

**次世代PJ1 口腔運動のモニタリング技術と嚥下機能計の開発**

# **嚥下機能評価技術の開発**

**岩手大学 理工学部  
准教授 佐々木 誠**

**[makotosa@iwate-u.ac.jp](mailto:makotosa@iwate-u.ac.jp)**



研究室ホームページ

# 次世代PJ1 口腔運動のモニタリング技術と嚥下機能計の開発 全年度工程表

*Confidential*

最終目標値：嚥下障害予備軍を早期検出しうる非侵襲で簡便な嚥下機能計の開発

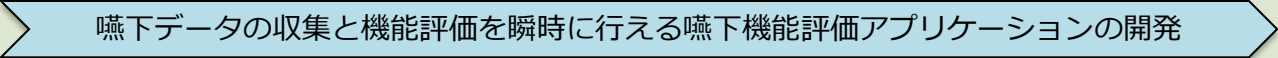

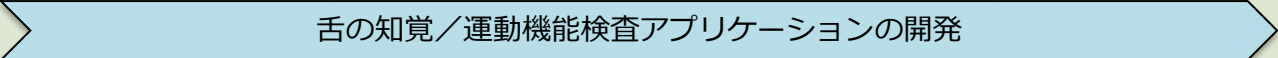
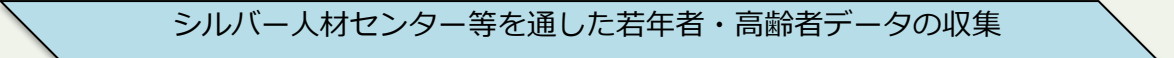
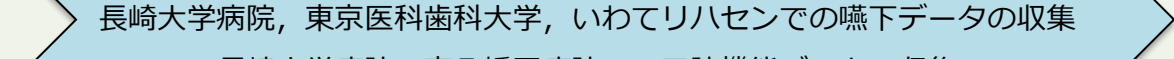
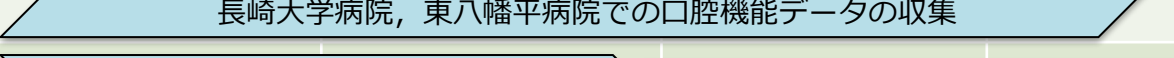
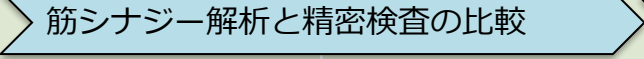
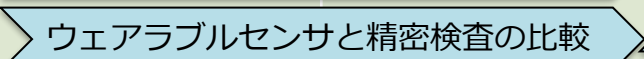
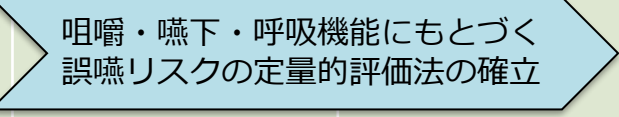
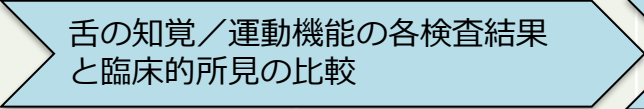
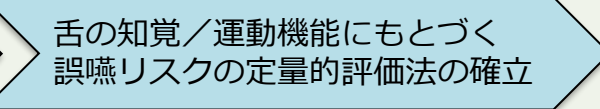
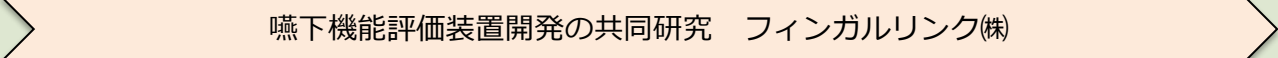
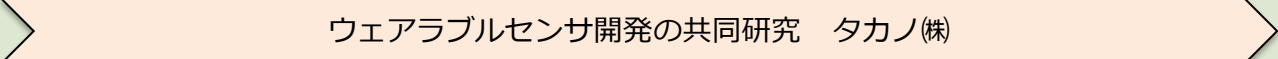
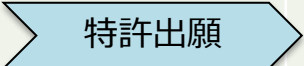
主な実施項目	R1(2019)	R2(2020)	R3(2021)	R4(2022)	R5(2023)
嚥下機能評価装置の開発	筋電センサ、マイクロフォン等を一体化した複合センサの試作		複合センサの改良と最適化		
嚥下データの収集	嚥下障害者及び健康成人のデータベース構築		開発した複合センサによる嚥下データ収集		
嚥下機能評価法の開発	AIと、舌骨筋群の活動、および喉頭運動、嚥下音、口腔機能、身体機能などを利用した嚥下機能評価技術の開発		・のど年齢判定アルゴリズムの評価と改良 ・医学的エビデンスの構築		
企業共同研究	医療機器メーカーとの共同研究				
特許出願	知財出願 3件		知財出願		

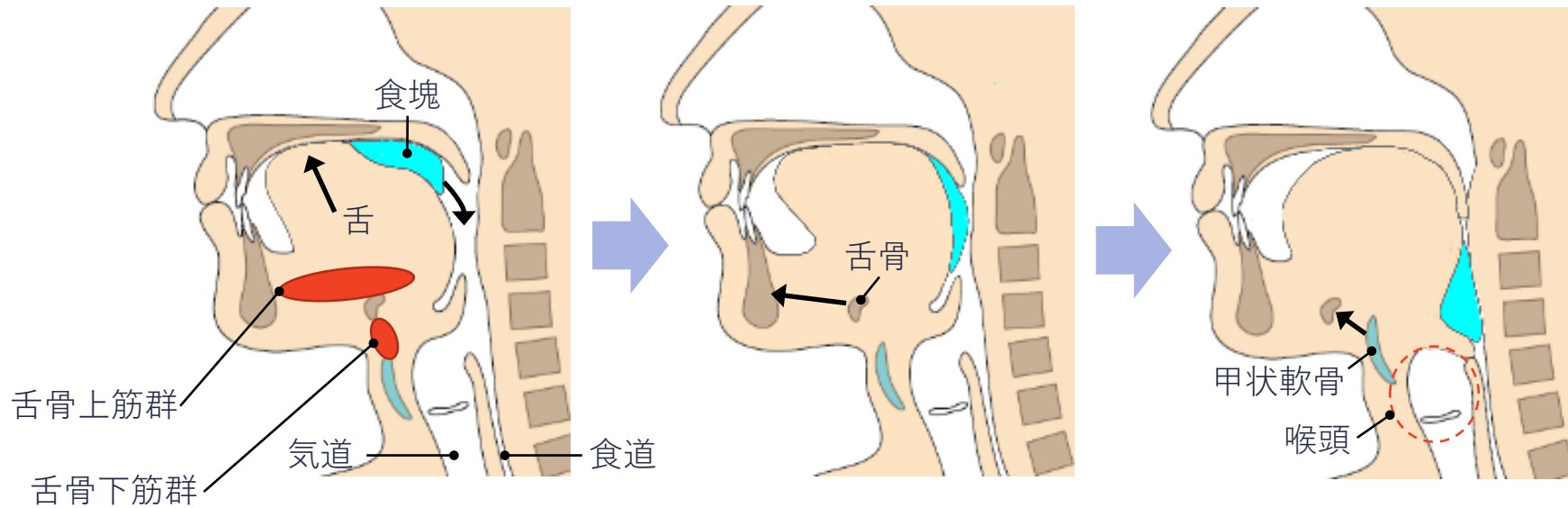
# 次世代PJ1 口腔運動のモニタリング技術と嚥下機能計の開発

## R5年度工程表

Confidential

最終目標値：嚥下障害予備軍を早期検出しうる非侵襲で簡便な嚥下機能計の開発

主な実施項目	R5(1Q)	R5(2Q)	R5(3Q)	R5(4Q)
嚥下機能評価装置の開発	  			
嚥下データの収集 (咀嚼・嚥下・呼吸機能, 口腔機能等)	  			
嚥下機能評価法の開発	  			
口腔機能の評価指標の開発	 			
企業共同研究	 			
特許出願				



舌による送り込み  
随意運動

舌骨の挙上

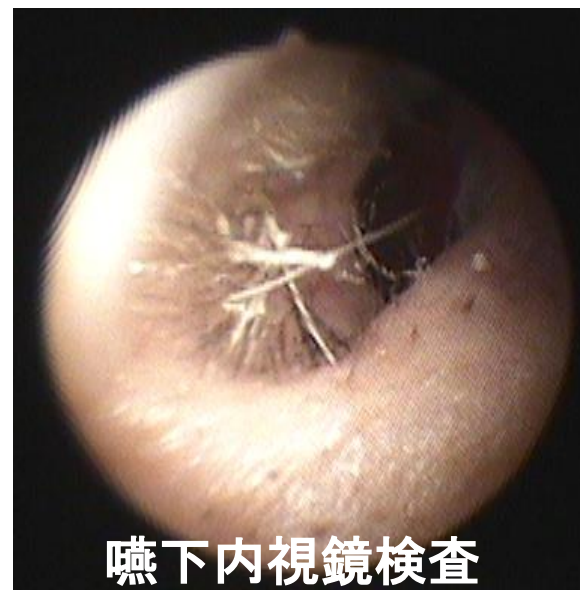
喉頭の挙上

嚥下反射

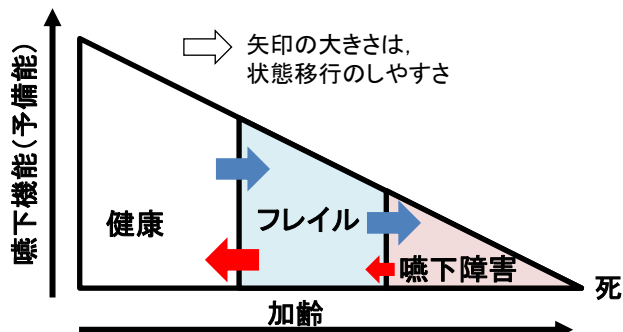
食べ物を認識し食道に至る経路までの中で1か所または複数か所に障害がある状態を**嚥下障害**とよぶ



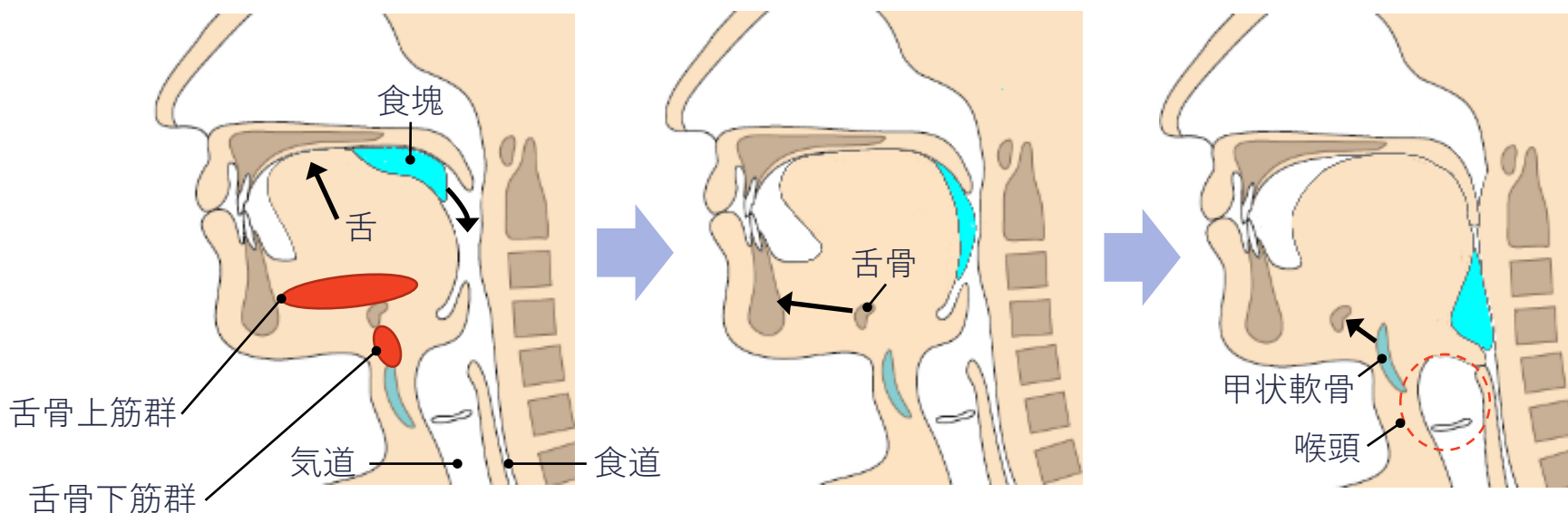
- 利点: 食塊や嚥下諸器官の動き, 誤嚥の有無やリスクがよく分かる.
- 欠点: 被曝や造影剤誤嚥のリスクがある. 装置が大型で検査場所が限定される.



- 利点: 唾液貯留や咀嚼による食塊形成がよく分かる. 持ち運び可能.
- 欠点: 嚥下反射や誤嚥の瞬間を観察できない. 痛みや出血を伴う.



検査対象者は, 既に重症化しているか, 嚥下障害が強く疑われる人に限定され, 嚥下機能低下や嚥下障害予備軍の早期検出には不向き



舌による送り込み  
随意運動

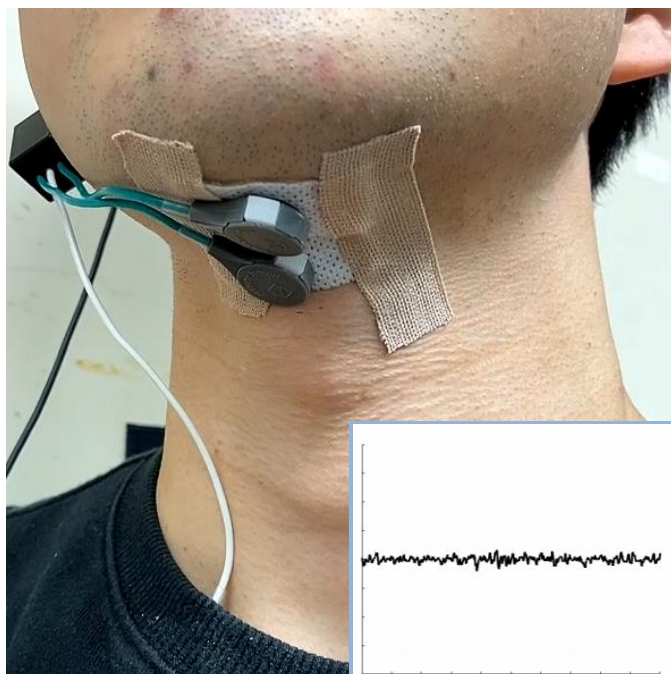
舌骨の挙上

喉頭の挙上

嚥下反射

- ✓ 嚥下反射の遅れに着目した嚥下機能評価技術
- ✓ 咀嚼・嚥下・呼吸に着目したウェアラブルデバイス
- ✓ 舌の運動機能／感覚機能に着目した評価技術

1. 嚥下反射の遅れに着目した嚥下機能評価技術
2. 咀嚼・嚥下・呼吸に着目したウェアラブルデバイス
3. 舌の運動機能／感覚機能に着目した評価技術



## 舌骨上筋群の筋活動

随意運動

嚥下反射

食塊の咽頭への  
送り込み

舌骨挙上による  
喉頭閉鎖

分離し、個別評価できないのが  
これまでの常識(技術的な壁)

随意運動

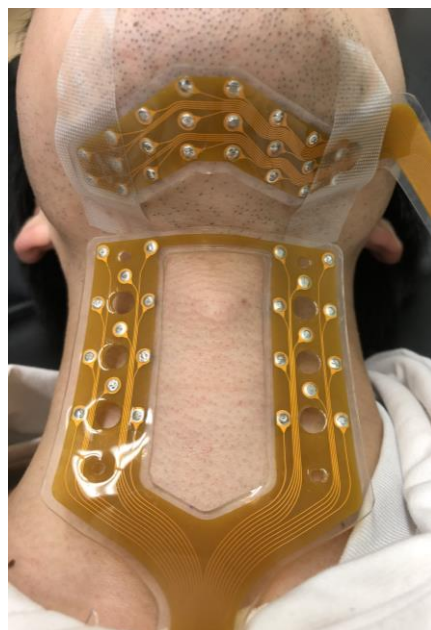
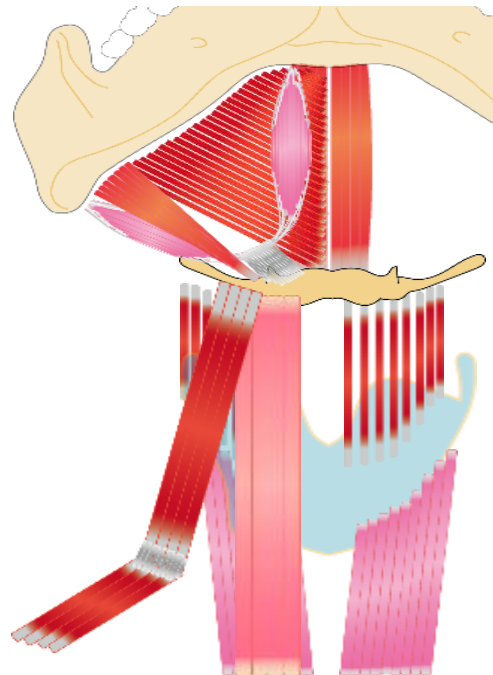
嚥下反射



## 筋シナジー解析を用いた信号分離技術の開発

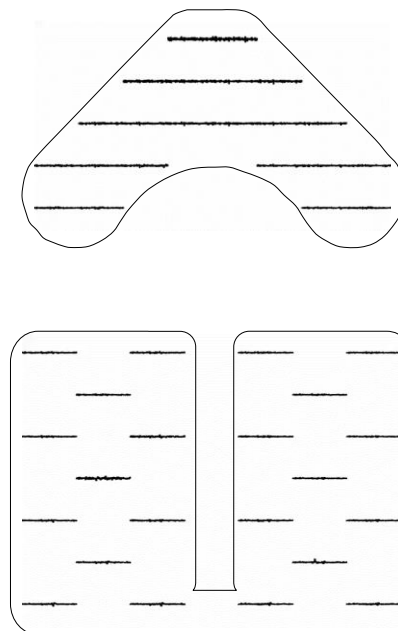
Quantification of the swallowing mechanism through muscle synergy analysis, *Dysphagia*, 2023

舌骨上筋群用  
22 チャンネル電極

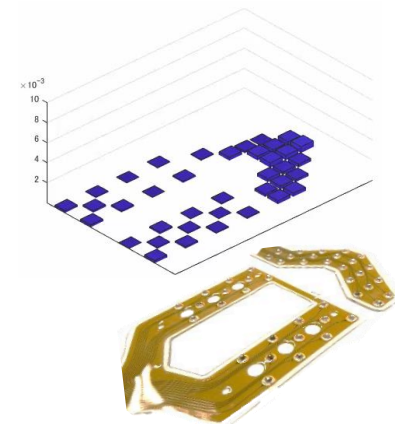


舌骨下筋群用  
22 チャンネル電極

観測信号 (サンプルレート: 2000 Hz)



全波整流化後



44 ch × 8000 sample  
(8000 = 2000 Hz × 4 s)

# 筋シナジー解析を用いた嚥下機能評価技術

Confidential

整流化

筋シナジー分離

RMS信号 (観測信号)

$M$

$\cong$

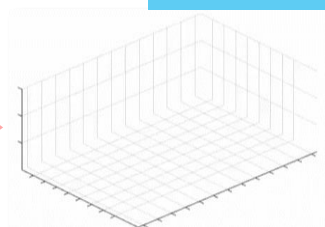
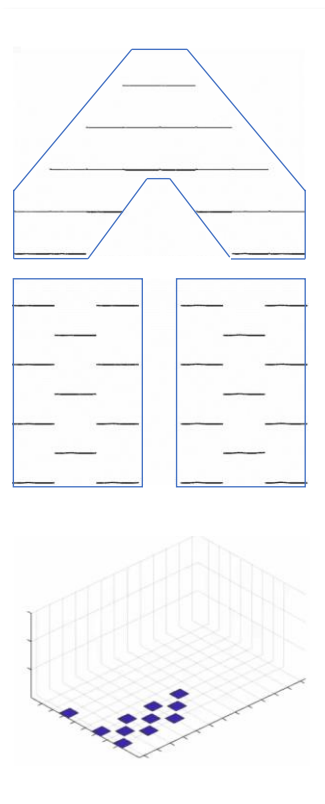
空間パターン (重み行列)

$W$

時間パターン (制御指令)

$C$

シナジーA



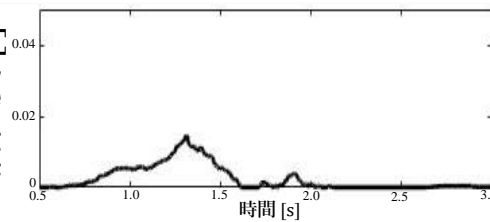
= 活動比率 [ ]



44 ch × 1

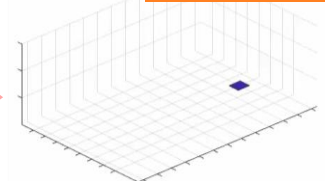
×

活性度 [ ]

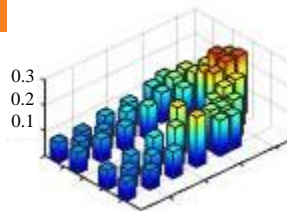


1 × 8000 sample

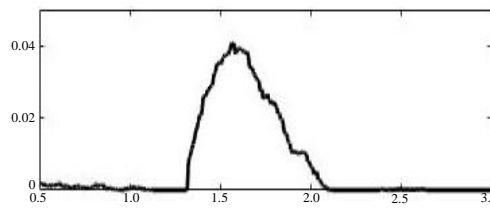
シナジーB



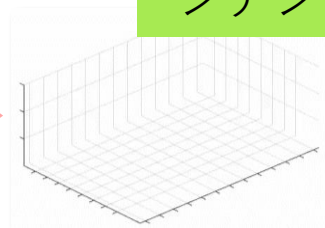
=



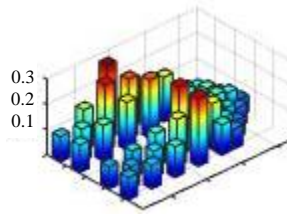
×



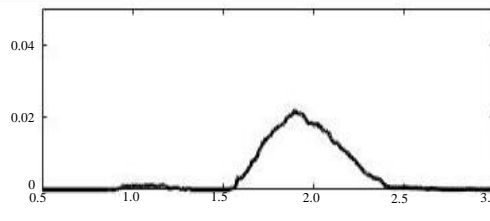
シナジーC



=



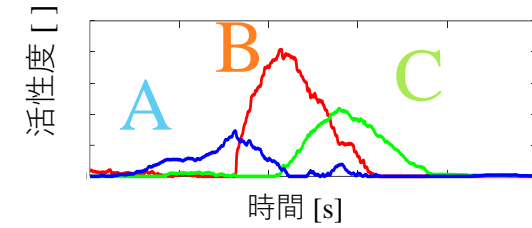
×



# 嚥下フェーズと筋シナジー

Confidential

時間パターン

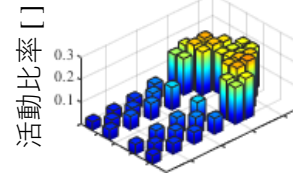


シナジー

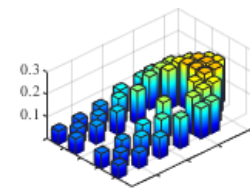
A



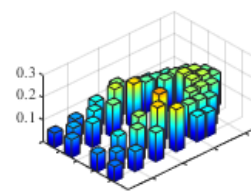
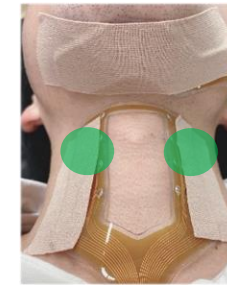
空間パターン



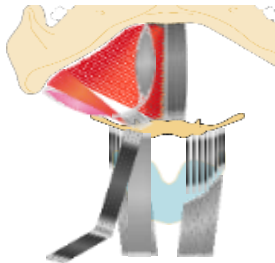
B



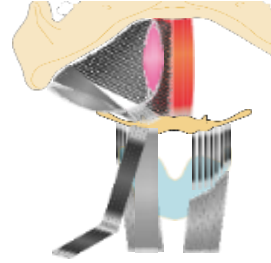
C



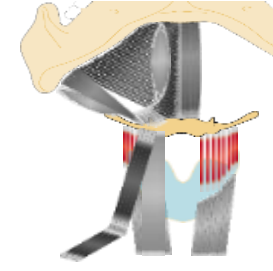
320-ADCT



顎舌骨筋  
茎突舌骨筋  
顎二腹筋後腹

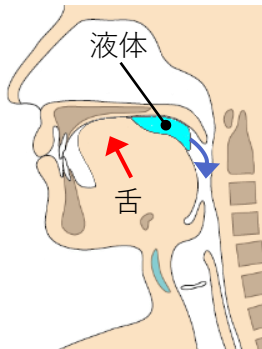


オトガイ舌骨筋  
顎二腹筋前腹

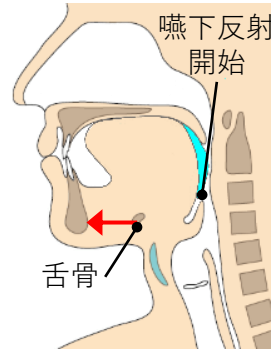


甲状舌骨筋

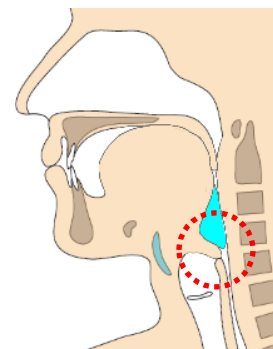
嚥下  
メカニズム



食塊の咽頭への  
送り込み



嚥下反射による  
舌骨の移動

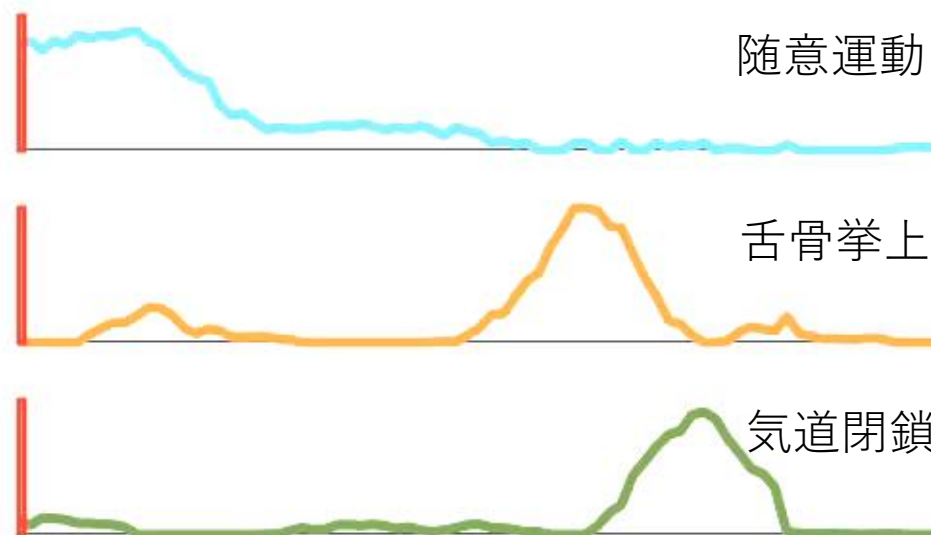


嚥下反射による  
気道閉鎖

# 嚥下造影検査との比較

Confidential

長崎大学病院摂食嚥下リハビリテーションセンター 玉田泰嗣先生との共同研究



**対象：**VFが必要な82代女性

**検査回数：**3回

**検査食：**1%のとろみを付与した  
硫酸バリウム溶液 6 ml, 1ml

# 筋シナジーは加齢変化を検出できるか？

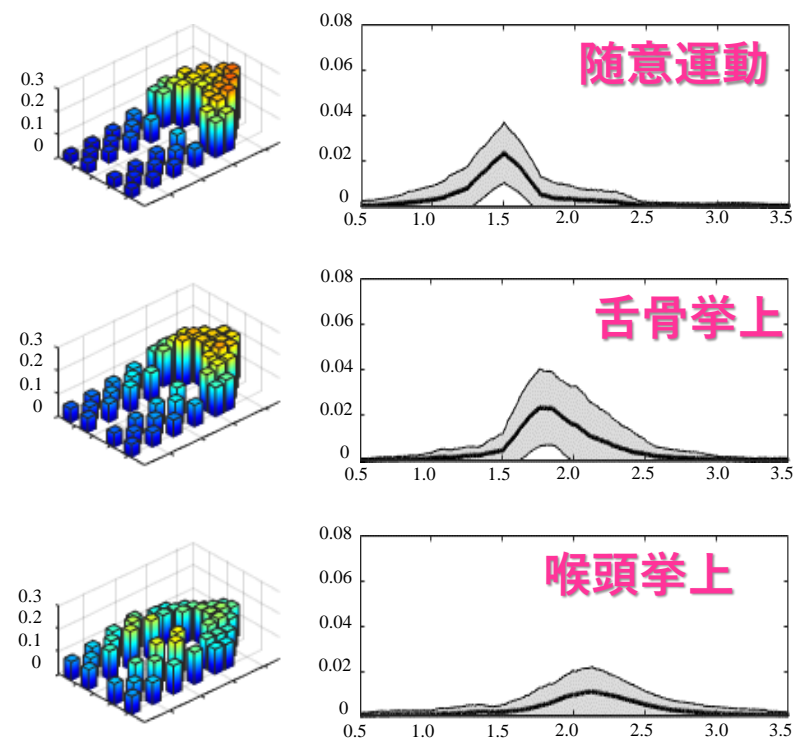
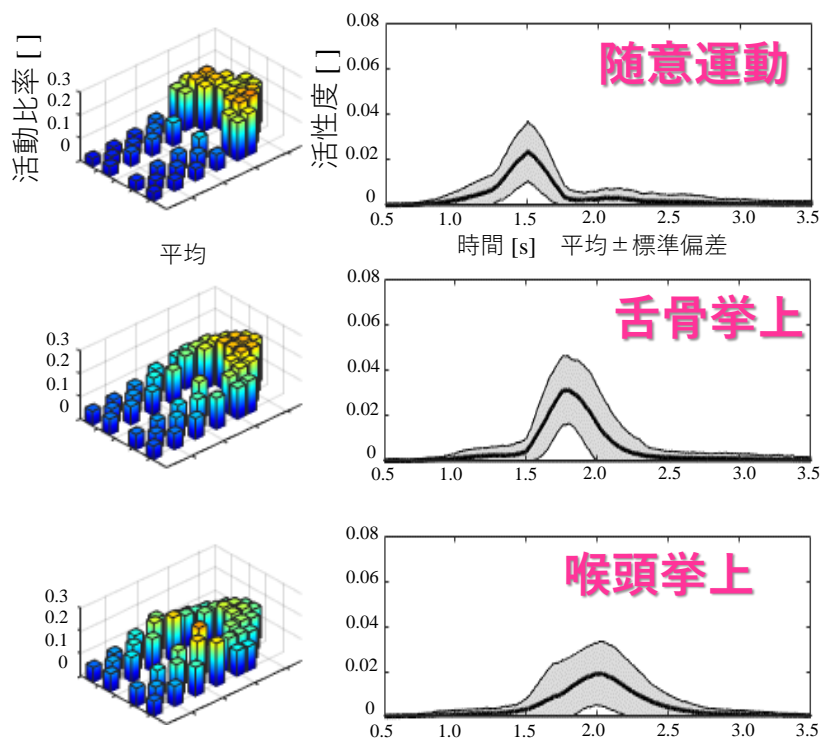
Confidential

被験者 誤嚥の認められない28名

計測動作 冷水 1, 3, 6 mlの嚥下  
各10 試行

若年者群14名 ( $21.9 \pm 1.3$  歳)

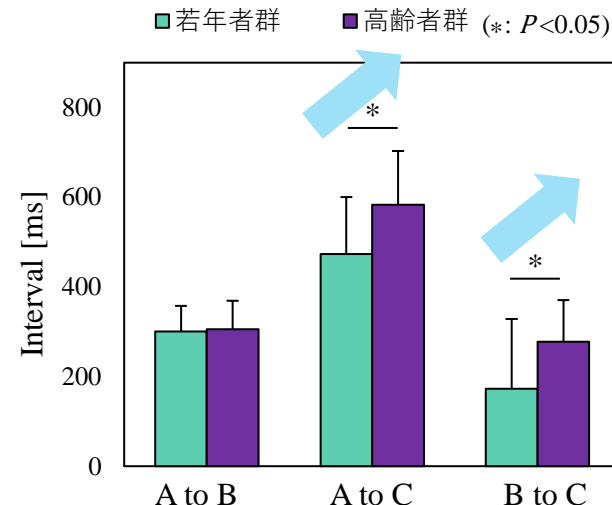
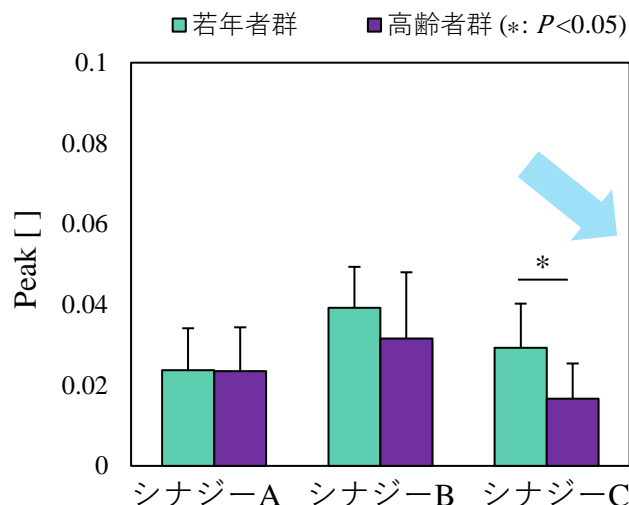
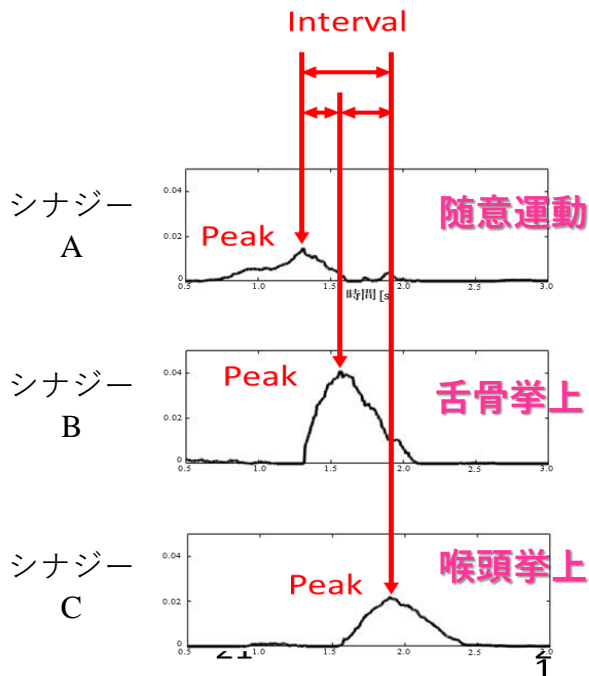
高齢者群14名 ( $71.4 \pm 4.5$  歳)



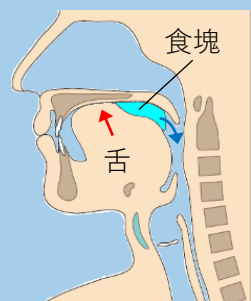
# 筋シナジーは加齢変化を検出できるか？

Confidential

冷水 6 mlの嚥下

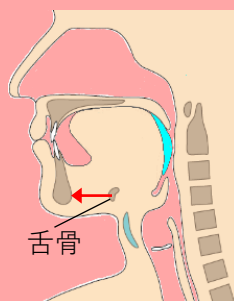


随意運動

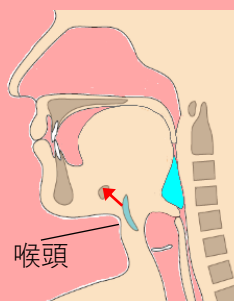


A: 送り込み

嚥下反射



B: 舌骨の挙上



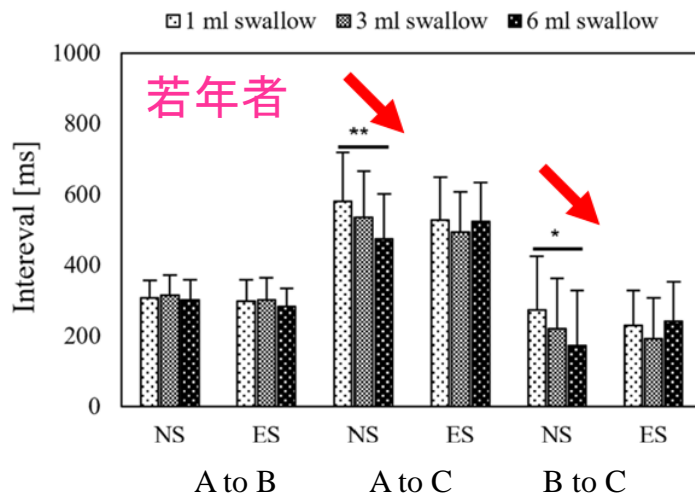
C: 喉頭の挙上

加齢による無自覚的な  
舌骨・喉頭の挙上力の低下  
喉頭閉鎖の遅延の可視化

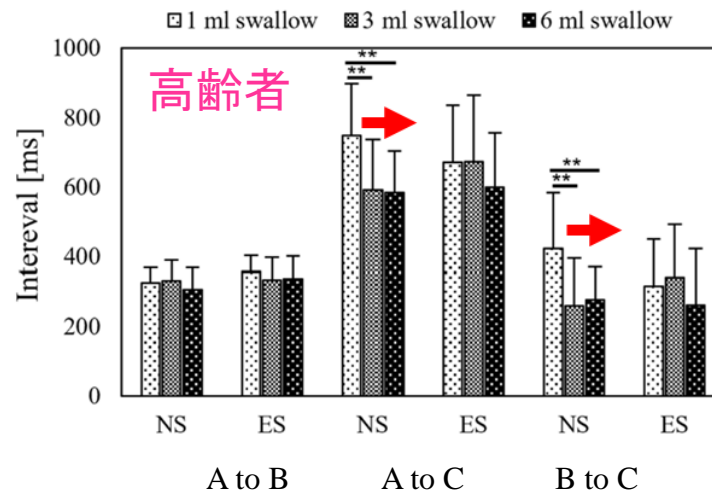


# 筋シナジーは加齢変化を検出できるか？

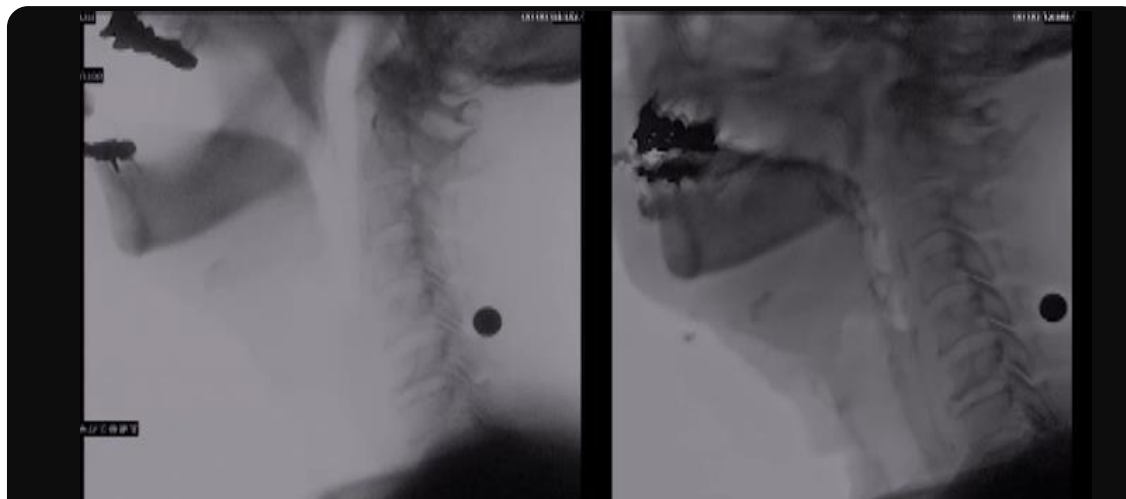
Confidential



若年者は、一回嚥下量が増えるほど、  
反射のタイミングが早くなる



高齢者は、予備能が小さく、  
一回嚥下量の増加に対応できない

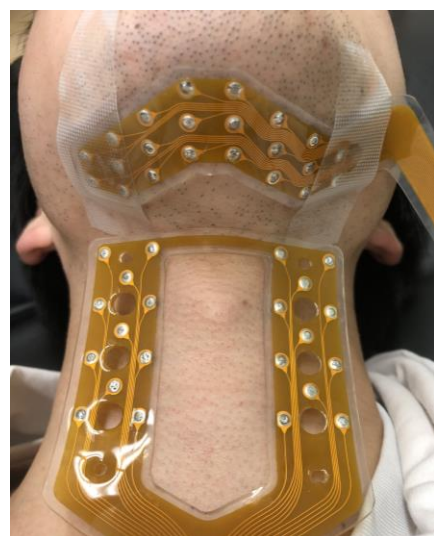


「1回嚥下量が増えると誤嚥リスクが高まる」という臨床的知見と一致

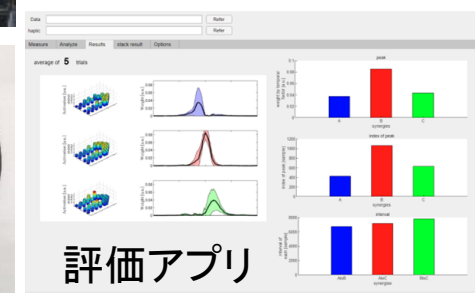
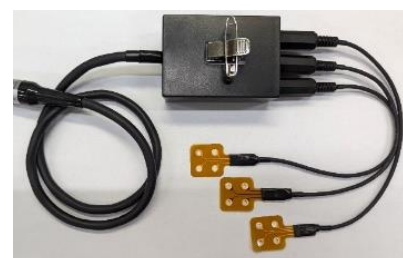
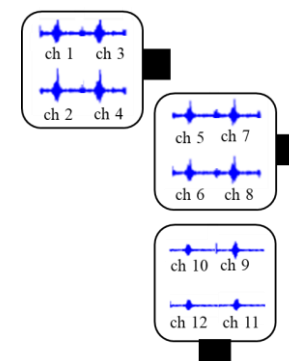
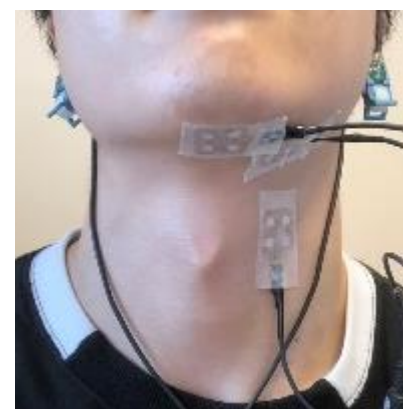
## フィンガルリンク(株)との共同研究で令和9年度の実用化を目指す

- ・日本機械学会東北支部技術研究賞を2022年度に共同受賞
- ・AMED 医工連携イノベーション推進事業(いわて産業振興センター)の支援のもと、国プロへの申請準備中

参画機関(予定): いわてリハビリテーションセンター, 東京医科歯科大学, 長崎大学病院, 京都大学, 聖隷クリストファー大学, 岩手大学等



小型化



原理モデル構築に用いたフィンガルリンク社製  
表面筋電位計測システム



1. 嚥下反射の遅れに着目した嚥下機能評価技術
2. 咀嚼・嚥下・呼吸に着目したウェアラブルデバイス
3. 舌の運動機能／感覚機能に着目した評価技術

# ウェアラブルセンサ関連(咀嚼・嚥下・呼吸機能)

Confidential

## 安静時

気道を開放した状態で

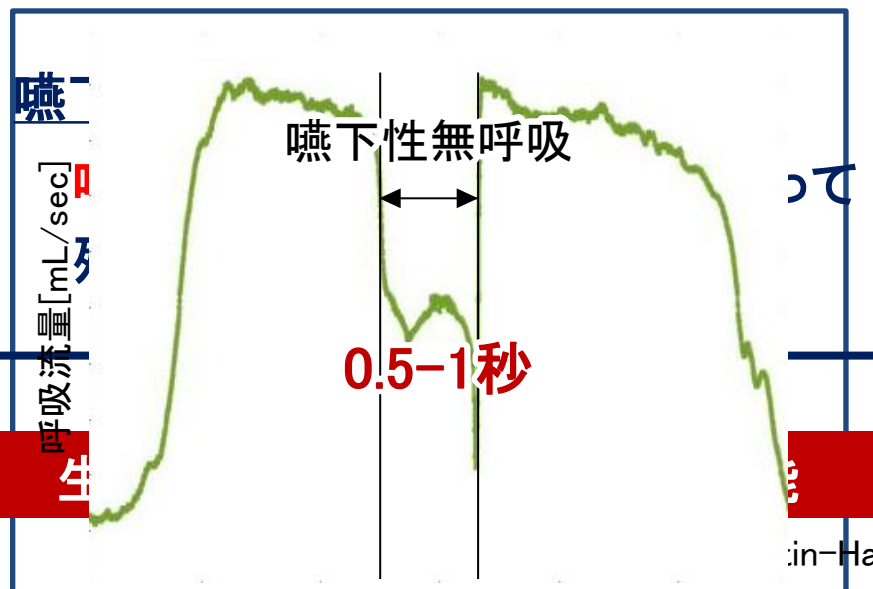
呼気(→)と吸気(←)を繰り返す

## 嚥下時

喉頭蓋の反転により

気道を閉鎖する(嚥下性無呼吸)

→ 気道への食塊侵入を防ぐ



## 嚥下造影検査(VF)の様子

吸気



鼻咽腔閉鎖

(鼻腔への逆流を防ぐ)



気道閉鎖



残留物



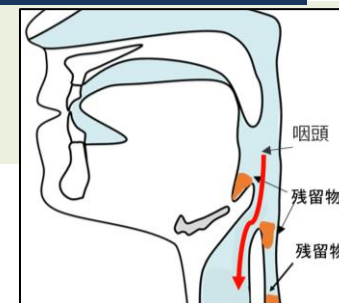
in-Harris B, 2006

# ウェアラブルセンサ関連(咀嚼・嚥下・呼吸機能)

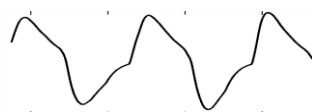
Confidential

嚥下と呼吸からどのように誤嚥リスクを評価するか？

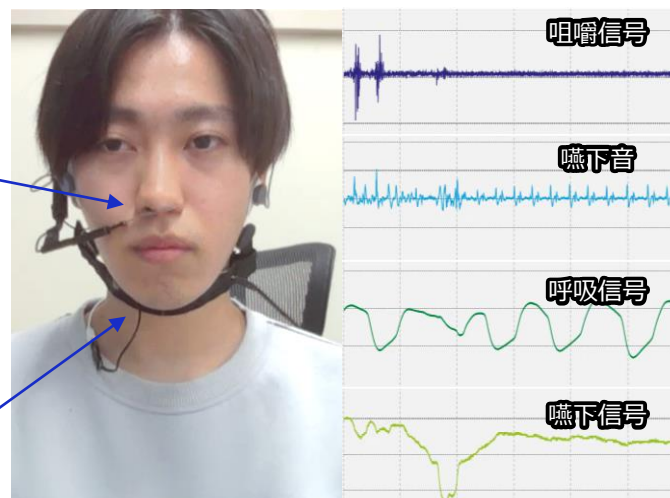
→ 咽頭残留物の吸引リスクの高い呼吸パターン



PVDFセンサ



伸縮性ひずみセンサ



ヘッドセット型  
食事モニタリングシステム

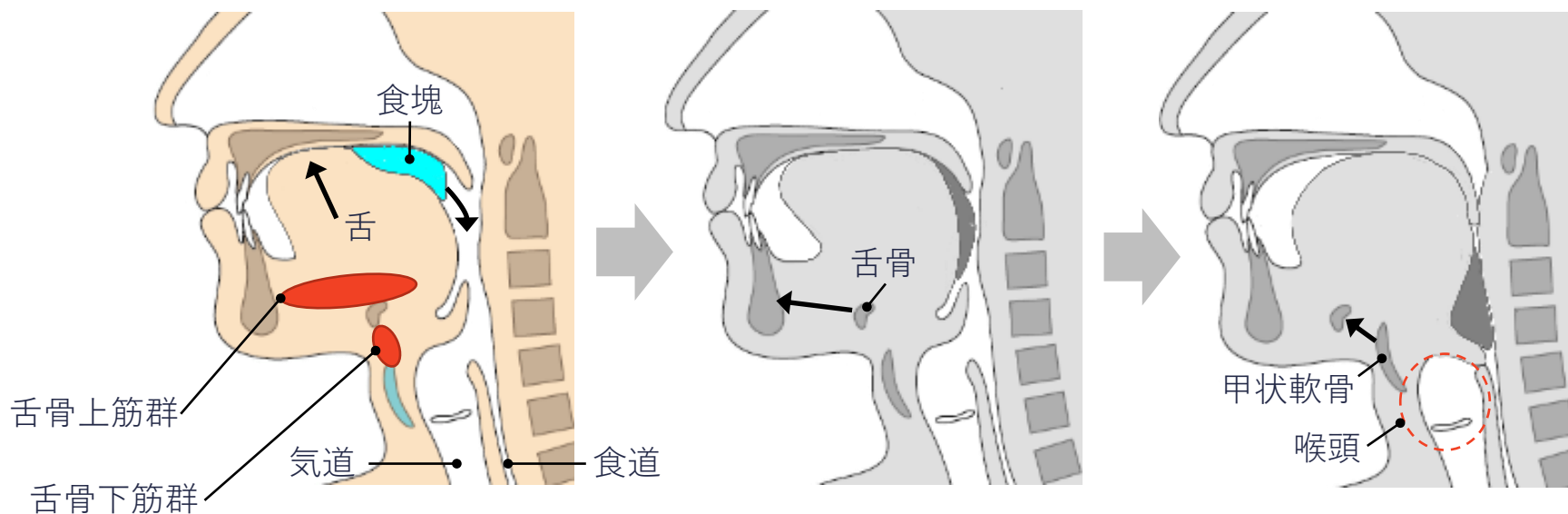
Bluetooth



PC

- ✓ 2021年度JKA補助事業(1,500万円)の補助のもと、東京医科歯科大学、長崎大学病院、タカノ株式会社と共同で試作
- ✓ 普段生活している環境、普段食べている食事の様子から、誤嚥・窒息リスクを評価するようなスクリーニングシステムの実現
- ✓ 高齢者施設での食事見守りシステム(異常検知、介護記録の自動化)への展開

1. 嚥下反射の遅れに着目した嚥下機能評価技術
2. 咀嚼・嚥下・呼吸に着目したウェアラブルデバイス
3. 舌の運動機能／感覚機能に着目した評価技術



舌による送り込み  
随意運動

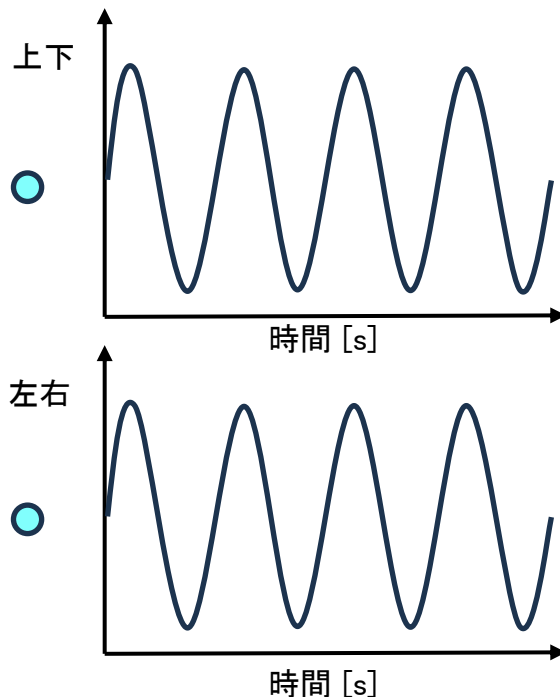
舌骨の挙上

喉頭の挙上

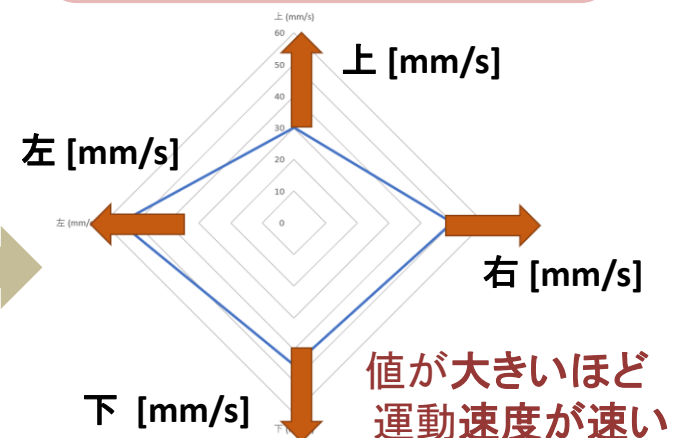
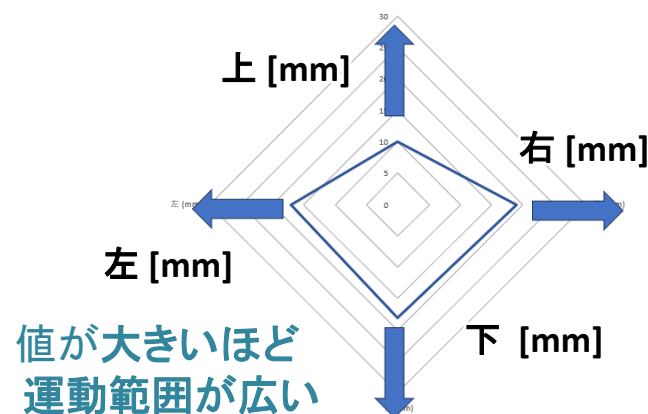
嚥下反射

舌の運動機能や感覚機能の低下は、口腔内における食物の認識、食塊形成に問題が生じ、誤嚥・窒息リスクを増加させる

## 運動範囲の計測



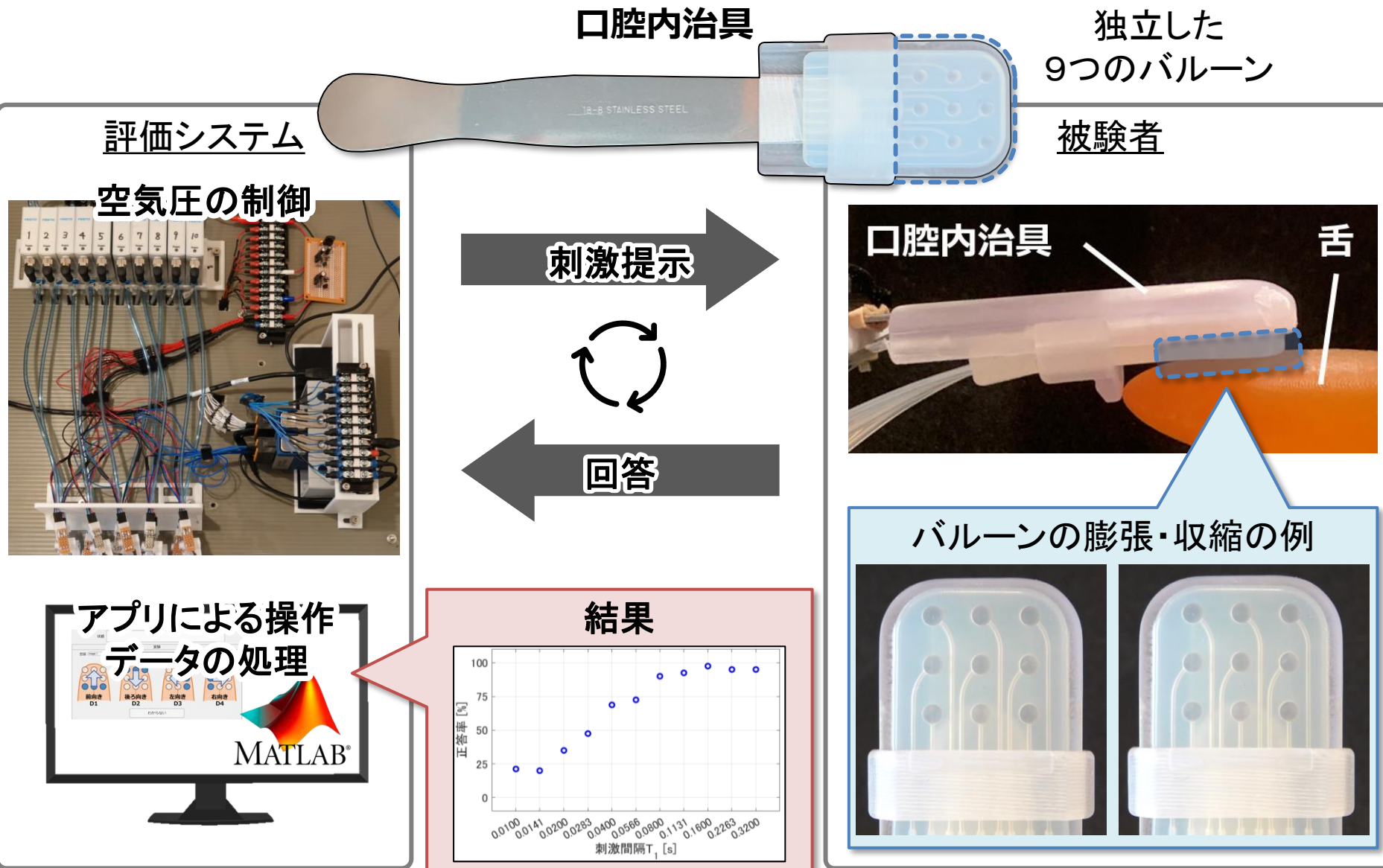
## 運動速度の計測

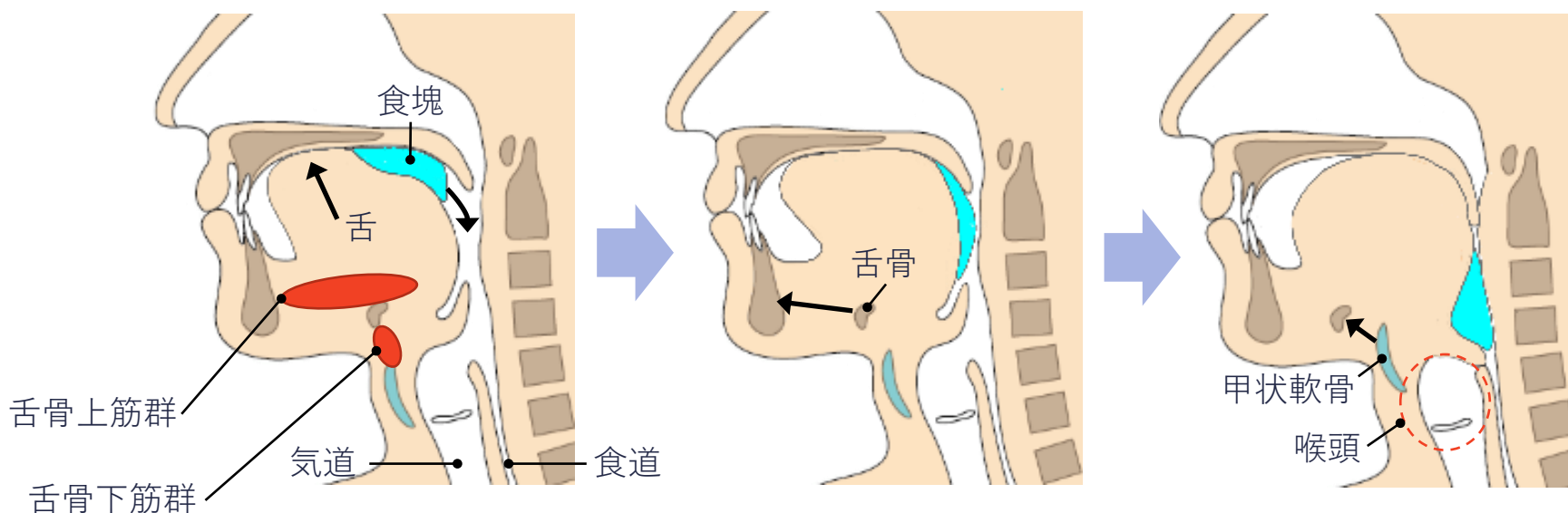




# 舌の感覚機能の評価技術

Confidential





舌による送り込み  
随意運動

舌骨の挙上

喉頭の挙上

嚥下反射

- ✓ 嚥下反射の遅れに着目した嚥下機能評価技術
- ✓ 咀嚼・嚥下・呼吸に着目したウェアラブルデバイス
- ✓ 舌の運動機能／感覚機能に着目した評価技術



1. 学術論文:8編 (うち国際学術雑誌6編, 国内雑誌2編)
2. 学会発表:63件 (うち医学系学会での招待講演8件)
3. 受賞:3件 (その他, 学生の受賞27件)
4. 特許:出願8件 (うち登録5件)
5. 主な外部資金:科学研究費補助金 基盤研究(B) 1,742万円, 2018~2021年度  
JKA補助事業(開発研究) 1,500万円, 2021年度  
科学研究費補助金 挑戦的研究(萌芽) 637万円, 2021~2023年度  
科学研究費補助金 基盤研究(B) 1,768万円, 2022~2024年度
6. 共同研究機関  
県内:フィンガルリンク株式会社, いわてリハビリテーションセンター, 東八幡平病院  
県外:タカノ株式会社, 東京医科歯科大学, 長崎大学病院, 聖隷クリストファー大学,  
新潟大学, 京都大学等
7. その他:製薬メーカーや他大学から, 本学シーズ(嚥下機能評価技術)を利用した  
共同研究の申し入れが増えており, 今後の更なる連携・展開・外部資金獲得  
が期待できる.