エラ呼吸感覚提示システム Gill+Man における嚥下感覚提示デバイスの評価

溝口 泉 *　櫻井 翔 *　広田 光一 *　野嶋 琢也 *

概要． 本稿では，我々が開発を行っているエラ呼吸感覚提示システム Gill+Man における構成要素である，嚥下感覚提示デバイスの提示手法の評価を行った．本手法では，実際に食物や水分を嚥下する際の皮膚の上下動を，外部から皮膚を牽引することにより再現することで，嚥下モデル第 4 期である食道期の動作を作り出し，嚥下感覚の提示を試みた．被験者 7 名を対象とし，牽引速度による違い，および嚥下感覚の有無を検証する実験を行い，アンケートによる評価を行った．その結果，5cm/s の速度による牽引において，嚥下感覚が提示できることを確認した．今後の課題として，前頸部形状の男女による差の影響の検証，姿勢に対する指示を加えた上での再実験，より効果的な提示手法の模索が求められる．

1 はじめに

我々は現在までに，拡張身体からの自然な感覚フィードバック手法を模索するため，エラ呼吸感覚提示システム Gill+Man[1] を作成してきた．本稿では，エラ呼吸感覚提示のため試作した嚥下感覚提示デバイスの評価を行い，現状の提示感覚と今後の課題について調査した．嚥下感覚の提示は，水を飲み込み排出するエラ自体の感覚，およびエラ呼吸感覚を提示するに当たり重要な要素の 1 つである．本稿では，前頸部皮膚を牽引することにより，嚥下時の皮膚動作を再現することで，嚥下感の提示を試みた．嚥下のプロセスモデルは 4 期に分類される [2]．本稿で作成したプロトタイプモデルでは，主に第 4 期の食道を通過し，胃に送り込まれる際の流れに着目し，再現を行った．

2 嚥下感覚提示手法

提案手法とプロトタイプデバイスを以下の図 1 に示す．嚥下を行う際，喉仏が上下することにより，前頸部の皮膚が動く．我々はその際の皮膚の動きを外部から再現することで，嚥下感覚を提示できるのでは無いかと考えた．そこで本手法では 2 台のサーボモータとそれに接続したベルトを用いて，喉仏上下に貼り付けたテープを牽引し，上下運動させることで嚥下時の動作を再現する．今回，評価において利用したプロトタイプでは，上部サーボモータの牽引→下部サーボモータの牽引→上部サーボモータの開放→下部サーボモータの開放を 1 順として動作する．それぞれの動作は 100ms 感覚で動作し，1 順毎に 1000ms の感覚を空けて動作させた．

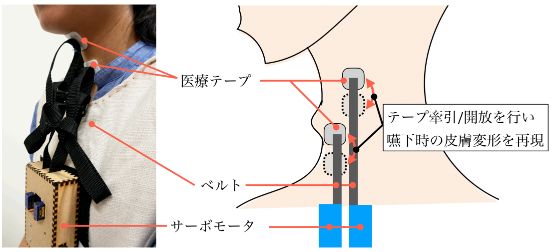


図 1. 提案手法及びプロトタイプデバイス

表 1. 速度別の嚥下感に関するアンケート結果

		速度				
		1cm/s	2cm/s	3cm/s	5cm/s	Random
問 1	平均値	3.38	3.28	3.28	3.76	2.71
	中央値	3	3	3	4	3
問 2	平均値	2.57	2.85	2.66	2.85	2.23
	中央値	2	2	2	3	2
問 3	平均値	3	3.19	3.52	3.42	2.76
	中央値	3	3	4	3	3

3 評価

提案手法により，嚥下感の発生の有無を検証するため，評価実験を行った．被験者は男性 5 名，女性 2 名の 7 名で行い，平均年齢は 24 歳であった．

3.1 評価手法

被験者には，デバイスを装着した状態で，5 パターンの刺激を提示し，実際に水を飲んでもらい，それと比較する形でアンケートへの回答を行ってもらった．パターンは速度別 (1,2,3,5[cm/s]) の単純上下運動と適当に組み合わせた無意味な動作の合計 5 パターンであり，順番をランダムにした上で，それぞれ 3 回の提示とアンケートを行った．アンケートの質問は 1. 何かを嚥下した感覚があったか？，2. 水を飲んだ感覚と比較して，似ていると感じたか？，3. 何かを飲み込んだ際の喉の動きに近いと感じたか?

Copyright is held by the author(s).
* 電気通信大学

の 3 点である．

3.2 評価結果

アンケートの結果を表 1 に示す．

嚥下感の有無に関しては，速度 5cm/s の場合が最も高く中央値は 4 であり，嚥下感を感じたとする結果が最も多くなった．他のパターンでは中央値は 3 であり，嚥下感を感じられなかったと考えられる．水を嚥下した感覚を得られたかに関しては，5cm/s のパターンが最も高いが，全パターンの中央値は 3 未満であり，水を嚥下した感覚は得られなかった．嚥下の際の喉の動きに近いと感じたかについては，3cm/s のパターンが最も高く有効であるという結果となった．これらを Turkey の方法を用いて問ごとのパターン別に多重比較を行った．その結果，問 1 の 5cm/s とランダムの間にのみ，有意差 ($p=0.038$) が見られた．このことから，速度 5cm/s において，嚥下感の提示を行えたが，水を嚥下した感覚を提示することはできなかったと考えられる．原因としては，水を飲んだ際の冷感の有無等が考えられる．また，個々の結果を分析すると，特に女性が嚥下感を得やすかったと見られる．5cm/s のパターンでは女性の中央値が 5，男性の中央値が 3 であり，女性の方がより強い嚥下感を覚えている．この理由として，喉仏の突出の有無，実験時の姿勢の違いが考えられる．喉仏の突出がある男性は喉仏上下にテープを貼り牽引する場合，牽引の障害となっている可能性がある．また，着席時の姿勢に関する指示がなかったため，首の向きが床に対して直角でなく，牽引する方向が前方向に対し大きくなってことで，下方向への力が減衰した可能性がある．

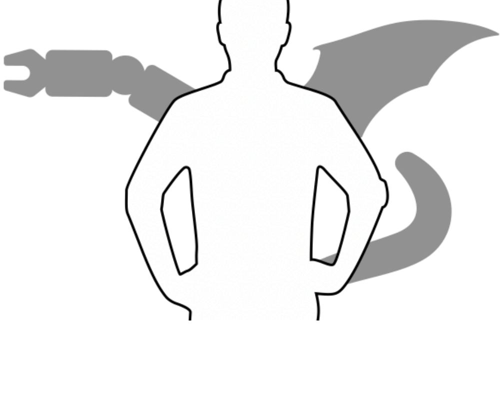
4 結論

エラ呼吸感覚提示システムのための嚥下感覚提示デバイスを提案および評価を行った．前頸部皮膚を牽引することにより，嚥下感の提示を試み，牽引速度の影響に関する評価を行った．結果として，5cm/s の速度で牽引した際，嚥下感を与えられた．今後は，前頸部形状の男女による差の影響の検証，姿勢に対する指示を加えた上での再実験が求められる．

参考文献

[1] I. Mizoguchi, T. Ando, M. Nagano, R. Shijo, S. Sakurai, K. Hirota, and T. Nojima. Gill+Man: Breathing Through Gills Experience System. In *SIGGRAPH Asia 2018 Emerging Technologies*, SA '18, pp. 4:1–4:2, New York, NY, USA, 2018. ACM.

[2] J. B. Palmer, N. J. Rudin, G. Lara, and A. W. Crompton. Coordination of mastication and swallowing. *Dysphagia*, 7(4):187–200, Dec 1992.

未来ビジョン

人間拡張工学や VR 技術の発展に伴い，現在では，右の図のように物理的に追加の肢を追加したり，人型でないアバターを利用した体験が可能となってきている．本稿の研究はエラ呼吸感覚の提示を目標として行っているが，最終的な目的としては，上のような体内外に拡張された身体，もしくは全く別の形状の身体からの感覚提示を行うことである．状況に応じて身体にロボットアームを取り付け，能力を拡張したりする状況や，VR を利用したメタバースでの体験などは今後増加していくと考えられる．そのような際，自然な感覚フィードバックは操作性の向上や体験の高度化において重要な要素を占める．本研究は拡張身体からの自然な感覚フィードバック提示における方法論の構築に向けた試金石の 1 つとして行っており，今回は嚥下感覚の提示を目指したデバイスであるが，これは体内での物体・液体の流動感覚による内臓感覚提示への応用などを想定して行っている．これらのデバイス・システムの作成を通して知見を集め，今後は物理的・心理的など様々な方向から拡張身体の感覚提示手法の開発にアプローチしていきたいと考えている．