

# 咀嚼を模擬する装置の開発と評価

## -機構設計と模擬舌の形状構成-

### Development and Evaluation of Device Simulating Mastication

○高橋 健太 (東電大院) 山崎 敬則 (東電大)

Kenta TAKAHASHI, Graduate school of Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama, Hiki, Saitama 350-0394  
Takanori YAMAZAKI, Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama, Hiki, Saitama 350-0394

#### 1. 緒言

誤嚥とは、食べ物や唾液を飲み込むときに、食道ではなく気道に入り込んでしまうことで、誤嚥により肺に菌が入り込むと誤嚥性肺炎のリスクが高まる。園田<sup>(1)</sup>によれば、誤嚥の原因に咀嚼機能が及ぼす影響は大きく、咀嚼機能、ひいては口内での食塊形成の重要性を理解することが重要であるという。

本研究では、咀嚼模擬装置を製作し、舌上での食べ物の食塊形成メカニズムを分析することを最終的な目的とする。本稿では、咀嚼模擬装置の製作と摂食嚥下時における舌の動きの再現を行った。

#### 2. 装置概要

Fig. 1 に咀嚼模擬装置の全体図を示す。この装置では、シリンダの同時多軸制御によって、各シリンダに異なる指令を送り駆動させることで、それに付随しているシリコンシートの形状を変化させ、様々な舌の動きを模擬することを目的としている。Fig. 1 において右図は、硬口蓋に見立てた上面を追加したものである。

本装置の模擬舌にあたる部分は、15本の電動シリンダとシリコンシートで構成した。シリンダはIAI製RCD-RA1DA、シートは液体(HTV-2000)から成形している。Fig. 2 にシリンダを固定するアルミプレートの概要図を示す。シリンダは横に5本、縦に3本、計15本をφ11mmの穴からシリンダの駆動部のみを通し固定する。穴は全部で25か所開けてあるが、今回は1, 3, 5行目の穴を使用している。舌に相当するシリコンシートは、シリンダ先端のねじに取り付けたローレットナットの平らな面に接着剤で貼り付けた。これにより、シリンダの動きに合わせ、シリコンシートが動くため舌の動きを模擬することができる。

装置は上位装置であるPMACのモーションプログラムからアンプに相当するRCONに目標位置や速度などの指令を送り、シリンダを駆動させて舌の形状を模擬する構造となっている。Table 1 にシリンダの仕様を示す。



Fig. 1 Device simulating mastication

#### 3. 模擬舌の形状構成

今回、摂食嚥下における口腔期に注目する。口腔期とは、摂食嚥下の5期と呼ばれる食べ物を認識してから口を経由して胃の中へ送り込む、一連の動作の中の一つである。その中でも舌を使って食塊を喉に送り込む動作である口腔期では、舌の動きが非常に重要である。口腔期では、まず食べ物を喉へ送るために、舌の先端が口蓋前部に固定される。その後、口蓋前部から後部にかけて順に、硬口蓋につくことで、食塊が喉へと送り込まれる。

今回、咀嚼模擬装置の模擬舌を用いて、摂食嚥下における口腔期の舌の動きの再現を行った。ここでは上面のついた状態 (Fig. 1 の右図) の装置で模擬舌の形状構成を行うことで、口内の様子に近づけた。シリンダは、PMAC 付属のソフトで各軸に目標位置、速度、加速度、電流制限値を指令して動かす。初めに、模擬舌の先端が上面にあたる位置をシリンダに指令する。次に、模擬舌の後部までが上面にあたる位置への指令をする。これにより模擬舌全体が、上面に接触し、口腔期における舌の動きの再現とした。

Fig. 3 に模擬舌の先端を動かした指令の結果、Fig. 4 に模擬舌の後部まで動かした指令の結果を示す。実験結果を見ると、舌の先端から後部にかけて口内上部に模擬舌がついていることが分かる。口腔期における舌の動きを十分に模擬できており、模擬舌として動くことが確認できた。これより、装置での摂食嚥下における口腔期の動きを確認した。

Table 1 Cylinder specifications

Maximum velocity	300 mm/s
Maximum acceleration	1 G
Stroke	30 mm
Maximum pushing force	2.6 N
payload	0.3 kg

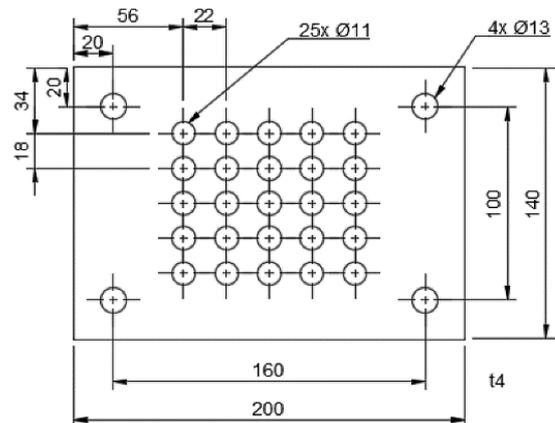


Fig. 2 Aluminum plate to fix the cylinder

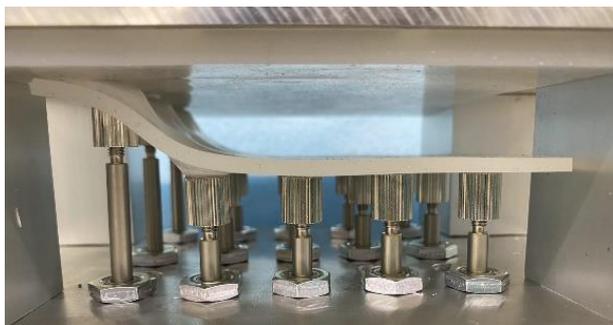


Fig. 3 Initial oral phase



Fig. 4 Final oral phase

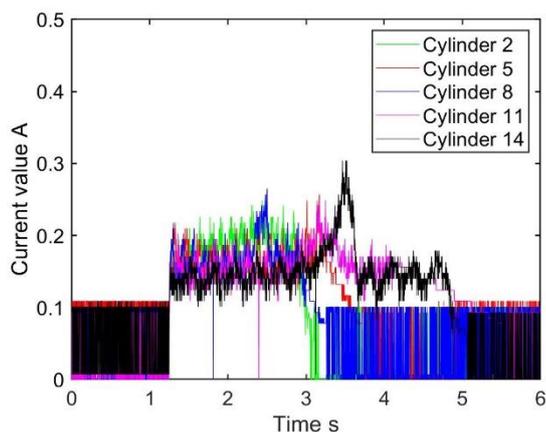


Fig. 5 Current value when transfer was successful

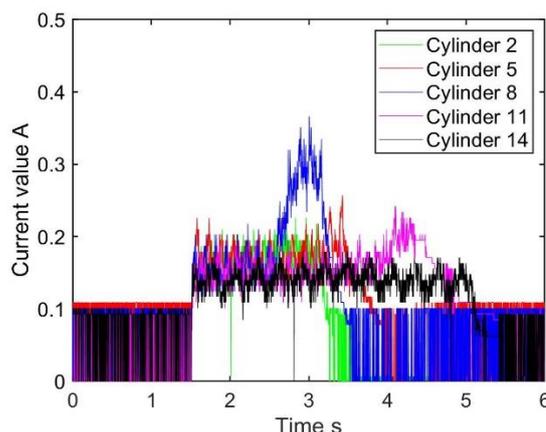


Fig. 6 Current value when transfer was failed

#### 4. 食塊移送実験

##### 4・1 実験条件

次の実験として、前の実験での口腔期の舌の動きの再現が可能であることが確認できたため、実際に食塊に相当する試験体押し流せるか検証を行った。

シリンダに与える指令は、前実験と同様の口腔期の舌の動きの指令を送る。食塊に相当する試験体には濃度 15% のゼラチン(約 2 cm 角)を使用した。また実際の口内の状況に近づけるために、疑似唾液として濃度 0.2% のキサンタンガム溶液を使用した。濃度 0.2% のキサンタンガム溶液は、高齢者の唾液粘性率の最高値と近似している<sup>(3)</sup>。

実験手順としては、シリコンシートに疑似唾液を塗り、その上にゼラチンを置く。ゼラチンの初期位置は最初に上面に到達する位置(模擬舌先端部)に置く。その後、口腔期の舌の動きの指令を送り、ゼラチンが移送されるかを確認する。このとき、移送の様子を動画で撮ると同時に、シリンダに流れる電流値の計測を行った。シリンダの推力と電流は比例することから、食塊移送中のシリンダの電流値を計測することで、ゼラチンの移動の軌跡を確認することができる。この一連の動作を 6 回行った。

##### 4・2 実験結果

Fig. 5 に送り込み成功時のシリンダの電流値、Fig. 6 に送り込み失敗時の電流値を示す。ゼラチンが通過したシリンダの電流値のみを計測し、Fig. 5, 6 に示した。ゼラチンの実験結果としては、6 回中 5 回の送り込みに成功し、1 回は最後まで送り込めず、途中で止まり潰れてしまった。実験の様子から失敗時は滑りが悪く、唾液による影響が大きいと考える。そのため食塊が上手く滑る量の疑似唾液をシリコンシートに塗ることが重要であると考え。疑似唾液は

5 g とし、電子天秤で測定して塗っていたが、量は同じでも、場所によって上手く塗れているところと塗れていないところが発生してしまった可能性が考えられる。今後の実験では塗る唾液の量を増やすか、疑似唾液の塗り方について均等に塗る方法を検討する必要がある。

#### 5. 結言

本稿では、咀嚼模擬装置における模擬舌の役割を担うシリンダとシリコンシートを用いて、摂食嚥下における口腔期の舌の再現を行い、その結果を報告した。また今回は口腔期における舌の動きを再現したが、舌は他にも、嚥下しやすくするために唾液と食物を混和させることや口蓋との間で食物を押しつぶすといった役割がある<sup>(4)</sup>。

今後は、これらの舌の動きも模擬することで、装置での再現の幅を広げていきたい。また、食塊移送の実験においても、食塊の大きさや粘度などの条件を変えて実験を行うことで、舌圧と移送速度、移送時間との関係について検討を行う予定である。

#### 文献

- (1) 園田隆紹, 要介護高齢者における誤嚥・窒息事故予防としての咀嚼機能維持の重要性について, 日本口腔インプラント学会誌, Vol. 28, No. 4 (2015).
- (2) 松尾浩一郎, プロセスモデルで考える咀嚼嚥下リハビリテーション, 日本顎咬合学会誌, Vol. 35, No. 3 (2015).
- (3) 島田久寛, 谷口裕重, 井上誠, 随意嚥下閾値に関わる食塊の物性, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会誌 Vol. 14, No. 2 (2010), pp.106-115.
- (4) 竹原祥子, 下山和弘, 舌の構造と訓練機能, 日本老年歯科医学学会誌, Vol. 21, No. 1 (2006).