

平成 22 年 4 月 27 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19592189
 研究課題名（和文） ロボットによる嚥下のシミュレーション
 研究課題名（英文） Robotic simulation of swallowing disorder
 研究代表者 勝又明敏（KATSUMATA AKITOSHI）
 朝日大学・歯学部・准教授
 研究者番号：30195143

研究成果の概要（和文）：舌，下顎，咽頭腔を備えたロボットによるビデオ嚥下造影検査（VFSS）シミュレーションをおこなった。開発したロボットは，生体の舌や下顎の筋肉の走行に倣って配列したワイヤ（16 自由度）により駆動される。ロボットにより口腔咽頭における液体および食物の輸送をおこない，VFSS 画像にて観察した。その結果，生体における嚥下時の下顎や舌の運動を，ロボットにより再現する事ができた。

研究成果の概要（英文）：We performed an in-vitro video fluoroscopic swallow study (VFSS) simulation using a robot system that is consisted of artificial tongue, pharynx and mandible. The swallowing robot has wire drive mechanism (16 actuators) these were implemented based on the arrangement of human muscles with respect with the tongue and mandible in anatomy. Then a simulation VFSS to observe the movement of the test foods and liquids on the oral-pharyngeal cavity was performed. VFSS images showed that a robot enables to simulate the movement of human mandible and tongue at swallowing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：歯科放射線学

科研費の分科・細目：病態科学系歯学・歯科放射線学

キーワード：①医療・福祉 ②嚥下障害③誤嚥 ④ロボット⑤シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

近年，嚥下障害患者の増加に伴い，摂食・嚥下機能療法や口腔機能向上リハビリテーションが注目されている。ビデオ嚥下造影検査（VFSS）は，嚥下障害診断のゴールドスタ

ンダードとして広く行われている。VFSS では，口腔内に保持できなかった検査試料が舌背を伝って咽頭腔に垂れ込み，嚥下反射運動が行われる前に喉頭蓋谷へ到達して貯留する所見がしばしばみられる。舌背や喉頭蓋

谷での食塊の貯留は誤嚥を起こす要因の一つであるが、貯留する様相が検査試料の性状によりどの様に変化するののかに関して、VFSSを用いた詳細な検討は行われていない。その理由として、VFSSは被曝を伴う検査であること、嚥下障害患者は誤嚥や窒息などの危険性が高いことがあげられる。我々は、生体への危険性を排除して上記の事象を検討する方法として、生体口腔を再現したモデル（人工舌咽頭モデル）を用いたVFシミュレーションシステムについて検討している。

第一段階として、生体のCT画像データをもとに、石膏を材料とした実物大の口腔咽頭模型を作製してVF検査時の患者頭部と同様に位置づけ、飲食物がその舌背斜面を滑落する動態を検討した。その結果、液体は粘性の付与によって滑落速度が減少し、また、模型の舌背斜面の傾斜によって同じ粘度であっても試料の滑落速度が変化することを報告している。

次の段階として、口腔咽頭の動的状態、すなわち下顎骨、舌、舌骨などが運動するロボットを作成してVFシミュレーションをおこなう事が考えられる。

2. 研究の目的

これまでに、顎運動および嚥下機能を再現するロボットは幾つか考案されているが、生体の口腔咽頭の形状や大きさを、個体のCT画像データを基に忠実に再現した物にはなっていない。飲食物の嚥下に際しての口腔咽頭の諸組織は、複雑な協調運動を行う。全ての運動をロボットメカニズムとして再現するためには、高度な技術が必要となる。そこで我々は、嚥下に関連する運動の多くに関与している舌および舌骨の働きに注目した。舌骨は、舌の台座となっている他、下顎骨に付着する舌骨上筋群および下筋群等により自由度高く運動する。そこで、舌骨および下顎骨を作用点として軟素材の舌咽頭模型を可動させ、比較的簡単な機構により咀嚼（開閉口）運動と食物の送り込み運動を再現する事を考えた。本課題の目的は、嚥下に関連する口腔咽頭の動的状態をロボットにより再現し、VFシミュレーションを行う事にある。

3. 研究の方法

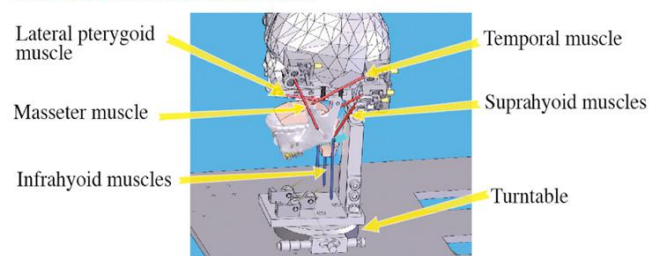
(1) 嚥下再現ロボットについて

ロボットの骨格はCT画像データを基に設計した。すなわち、生体3DCT画像をポリゴンデータに変換して三次元CADソフトウェアに読み込み、筋肉の走行を模したリンク機構を組み込んだ部品として再デザインした。骨硬組織は、VFシミュレーション時のX線透過性を考慮してアクリル製とし、顎関節や舌骨といった強度を要する部分のみ金属（アルミ合金）製とした。舌は、柔らかいシリコン

製である。ロボットは、舌および舌骨に10、下顎骨に6の合計16自由度を持たせ、サーボモータおよびワイヤにて駆動する機構とした。ワイヤは、開閉口筋として左右側の咬筋、側頭筋および外側翼突筋の走行と同じ位置関係で配置し、舌骨および舌を動かす目的では、舌骨上筋群および舌骨下筋群の走行を模して配置した。可動範囲は、開口域が約40mm、下顎の前後方運動が約30mm、舌尖が上下および前後方向に約50mm、舌骨が上下および前後方向に約30mmである。図1には、顎顔面の筋肉の走行に倣ったワイヤ駆動機構の概略を示す。制御ソフトウェアは、嚥下の

図1: 顎顔面の筋肉に倣ったロボットの駆動機構

Wire drive mechanism for a robot



各ステージにおける舌骨、下顎骨、および舌咽頭部の位置を記憶させると、これらを滑らかに結ぶ運動パターンを自動的に生成し、任意の速度で連続的に再現する機能を有している。

(2) ロボットによるVFSSシミュレーション

VFシミュレーションには既設のX線透視装置（Finescope300, 東芝メディカル）を用い、VF検査時に側面像を得る時の患者の口腔咽頭部と同じ位置で、ロボットのX線透視画像を撮影した。食品のテクスチャ特性が既知で、物性が異なる飲食物（バリウム、増粘剤

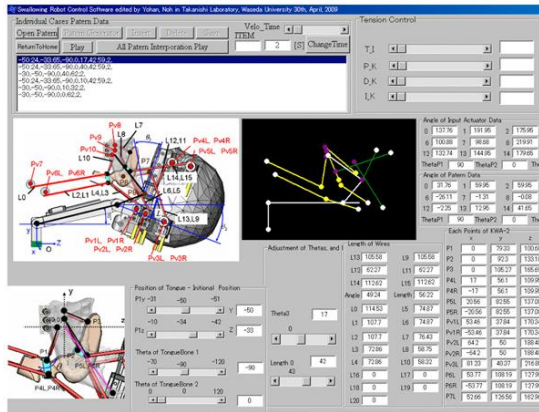
図2: ロボットの外観およびX線透視装置に位置付けた状態



Fluoroscopic system used for VFSS simulation

添加バリウム、プリン、粥)を調整し、スプーンなどでロボットの舌に置き、制御ソフトウェア上であらかじめ作成しておいた運動パターンでロボットの下顎と舌を動かし、側

図3: ロボットのインターフェイス



面の透視画像を取得した。透視装置にセットしたロボットの外観、およびスプーンで飲食物を舌の上に置く様子を図2に、ロボットの運動パターンを生成して記憶し、再現するロボット制御ソフトウェアのインターフェイスを図3に示す。

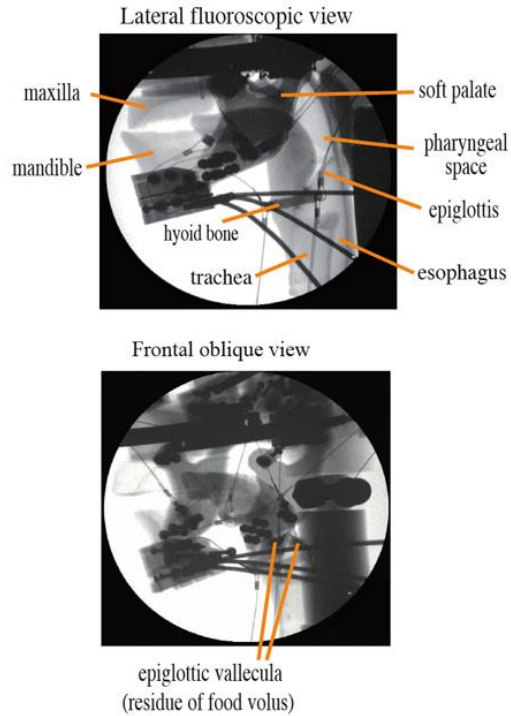
4. 研究成果

ロボットにより、生体のVFで観察される舌の挙上や後退に近い運動を再現する事ができた。舌背斜面が急傾斜の場合と緩斜面となる場合の運動パターンを生成し、飲食物の滑落速度や喉頭蓋谷への残留量が、舌背の傾斜により変化する様子をシミュレーションした。図4には、ロボットのVF画像(側面および斜め前方より投影)を示す。図5, 6には、造影剤加したプリンと粘性を付与した造影剤によるロボットVFシミュレーションの結果画像を示す。舌背から咽頭腔への移動が遅いプリンでは、ロボットの舌骨挙上運動を食塊の速度と同期させる事により、食塊を食道入口部に誘導する事ができた。(図5)これに対して、同じ運動パターンにより粘性付与造影剤の嚥下を試みると、ロボットの舌骨挙上が液体の流入速度に追いつかず、造影剤が気管に流入する「誤嚥」の様相が再現された。(図6)

顎骨と舌の運動に関して、両者が協調して動く機構および舌や下顎が運動可能な範囲に関しては嚥下シミュレーションに必要な可動性が確保されたと考える。しかし、健常成人における嚥下は、舌による食塊移動の開始から食道に運ばれるまでが1秒以下という非常に早い運動である。現状のロボットでは、舌の位置を、前方→後上方→後下方→前方へと1サイクル移動させるのに約4秒を要する事から、健常人のみならず、嚥下障害患者(児)の緩慢な嚥下運動と比較しても遅い事

は否めない。また、食塊の能動輸送に大きく寄与する咽頭壁の収縮に関しては、ワイヤ駆

図4: ロボットのX線透視画像、側面像および斜め正面像



動で収縮運動を再現する設計が困難な事もあり、今回の機構では自由度を配置しなかった。今回の成果を基に、生体に近い運動をめざし、ハードおよびソフトウェアを改良する事が、今後の課題である。

図5: プリンによるVFシミュレーション

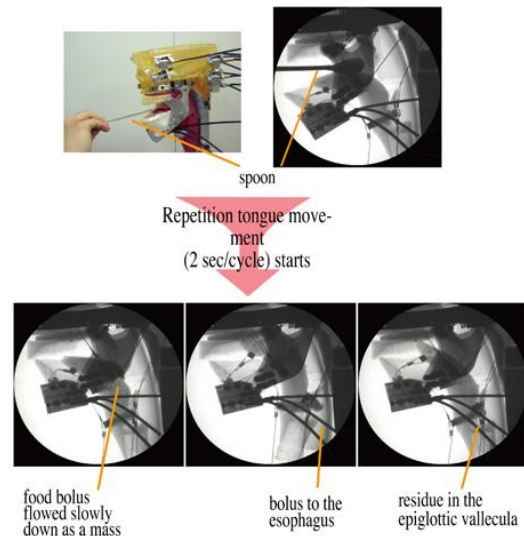
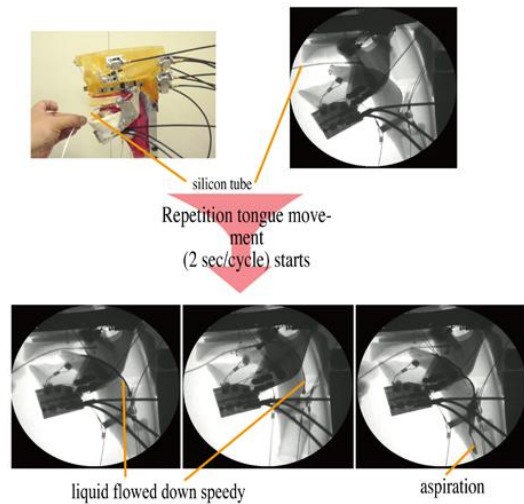


図6:液体(増粘剤添加)によるVFシミュレーション



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

① 飯田幸弘, 勝又明敏, 藤下昌己, 谷本啓二, 山科 敦: 飲食物のテクスチャおよび姿勢調節法が舌背斜面を滑落する食塊に与える影響～実物大口腔咽頭模型を用いたVFシミュレーションの試み～: 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌: 13(3): 2009: 215-224.

② Yohan Noh, Masanao Segawa, Akihiro Shimomura, Hiroyuki Ishii, Jorge Solis, Kazuyuki Hatake, Atsuo Takanishi: WKA-1R robot-assisted quantitative assessment of airway management. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2008; 3(6): 543- 50.

[学会発表] (計1件)

① 勝又明敏, 飯田幸弘, 藤下昌己. 人工舌モデルを用いた飲食物の口腔から咽頭腔へのたれ込み (spillage) の検討: 日本歯科放射線学会 第28回関西・九州合同地方会. 2009年1月24日 鹿児島大学 (鹿児島)

② 勝又明敏, 飯田幸弘, 藤下昌己, ノ・ヨハン, 石井裕之, 高西淳夫. ロボットによる嚥下時口腔咽頭形態再現の可能性: 日本歯科放射線学会 第17回関東日本合同地方会. 2009年7月11日, 鶴見大学 (横浜)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

6. 研究組織

(1) 研究代表者

勝又 明敏 (KATSUMATA AKITOSHI)
朝日大学・歯学部・准教授
研究者番号: 30195143

(2) 研究分担者

飯田 幸弘 (IIDA YUKIHIRO)
朝日大学・歯学部・助教
研究者番号: 60350873
(H20→H21: 連携研究者)
藤下 昌己 (FUJISHITA MASAMI)
朝日大学・歯学部・教授
研究者番号: 50028809
(H20→H21: 連携研究者)
高西 淳夫 (TAKANISHI ATUO)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 50179462
(H20→H21: 連携研究者)