

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 6 日現在

機関番号：32622

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009 年度～2011 年度

課題番号：21659489

研究課題名（和文） 嚥下運動を再現したヒューマノイド型ロボットの開発

研究課題名（英文） Development of humanoid type swallowing robot

研究代表者

道脇 幸博 (MICHIWAKI YUKIHIRO)

昭和大学・歯学部・兼任講師

研究者番号：40157540

研究成果の概要（和文）：嚥下のバイオメカニクスを解明するためにヒューマノイド型嚥下ロボットを製作することが本研究の目的である。構造データは CT の分析、運動データは VF や cineMRI の解析から得た。材料には、骨格系はプラスチック、舌はポリウレタン、咽頭壁はシリコンとした。人工舌に板バネを内臓させこれを Mckibben 型人工筋肉で連続的に牽引することで舌背の凹凸を波状に作り出した。その結果、ロボット舌はこんにやくを咽頭まで送り込むことができた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to fabricate swallowing robot for clarifying the swallowing mechanism. The structure was based on CT images, movement data was from the analysis of VF and cineMRI. Materials were plastic for skeletons and polyurethane for the tongue, and silicon for the pharyngeal wall. Robotic tongue included sheet springs which were retracted with sequence to make wave movement of its dorsal surface. Robotic tongue transferred hard jelly to the pharyngeal space.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	900,000	0	900,000
2010 年度	1,100,000	0	1,100,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	330,000	3,430,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・社会系歯学

キーワード：嚥下ロボット、嚥下運動、医用工学、リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

これまでの研究成果と着想に至った経緯
現状では、摂食・嚥下障害の完全回復は望めないため、病態診断と障害メカニズムを把握するための努力がされている。中心は嚥下造影検査や嚥下内視鏡検査、また研究レベルではわれわれが開発した cineMRI である。しかし、生理運動についても障害の仕組みについても解明には至っていない。
そこで、創薬開発における動物実験系に相当

するシステムとしてロボットの応用を着想した。国内外の研究を見ると、摂食・嚥下障害に関する国際学会である Dysphagia Research Society や本邦の摂食・嚥下リハビリテーション学会、また国際ロボット学会においてもこのような研究報告はない。なお嚥下時の舌運動を再現したわれわれの研究は日本摂食・嚥下リハビリテーション学会において平成 17 年度学会賞を授与された。

2. 研究の目的

先行研究において嚥下造影検査や内視鏡、**cineMRI** 等の成果を基礎データとして舌の送り込み運動を再現した嚥下ロボット1号機を製作した。本研究では関連器官の全ての動きを統合してヒューマノイド型嚥下ロボットを完成させることが目的である。

3. 研究の方法

(1) 骨・軟骨系の制作

CTの再構築画像を基に画像処理やトレス結果から、舌骨、甲状軟骨、輪状軟骨、喉頭蓋、咽頭空間の立体構造データを得た。これをCAD-CAM方式で三次元プリンターを使って制作した。素材はABS樹脂である。

(2) 軟組織の制作

舌はポリウレタンを整形し、咽頭壁はシリコンゲルを素材として流し込み方式で制作した。

(3) 運動の再現方式

運動データは先行研究で解析済みであった。舌と咽頭壁の運動のシステム構成は、コンプレッサーとパーソナルコンピュータ

(PC)、圧縮空気、電空レギュレーター、そしてアクチュエーターである。電空レギュレーターにPCを接続して出力空気圧をコントロールして、アクチュエーターの収縮をシーケンス制御する仕組みとした。

4. 研究成果

本研究では、舌から中咽頭までが完成したので、飲み込み実験をおこなった。まず四角柱の形状のコンニャクを飲み込む実験をおこなった。コンニャクは舌ロボットの舌背の

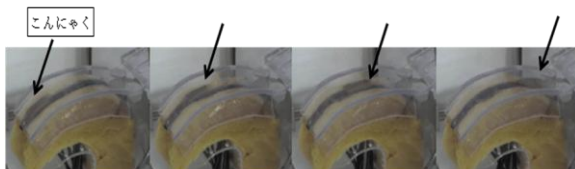


図. 舌ロボットによるこんにゃくの送り込み運動の様子。こんにゃくは舌背の連続的な陥凹と突出(波状運動)によって咽頭側に移送されている。

陥凹部の移動に伴い口腔から喉頭蓋の上まで送り込まれた(図)。

舌ロボットを仰臥位にしても、コンニャクは下から上へ重力に逆らう方向に輸送されたので、陥凹部の移動によってコンニャクを移送したことが確かめられた。とろみ水も、口腔から喉頭蓋の上まで輸送することができた。水道水では一部を舌背の陥凹部に保持して咽頭側に移送したが、ロボット舌と口蓋との密封性が不完全であるため大部分は重力によって舌背の周囲にこぼれ落ちた。

舌の送り込み運動は進行波的波動運動と考えられ、送り込みのパターンの一つが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

1) Sonomura, M., H. Mizunuma, T. Numamori, Y. Michiwaki and K. Nishinari, Numerical simulation of the swallowing of liquid bolus, *J. Texture studies*, 42:203-211, 2011.

2) K. Nishinari, M. Takemasa, L. Sua, Y. Michiwaki, H. Mizunuma, H. Ogoshi: Effect of shear thinning on aspiration e Toward making solutions for judging the risk of aspiration. *Food Hydrocolloids* 25:1737-1743, 2011.

3) Sumi Y, Ozawa N, Miura H, Michiwaki Y, Umemura O.

「Oral care help to maintain nutritional status in frail older people」

Arch Gerontol Geriatr 51:125-128, 2010.

4) 道脇幸博、安藤亮一：高齢者の嚥下障害に対してどのように対応すればよいでしょうか。腎と透析 66 巻4号 2009

[学会発表] (計38件)

1) 道脇幸博、角田佳折、北村清一郎、里田隆博：嚥下運動の動的解剖モデルの製作—嚥下のメカニズム解明に向けて—。第117回日本解剖学会総会・学術集会、2012年3月26-28日、甲府市

2) 道脇幸博：嚥下から考える食品による窒息のメカニズム。「第14回子ども虐待防止シンポジウム」2012年2月4-5日、横浜市

3) 道脇幸博：嚥下のメカニクスを可視化したサイエンスCG。第38回日本臨床バイオメカニクス学会、2011年11月18-19日、神戸市

4) 道脇幸博、角 保徳：3次元コンピュータグラフィクスによる嚥下運動の可視化。第56回日本口腔外科学会総会・学術集会、2011年10月22-23日、大阪市

5) 道脇幸博、角 保徳：食品による窒息によって三次救急病院に救急搬送された症例の発症要因と臨床経過、医療費に関する検討。第56回日本口腔外科学会総会・学術集会、2011年10月22-23日、大阪市

6) 道脇幸博：食品の物性によって変わる肺炎と窒息のリスク。第38回食品物性シンポジウム、2011年9月17-18日、名古屋市

7) K. Nishinari, M. Takemasa, L. Su, Y. Michiwaki, H. Mizunuma, H. Ogoshi: Effect of shear thinning on aspiration ~ toward making solutions for judging the risk of aspiration~, 16th Gums and Stabilisers Wageningen, The Netherlands
June 30, 2011

8) 道脇幸博：急性期地域医療支援病院での歯

科を中心とした嚥下チーム。シンポジウム 3
「総合病院での歯科の役割(2)—摂食・嚥下リ
ハビリテーションにおける連携—」
第 22 回日本老年歯科医学会総会・学術集会、
2011 年 6 月 18-19 日、東京都
9) 道脇幸博、角 保徳、愛甲勝哉：3 次元コ
ンピュータ・グラフィックスによる嚥下運動
の可視化。第 22 回日本老年歯科医学会総会・
学術集会、2011 年 6 月 18-19 日、東京都
10) 道脇幸博、角 保徳、愛甲勝哉：食品に
よる窒息によって三次救急病院に救急搬送
された症例の発症要因と臨床経過、医療費に
関する検討。第 22 回日本老年歯科医学会総
会・学術集会、2011 年 6 月 18-19 日、東京
都
11) 角 保徳、小澤 総喜、小島規永、道脇
幸博、鷲見幸彦、鳥羽研二：軽度認知症患者
の口腔状況と口腔管理方法の構築への試み。
第 22 回日本老年歯科医学会総会・学術集会、
2011 年 6 月 18-19 日、東京都
12) 道脇幸博、西成勝好、水沼博、大越ひろ：
シミュレーターによる誤嚥機構解明とビデオ
オブログラフイーによる誤嚥症例の検
討。第 34 回日本バイオレオロジー学会、2011
年 6 月 3-4 日、大阪市
13) 道脇幸博、角 保徳、愛甲勝哉：3 次元
コンピュータ・グラフィックスによる嚥下運
動の可視化。第 65 回日本口腔科学会総会・
学術集会、東京
14) 道脇幸博、角 保徳、愛甲勝哉：食品に
よる窒息によって三次救急病院に救急搬送
された症例の発症要因と臨床経過、医療費に
関する検討、東京
15) 愛甲勝哉、道脇幸博、大木麻衣、笠原文美、
江藤美佳、丹藤とも子、宮本加奈子
視床と被殻出血患者の摂食状況に関する比
較検討
日本静脈経腸栄養学会(2011 年 2 月 名古屋)
16) 向山仁、道脇幸博。入院患者さんのための
口腔ケアの多施設間での標準化の取り組み
その第一歩
第 46 回日本赤十字社医学会総会(2010 年 11
月 仙台)
17) 道脇幸博、小林 宏、橋本卓弥：ロボット
製作を通じた嚥下時の舌運動のバイオメカ
ニクスの解明に関する研究
第 37 回日本臨床バイオメカニクス学会
(2010 年 11 月 京都)
18) 道脇幸博：地域医療支援病院での歯科を中
心とするチーム医療：第 25 回日本病院歯科
口腔外科協議会学術集会 (シンポジウム)
(2010 年 10 月千葉)
19) 道脇幸博、角 保徳：有限要素法による嚥
下のシミュレーションモデルの構築
第 16 回日本摂食・嚥下リハビリテーション
学会 (2010 年 9 月 新潟)
20) 道脇幸博、角 保徳：CG アニメーション

による嚥下運動の可視化
第 16 回日本摂食・嚥下リハビリテーション
学会 (2010 年 9 月 新潟)
21) 大木 麻衣、笠原 文美、江藤 美佳、丹
藤 とも子、宮本 加奈子、道脇 幸博：脳
出血急性期患者におけるパスを使った摂
食・嚥下訓練の現状と課題
第 16 回日本摂食・嚥下リハビリテーション
学会 (2010 年 9 月 新潟)
22) 石川真理子、大橋美甫、楠美樹、岡元弥生、
愛甲勝哉、奥田悦子、道脇幸博：口腔ケアの
システム化に向けたアセスメント・ケア一
体型フローシートの作成
第 16 回日本摂食・嚥下リハビリテーション
学会 (2010 年 9 月 新潟)
23) 園村 光弘、水沼 博、道脇 幸博、西成 勝
好。液状食品の嚥下シミュレーション
第 59 回理論応用力学講演会 (NCTAM2010)
(2010 年 6 月 8 日~10 日 東京)
24) H. Mizunuma, Y. Michiwaki
Food Oral Processing
Physics, Physiology and Psychology of
Eating (July 2010, Leeds, England)
25) Y. Michiwaki and H. Kobayashi
Swallowing robot to clarify the swallowing
mechanism. Food Oral Processing
Physics, Physiology and Psychology of
Eating (July 2010, Leeds, England)
26) 道脇幸博、角 保徳
有限要素法による嚥下時の食塊のシミュレ
ーションモデルの構築。第 65 回日本口腔科
学会総会 (2010 年 6 月 24 日 札幌)
27) 道脇幸博、角 保徳：3 次元コンピューター
グラフィックスによる嚥下運動の可視化。
第 65 回日本口腔科学会総会 (2010 年 6 月 24
日札幌)
28) 道脇幸博、安藤亮一、増子はるみ、宮本
加奈子：NST と褥瘡、緩和ケアのコラボレ
ーションツールとしての嚥下パスの発展性
— シンポジウム 第 45 回日本赤十字医学
会総会 2009 年 10 月 17-18 日 前橋市
29) 東原和宏、小林宏、道脇幸博：器官形状
を再現した母音発音ロボットの開発。
ROBOMECH09 2009 年 5 月 25 日。福岡市
29) 道脇幸博：嚥下ロボット製作を通じて嚥
下運動を再考する—舌と喉頭蓋について—
第 15 回日本摂食・嚥下リハビリテーシ
ョン学会学術大会、2009 年 8 月 28, 29 日 名古屋
市
30) 横山寛礼、水沼博、道脇幸博、下笠賢二：
介護用回転式電動歯ブラシの開発研究。第 15
回日本摂食・嚥下リハビリテーション学会学
術大会、2009 年 8 月 28, 29 日、名古屋
市
31) 西澤直子、宮本加奈子、丹藤とも子、江
藤美佳、増子はるみ、園田格、道脇幸博：嚥
下パスの運用と効果 (1) —脳卒中急性期患
者への適応— 第 15 回日本摂食・嚥下リハ

ビリテーション学会学術大会、2009年8月28,29日、名古屋市

32)江藤美佳、道脇幸博、園田格、西澤直子、丹藤とも子、宮本加奈子、増子はるみ：嚥下パスの運用と効果(2)－脳卒中急性期患者に対する効果－ 第15回日本摂食・嚥下リハビリテーション学会学術大会、2009年8月28,29日、名古屋市

33)上間加奈子、岡元弥生、道脇幸博：嚥下パスと味付きマッサージ棒が嚥下機能の回復に有効であった脳幹出血患者の一例第15回日本摂食・嚥下リハビリテーション学会学術大会、2009年8月28,29日、名古屋市

34)水沼博、道脇幸博：4-D MRIに基づく咽頭部の運動と食塊流動の解析。日本機械学会2009年度年次大会・2009年9月13～16日 盛岡市

35)園田 格、道 泰之、道脇幸博、天笠光雄：小手術用短期入院パスの運用の試み。第54回日本口腔外科学会、2009年10月9-11日 札幌市

36)清水敬子、小野和泉、山根勇祐、稲吉礼子、佐々木理恵、楠さくら、道脇幸博、藤原等、岡田寛、宮本貴庸、尾林徹：重症挿管患者に対する口腔機能評価プログラムの作成。多摩地区虚血性心疾患研究会

37)道脇幸博、安藤亮一、増子はるみ、宮本加奈子：NSTのツールとしての嚥下パスの有用性第45回日本赤十字医学会総会2009年10月17-18日 前橋市

38)園田 格、道脇幸博：歯科小手術用短期入院パスの開発。第10回日本クリニカルパス学会学術集会 2009年12月4-5日 岐阜市

〔図書〕(計2件)

1)道脇幸博、天笠光男、齊藤毅、川添堯彬、編集：POSに基づく歯科診療とPOMR 金芳堂 2011年

2)道脇幸博：臨床歯科医学、言語聴覚士テキスト(第2版) 医歯薬出版 2011年

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称：嚥下シミュレーション装置及び方法

発明者：道脇幸博、神谷哲、外山義雄

権利者：株式会社 明治

種類：特許

番号：特願2011-146780

出願年月日：2011年6月30日

国内外の別：国内

〔その他〕

1) 道脇幸博：窒息のメカニズム解明へロボット作り再現、事故防止に生かす(山梨日日新聞 2010年9月11日)

2) 道脇幸博：窒息のメカニズム解明へ嚥下ロボ開発、事故予防目指す(秋田さきがけ 2010年9月21日)

3) 道脇幸博：食べ物での窒息事故防げーどんなものがどのようにして詰まる？ロボットで仕組み解明へ

(大分合同新聞 2010年9月25日)

4) 道脇幸博：食べ物詰まる窒息事故防げー仕組み解明にロボット、症例集め状況調査も(静岡新聞 2010年10月4日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

道脇幸博 (MICHIWAKI YUKIHIRO)

昭和大学・歯学部・兼任講師

研究者番号：40157540