



초음파 도플러 센서 기반 삼킴 모니터링 시스템을 활용한 웰니스 및 메디컬 서비스 개발



최영근, 김민재, 고정배, 유희천
포항공과대학교 산업경영공학과 인간공학설계기술 연구실

2018 대한인간공학회 춘계학술대회

Global Contributor to Eco-Techno-Humanopia

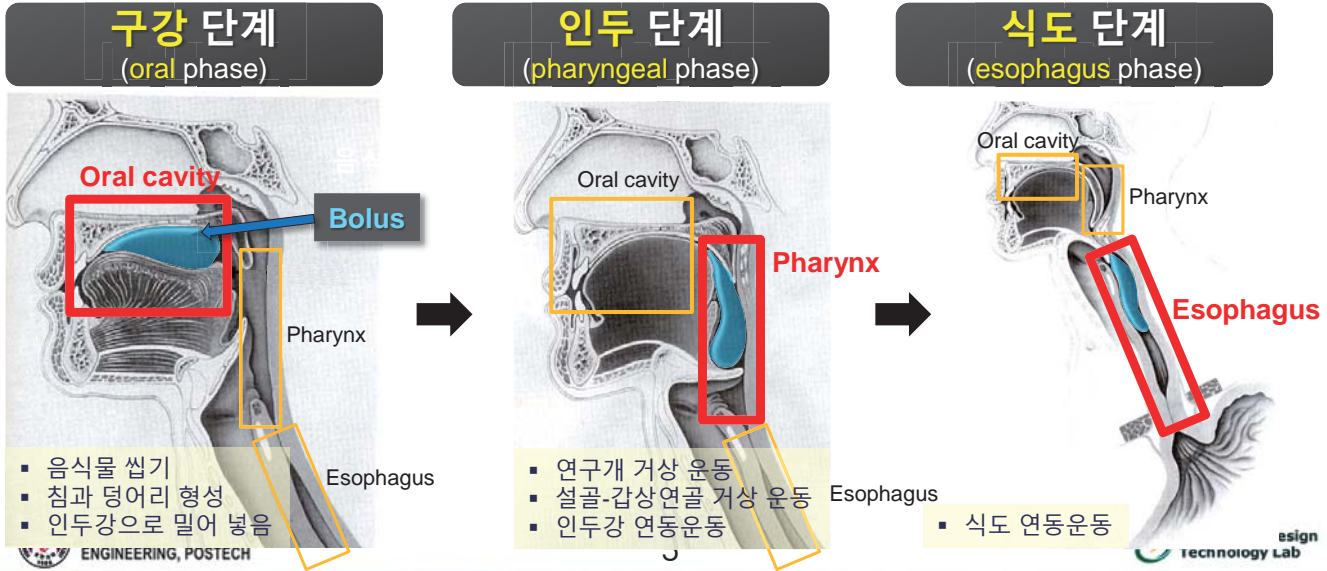
Contents

- 연구 배경
- 연구 목적
- 초음파 도플러 센서 기반 삼킴 모니터링 시스템
- 삼킴 모니터링 서비스 시나리오 개발
- Discussion



삼킴의 임상적 정의

- **구강 단계:** 음식을 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 음식을 위까지 이동시키는 단계로써, 목의 내부적 움직임을 관찰할 수 있는 특화된 검사 장비를 통해서만 정확한 구조와 기능의 측정이 가능함



기존 삼킴 기능 검사 장비

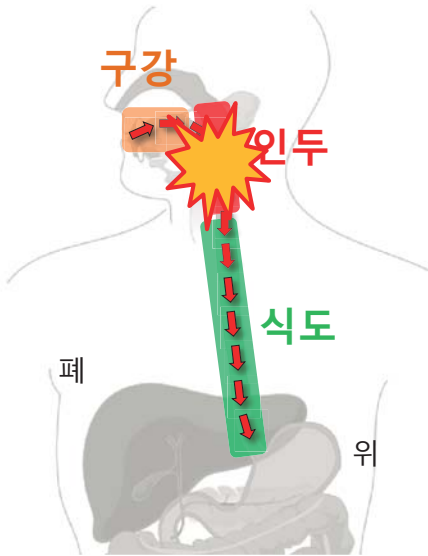
- 기존 장비들은 방사선을 사용하거나 체내에 내시경을 삽입하여 **환자의 안전과 안락성 측면에서 한계**
- 삼킴 기능을 보다 **안전하고 정량적으로 평가할 수 있는 기술 개발 필요**

	비디오 투시 조영 검사 장치 (Videofluoroscopic Swallowing Study, VFSS)	비디오 내시경 검사 장치 (Fiberoptic Endoscopic Evaluation of Swallowing, FEES)
Illustration		
Method	<ul style="list-style-type: none"> X-ray를 이용하여 형광 screen의 투시되는 영상 기록 삼키는 동작의 기능적인 이상 여부를 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 유연한 내시경(flexible endoscope)을 코를 통해 구강에 삽입하여 음식을 삼키기 전과 후를 비교
Limitation	<ul style="list-style-type: none"> 임상가: 삼킴에 관여하는 해부학적 구조를 육안으로 확인 환자: 방사선에 노출되어야 함 	<ul style="list-style-type: none"> 임상가: 삼킴 시의 구강 및 인두 기능에 대한 확인이 어려움 환자: 코에 내시경을 삽입하는 침습 검사

삼킴 장애(Dysphagia)

□ 삼킴 시 방해나 어려움이 발생하는 상태 (Leopold and Kagel, 1996)

✓ 구강 단계, 인두 단계, 식도 단계 중 인두 단계에서의 검사가 어렵고 많은 문제점이 발생



Normal



Video

Abnormal



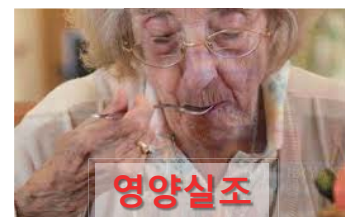
Video

삼킴 장애의 중요성

□ 흡인(aspiration), 폐렴(pneumonia), 탈수(dehydration), 영양실조(malnutrition) 등을 유발하여 삶의 질을 저하시킴 (Ekberg et al, 2002)

□ 흡인성 폐렴이 유발되어 심해지면 사망에 이를 수 있음 (Sasaki, 1991)

⇒ 삼킴 장애 환자의 과학적 진단, 신속한 치료 및 관리가 중요함



노인성 삼킴 장애 (Presbyphagia)

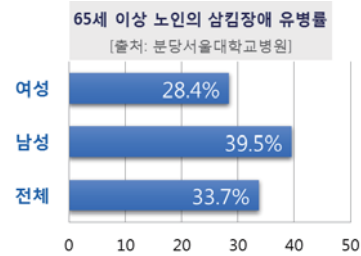
□ 노화에 따른 삼킴 관련 신체 구조 및 기능의 퇴화에 기인한 삼킴 기능의 감퇴



노인성 삼킴 장애 유병률
11%~35%

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

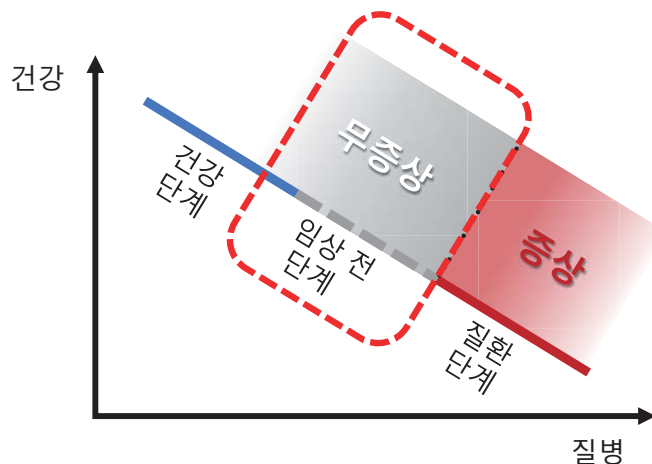


조기 탐지의 필요성

□ 증상이 드러나지 않는 '임상전 단계'에서 삼킴 문제를 조기 탐지하여 중재 필요

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

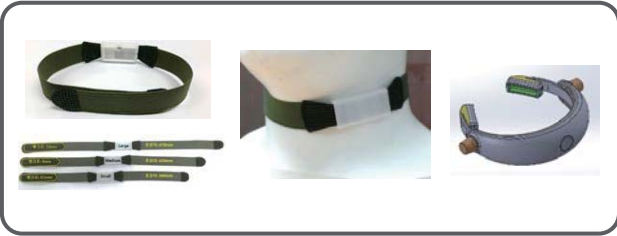
건강-질병 연속선 모델



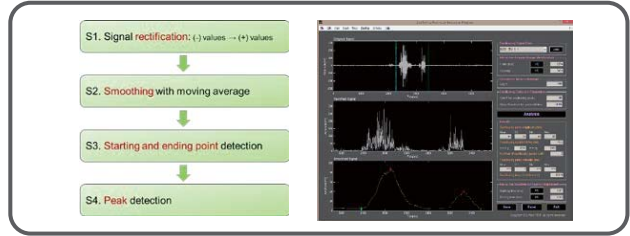
연구 목표

삼킴 장애의 효과적인 조기 선별을 위한 삼킴 모니터링 시스템 및 서비스 개발

1. 초음파 도플러 센서 기반 측정 장비 개발



2. 삼킴 능력 정량화 protocol 정립

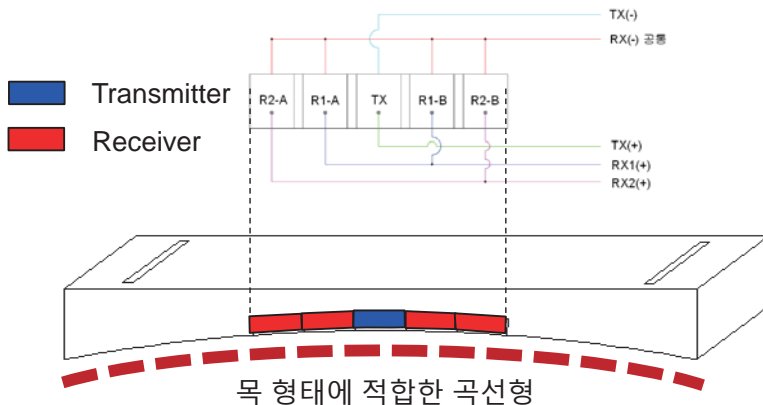


3. 삼킴 모니터링 서비스 개발



초음파 도플러 센서 기반 측정 장비 개발

- 초음파 도플러 센서를 사용하여 삼킴 시 인두기관의 움직임을 측정하는 장비 개발
- 1개의 transmitter와 4개의 receiver로 구성된 밴드형 제품



Frequency	2 MHz
Element count	3
Element length	5 mm
Kurf	1 mm

Pitch	6 mm
Element width	6 mm
Wire	Micro coaxial cable (100pF)
Transducer surface radius	158R

사용성 평가를 통한 문제점 및 개선 방향 파악

설계 현황			문제점	개선방향		
형태/구조	형태	직선형태	곡선형태 목라인에 적합치 않음		곡선형태	
	두께	27 mm	착용불편 및 뒤집힘 현상 발생		2 mm	
	길이	40 mm	센서삽입부의 불필요한 공간 최소화 필요		35 mm	
재질	밴드부	고무	착용감, 디자인측면 개선 필요		플라스틱 탄력소재 적용	
	센서부	RP소재	RP소재로 강도 약함			
밴드부착 위치	센서부 바깥쪽	통로형태	밴드가 센서부 바깥쪽에 부착 센서부가 뒤집히는 현상 발생 센서부 부착력 향상 필요		센서부 중앙통과 형태	

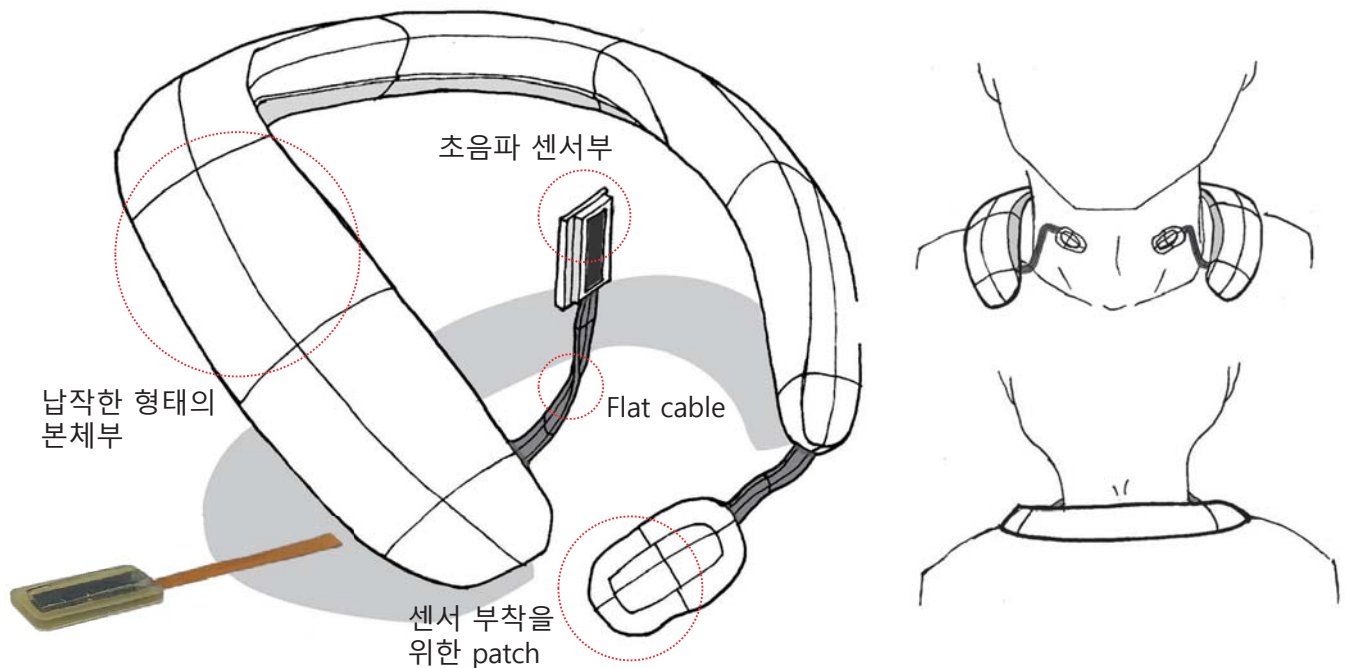
2세대 시제품 개발

- 다양한 목둘레의 사용자들이 **쉽고 편안하게 착용 가능한 neck-band형** 설계
- 초음파 sensor가 목의 양쪽에 위치하여 **삼킴 운동의 대칭성을 확인**할 수 있음



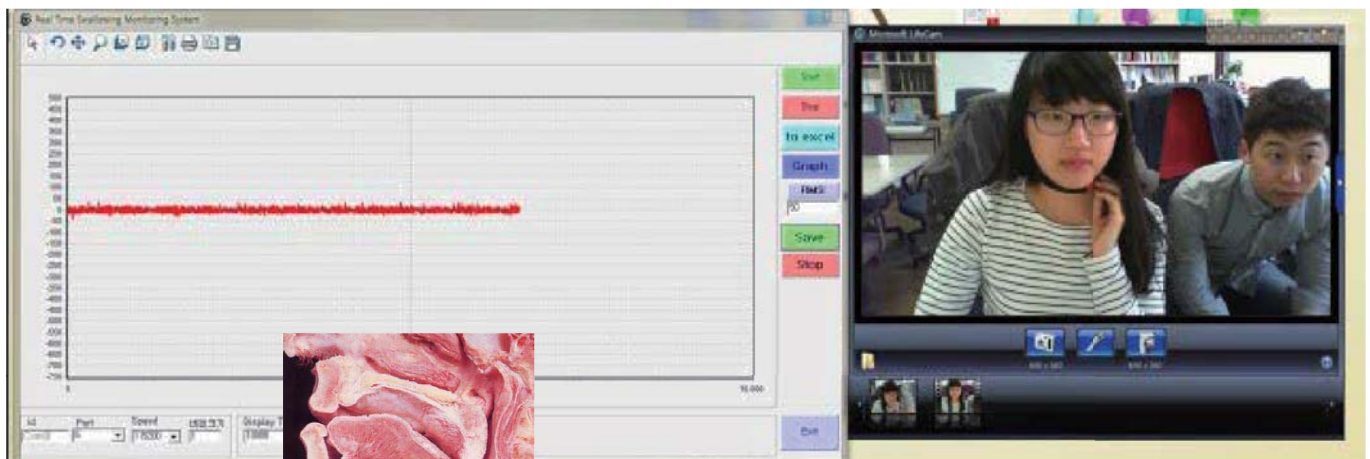
신규 시제품 개발

- VFSS 영상과의 간섭을 최소화하도록 slim한 hard-band type
- 다양한 크기의 neck에 적절한 위치하여 부착되도록 flexible cable이 적용된 sensor



삼킴 기능 모니터링 SW 개발

- 삼킴 시 초음파 도플러 센서로 측정된 목 내부 움직임 중 인후두(laryngopharynx) 상하 움직임을 전기적 신호로 변환

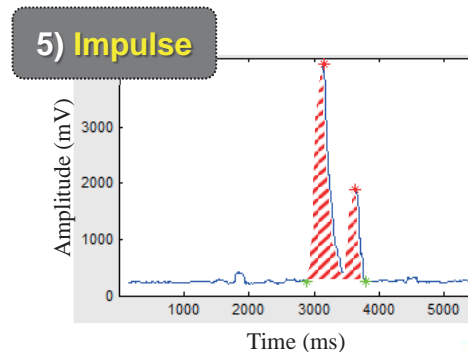
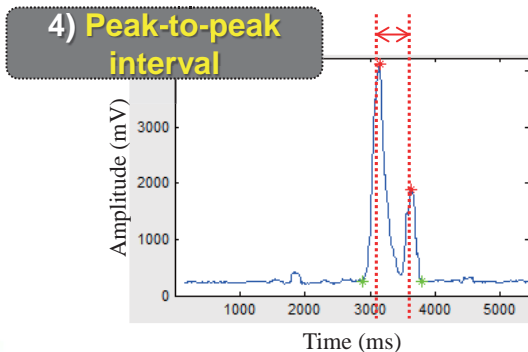
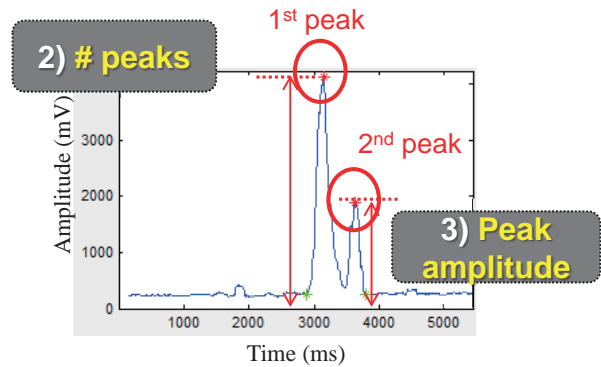
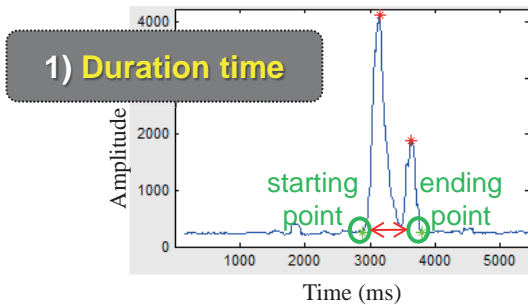


laryngopharynx

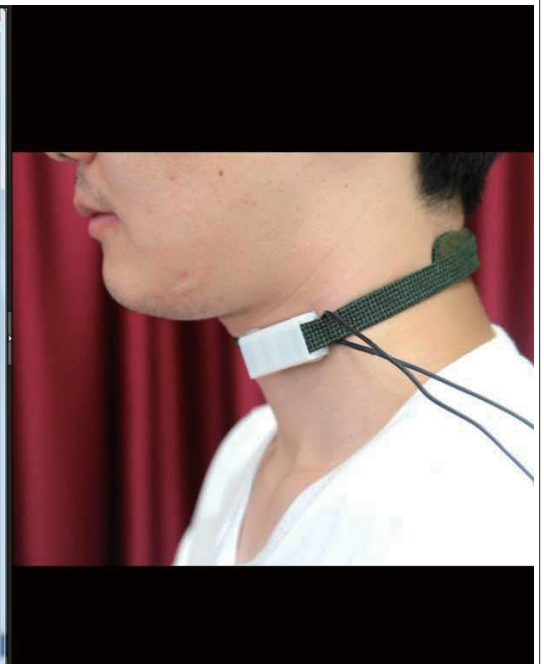
삼킴 정량화 Protocol 정립: 정량화 척도

□ 초음파 신호를 processing하여 추출된 peaks, starting/ending points를 참조하여

5가지 삼킴 정량화 척도 정립



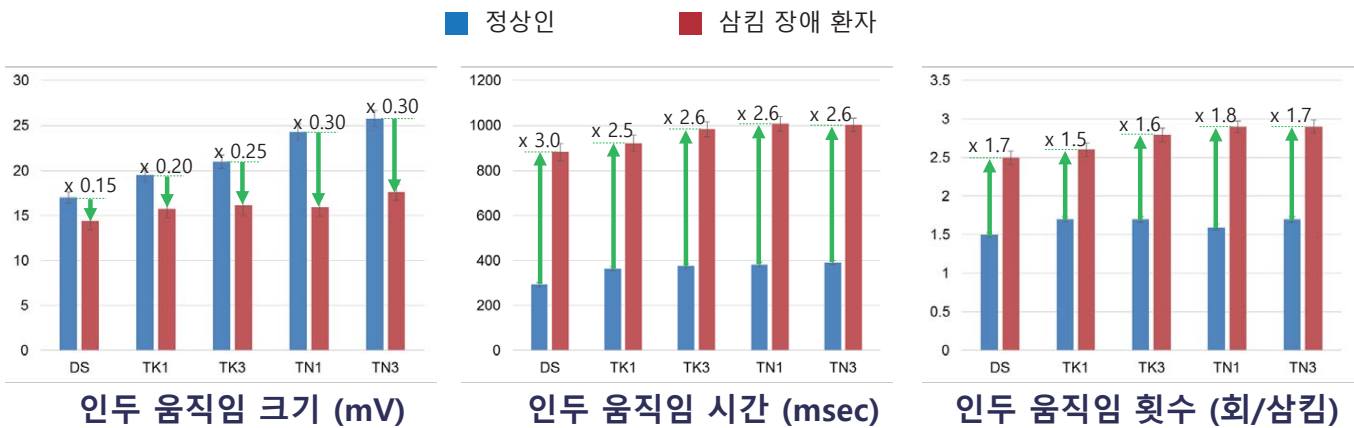
삼킴 능력 측정 및 분석 시스템 Demo



삼킴 특성 분석 임상시험 수행

□ 40 ~ 60대 정상인 120명, 삼킴 장애 환자 36명을 대상으로 초음파 기반 삼킴 정량 분석 결과 인두의 움직임 크기, 시간, 횟수에서 통계적으로 유의한 차이가 나타남을 파악하였음

정상인과 삼킴 장애 환자 특성 비교



(note) DS: dry saliva; TK1 & TK3: 1 ml & 3 ml of thick liquid; TN1 & TN3: 1 ml & 3 ml of thin liquid

서비스 개발: 이해관계자 요구 사항 조사

- 설문 대상: 6명(작업 치료사) + 2명(삼킴 전문의) + 4명(언어 치료사)
- 설문 방법: 설문지 작성 후 focus group discussion 수행
- 설문 내용
 - 삼킴 장애 환자 **재활 치료** 및 **치료 효과 평가** 시 불편 사항 및 **개선 요구 사항**
 - 개발된 삼킴 측정 **장비** 및 **분석 S/W**의 **활용 방안**
 - **추가 필요 기능** 및 **보완점**



이해관계자 요구 사항: 불편 사항

구분		불편 사항	개선 방향
분석/평가	후두 뒤편 움직임	후두 뒤편 닫힘 유무의 시각적 관찰이 어려움 → Aspiration/penetration 평가 불가	초음파 신호를 통한 후두 뒤편 움직임 정량적 분석
	유관 근육 움직임	시각적 관찰을 통한 근육 움직임 파악 → 정확성 낮음	초음파 신호를 통해 유관 근육 움직임을 정량적으로 분석 필요
	검사 과정	유해 물질(바륨) 섭취에 따른 불편	자연스러운 상황에서 삼킴 능력을 측정할 수 있는 기술 개발
진단	환자 심리	심리적 요인 및 당일 컨디션에 따른 검사 결과 편차가 큼	자연스러운 일상 생활 중 측정된 데이터를 기반으로 삼킴 능력 분석
치료	참여 유도	인지 장애를 동반한 환자는 치료 학습성이 낮으며 치료에 소극적임	시각 매체를 통한 검사 방법 및 삼킴 장애의 위험성 전파
	Self-운동 도구	환자 스스로 운동 가능한 도구가 부족하며 흥미 유발 요소가 부재함	장애 증상 별 Self-운동 매뉴얼 제공 및 게임 요소 추가를 통한 흥미 유발

이해관계자 요구 사항: 불편 사항

구분		불편 사항	개선 방향
치료 효과 평가	치료 효과 피드백	치료 후 환자 경과 관련 주기적, 정량적 피드백이 부재함	주기적인 분석 결과 리포트 공유 (with 담당 의료진 및 보호자)
	실시간 분석	음식물을 넘기는 순간의 실시간 포착이 어려움	초음파 신호를 통한 음식 섭취 순간의 삼킴 요인 분석(분석 방법 검토 필요)
기타	분석 결과 제시	환자들이 알아보기 힘든 수치 위주로 결과가 제시되고 있음	노년층을 고려하여 색, 그림 등 직관적인 UI/UX 설계 필요
		일시적인 삼킴 능력에 대한 결과만 제시되고 있음	주/월간 삼킴 기능 상태 비교 분석 결과 제공
	재활 운동	병원 치료 이후 가정에서 활용 가능한 재활 정보가 필요함	삼킴 장애 재활을 위한 운동 방법 매뉴얼 제공
	H/W	Patch 위치를 정하기 어렵고 유선으로 메인 장비와 연결되어 부착한 채 일상생활을 하기 어려움	장비 착용 시 사용자 움직임 및 식사에 방해가 되지 않도록 설계
방사선 노출 위험 존재		비침습적 기기를 통한 측정	
		착용성, 내구성, 청결성, 착용 위치 및 움직임에 의한 측정치 오차	H/W 설계 시 고려

이해관계자 요구 사항: 개발된 시스템의 활용 방안

구분		활용 방안
예방	선별 검사	기존의 설문지 형식의 선별 검사를 대체하여 전문 의료 기관 방문 전 보건소 등에서 정량적 선별 기준으로 활용 가능
	정상 노년층 대상 서비스	삼킴 장애의 위험성 및 관리를 통한 예방의 유효성 교육 → 적극적인 참여 유도
	건강 검진	건강검진 항목에 추가되어 삼킴 기능 평가
진단	Normative data 구축	선행 질환별 삼킴 normative data 구축 → 질환별 삼킴 장애 진행 예측 분석
		연령대별 삼킴 normative data 구축 → 연령대별 정상치 기준 삼킴 장애 진단
	위험 징후 감지	초음파 신호 기반 위험 징후 감지 시 경고 알림
	응급 상황	응급실 도착 직후 VFSS 분석 불가 시 신속한 삼킴 상태 측정 가능

이해관계자 요구 사항: 개발된 시스템의 활용 방안

구분		활용 방안
치료	치료 중 피드백 제공	치료 시 직관적인 피드백 제공 (수치 정보 대신 categorical & visual feedback)
	치료 효과 평가	정량적 수치를 통한 치료 전/후 비교 결과 제공(치료 후 치료 효과 확인이 가능해야 수요 증가할 것으로 예상)
	퇴원 후 피드백 공유	퇴원 후 삼킴 기능 자가 측정을 통한 분석 결과 공유(with 담당 의료진 및 보호자)
	Penetration & aspiration 평가	Penetration 및 aspiration 평가 기능 제공(가능 여부 확인 필요)
	게임 요소	Scoring system을 통한 삼킴 기능 관리 또는 치료 동기 부여
	융합 서비스	치매(인지) 치료와의 접목(ex, 체조)을 통한 수요 창출

서비스 개발: Wellness vs. Medical

□ 웰니스 및 의료기기 제품 구분은 (1) **사용 목적** 및 (2) **위해도**를 기준으로 판단됨(의료기기 표시기재 가이드라인, 식품의약품안전처, 2016. 12)

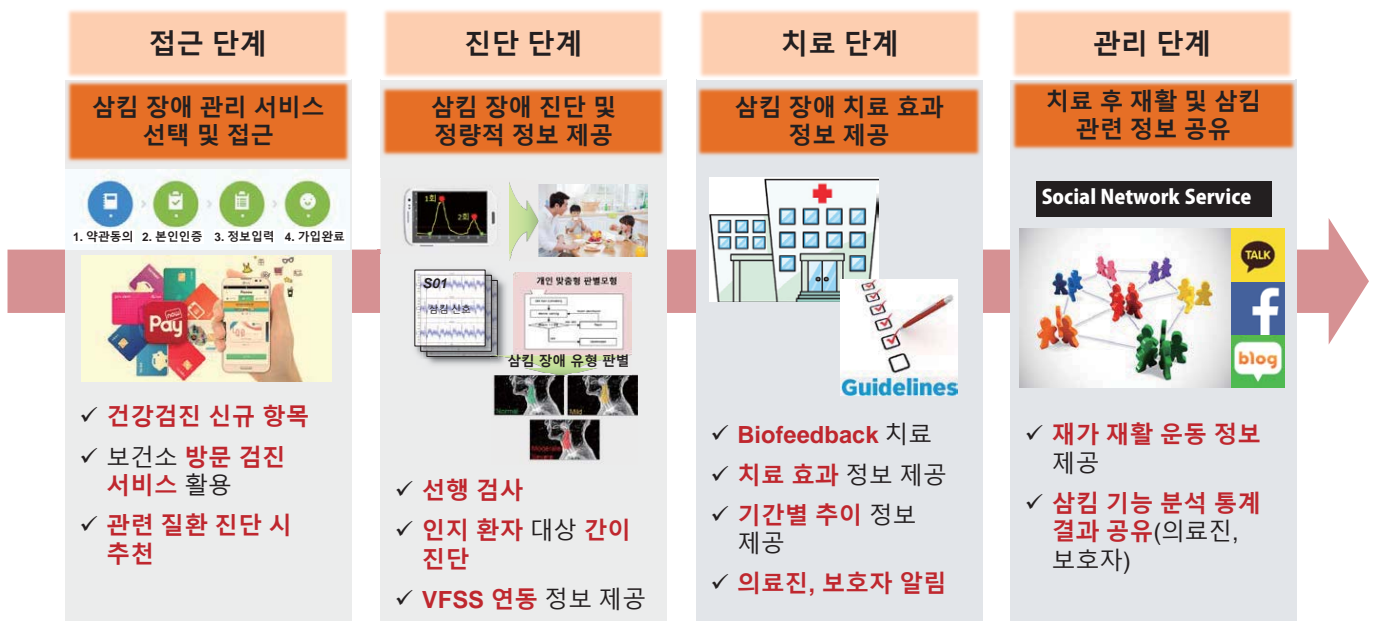
제품 구분	의료 기기	웰니스 제품
사용 목적	의료용	웰니스용
정의	<p>사람이나 동물에게 단독 또는 조합하여 사용되는 기구, 기계, 장치, 재료 또는 이와 유사한 제품으로 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 제품</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 질병을 진단·치료·경감·처치 또는 예방할 목적으로 사용되는 제품 2. 상해 또는 장애를 진단·치료·경감 또는 보정할 목적으로 사용되는 제품 3. 구조 또는 기능을 검사·대체 또는 변형할 목적으로 사용되는 제품 4. 임신을 조절할 목적으로 사용되는 제품 	<p>사람에게 단독 또는 조합하여 사용되는 기구·기계·장치·재료·소프트웨어·앱 또는 이와 유사한 제품으로서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 목적으로 사용되고 사용자의 안전에 미치는 위해도가 낮은 제품</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 일반적인 건강 상태 또는 건강한 활동의 유지·향상 목적 2. 건강한 생활방식·습관을 유도하여 만성 질환 또는 그 상태의 위험이나 영향을 줄이거나 유지할 목적
위해도	인체에 미치는 잠재적 위해도에 따라 4개 등급으로 구분	사용자의 안전에 미치는 위해도가 낮은 제품

※ 위해도 판단기준: (1) 생체 적합성 문제 야기, (2) 침습성, (3) 오작동 시 상해, 질병 발생, (4) 위급 상황 탐지, (5) 기기의 기능 통제 및 변경



삼킴 서비스 시나리오: **Medical** 서비스

□ 병원 내 **진단과 치료에 효과적으로 활용**될 수 있는 **의료용 서비스** 시나리오를 개발함



삼킴 모니터링 Medical 서비스 예 (1/2)

□ VFSS 검사 이전 **임상 검사, 설문 조사와 함께 정량적 기초 능력 평가에 활용**



임상 검사



Department of Rehabilitation Services
Swallowing Disturbance Questionnaire

Questions	0 = Never	1 = Seldom (once a month or less)	2 = Frequently (5-7 times a week)	3 = Vary Frequently (>7 times a week)
1. Do you experience difficulty chewing solid food like an apple, cookie, or cracker?	0	1	2	3
2. Are there any food residues in your mouth, cheeks, under your tongue, or stuck to the roof of your mouth after swallowing?	0	1	2	3
3. Does food or liquid come out of your nose when you eat or drink?	0	1	2	3
4. Does chewed up food dribble from your mouth?	0	1	2	3
5. Do you feel you have too much saliva in your mouth (do you drool or have difficulty swallowing your saliva)?	0	1	2	3
6. Do you usually chewed up food several times before it goes down your throat?	0	1	2	3
7. Do you experience difficulty in swallowing solid food (do apples or crackers get stuck in your throat)?	0	1	2	3
8. Do you experience difficulty in swallowing pureed food?	0	1	2	3
9. While eating, do you feel as if a lump of food is stuck in your throat?	0	1	2	3
10. Do you cough while swallowing liquids?	0	1	2	3
11. Do you cough while swallowing solid food?	0	1	2	3
12. Immediately after eating or drinking, do you experience a change in your voice, such as hoarseness or wetness?	0	1	2	3
13. Other than during meals, do you experience coughing or difficulty breathing as a result of saliva entering your airway?	0	1	2	3
14. Do you experience difficulty breathing during meals?	0	1	2	3
15. Have you suffered from a respiratory infection (such as pneumonia, bronchitis) in the past year? (Circle one)	YES	NO		

설문 조사



ENGINEERING, POSTECH

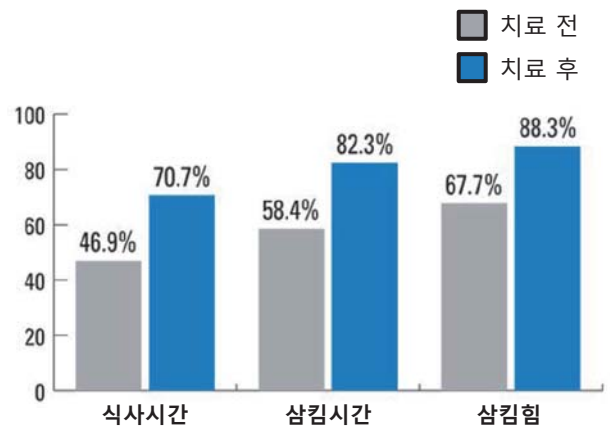


삼킴 모니터링 Medical 서비스 예 (2/2)

□ **일일 치료 전과 후의 삼킴 능력 정보를 정량적으로 제공**하여 치료 참여 의지를 증진시킬 수 있음



할아버지, 오늘 치료 했더니 이렇게 좋아지셨네요~



INDUSTRIAL AND MANAGEMENT ENGINEERING, POSTECH



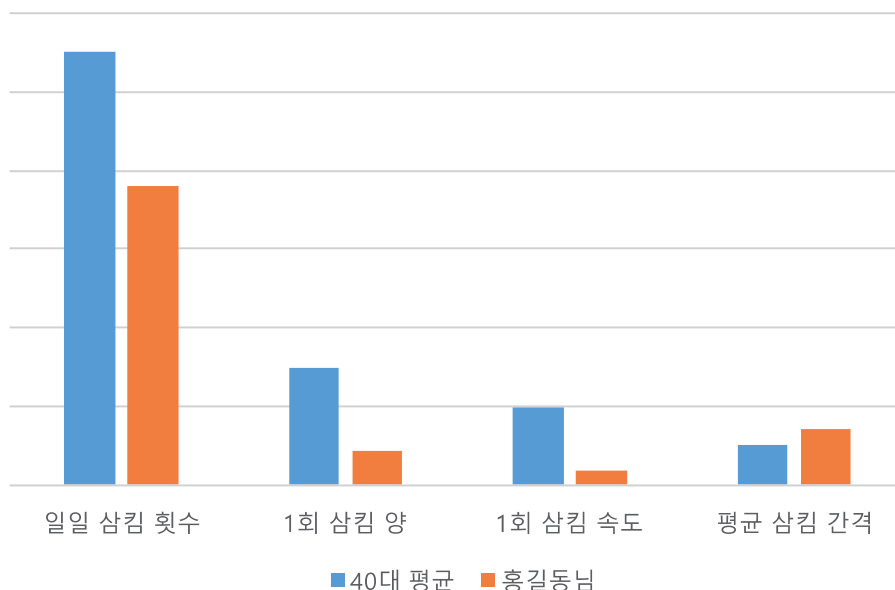
삼킴 서비스 시나리오: **Wellness** 서비스

□ 삼킴 장애 병원 **치료 전과 후 가정에서 예방 및 재활을 위해 활용**할 수 있는 **wellness 서비스** 시나리오를 개발함



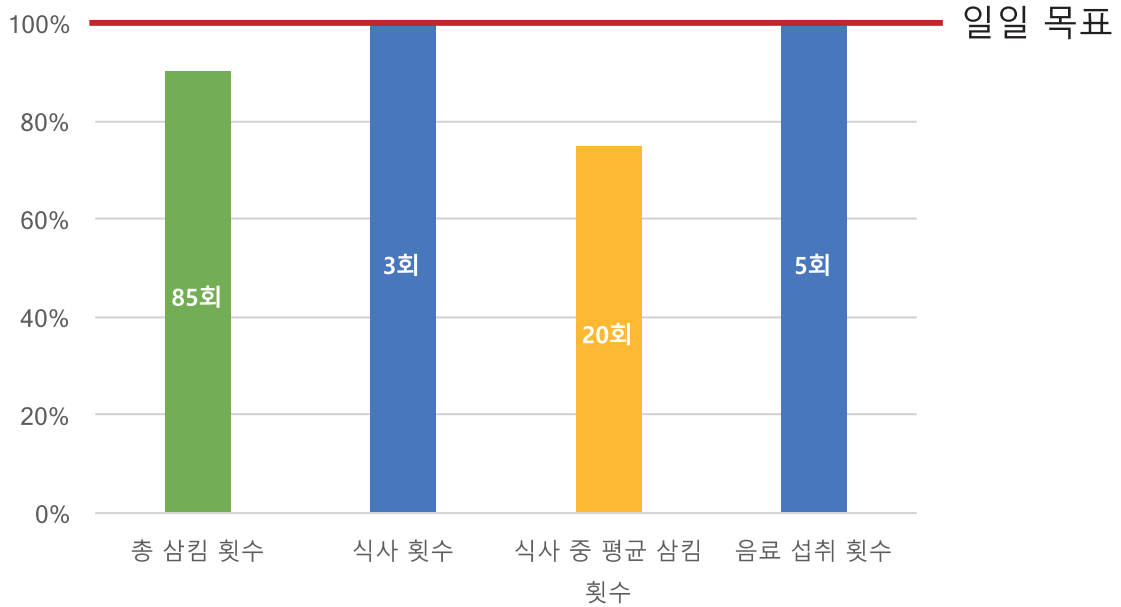
삼킴 모니터링 Wellness 서비스 예 (1/2)

□ 사용자 **연령대의 평균 삼킴 능력과 비교**하여 **사용자의 현재 상황**을 알려줌



삼킴 모니터링 Wellness 서비스 예 (2/2)

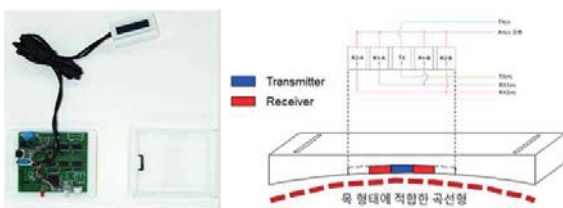
□ 하루 중 침을 삼키는 횟수, 식사 중 총 삼킴 횟수, 음료 섭취 횟수 등을 분석하여 목표량과 비교해줌



토의(1/2)

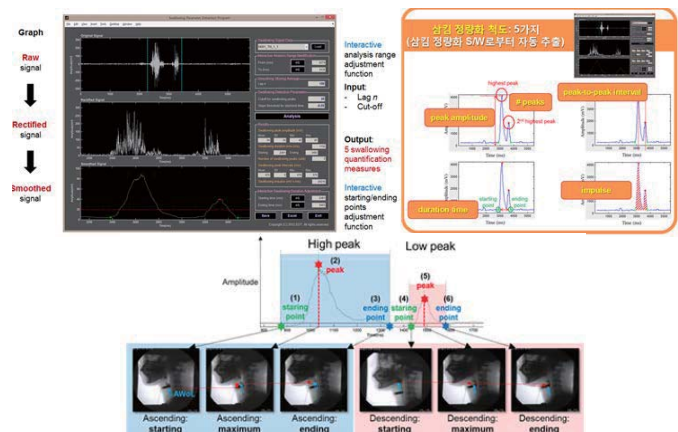
- 삼킴 능력을 객관적, 정량적으로 측정할 수 있는 초음파 도플러 센서 기반 삼킴 측정 H/W 및 S/W를 개발함
- 초음파 도플러 삼킴 신호를 기반으로 5가지 정량화 척도 (Number of peaks, Peak amplitude, Peak to Peak interval, Duration time, Impulse) 정립

삼킴 측정 H/W



실험용 삼킴 측정 H/W 개발

삼킴 분석 S/W



□ 의료 전문가들의 요구사항을 기반으로 **삼킴 모니터링 medical & wellness 서비스** 시나리오를 개발함

Medical 서비스

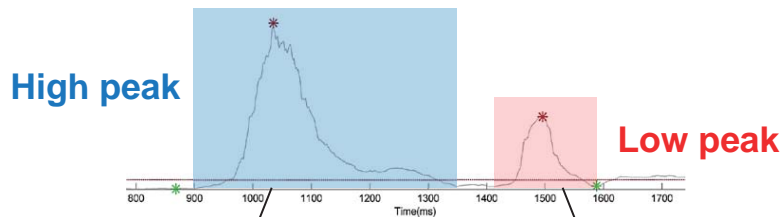


Wellness 서비스

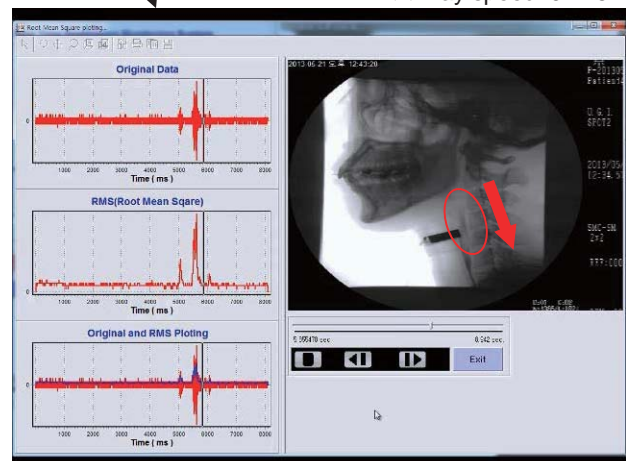
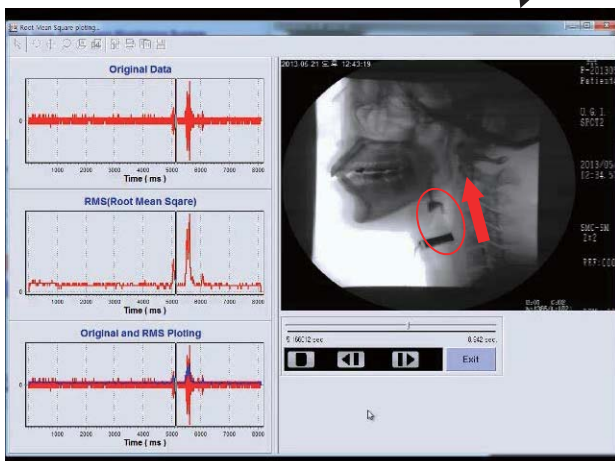


추후 연구

□ 삼킴 signal과 인후두 motion 연동 해석



※ Play speed: 0.125x



High peak 발생: laryngopharynx가 빠르게 상승

Low peak 발생: laryngopharynx가 천천히 하강

감사합니다.

