

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17390501
 研究課題名（和文）
 MRI画像解析法を応用した摂食嚥下メカニズムの生理学的計算モデルの構築
 研究課題名（英文）
 Physiological Model of Swallowing using MRI
 研究代表者
 本多 康聡（HONDA YASUTOSHI）
 岡山大学・大学院医歯薬学総合研究科・助教
 研究者番号：40284070

研究成果の概要：

高齢者や脳血管障害者に多く見られる、摂食・嚥下障害（食べる、飲み込むことの障害）に対応して効率的なリハビリテーションを行なうため、MRI（核磁気共鳴装置）を用いて摂食嚥下動態を画像解析した。また併行して開放型のMRIを用いて、座位での嚥下動態の描出を行い、その動きを解析した。これらの画像を基にして摂食嚥下メカニズムの生理学的計算モデルを構築した。このモデルは、物理、数学的な計算方法を応用し、任意の数値を設定することで生理学的な嚥下の動きを模擬できることが検証できた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	3,900,000	0	3,900,000
2006年度	3,600,000	0	3,600,000
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
総計	11,100,000	1,080,000	12,180,000

研究分野：歯科放射線学、摂食嚥下リハビリテーション学

科研費の分科・細目：歯学・病態科学系歯学・歯科放射線学

キーワード：歯科放射線診断学、MRI、摂食嚥下、生理学的モデル

1. 研究開始当初の背景

高齢者や脳血管障害者の摂食・嚥下障害は、誤嚥性肺炎や窒息の危険、脱水や低栄養の危険をもたらすばかりでなく、「食べる喜び」を奪いその人のQOLを著しく低下させてしまう深刻な問題を起こす。誤嚥性肺炎は老人性肺炎のなかでかなり高い割合を占めてお

り、要介護高齢者の直接死因として最も頻度が高い疾患である。

口から食べる（摂食）飲み込む（嚥下）行為は口腔、咽頭、喉頭、食道やその周囲の筋肉の連動した複雑な動きである。これらの動きは外から観測しにくく、また非常に速い運

動であり、随意的な成分と不随意的な成分を含めてあるため、正確に把握することは困難である。

嚥下機構の解析では、従来X線透視を用いたものが主であるため、2次元上の画像であり、軟組織の描出が不明瞭であった。MRI画像に基づいて構築した生理学的モデルを用いることにより、多方向から嚥下機構の詳細を観測することが可能となる。また摂食嚥下活動を可視化インタフェースの導入により従来の検査法にない情報を提供することが可能である。さらには摂食・嚥下障害に個別に対応して効率的なリハビリテーションを行うことも可能となるだろう。

2. 研究の目的

この研究は、MRI (Magnetic Resonance Imaging) を用いた画像解析法を基盤として、摂食嚥下メカニズムを忠実に再現する生理学的3次元モデルを構築し、そのモデルをリハビリテーションに応用することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 摂食・嚥下メカニズムを模擬した生理学的モデルの構築

嚥下に関連する筋の配置位置を解剖学的資料とMRIデータにより確認しながらモデル化する。できた喉頭の生理学的モデルを舌・下顎モデルと統合することにより嚥下モデルを作成した。さらにモデルにより嚥下の基本動作を再現した。

(2) 生理学的モデルを応用した摂食・嚥下動態の可視化

生理学的モデルの構築のため、またそのモデルが実際の摂食嚥下運動を模擬しているかを検証するためMRIデータを取得した。

生理学的モデルの3次元的な構築と検証のため、国際電気通信基礎技術研究所(京都)の

MRI装置により、健常者2名の摂食・嚥下の動態を観測した。先行研究で収集したMRIデータでは喉頭部の描出が不十分であると思われた。解像度を高めるため、高性能の頭部コイルや、喉頭部専用のコイルを使用した。この部分を同期サンプリング法のMRI撮像により補完した。同期サンプリング法はスキャン用外部トリガーの入力により、撮像タイミングを制御しながら、対象となる運動をこの撮像タイミングに同期することでMRイメージを取得する方法である。これらの定量的な分析結果をモデルの制御に導入し、さらに実測データによりモデルの動的特性を検証した。

岡山大学所有の画像解析用ワークステーションにより立体画像を構築した。動的な嚥下関連筋の構造とその機能の連携動作を定量的かつ客観的に解析し、3次元画像および4次元画像(3次元動画)を作製した。

(3) 座位でのMRIデータの収集

先行研究では得られなかった座位でのMRIデータを収集した。MRIはBrigham & Women's Hospital (Boston, USA)のオープン型の装置を使用した。得られた画像を観察し、摂食嚥下動態、特に咽頭後壁の動きを解析した。

(4) 動画画像解析による検証

動的な嚥下関連筋の構造とその機能の連携動作を定量的かつ客観的に解析し、生理学的モデルの検証を行った。

(5) 摂食嚥下障害者のMRIデータの収集

岡山大学病院、摂食嚥下外来を受診した摂食嚥下障害者のうち本研究に協力の得られた患者についてVFデータの収集を行った。嚥下障害者と健常者からの実測した摂食嚥下動態のデータを用いて、モデルの機能を確認しながら、可視化のインタフェースを作成した。

4. 研究成果

(1) 同期サンプリング法による嚥下動態の描出

MRIを用いて摂食嚥下動態を評価したものはいまだ少なく国外では2001年Anagnostarらがturbo-FLASH(turbo-fast low angle shot)を用いて、また同年Barkhausenらがtrue-FISP(true fast imaging with steady precession)という高速撮影法を用いて嚥下活動を観測している。国内では1999年磯谷らがEPIにより嚥下を評価している。また2002年北野らがCine-MRIを用い頭頸部腫瘍術後患者の嚥下を観測した。同期サンプリング法による嚥下動態の描出を試みた報告は僅かしかない。我々は口腔から喉頭部にかけて矢状断面を各断層面につき60フレーム/秒の連続画像を取得した。(Fig.1)この手法により詳細な嚥下関連組織の動きが解析できた。MRIは軟組織の描出能に優れ、放射線被曝がないため嚥下動態を観察するための新たなモダリティとして期待できる。

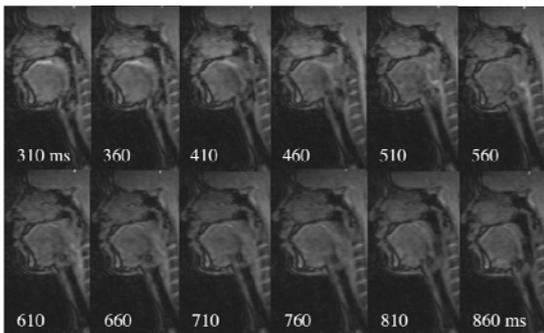


Fig.1 同期サンプリング法を用いた嚥下動態画像

口腔から喉頭部にかけて矢状断面を60フレーム/秒の連続画像として取得したもののうち12枚の画像(310-860 ms, 50 ms間隔)を示す。MRI経口造影剤を使用。

(2) 座位での嚥下動態の描出

これまでの研究において、MRIは被検者の撮影姿勢が仰向けに限られることが問題点のひとつであった。我々は座位での撮影が可能なOpen-configuration MRIを用いて嚥下動態を描出した。(Fig.2)これにより生理的な嚥下運動が観察できた。また咽頭後壁における6つの構造物(舌骨、喉頭、上咽頭部、下咽頭部、食道入口部、食道上部)の垂直的および水平的移動距離はVFの計測値と優位差はなく、MRIが嚥下動態の解析に有用であることが示唆された。(Fig.3)

MRIによる座位での嚥下動態の描出は、世界的に初めての試みであった。この研究は2009 Dysphagia Research Societyにてポスター賞に入賞した。



Fig.2 (a): 0.5-Tesla SIGNA-SP/i™ open-configuration MRI system (General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI) ドーナツ型のマグネットが2つ並ぶ構造になっている。中央に特注の椅子を設置している。(b): 被験者は椅子に座り、頭に受信用のコイル(SIGNA-SP FLEX 4 coil)を巻いて撮影を行った。

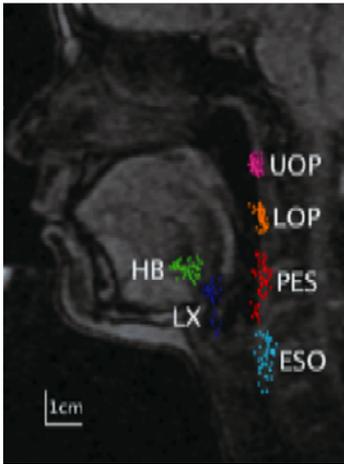


Fig. 3 咽頭後壁における6つの構造物（舌骨:HB、喉頭:LX、上咽頭部:UOP、下咽頭部:LOP、食道入口部:PES、食道上部:ESO）の動きをプロットした。

(3) 生理学的嚥下モデルの構築

これまで発声（口腔と喉頭）器官の生理学的モデルに関する研究は、仏国立科学研究センター音声通信研究所（ICP）、米国のMITと米国の音声国家センター（NCVS）などの研究機関で行われていた。その中、ICPとMITはそれぞれ舌の3次元生理学的モデルを構築しているが、彼らの研究はモデルの構築法を検討している段階にとどまっている。一方、喉頭モデルについて、NCVSは主に発声機構、特に声帯の軟組織のモデル化を中心として研究を進めている。摂食・嚥下機構に関する生理学的モデルはまだなかった。我々はMRIを用いた摂食嚥下動態の画像解析法と発話器官生理学的モデルとを統合し、摂食嚥下器官の生理学的3次元モデルを構築した。

前述のMRIデータをもとに舌・下顎・舌骨・喉頭部などを含む3次元生理学的嚥下モデル（以下嚥下モデル）を構築し、収集されたMRIデータと比較しながら、嚥下モデルの運動を検証した。（Fig. 4）

嚥下モデルの動作検証を行ったところ、舌、

舌骨の動きにおいて、MRIと類似した軌跡を描いていた。（Fig. 5, 6） 喉頭蓋の倒れこむ角度は、嚥下モデルからは63.5度から 34.5 度であることが分かった。しかしMRIでの喉頭蓋の動きの描出は不十分であった。

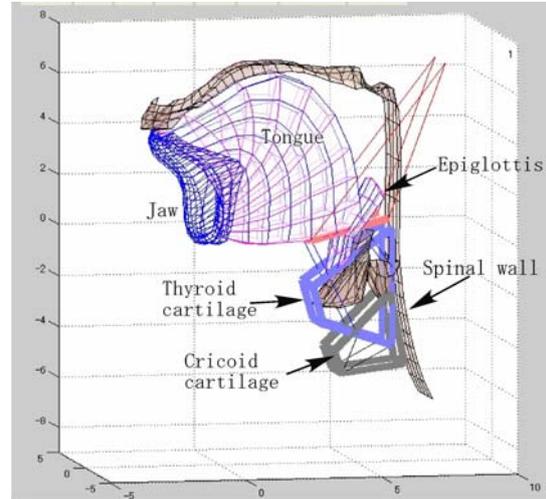
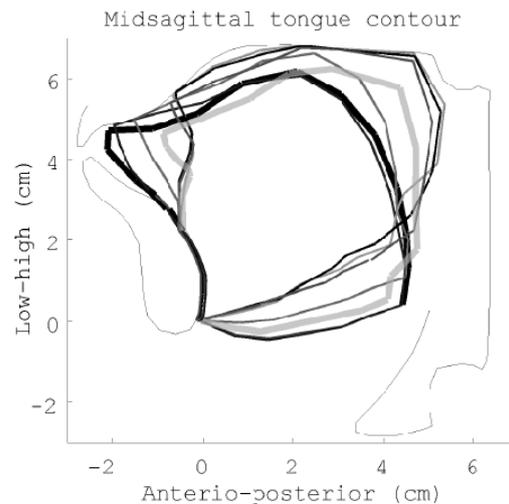


Fig. 4 3次元生理学的嚥下モデル

嚥下モデルは口唇、舌、口蓋、下顎骨、咽頭後壁、喉頭蓋、喉頭部を有し、ここに筋肉を配置している。有限要素法と筋肉バネ理論を応用し、任意のパラメータを設定することで生理学的な嚥下の動きをシミュレートできる。



A

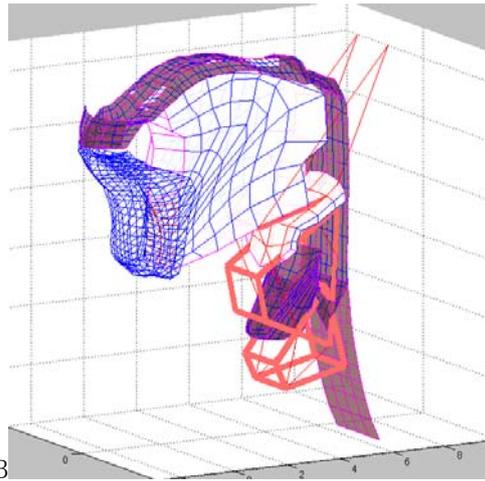
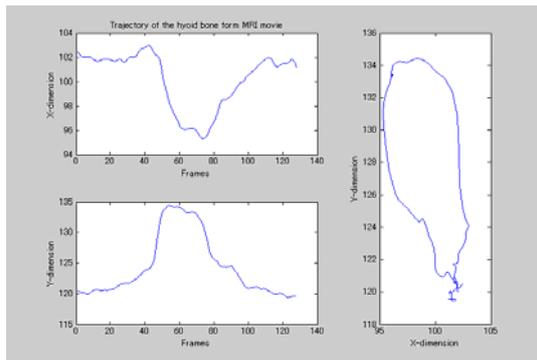


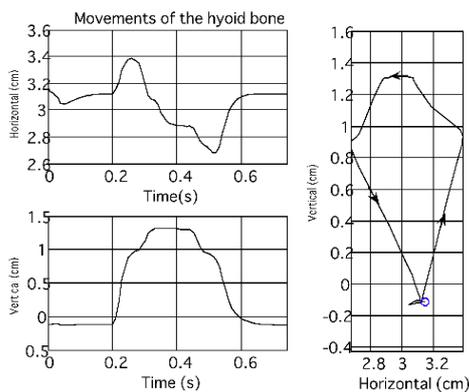
Fig.5 舌の軌跡と喉頭の挙上

A : MRI における舌の軌跡。太線は舌の安静時と挙上時。

B : 嚥下モデルにおいて舌が口蓋に接触し、喉頭が挙上時。



A



B

Fig.6 舌骨の動きの検証

A : 嚥下モデルにおける舌骨の動きの軌跡。垂直的には 1.40 cm、水平的には 0.66cm の

移動距離であった。B : MRI から得られた舌骨の動きの軌跡。垂直的には 1.42 cm、水平的には 0.70cm の移動距離であった。両者を比較すると、類似した軌跡を描いており、嚥下モデルが嚥下動態をシミュレートしていることが示された。

構築した嚥下モデルは、舌・下顎・舌骨・喉頭部の構造物と、解剖学的な位置関係に配置された筋肉によりなる。嚥下モデルの動きは有限要素法と筋肉バネ理論を応用し、任意のパラメータを設定することで生理学的な嚥下の動きをシミュレートできた。

嚥下動態のMRIデータを収集し、これに基づいた舌、喉頭部の嚥下モデルを構築した。嚥下モデルは、舌、舌骨の動きに関してMRIデータから得られた軌跡をシミュレートすることができ、また咽頭閉鎖のメカニズムが予測された。しかし、完全な嚥下モデルの構築には、MRI撮像法の改善や軟口蓋のデータを加える必要がある。

嚥下モデルは任意のパラメータを設定することで生理学的な嚥下の動きをシミュレートできるため、将来的には摂食嚥下障害のリハビリテーションへの応用が可能と思われた。

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 3件)

① Honda Y, Hata N, Dynamic imaging of swallowing in a seated position using open-configuration MRI., J Magn Reson Imaging. 172-6, 2007, 査読あり

② 道脇幸博、齋藤真由、丹生かず代、小澤素子、南雲正男、角保徳、本多康聡、四次元MRIの矢状断画像による嚥下運動の観察、日本口腔科学会雑誌54 巻 3 号、309-315、2005、査読あり

③ 石田瞭、有岡享子、鈴木美希子、本多康聡、

林邦夫、森田幸介、森貴幸、北ふみ、江草正彦、岡山大学病院における摂食・嚥下リハビリテーション部門の役割、岡山歯学会雑誌24巻2号、61-69、2005、査読あり

〔学会発表〕(計 7件)

① Y Honda, R Ishida, Y Yanagi, Dynamic imaging of swallowing in a seated position using open-configuration MRI, DRS2009, 5-8 March 2009, New Orleans, USA

② 本多康聡、石田 瞭、MRI データを用いた舌、喉頭部の3次元の嚥下モデル構築、第13回摂食・嚥下リハビリテーション学会、2008年9月14日・15日、埼玉

③ J Dang, Modeling of Swallowing Mechanism based on MRI Observation, International Symposium on Biomechanics, healthcare, and Information Science, 17-18 March 2007, Kanazawa, Japan

④ Y Honda, Dynamic Magnetic Resonance Imaging of Swallowing, International Symposium on Biomechanics, healthcare, and Information Science, 17-18 March 2007, Kanazawa, Japan

⑤ Y Honda, Dynamic Magnetic Resonance Imaging of Swallowing using a Synchronized Sampling Method, ISMRM2006, 6-12 May 2006, Seattle, USA

⑥ 本多康聡、柳 文修、座位での摂食嚥下動態の描出、第25回日本画像医学会、2006年2月25日・26日、東京

⑦ 党 健武、本多康聡、柳 文修、嚥下モデル作成の試み、第10回臨床画像大会、2005年9月16日・17日、仙台

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本多 康聡 (HONDA YASUTOSHI)

岡山大学・大学院医歯薬学総合研究科・助

教

研究者番号：40284070

(2) 研究分担者

党 健武 (TOU TAKESHI)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：80334796

石田 瞭 (ISHIDA RYO)

東京歯科大学・歯学部附属病院・講師

研究者番号：00327933

柳 文修 (YANAGI YOSHINOBU)

岡山大学・医学部・歯学部附属病院・助教

研究者番号：50284071

岸 幹二 (KISHI KANJI)

岡山大学・大学院医歯薬学総合研究科・教授

研究者番号：30033202

河井 紀子 (KAWAI NORIKO)

岡山大学・大学院医歯薬学総合研究科・助

手

研究者番号：60284072