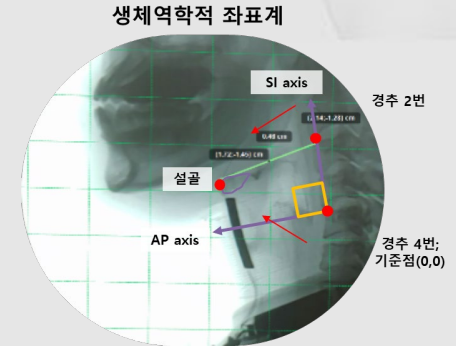
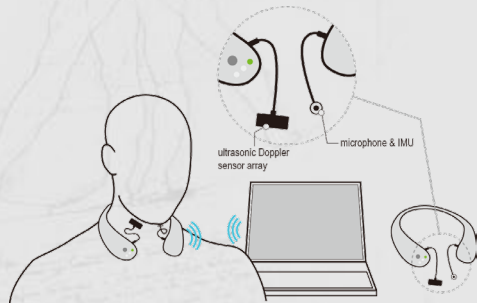




삼킴 시 초음파 도플러 신호와 인후두 움직임 영상 비교 분석



POSTECH
POHANG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

2020. 10. 29

ime INDUSTRIAL AND MANAGEMENT
ENGINEERING, POSTECH

**Ergonomic Design
Technology Lab**

김민재¹, 최영근¹, 권도훈¹, 김진원¹, 김향희², 남석인³, 이상억⁴,유희천¹

¹포항공과대학교 산업경영공학과 인간공학설계기술 연구실

²연세대학교 대학원 언어병리학협동과정 의과대학 재활의학 교실 및 연구소

³연세대학교 사회복지 대학원

⁴에스포항병원 재활의학과

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

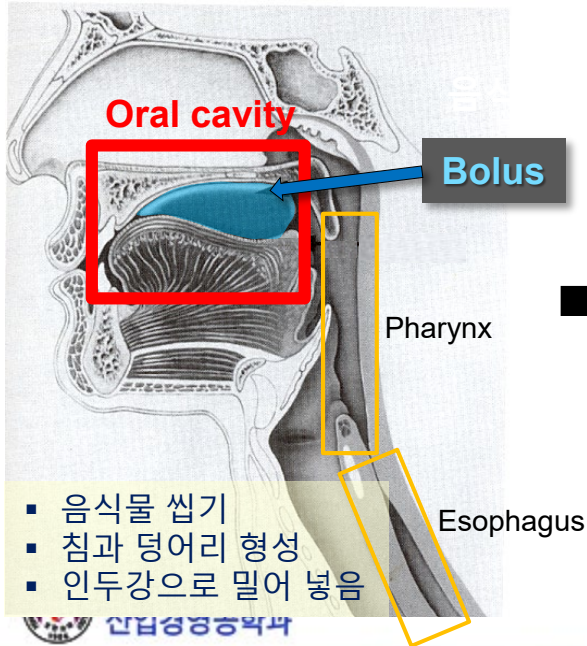
Contents

- **서론**
 - 연구 배경 및 필요성
 - 연구 목적
- **삼킴신호 및 영상 측정/분석 Protocol**
 - 신호 및 영상 측정 protocol
 - 신호 및 영상 분석 protocol
- **삼킴신호 및 영상 비교 분석**
 - 신호 및 영상 분석 결과
- **토의**

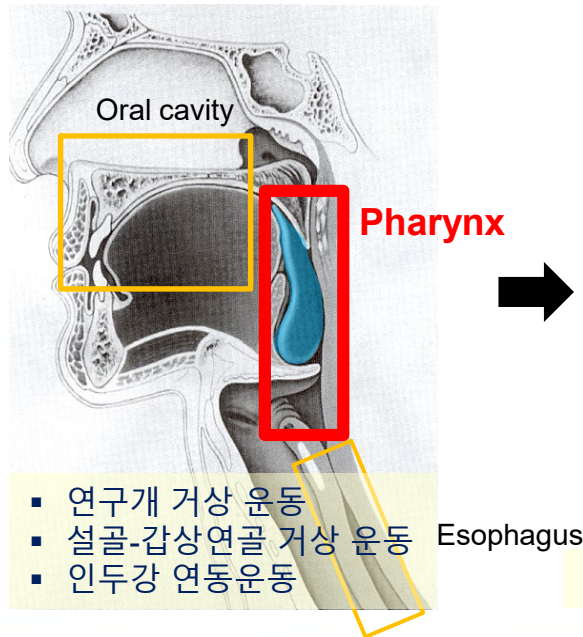
삼킴 단계

- **구강 단계:** 음식물을 씹어 침과 덩어리(bolus)를 형성한 후 인두로 밀어 넣는 단계로써, 육안으로 관찰 가능하여 특별한 장비 없이 비교적 정확한 검사 가능
- **인두 및 식도 단계:** 인두강과 식도의 연동운동을 통해 음식물을 위까지 이동시키는 단계로서, 목의 내부적 움직임을 관찰할 수 있는 특화된 검사 장비를 통해서만 정확한 구조와 기능의 측정이 가능함

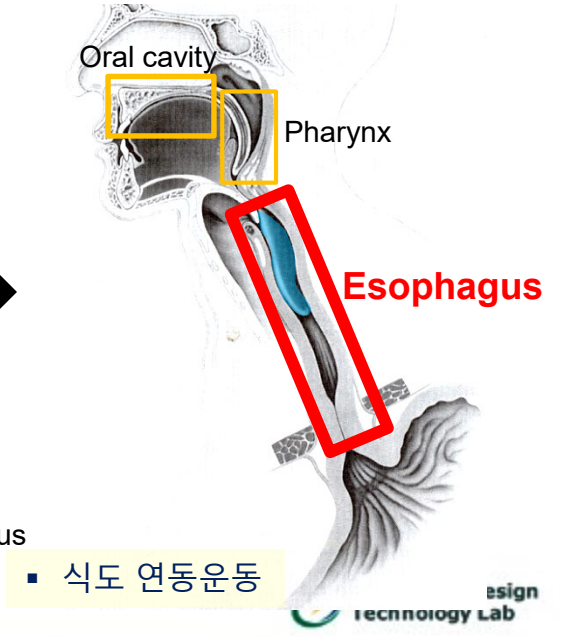
구강 단계 (oral phase)



인두 단계 (pharyngeal phase)



식도 단계 (esophagus phase)

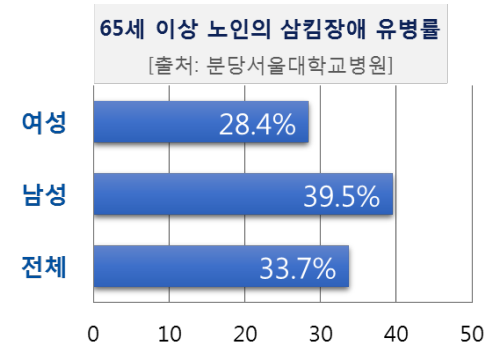


노인성 삼킴장애 (Presbyphagia)

- 노화에 따른 삼킴 관련 신체 구조 및 기능의 퇴화에 기인한 삼킴 기능의 감퇴
- 구강 단계, 인두 단계, 식도 단계에 걸친 광범위한 현상



노인성 삼킴장애 유병률
11%~35%



정상

삼킴장애



연구자	국가	n	연령대	연구방법	유병률
Bloem et al. (1990)	네덜란드	130	87세 이상	설문지 평가	16%
Sven et al. (1991)	스웨덴	476	50세 이상	설문지 평가	35%
Kawashima et al. (2004)	일본	1313	65세 이상	설문지 평가	13.8%
Roy et al. (2007)	미국	117	65세 이상	설문지 평가	33%
Holland et al. (2011)	영국	634	69세 이상	설문지 평가	11.4%
Serr-Prat et al. (2011)	스페인	254	70세 이상	V-VST	27.2%
Yang et al. (2013)	한국	415	65세 이상	설문지 평가	33.7%

* V-VST: Volume-Viscosity Swallow Test

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

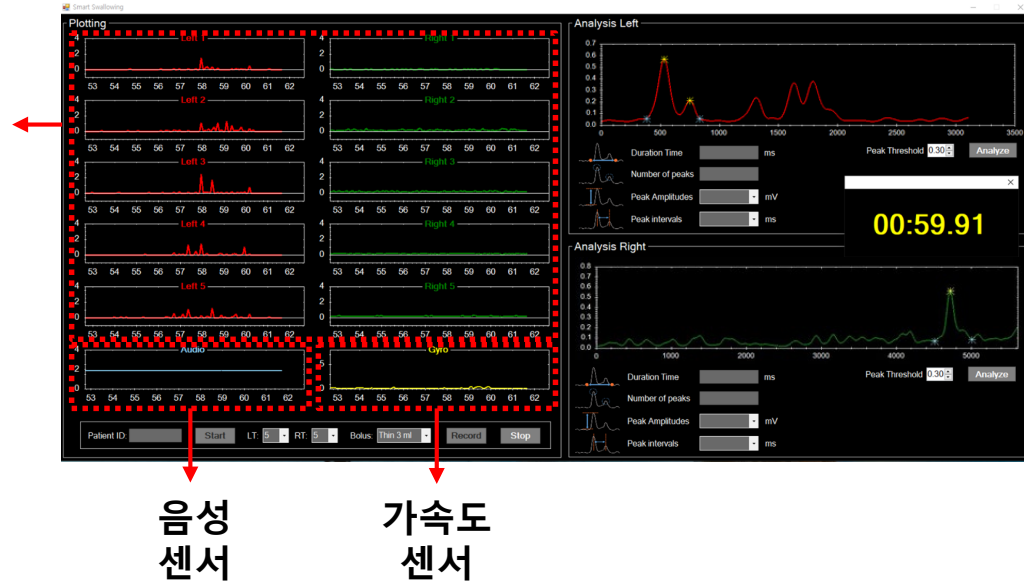


삼킴 신호의 임상학적 해석 필요성

- 선행 연구에서 초음파 도플러 센서 기반 삼킴 측정 장치(SMAS)가 개발됨
 - 측정되는 신호의 임상학적 의미 해석은 이루어지지 않음
- 임상에서 활용하기 위해 측정되는 **초음파 신호의 의미가 삼킴 운동을 기반으로 해석되어야 함**



초음파
Doppler sensor



삼킴 시 초음파 도플러 신호와 인후두 움직임 영상 비교 분석

1. 신호 및 영상 **측정 protocol** 정립
2. 삼킴 운동 기반 초음파 신호의 **임상학적 분석 protocol** 정립
3. 삼킴 운동 기반 초음파 신호의 **임상학적 해석** ($n = 10$)

측정 Protocol

총 30분/인

S1. 실험 설명 (5 min)

S2. 장비 착용 (5 min)

S3. 삼킴 측정 실험 (20 min)

S3-1. Thin liquid 삼킴

S3-2. Thick liquid 삼킴

- 실험 목적 설명
- 실험 참여 동의서 작성
- SMAS 착용 및 신호 확인
- VFSS 준비 및 영상 확인
- 각 삼킴에 대해 영상과 SMAS 3회씩
동시 측정
- 실험 진행 중 SMAS 신호 발생 여부 확인

실험 참여자

❖ $n = 10$ 명 남성 (20대 5명, 30대 5명)

❖ 실험 참여 조건

✓ 삼킴 질병 이력 없음

✓ 신경계 질환(뇌졸중, 파킨슨병, 치매, 운동신경원병 등) 이력 없음

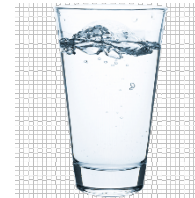
실험 환경

- ❖ SMAS 착용 후 VFSS 측정
- ❖ 4가지 삼킴 조건에 대해 3회씩 측정
 - ✓ Thin liquid (물): 3 ml/ 9 ml
 - ✓ Thick liquid (요플레): 3 ml/ 9 ml

SMAS 착용 예시



삼킴 대상



Thin
3 ml x 3회
9 ml x 3회



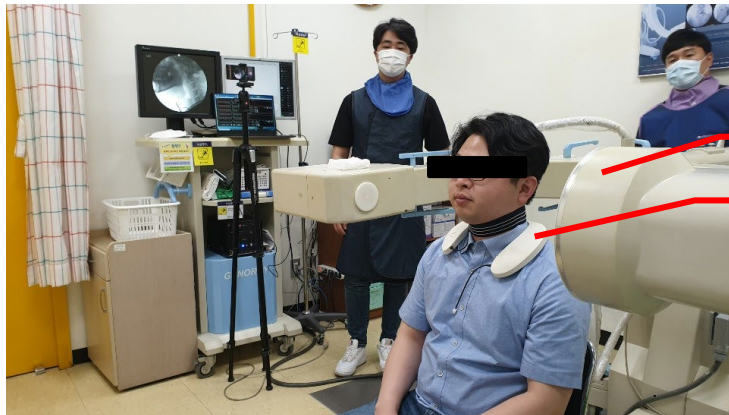
Thick
3 ml x 3회
9 ml x 3회

영상 촬영 방법

❖ 영상 촬영 protocol

- ✓ 실험참여자 SMAS 착용 후 신호 확인
- ✓ VFSS 측정 위치에 실험참여자 착석
- ✓ VFSS 화면과 SMAS 화면 동시 촬영

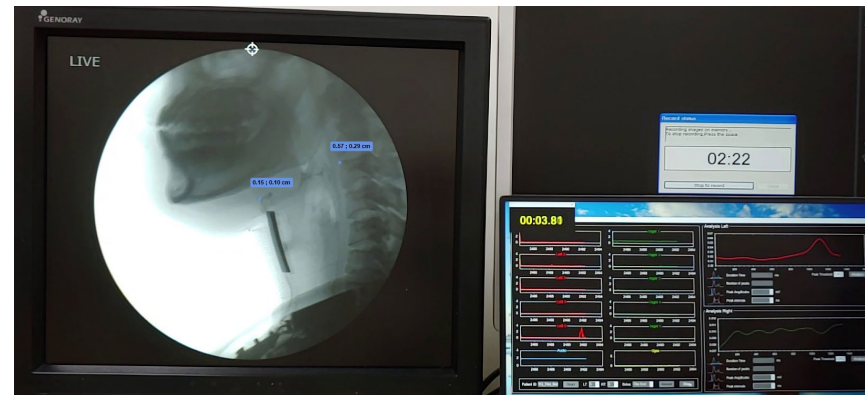
실험 진행 예시



VFSS

SMAS

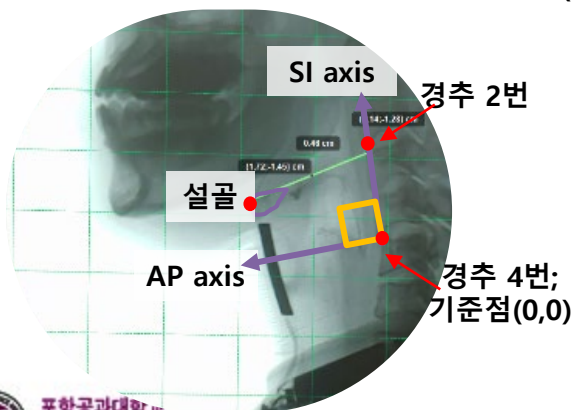
녹화 화면 예시



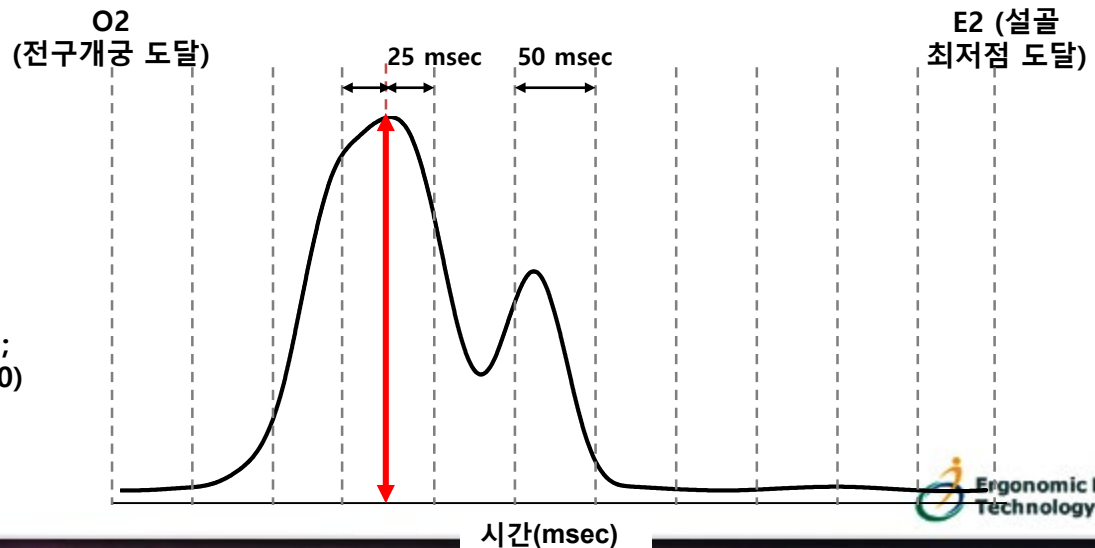
Data 분석 Protocol

- ❖ 영상 분석 프로그램 Kinovea를 통해 VFSS 영상 분석 진행
 1. Sync를 위해 측정 시작 시점의 frame 확인
 2. 삼킴 분석 구간(전구개궁 도달 ~ 설골 최저점 도달) 확인
 3. 구간 10등분
 4. 각 단계의 설골 위치 확인 및 위치 보정
- ❖ VFSS 영상 분석을 통한 설골 움직임과 SMAS 신호의 연관성 확인

설골 속도 추출

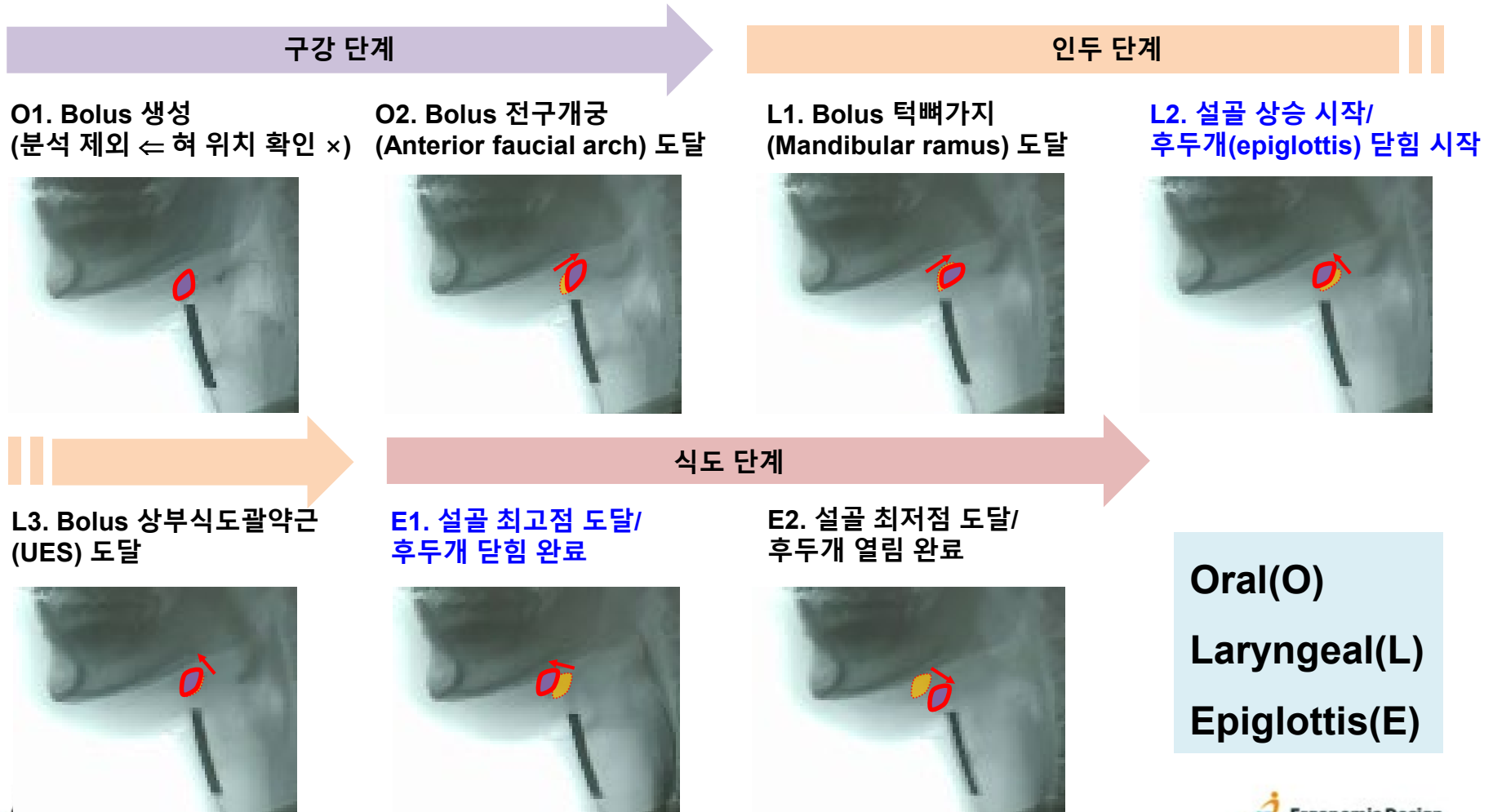


SMAS data 추출 예시



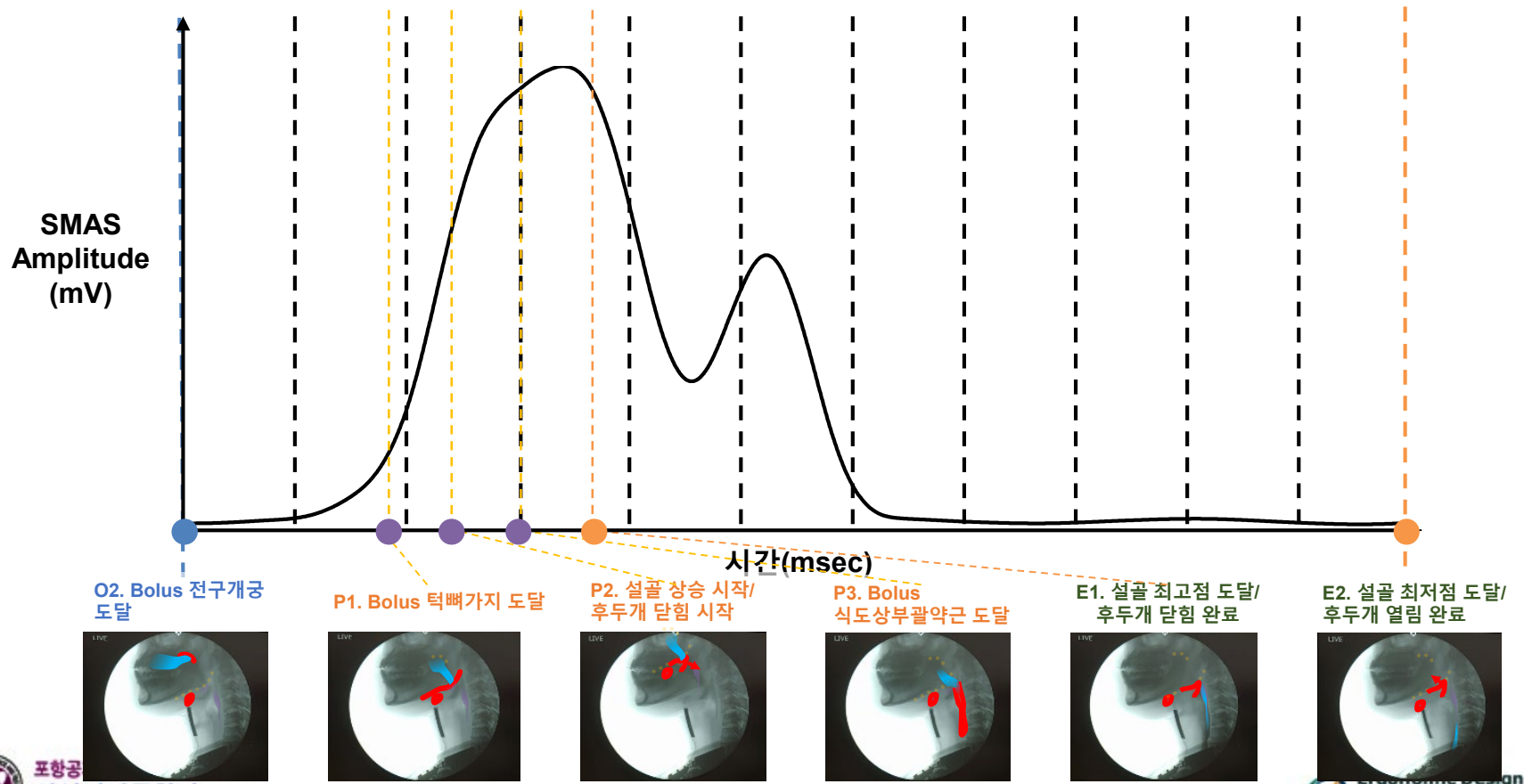
분석 구간 확인

❖ Kinovea를 통해 bolus 및 설골 움직임에 따라 분석 구간 확인



삼킴 단계 분할

- ❖ 사람마다 삼킴 시간이 다른 것을 보완하기 위해 1 cycle(O2(전구개궁 도달) ~ E2(설골 최저점 도달))을 10 등분

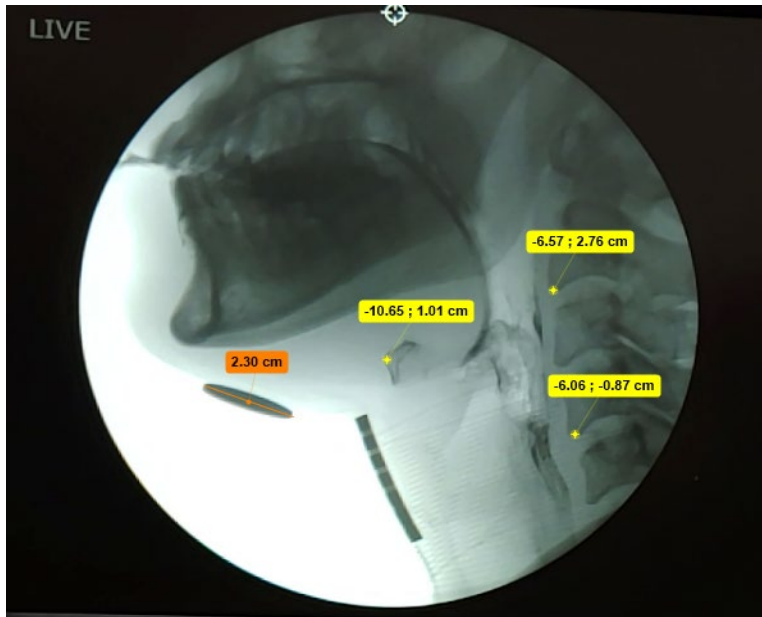


설골 위치 분석: Landmark 추출

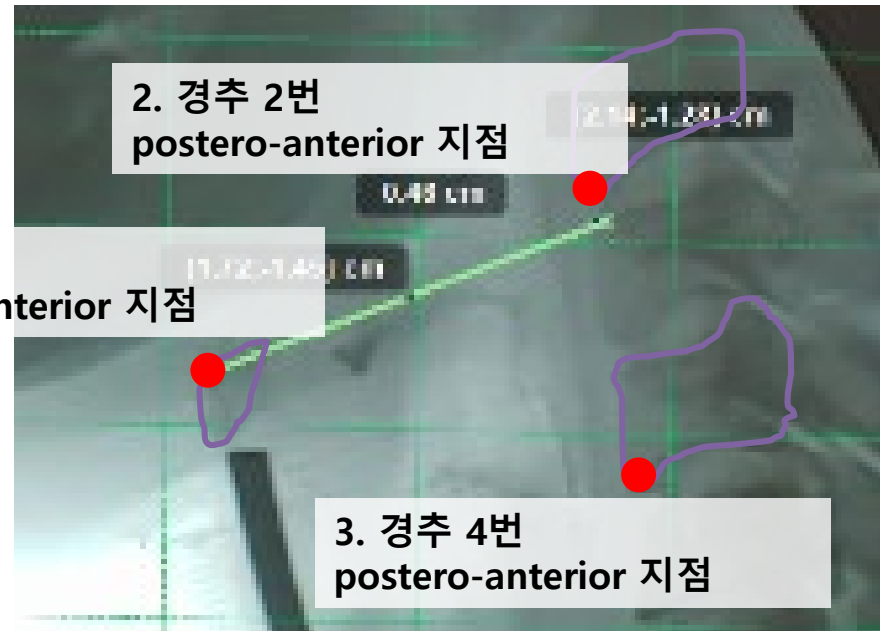
❖ 삼킴 구간마다 3개의 landmark 추출

1. 설골 supero-anterior
2. 경추 2번 postero-anterior
3. 경추 4번 postero-anterior

❖ 턱밑에 부착된 동전을 통해 calibration 진행(동전: 2.3 cm)



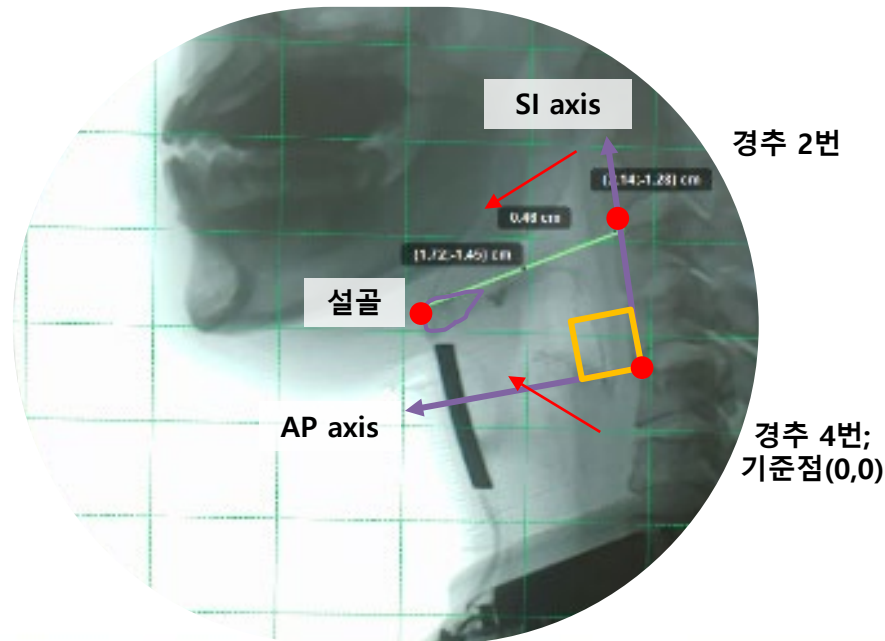
1. 설골 supero-anterior 지점



삼킴 단계별 설골 위치 분석: 움직임 보정 방법

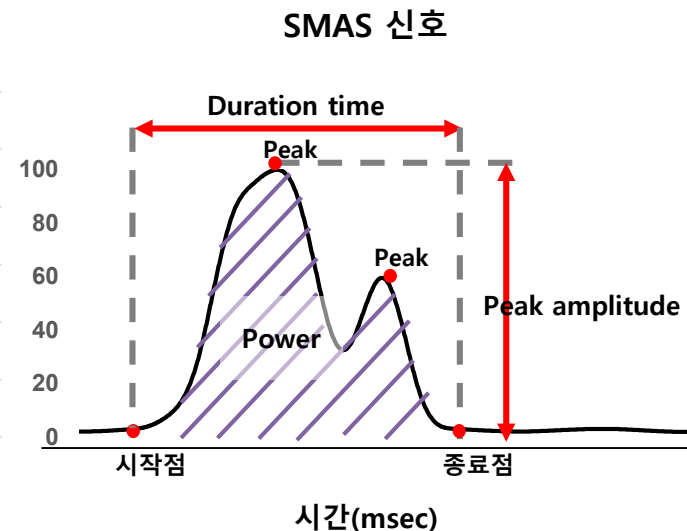
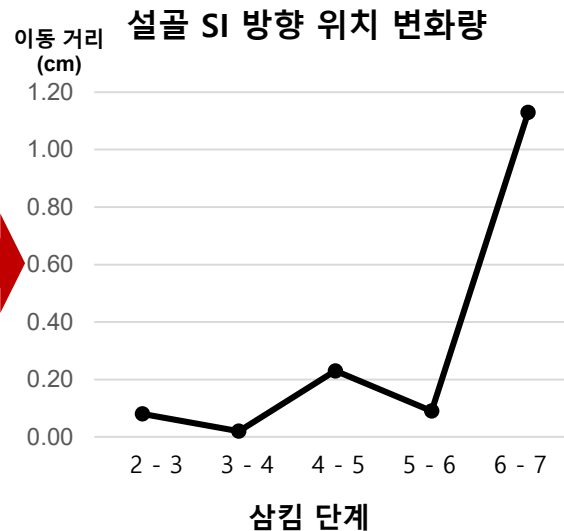
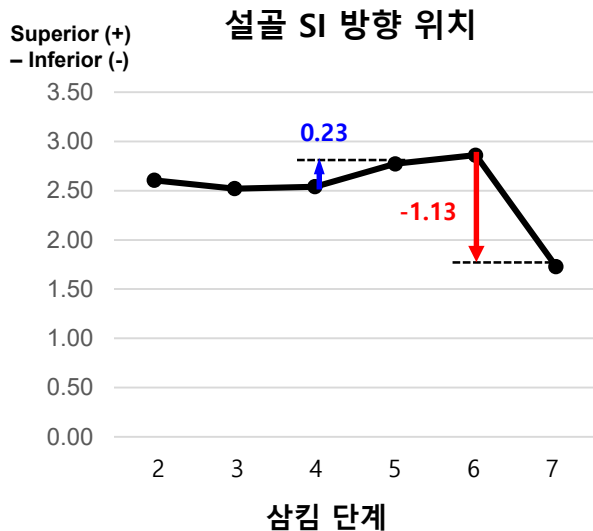
- ❖ 실험 대상자의 움직임에 의한 설골 위치 변화를 제거하기 위해 **경추 4번(기준점)**에 **superior-inferior(SI)**와 **anterior-posterior(AP)** 좌표축을 정의하여 **설골의 상대적 위치 측정**
 - ✓ SI axis: 경추 4번과 경추 2번을 잇는 직선 (Kim et al., 2010)
 - ✓ AP axis: SI 축과 수직을 이루는 전후방 방향 성분 생성

생체역학적 좌표계



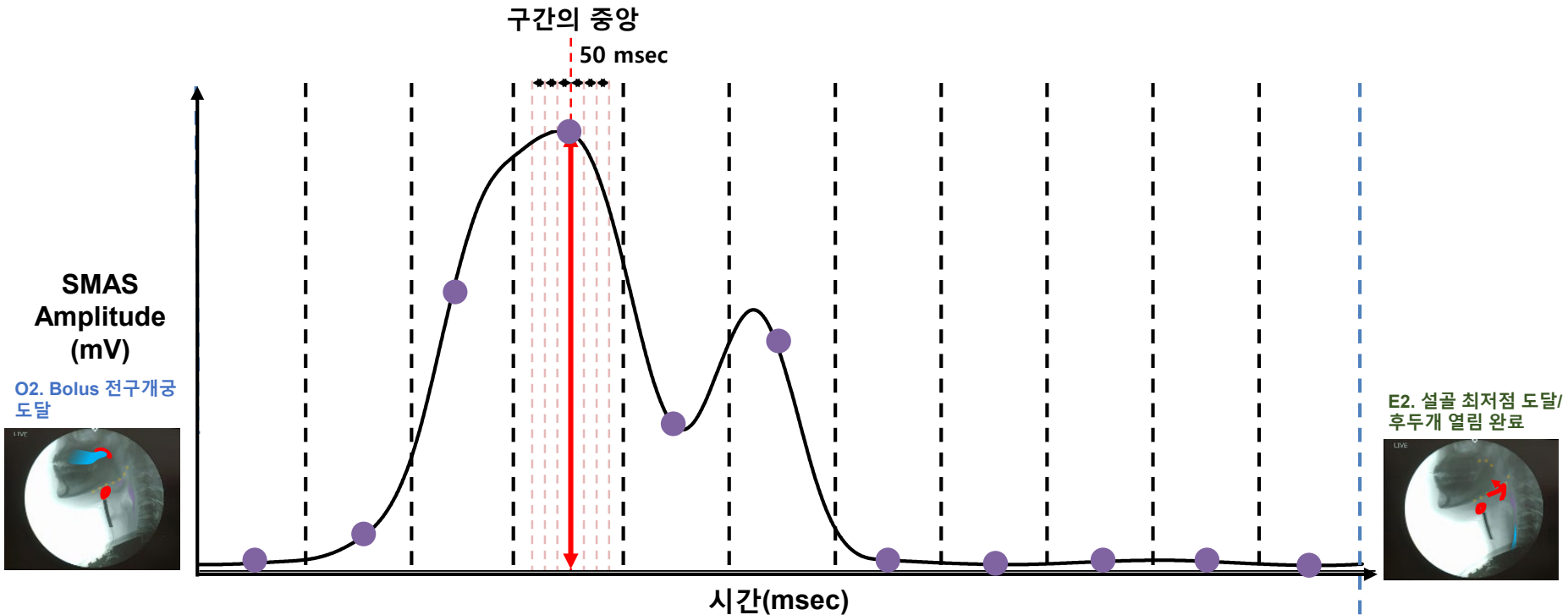
삼킴 단계별 설골 이동 분석 방법

- ❖ 측정된 설골 좌표 및 SMAS 신호를 통해 **삼킴 단계에 따른 설골 위치, 위치 변화량, SMAS 신호 경향에 대해 분석** 진행
 - ✓ 설골 위치: 삼킴 단계에 따른 superior-inferior (SI)와 anterior-posterior (AP) 방향 설골 위치 확인
 - ✓ 설골 위치 변화: 현재 단계를 기준으로 다음 단계의 설골 위치까지의 변화량 확인
 - ✓ SMAS 신호: 삼킴 단계 시점에 해당하는 amplitude 확인



삼킴 단계별 SMAS 신호 특성 분석

- ❖ 무선 송수신/ 영상 촬영으로 인해 발생할 수 있는 data delay를 보완하기 위해 추가 data 확인 진행
 - ✓ 중앙 지점 + 17/ 34/ 50/ 100/ 150 msec에 해당하는 10개의 amplitude 추가 확인



Data 분석 방법

- ❖ SMAS 측정 시작 시 제공된 **시각적 point**를 기준으로 **sync**
 - ✓ 1 frame 단위로 분석시 단계적으로 highlight가 나타나는 것이 확인됨
 - ✓ 기준점: **최초 highlight가 발생하는 frame**

Highlight 화면 영상

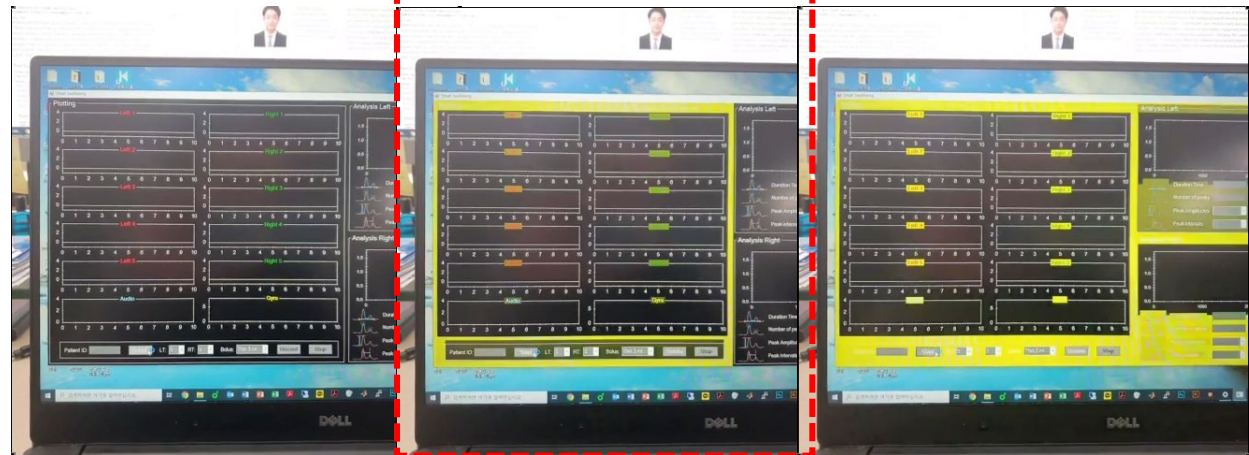
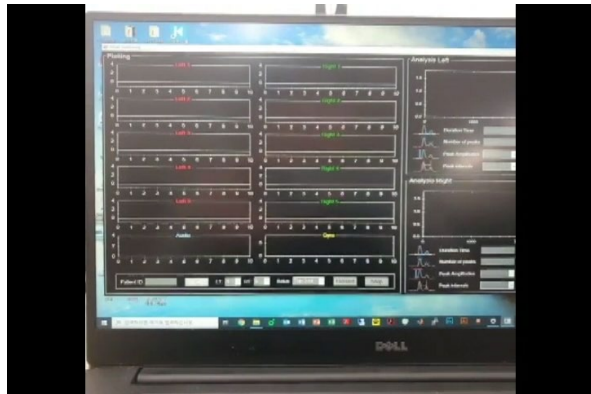
Highlight 화면 예시

기준점

기준

+ 1 frame

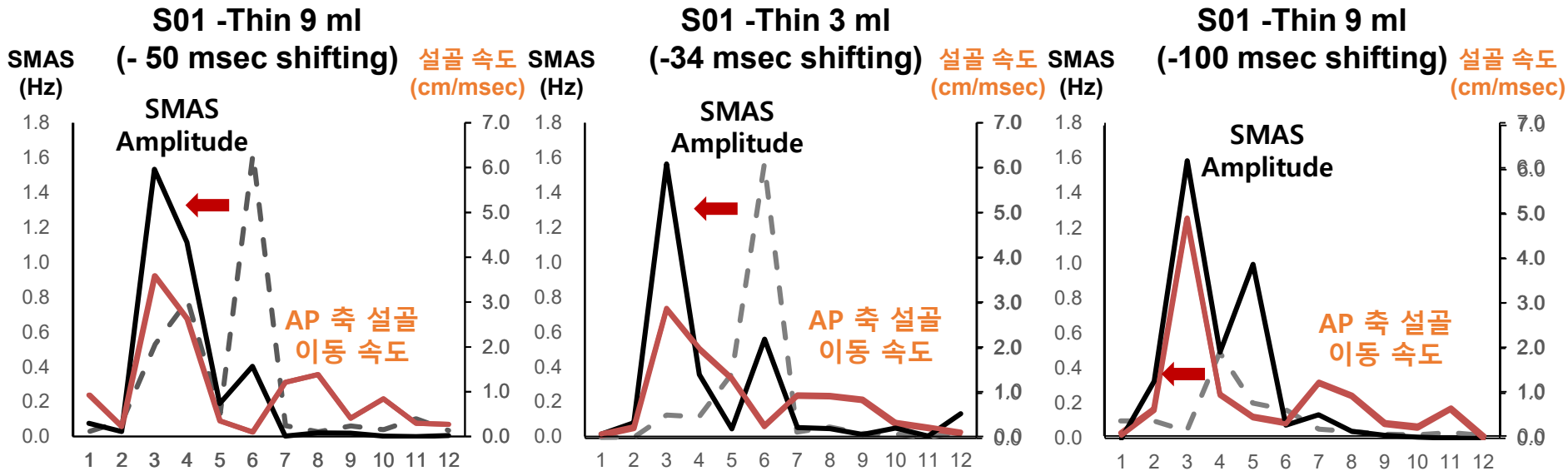
+ 2 frame



삼킴 단계별 SMAS 신호 특성 분석 결과

❖ Data delay를 보완하기 위해 추가 data를 통해 data shifting 진행

실험 참여자	실험 물성	Correlation with SMAS 중앙값										
		-0.15	-0.1	-0.05	-0.34	-0.17	중앙	0.17	0.34	0.05	0.1	0.15
S01	Thin 9ml	0.20	0.17	0.86	0.61	0.70	0.15	0.57	0.90	0.35	0.33	0.42
S01	Thin 3ml	0.00	-0.07	0.32	0.73	0.39	-0.09	0.53	-0.07	0.06	0.76	0.29
S01	Thick 9ml	0.37	0.81	0.28	0.22	0.32	-0.06	0.01	0.17	-0.21	0.50	0.13



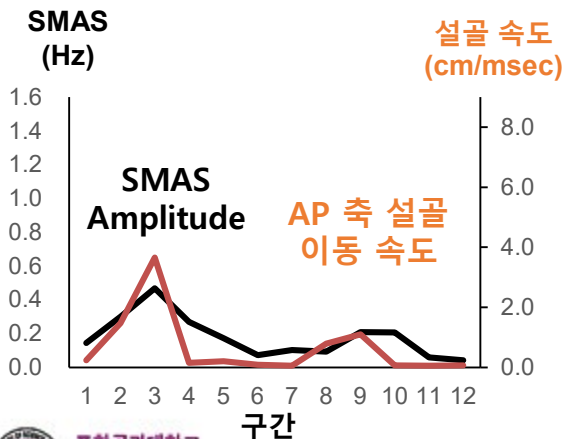
Data 분석 결과

❖ Correlation 확인 예시

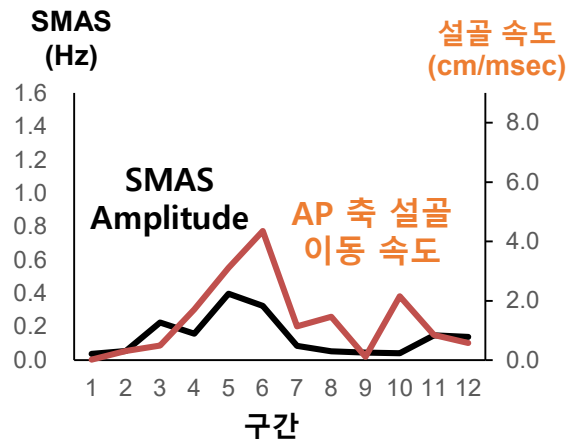
실험 참여자	실험 물성	Correlation with SMAS 증양값																	
		증양	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.95	1	1.05	1.1	1.15	1.2
S01	Thin 3ml	-0.32	-0.20	-0.27	0.02	0.48	0.31	0.43	0.24	0.13	0.03	-0.03	0.01	0.13	0.39	0.73	0.71	0.32	0.01
S01	Thin 9ml	-0.27	-0.40	-0.44	-0.13	-0.03	-0.13	0.19	0.57	0.66	0.54	0.23	0.05	0.10	0.22	0.34	0.32	0.11	-0.10
S01	Thick 3ml	-0.26	-0.21	0.00	-0.11	0.00	0.22	0.34	0.63	0.72	0.76	0.70	0.56	0.39	0.23	0.03	-0.27	-0.49	-0.59
S01	Thick 9ml	0.11	-0.13	-0.27	-0.30	-0.24	-0.28	-0.26	0.08	0.09	0.02	0.13	0.56	0.83	0.77	0.49	0.27	0.32	0.36
S02	Thin 9ml	-0.22	-0.24	-0.29	-0.39	-0.38	-0.34	-0.28	-0.17	-0.06	0.13	0.40	0.58	0.64	0.64	0.69	0.64	0.39	0.13
S02	Thick 3ml	-0.47	-0.38	-0.38	-0.45	-0.42	-0.37	-0.08	0.19	0.26	0.28	0.30	0.39	0.57	0.67	0.55	0.31	0.14	0.04

Correlation 확인 예시

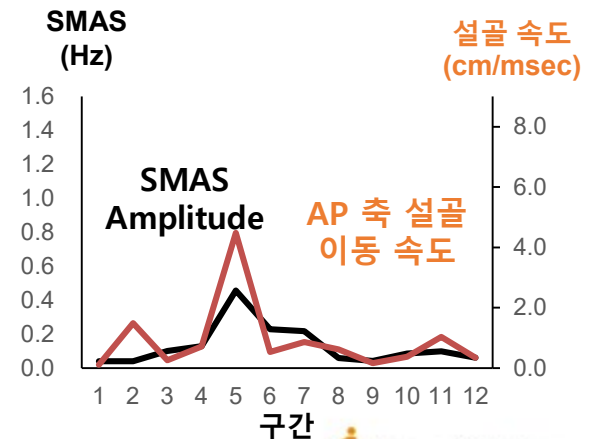
S01 Thin 3ml (1050 msec)



S01 Thick 3ml (800 msec)



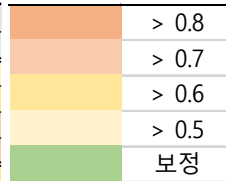
S01 Thick 9ml (950 msec)



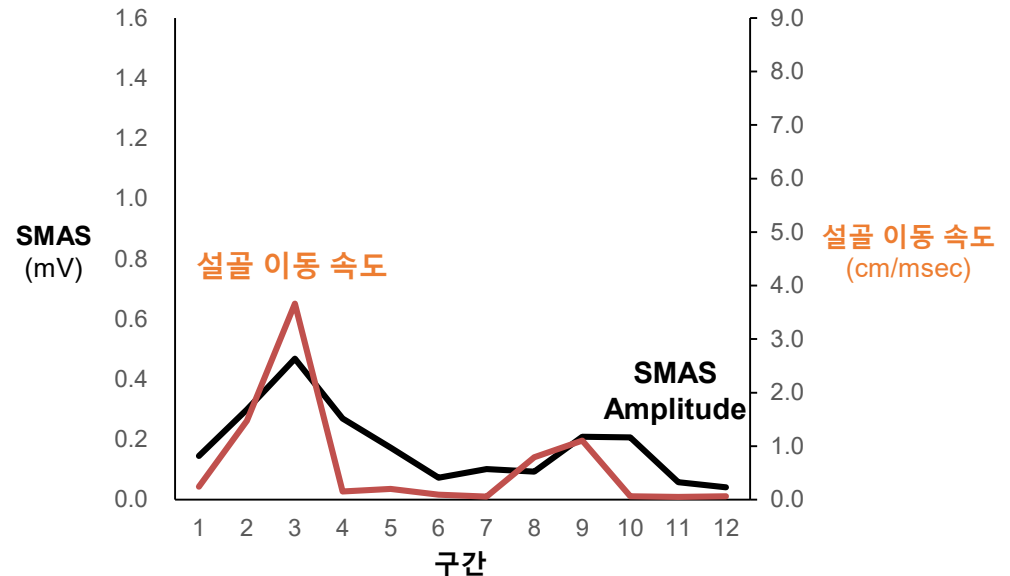
삼킴 단계별 SMAS 신호 특성 분석 결과

- ❖ Pearson correlation 분석을 통해 **SMAS와 설골의 AP 방향, SI 방향, AP&SI 2차원 이동 속도의 연관성 분석**
- ❖ **설골 AP 방향 이동 속도가 평균 $R^2 = 0.69$ 로 가장 높은 연관성이 확인됨**

실험 참여자	실험 물성	Correlation		
		AP	SI	AP&SI
S01	Thin 3ml	0.73	0.43	0.52
S01	Thin 9ml	0.66	0.51	0.63
S01	Thick 3ml	0.76	0.61	0.71
S01	Thick 9ml	0.83	0.50	0.75
S02	Thin 9ml	0.69	0.42	0.70
S02	Thick 3ml	0.67	0.55	0.56
S04	Thin 3ml	0.87	0.56	0.82
S04	Thin 9ml	0.59	0.49	0.41
S04	Thick 3ml	0.79	0.45	0.36
S04	Thick 9ml	0.64	0.56	0.39
S05	Thin 3ml	0.76	0.56	0.60
S05	Thin 9ml	0.87	0.64	0.52
S05	Thick 3ml	0.72	0.71	0.45
S05	Thick 9ml	0.86	0.82	0.65
S06	Thin 3ml	0.58	0.43	0.55
S06	Thin 9ml	0.81	0.86	0.86
S06	Thick 3ml	0.47	0.55	0.59
S06	Thick 9ml	0.72	0.48	0.62
S08	Thin 3ml	0.71	0.72	0.77
S08	Thin 9ml	0.40	0.66	0.32
S08	Thick 3ml	0.63	0.21	0.30
S09	Thin 3ml	0.74	0.66	0.38
S09	Thin 9ml	0.67	0.31	0.32
S09	Thick 3ml	0.82	0.69	0.41
S09	Thick 9ml	0.29	0.52	0.44
S10	Thin 3ml	0.37	0.37	0.35
S10	Thin 9ml	0.64	0.63	0.65
S10	Thick 3ml	0.83	0.13	0.68
S10	Thick 9ml	0.85	0.47	0.76
평균		0.69	0.54	0.55



설골 AP 방향 이동 속도에 따른 SMAS 신호 예 (S01, Thin 3ml)

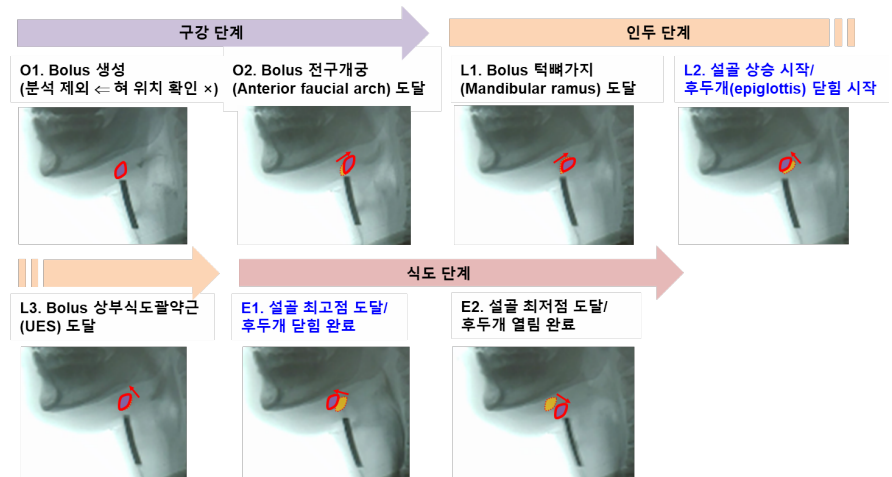
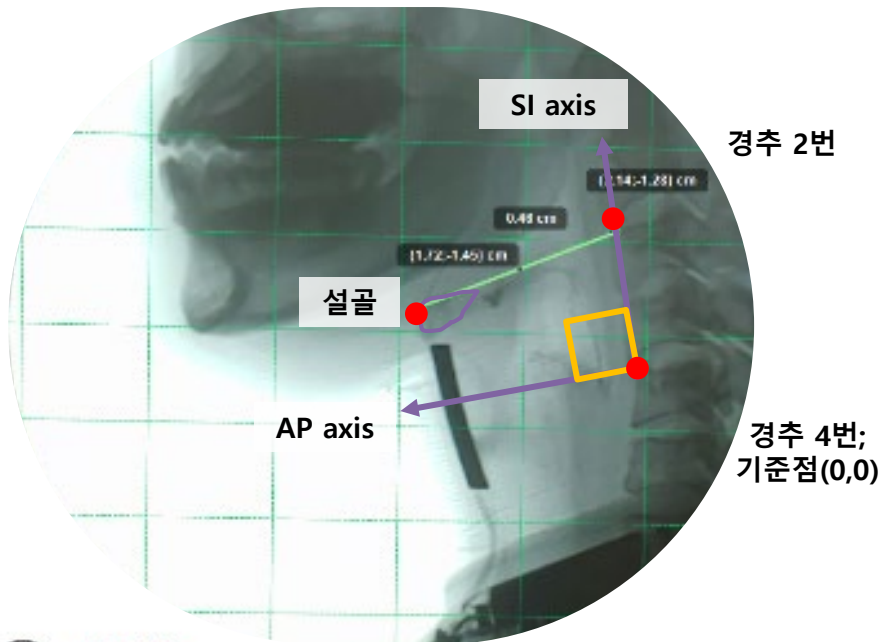


Discussion (1/3)

□ 삼킴 운동 기반 초음파 신호의 임상학적 분석 protocol 정립

- ✓ 참여자의 움직임을 보정할 수 있는 생체역학적 좌표축 수립
- ✓ 설골 및 bolus 위치에 따른 삼킴 단계 10 분할
- ✓ 삼킴 단계에 따른 설골 이동 거리 및 설골 이동 속도 확인

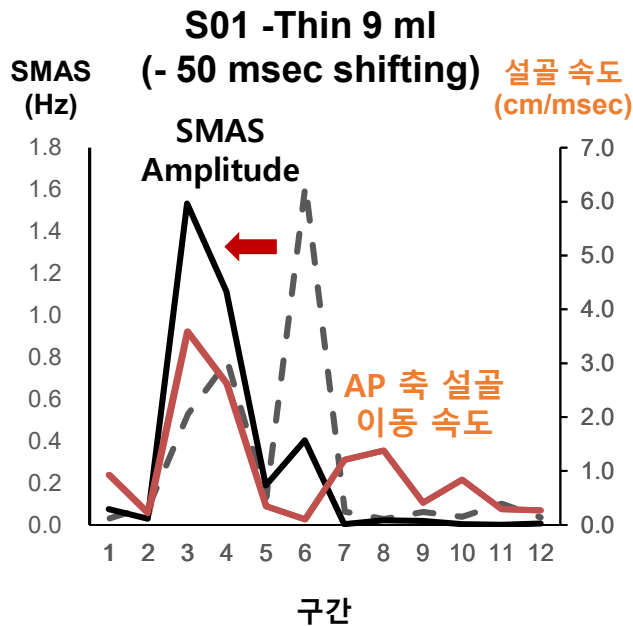
생체역학적 좌표계



Discussion (2/3)

□ 개발된 SMAS의 임상학적 활용 가능성 확인

- ✓ 삼킴 단계에 따른 설골 이동 속도와 SMAS 신호 비교 평가
- ✓ 설골의 AP축 방향 속도와 SMAS 신호의 높은 연관성 확인
- ✓ 삼킴 bolus 종류, 양에 관계 없이 설골과 SMAS 신호의 높은 연관성 확인



실험 참여자	실험 물성	Correlation with SMAS 증양값										
		-0.15	-0.1	-0.05	-0.34	-0.17	중앙	0.17	0.34	0.05	0.1	0.15
S01	Thin 9ml	0.20	0.17	0.86	0.61	0.70	0.15	0.57	0.90	0.35	0.33	0.42
S01	Thin 3ml	0.00	-0.07	0.32	0.73	0.39	-0.09	0.53	-0.07	0.06	0.76	0.29
S01	Thick 9ml	0.37	0.81	0.28	0.22	0.32	-0.06	0.01	0.17	-0.21	0.50	0.13

실험 참여자	실험 물성	Correlation with SMAS 증양값																	
		-0.150	-0.100	-0.093	-0.085	-0.077	-0.068	-0.059	-0.050	-0.042	-0.034	-0.026	-0.017	중앙	0.017	0.034	0.05	0.1	0.15
S01	Thin 9ml	0.30	0.53	0.56	0.60	0.62	0.65	0.66	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.66	0.64	0.61	0.46	0.36
S01	Thin 3ml	0.29	0.44	0.46	0.49	0.51	0.54	0.56	0.58	0.60	0.61	0.63	0.64	0.68	0.71	0.75	0.78	0.82	0.41
S02	Thin 9ml	0.29	0.47	0.51	0.56	0.61	0.66	0.70	0.74	0.77	0.79	0.80	0.82	0.82	0.82	0.79	0.76	0.53	0.38
S02	Thin 3ml	0.41	0.60	0.62	0.65	0.67	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.82	0.82	0.81	0.71	0.55

Discussion (3/3)

□ Contribution

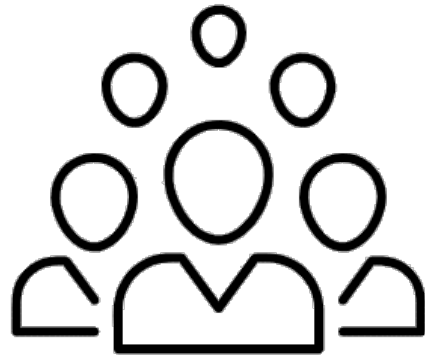
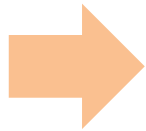
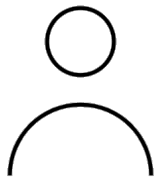
- ✓ SMAS 신호의 임상학적 활용 가능성을 확인하여 삼킴 장애 판별의 편리성에 기여할 수 있음
- ✓ 비침습적이고 객관적인 측정 방법으로 삼킴 장애 평가에 활용
- ✓ 개발된 분석 protocol은 영상기반 장비와 전기신호 기반 장비가 측정하는 data를 비교하여 연관성과 의미를 해석하는데 활용할 수 있음



초음파
Doppler sensor

추후 연구

- 삼킴 장애 증상별로 발생할 수 있는 SMAS 신호 특성에 대한 연구 필요
- SMAS를 활용하여 삼킴 장애를 판별하기 위해 다수의 정상인과 환자를 대상으로 측정된 normative data의 구축



경청해 주셔서 감사합니다.



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