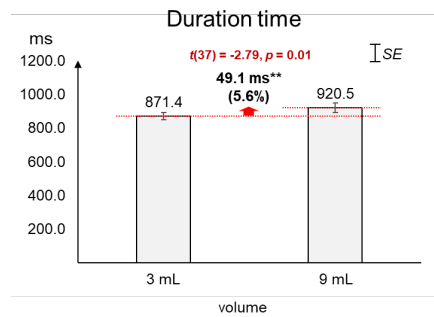
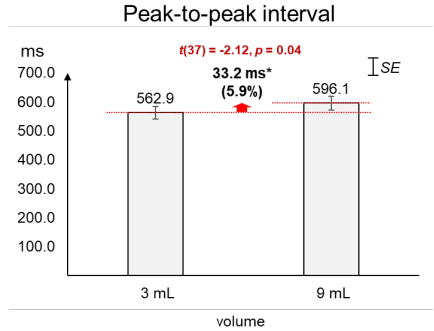
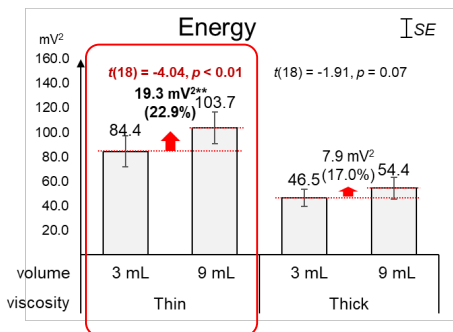
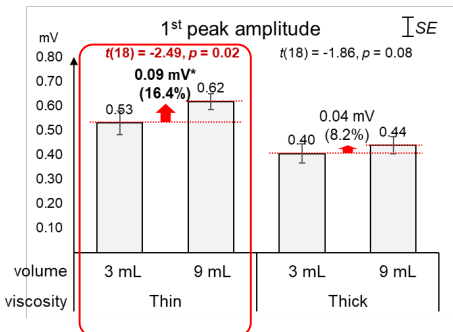
Discussion (2/4)

- 초음파 도플러 신호의 **amplitude**는 측정 대상의 **velocity**와 **비례**(Dong et al., 2015)
- **Viscosity가 증가할 때 1st peak amplitude** (23.6%~29.0%), **2nd peak amplitude** (9.2%), **energy** (44.9%~47.6%), **2개 이상의 peak가 발생한 비율** (11.1%)이 감소함
 ⇐ High viscosity를 가진 요거트를 삼킬 때가 물을 삼킬 때에 비해 삼킴 관련 기관의 움직임이 느려진 것으로 사료됨
- Cagliari et al. (2009)도 bolus의 viscosity가 증가할 때 peak intensity가 감소(91.1~92.7 dB for water and 90.0~92.4 dB for yogurt)한 유사한 결과를 보고함



Discussion (3/4)

- Volume이 증가할 때 1st peak amplitude (8.2%~16.4%), PP interval (5.9%), duration (5.6%), energy (17.0%~22.9%), 2개 이상의 peak가 발생한 비율(7.9%)이 증가함(1st peak amplitude와 energy는 thin liquid에서만 유의함)
- Peak amplitude와 energy가 3mL보다 9 mL일 때 높았던 것은 더 많은 양을 삼키기 위해 더 강한 힘으로 삼킴 기관을 움직였기 때문으로 사료됨
- Peak-to-peak interval과 duration이 긴 것은 자연스러운 현상



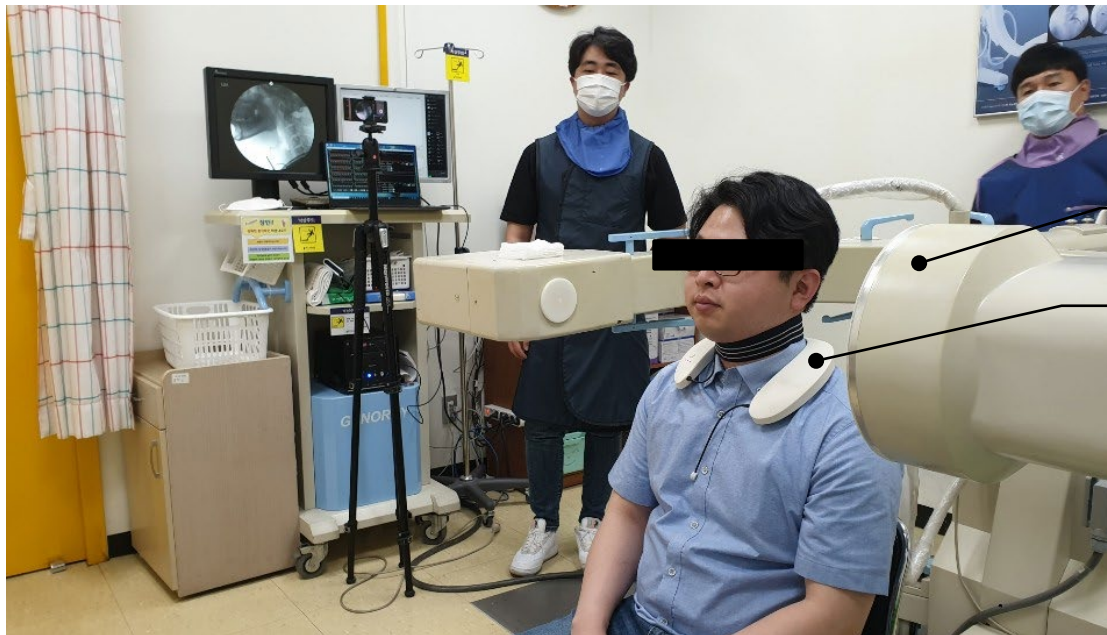
Discussion: Comparison of Swallowing Durations

- 본 연구에서 측정된 **정상인의 평균 삼킴 시간**(thin liquid: 902.2 ± 149.3 ms; thick liquid: 889.7 ± 163.8 ms)은 **Cagliari et al. (2009)**와 **Nascimento et al. (2015)**와 유사
- Microphone을 사용한 Santamato et al. (2009)와 Youmans & Stierwalt (2005)와는 차이가 있었음

Study	Sample size (age range, years)	Measurement device	Bolus (volume)	Duration (ms)	
				mean	SD
Present study	24 (23 ~ 49)	ultrasonic Doppler	water (3 ml, 9ml)	902.2	149.3
			yogurt (3ml, 9ml)	889.7	163.8
Cagliari et al. (2009)	30 (10 ~ 15)	ultrasonic Doppler	water (2.5 ml)	male: 990.0 female: 970.0	N/A*
			yogurt (2.5 ml)	male: 920.0 female: 810.0	N/A
Nascimento et al. (2015)	30 (29 ~ 77)	videofluoroscopy	water + barium (5 ml, 10 ml)	832.5	N/A
			honey + barium (5 ml, 10 ml)	936.0	N/A
Santamato et al. (2009)	60 (> 18)	microphone	water (10 ml)	438.1	109.6
			yogurt (10 ml)	564.2	168.2
Youmans & Stierwalt (2005)	97 (20 ~ 79)	microphone	water (5 ml)	490.0	130.0
			honey (5 ml)	550.0	110.0

추후연구

- 개발된 삼킴 모니터링 시스템의 **concurrent validity**와 **generalizability**의 검증 필요
 - 삼킴 모니터링 시스템을 통해 분석된 **5가지 measure**의 유의성을 VFSS와 비교 분석 필요
 - 정상인 외에도 **다양한 원인(신경계 질환, 선천성 장애, 노화)**으로 인한 삼킴 장애 환자들에 대한 **초음파 도플러 신호의 수집 및 비교 분석** 필요
 - 대규모 **normative data**를 수집하여 **삼킴 장애 조기 선별을 위한 통계적 모형 개발**



VFSS

SMAS

Thank you for your attention!



본 연구는 한국연구재단의 과학기술인문사회융합연구사업(NRF-2017M3C1B6070526)의 지원을 받아 수행되었습니다.