

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：32710

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23390449

研究課題名(和文) 構音機能を有する柔軟性アクチュエータと嚥下機能を補助する自己駆動型人工舌の開発

研究課題名(英文) Development of self-driven artificial tongue to aid swallowing function and soft actuator for phonetic function

研究代表者

大久保 力廣 (OHKUBO, CHIKAHIRO)

鶴見大学・歯学部・教授

研究者番号：10223760

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円、(間接経費) 3,810,000円

研究成果の概要(和文)： 嚥下補助機能付人工舌の開発をCTデータによりVR空間で行った。本装置の役割は嚥下・構音の補助である。本装置は嚥下口腔相における舌背中央部で一時的に食塊を保持し、食塊が人工舌と口蓋に介在した状態で閉口した際に、人工舌にかかる圧をトリガーとして、一連の動作に必要な舌変形が連続して生じることを特徴とする。一方、人口舌の固定が困難な無歯顎や部分骨欠損患者に対しては、固定源としてのインプラントの活用が有効であることを確認した。

本研究を通じて、人工舌設置にはCTデータを用いVR空間での 外科シミュレーション、人工舌の設計、プラットフォームの設計のプロセスが重要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)： It is very difficult to reproduce normal tongue movement in the oral phase of swallowing with an artificial tongue. This study developed a novel artificial tongue to assist in swallowing.

The fabric of the artificial tongue was constructed with plastic and rubber bands and was designed to reproduce tongue movement in the oral phase of swallowing. A series of movements of the artificial tongue were induced by applying slight pressure.

Our artificial tongue reproduced the series of tongue movements as follows; 1. Hold the food bolus to the center of dorsum of tongue via closing mouth (trigger) + Closing the pharynx, 2. Open the pharynx via lifting base of tongue, 3. Flowing the food bolus into the opened pharynx, 4. Flowing the food bolus into laryngopharynx with pressure on the base of tongue. The trigger for the series was volitional movement. Therefore, it was considered that the artificial tongue could assist in more normal physiological swallowing.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・補綴系歯学

キーワード：歯学 顎顔面補綴 人工舌 CTデータ VR空間 プラットホーム 三次元舌モデル

## 1. 研究開始当初の背景

これまで、人工舌に応用可能な各種柔軟性アクチュエータと自己駆動機構を有する嚥下補助装置の開発を行ってきた。まずは、CT画像データを用いて、日本人男性 40 名の平均的な舌の容量および形態を測定し、舌容量は BMI および下顎歯列弓容積に高い相関があることを明らかにした (Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology 2010)。また舌容量は個人差も大きく、その平均は  $78,990 \pm 10,607.8 \text{ mm}^3$  であり、平均容量および形態をもとに VR 舌モデルを製作した (International College of Prosthodontists, 2009)。アクチュエータの製作に際しては、複数のアクチュエータを個別に制御した場合、各アクチュエータ間の相互干渉によって制御性能の劣化やハンチングを生じることから、人工舌に適切な形態・位置変化を行わせるためのアクチュエータの配置や相互干渉を検証し、軟組織フィジカルモデル製作に適した柔軟性アクチュエータの開発を行った。いくつかのプロトタイプを試作した結果、空気圧とナイロンストリングの張力を利用した 2WAY 方式の軟性アクチュエータを舌の柔軟性運動を再現する最適モデルと決定した。

開発した 2WAY 方式プロトタイプモデルは、アクチュエータ同士の干渉もまったく無く、従来までの多関節ロボットでは到達できない、舌固有の曲線でリズムカルな柔軟性運動と形態の多様化を再現することが可能であることを確認した。

しかしながら、空気圧を利用することから舌本来の動態を実現するためには、駆動源および圧搾機構部の確保が必要であり、基本的には超小型バッテリー(内蔵式)を採用するか、将来的には無線電力供給システムを応用することを視野にいれる必要があり、実際の臨床応用へのハードルは高かった。

そこで、駆動源を必要としなくても自己駆動機構を有し、口腔中央付近に存在する食物を運搬し、リズムカルな嚥下を実現する人工舌の開発を検討していた。

## 2. 研究の目的

悪性腫瘍などにより舌を喪失した場合には、著しい口腔機能障害が発現する。特に摂食嚥下・発音は人間の生活にとって必要不可欠な機能であり、舌切除後の機能回復は顎顔面補綴領域において、非常に重要な喫緊の課題である。しかしながら、従来の人工舌は積極的な機能補助機構を具備しておらず、舌の欠損スペースは満たすものの、きわめて不十分な人工物であった。

本研究は、舌本来の嚥下・発語機能の回復を目指し、これまでに開発してきた発語用柔軟性アクチュエータと自己駆動型嚥下補助装置を用いて、積極的に嚥下・構音補助が可能な人工舌を完成し、臨床応用することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 嚥下補助機構付人工舌の開発

嚥下補助機能付人工舌に関して CT データを用い VR 空間での開発を行った。本装置の役割は嚥下・構音の補助である。本装置は嚥下口腔相における舌背中央部での一時的な食塊を保持し、食塊が人工舌と口蓋に介在した状態で閉口した際に、人工舌にかかる圧をトリガーとして、一連の動作に必要な舌変形が連続して生じることを特徴とする。すなわち、患者のタイミングで生理的な嚥下を促すことが可能となる自己駆動型装置である。

### (2) 嚥下補助機構付人工舌プラットフォームの設計

人口舌の固定が困難な無歯顎や部分的骨欠損患者に対してはプラットフォーム設置が必須となる。プラットフォーム設置には確実な固定源が必要となり、デンタルインプラントを 1~数本埋入し、固定源として活用することの可能性について探索する。

CT データをもとに、骨・舌・舌下組織(筋)・軟口蓋・気道のモデルを作成後、下顎骨・三次元軟組織モデルを用いて、口腔外科医と切除範囲等を外科シミュレーションにて決定し、患者の三次元舌モデルのサイズ・形態、切除範囲を考慮し人工舌のデザインを行う。その後、舌のサイズ・形態や下歯槽神経の走行を確認する。下顎骨の厚みや高さを観察し、プラットフォーム設置に必要なインプラントの種類や埋入位置の検討を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 嚥下補助機構付人工舌の開発

従来の人工舌は図 1 に示すように積極的な機能補助機構を具備しておらず、舌の欠損スペースは満たすものの、きわめて不十分な人工物であった。

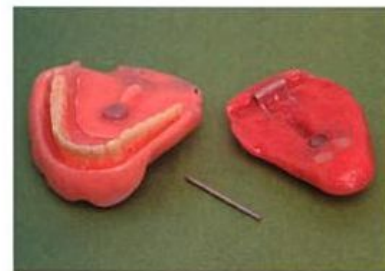


図 1 従来の人口舌

また、舌は本来図2Aから2Dまでの相で積極的に活動し、食塊を口腔内から咽頭へ移動させるため、従来の人工舌では十分な嚥下補助は困難であった。

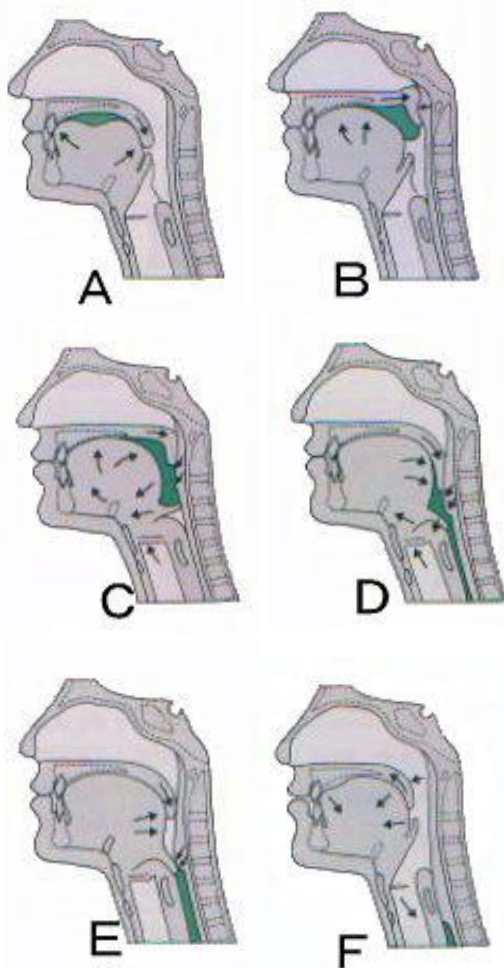


図2A, B, C, D, E, F  
舌による嚥下様相

そこで我々が考案した自己駆動型嚥下補助人工舌の原理を図3に示す。将来的な臨床応用を目指し、動力源を必要としなくても自己駆動し、食物移動と嚥下を補助する人工舌の原理となっている。

本人工舌は、口腔内の下顎歯列内の形状に適合する外形を有するサポート部とサポート中央から前後方に設けられた可動部から成る。可動部はサポート部の基部に連結機構を有し、上面は前舌部材とアームを介して運動可能に接続された後舌部材により構成される。アームの一部には停止位が設置され、その上面には中舌部材があり、弾性をもって連結される。

この人工舌の動作は中舌部材と口蓋の間に食塊が位置し下顎が閉じられると、中舌部材がわずかに回転し、なおかつ、中舌部材が全体的に下がり、食塊が後方に移動すると同時に奥舌部に保持される。その後、咽頭が開

かれ食塊は移動し、最終的に食道に運搬される。

この人工舌によれば嚥下時の舌形態を再現できるので、嚥下補助が可能となる。また残存した舌や軟口蓋が刺激され嚥下反射を惹起することが期待される。さらに鼻咽腔を閉鎖して、口腔内で食塊を一時的に保持することも可能なため、鼻咽腔への食塊の流入や誤嚥を防止できる。

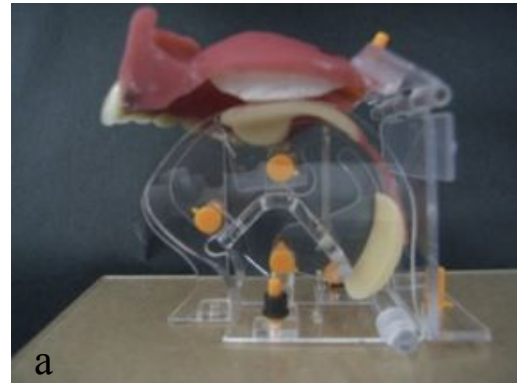


図3a 安静時

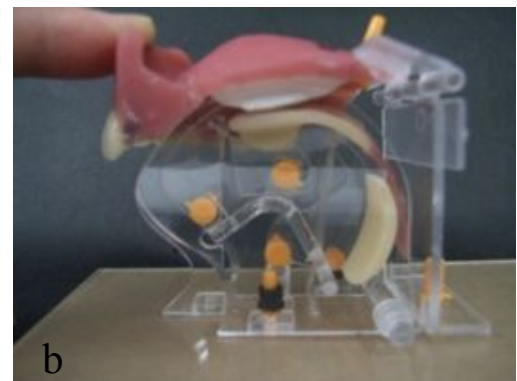


図3b 閉口し舌を口蓋に押しつけることにより食塊が舌背中央に保持される(トリガー)



図3c 舌根部が拳上し、咽頭が開く、開いた咽頭へ食塊が流入する

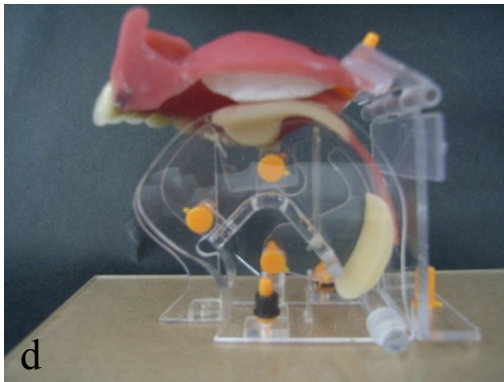


図3d 舌根部が後方へ戻る圧により、食塊は咽喉頭へ流入する

図3 考案した自己駆動型嚥下補助人工舌の原理

そこで1回のトリガーにより、嚥下補助に必要な人工舌の形態変化を引き起こす基本的機構の設計を行った。

その設計原理は、舌背中央部での一時的な食塊保持、その際の鼻咽腔閉鎖、その後の積極的な後方への食塊移動を実現させる。食塊が人工舌と口蓋に介在した状態で閉口した際に、人工舌にかかる圧をトリガーとして、一連の嚥下動作が発現する。しかし、トリガーとなる、閉口時の人工舌を口蓋へ押しつける動作に耐えうるプラットホームの設計が必要となった(図4)。

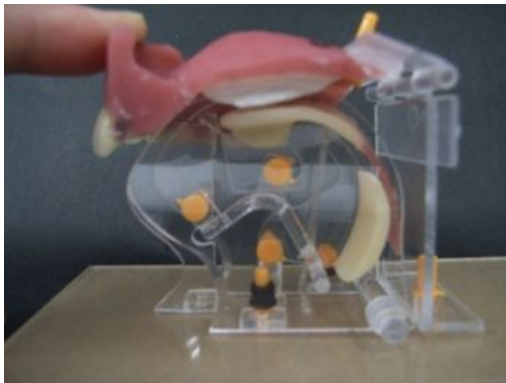
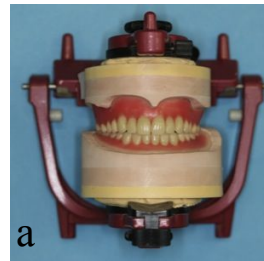
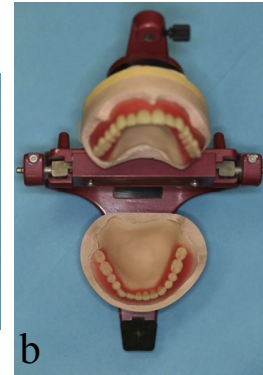


図4 閉口時の人工舌を口蓋へ押しつける動作

特に、無歯顎の場合は、軟組織のみの支持となるため人工舌の設置・可動は困難となるため、プラットホームの設計が必要となる(図5)。



a

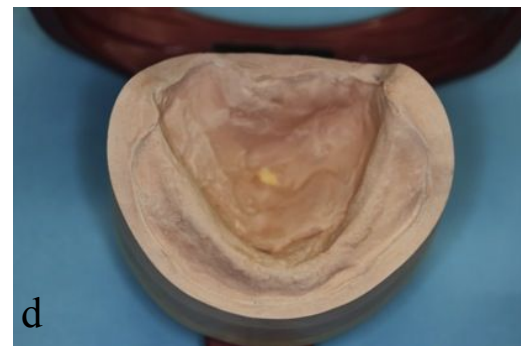


b

図5a, b 無歯顎に人工舌の設置



c



d

図5c, d 無歯顎の人工舌の設置と可動は軟組織のみの支持となる



e

図5e 無歯顎の人工舌用蝸義歯(咬合面観)

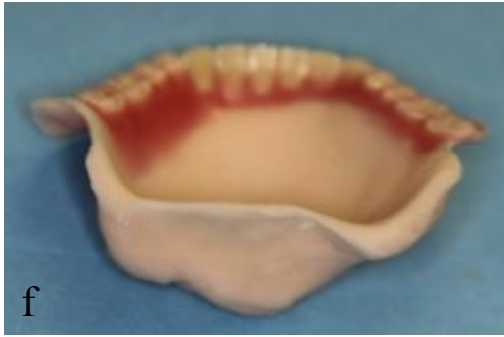


図5f 無歯顎の人工舌用蝟義歯  
(後方面観)



図5g 無歯顎の人工舌用蝟義歯  
(基底面観)

図5 無歯顎の人工舌の設置と可動

そこで、CT データによる顔面モデル(図6)から、骨・舌・舌下組織(筋)・軟口蓋・気道のモデルを作成した(図7)。このモデルより三次元軟組織モデルを抽出した(図8)。その後、下顎骨・三次元軟組織モデルを作成し、このモデルを用いて(図9)、口腔外科医と切除範囲等を外科シミュレーションにて決定した。決定後、患者の三次元舌モデルのサイズ・形態、切除範囲を考慮し、人工舌のデザインを行った。

その後、舌のサイズ・形態や下歯槽神経の走行を確認した(図10)。下顎骨の厚みや高さを観察し、プラットホーム設置に必要なインプラントの種類や埋入位置を検討した(図11)。



図6 CT データによる顔面のモデル



図7 骨・舌・舌下組織(筋)・軟口蓋・気道のモデル

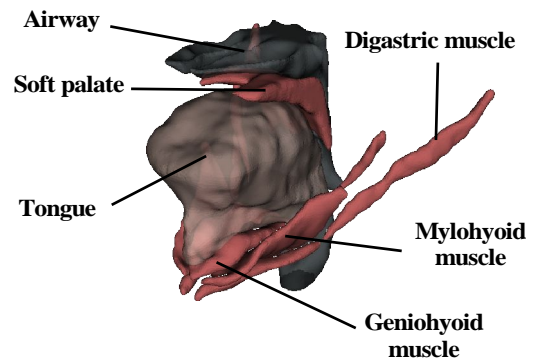


図8 三次元軟組織モデル

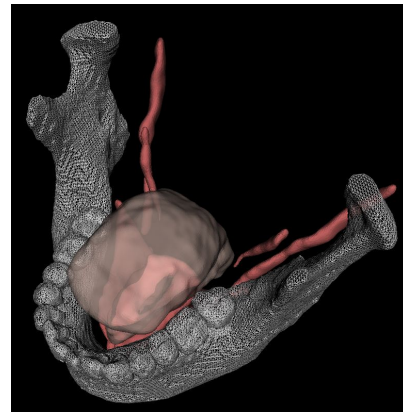


図9 下顎骨・三次元軟組織モデル

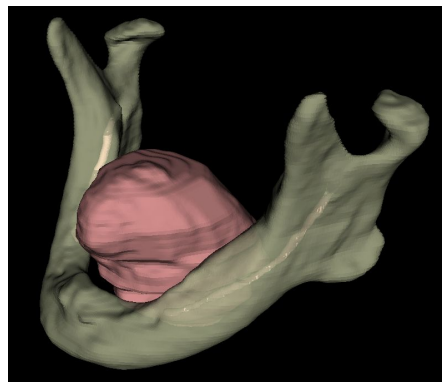


図10 下顎骨・三次元舌モデル

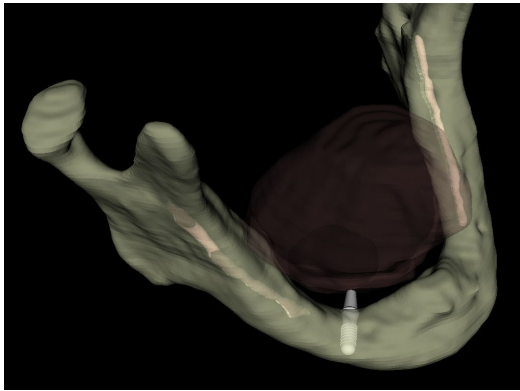


図 11 プラットホーム設置に必要なインプラントの埋入位置

その結果，人工舌設置には CT データを用い VR 空間での外科シミュレーション、人工舌の設計、プラットホームの設計以上のプロセスが重要であることが示唆された。

今後は

1. 人工舌の完成
2. 石膏モデル上でのプラットホーム設置シミュレーション
3. 石膏モデル上での人工舌検証実験を行い，積極的に嚥下，構音機能が可能な人口舌を完成し，臨床応用を実現する。

#### 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 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

Ohkubo C., Ogawa T., Shigeta Y. Development of self-driven artificial tongue to aid swallowing function. 10th Meeting of the International Society for Maxillofacial Rehabilitation, 2013.

取得状況 (計 1 件)

名称：人口舌  
 発明者：重田優子  
 権利者：重田優子，小川 匠，大久保力廣，  
 有限会社横浜テクノス  
 種類：特許  
 番号：特許第 5514096 号  
 取得年月日：26 年 4 月 4 日  
 国内外の別：国内

#### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

大久保 力廣 (OHKUBO CHIKAHIRO)  
 鶴見大学・歯学部・教授  
 研究者番号：10223760

#### (2) 研究分担者

佐藤 洋平 (SATOU YOUHEI)  
 鶴見大学・歯学部・講師  
 研究者番号：10410052

小川 匠 (OGAWA TAKUMI)  
 鶴見大学・歯学部・教授  
 研究者番号：20267537

重田 優子 (SHIGETA YUKO)  
 鶴見大学・歯学部・講師  
 研究者番号：40367298

栗原 大介 (KURIHAR DAISUKE)  
 鶴見大学・歯学部・臨床教授  
 研究者番号：70535773

井川 知子 (IKAWA TOMOKO)  
 鶴見大学・歯学部・助教  
 研究者番号：70552389