

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12901

研究課題名(和文) 舌の運動および触力感覚の機能維持・向上を目的としたトレーニングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of a training system for improving the mobility and tactile sensation of tongue

研究代表者

梶川 伸哉 (KAJIKAWA, Shinya)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：80290691

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：舌は摂食・嚥下、構音で重要な役割を担っており、その機能維持には、可動域、力、形状制御能力の向上が重要である。本研究では、口腔内外の舌運動トレーニングシステムの開発を行った。口腔内運動では、口蓋プレートに貼り付けた複数の空気圧クッションを舌先で押す作業を採用した。口腔外運動では、粘弾性負荷を有する舌用ジョイスティックを開発し、それを用いた線画トレース、ブロック倒しゲームをトレーニングとして採用した。いずれも舌の運動状況のフィードバックがありモチベーション維持がしやすいゲーム性の高いものである。また、可動域、力、姿勢制御の向上、およびオーラルディアドコキネシスによる機能改善が確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

舌の運動機能の維持、向上は高齢者の健康を保つ上で重要であり、広く運動トレーニングが行われている。しかしながら、舌の能力やトレーニング効果を定量的に把握するシステムがない状況であった。そこで、本研究では、舌で操作するクッションスイッチ、およびスティック型操作器を開発し、その動きの計測から舌の運動機能の定量化を図った。これにより舌の運動機能の詳細な解析が可能となる。また、操作器に対する負荷(弾性および粘弾性)を与える機能も有することから、個々人の能力に応じたトレーニングの実施も可能となる。

研究成果の概要(英文)：The tongue plays an important role in feeding, swallowing, and articulation. To maintain these function, improving the tongue's moving range, output force, and posture control is necessary. We developed several tongue movement training systems. For training in oral cavity, the task pushing air cushion placed on the palate was done. By repeating training, tongue could position the cushion stable and precisely. On the other hands, extraoral training was executed using a tongue-operated joystick device with viscoelastic resistance. In training, task of tracing a line drawing or hitting blocks displayed on PC monitor were presented. These tasks were repeated for a one month. We could confirm that these systems improve the tongue function (moving range, output force, oral diadochokinesis) through several experiments.

研究分野：人間工学

キーワード：舌運動トレーニング 粘弾性負荷

1. 研究開始当初の背景

舌の運動機能の低下や障害は、構音や摂食・嚥下機能に影響を与える。そのため、医療や介護の現場では舌の運動機能の維持、向上を目指したトレーニングが精力的に行われている。

構音障害のトレーニングでは、舌尖の突き出しや上下左右への反復運動などが行われているが、その能力レベルについて定量的な評価は行われていない。また、負荷を加えた運動や姿勢制御訓練も有効であると考えられるが、そのような取り組みもあまり行われていない。

一方、摂食・嚥下においても、舌は口腔内での食物の移送や成形などを行っており、その機能の維持、向上のためには姿勢、形状制御を含めた舌の運動能力を鍛えることが必要である。しかしながら、現状は単純な舌圧訓練やペースト食を用いた嚥下訓練が主体となっており、俊敏さや形状制御を課した複雑な運動は行われていない。

舌に要求される機能を維持、向上させるためのトレーニングについては、適切な負荷を課した運動や、俊敏さ、形状制御を必要とする運動要素が取り入れたものがあまり見られない。また、舌の運動機能やトレーニングの効果を定量的に評価する取り組みも少ない。

2. 研究の目的

本研究の目的は口腔内外の舌運動の計測装置とそれを利用して負荷抵抗下での舌運動を課すトレーニングシステムの開発である。また、トレーニング継続のモチベーション維持とトレーニング効果が確認できるよう舌の運動状況を視覚的にフィードバックするゲーム性の高いシステムを目指す。さらに、トレーニングの過程で得られる定量的なデータを基に舌の運動特性の解析と機能向上の検証も行う。

3. 研究の方法

口腔内と口腔外を対象として2種類のトレーニングシステムを構築した。口腔内運動トレーニング装置では、口蓋に貼り付けたプレート上に配置した空気圧クッションを舌先で押す作業を設定した。舌の素早い位置決めと形状制御を鍛えることを目的とした。一方、口腔外での舌運動は、粘弾性負荷を有するジョイスティックを操作する課題を課した。PCモニター上の線画トレースやブロック落としゲームをメニューとして採用した。負荷に抗した広範囲の運動を課すことから、可動域と舌力、および姿勢制御の向上が期待できるものと考えた。

4. 研究の成果

(1) 口腔内運動トレーニング

① 口蓋クッション型運動計測装置

口腔内での舌運動トレーニングシステムとしては、シリコンゴム製のクッションを6つ配置したプレートに口蓋に貼り付ける装具を製作した(図1参照)。舌先でクッションを押すことでクッション内圧に変化が生じ、その変化を基にクッションへの舌先の到達時刻を計測する。同時に、内圧変化量から舌の力を推定することも可能である。舌の運動生成を促す方法としてPC画面上にクッション配置図を表示し、到達目標とするクッションを点灯させることとした。また、舌が到達した時点で消灯させることで使用者に対して舌の位置をフィードバックする。

② 舌運動トレーニング方法

この装置を使った舌運動トレーニングは以下の二つを行った。

【Exp. 1】 特定クッションへの舌先の位置決め運動

これは、PC上で点灯したクッション位置に舌を合わせる作業であり、舌の反応時間とトレーニングによる時間の短縮の有無を確認する。口腔内で自然な姿勢をとったときの位置を舌先の初期位置とした。3回の到達運動を1セットとし10セット行った。

【Exp. 2】 決められたクッション間の移動

指定された複数のクッション間を移動する時間を計測する。前後、左右、斜めの方向に対する舌の運動特性を把握するとともに訓練による移動の迅速化の有無を確認する。3回の移動を1セットとし、10セット行った。【Exp. 1】【Exp. 2】のいずれの場合も、クッションへの到達の判定は、2.0Nに相当するクッション内圧の変化が計測された時点とした。被験者は健康な男子大学生2名(Sub. A, Sub. B)とした。

③ 舌運動の変化

図2に【Exp. 1】の結果の1例(Sub. A)を示す。この図はCh1への到達運動を示したものである。左図は1セット目、右図は10セット目の結果である。青線はPC上のCh1の点灯状況、橙色は舌がCh1クッションを押す力を示している。1セット目では、Ch1クッションに舌が触れる状況が複数回

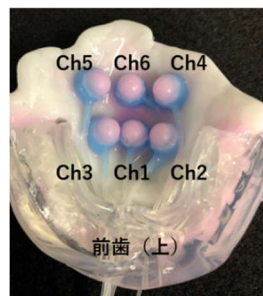
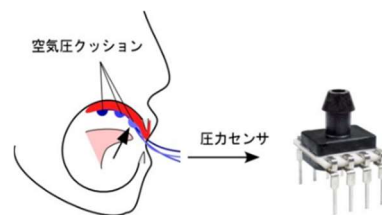
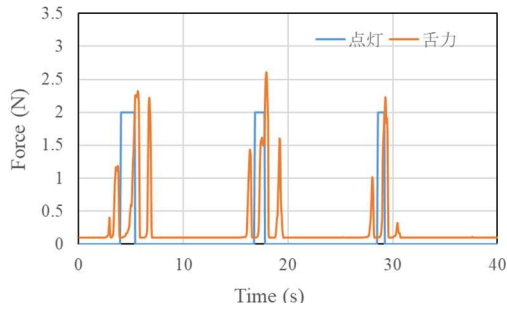
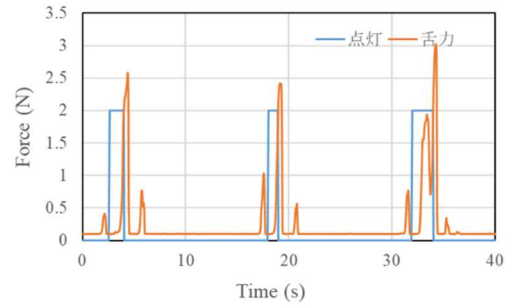


図1 口腔内舌運動計測装置



(b) 1セット目の結果



(a) 10セット目の結果

図2 Ch1クッションへの舌の到達運動

観察され、位置決めが不正確であることが推測される。

一方、10セット目では、安定的な舌押し動作が観察される。これは、舌尖の位置決め、接触部位、力を入れるタイミングが安定化した結果と考えられる。他のクッションへの到達運動でも同様の結果が確認され、トレーニングによる位置決め精度の向上が確認できた。一方、到達速度（反応時間+移動時間）については、大きな短縮は確認できない結果となった。

次に【Exp. 2】の結果（Sub. Bの例）を図3に示す。図3(a)は、横方向に並ぶ3つのクッションを順次押していく運動である。図3(b)(c)は前後、斜め方向に位置する二つのクッションを押す作業の結果である。図3(a)(b)については、クッション数が異なるため移動に要する時間の比較はできないが、セット数を重ねることによる時間の短縮は確認できない。これは、前後、左右の運動は日常多く行う運動であり、一定方向への運動であるため複数の舌筋の関与も少ないため、訓練の効果が見られないと考察された。

一方、斜め方向の移動では、移動時間が短縮される傾向が確認された。この例では、図3(b)に示した前後方向の運動とほぼ同じ移動時間まで減少した。斜め方向の運動は前後左右の運動を融合させることから、複数の筋の協調による形状変化も必要となる。訓練を重ねることによってその連携が円滑にできるようになり、時間の短縮につながったと考える。

今回行った訓練は、比較的単純な運動であり、訓練も短期間で行ったものである。今後の課題は、本装置を利用して、より複雑な移動パターンを提示し、長期にわたる訓練により舌の運動機能（舌圧やオーラルディアドコキネシスなど）の向上がなされるか確認することである。

(2) 口腔外運動トレーニング

① ジョイスティック型操作器

口腔外トレーニング装置は舌尖で操作するジョイスティック型装置を製作した(図4参照)。舌操作部には、上下左右の4方向の舌尖力を検出する圧力センサシートを張り付けている。

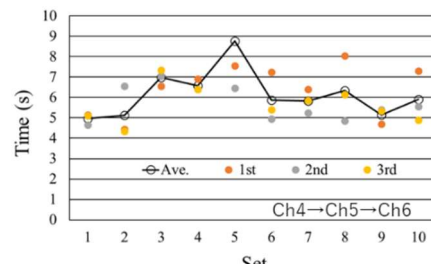
また、このジョイスティックを支持する2つの回転軸をモータで制御することにより、スティックの操作力に応じた粘弾性負荷を課すこととしている。特に粘性は速度に比例した抵抗力を生成することから、個々人が速度を自身の能力に応じて調整することで安全に広範囲の舌運動を行うことができるメリットがある。

粘弾性負荷はインピーダンス制御に基づいてモータの回転角度制御を行うことにより実現している。適切なインピーダンスパラメータ（弾性、粘性）の設定は予備実験により設定した。それぞれの値は、剛性0.03(N/mm)、粘性0.05(N/(mm/s))であり、剛性はスティックが中立位置に復帰できる最小値、粘性は最も操作しやすいと申告が得られた値である。

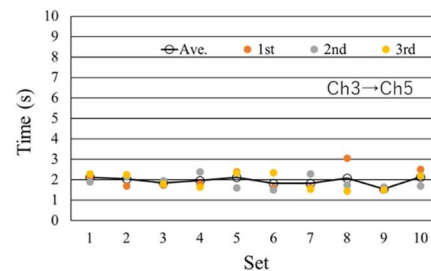
② スティック操作トレーニングメニュー

トレーニングメニューは下記に示す線画トレースとブロック落としゲームの二つを用意し、実行した。

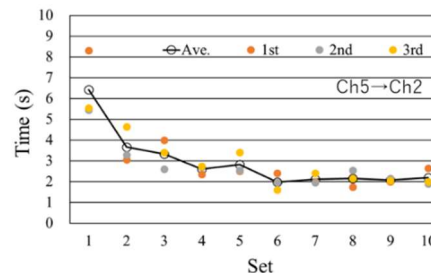
線画トレースは負荷に抗して広範囲の運動を課すものであり、舌の可動域と姿勢制御の熟練が



(a) 横移動



(b) 前後移動



(c) 斜め移動

図3 クッション間移動速度の変化

必要となる。

一方、ブロック落としは、左右方向への高速移動を要求する課題であり、俊敏さが求められる。

【線画トレースゲーム】

図5に示すように、PC上に描画された円、正方形、正三角形の線画をジョイスティックに連動して移動するマーカーでトレースする作業とした。各線画を4周トレースすることを1セットとし、十分な休憩を入れながら1日に3セット、1日おきに行い、4週間継続した。被験者は健康な男子大学生2名(Sub. C, Sub. D)である。

【トレース軌跡の変化】

図6に被験者1名(Sub. C)の線画トレース結果(円形と正三角形)を示す。図6(a)は第1週目の結果、図6(b)は第4週目の結果である。第4週目では、ほぼ正確に線画をトレースできるようになっていることがわかる。特に、第1週目では、到達できなかった三角形の右下コーナー部への到達や円弧に沿った滑らかなトレースもできるようになっている。これは、こうした運動は複数の舌筋の運動、協調による舌の姿勢(形状)制御を必要とするものであり、舌の柔軟性や可動域を広げる効果が得られるものと期待できる。

線画に対するトレース誤差(線画とトレース軌跡のずれ)については、2週目以降減少傾向は確認されなくなった。これは、線画付近からの大幅な逸脱が減り、ほぼ線画付近をトレースできるようになったことを表していると考えられた。また、1周当たりのトレース時間についても、第2週目以降有意な減少効果は確認できなかった。

以上のことから、第2週目以降で、被験者は粘弾性負荷に対するスティック操作に慣れ、粘性に抗して巧みにスティックを操作できるようになっていることが確認できた。

次に、このトレーニングが舌の運動機能の向上に役立っているか確認するため、上下左右方向に対する舌の力、可動域を週毎に計測した。図7は、その結果をトレーニング前の値で正規化し、全方向データの平均値を求めプロットしたものである。この図より、個人差はあるものの、舌の力、可動域ともに増加傾向が確認され、トレーニングの有効性が確認できた。

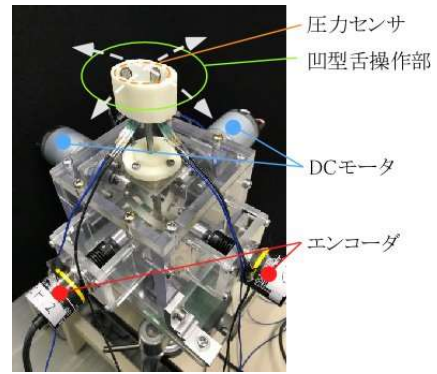


図4 口腔外ジョイスティック型舌運動計測装置

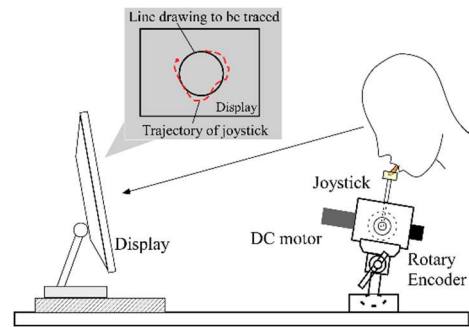
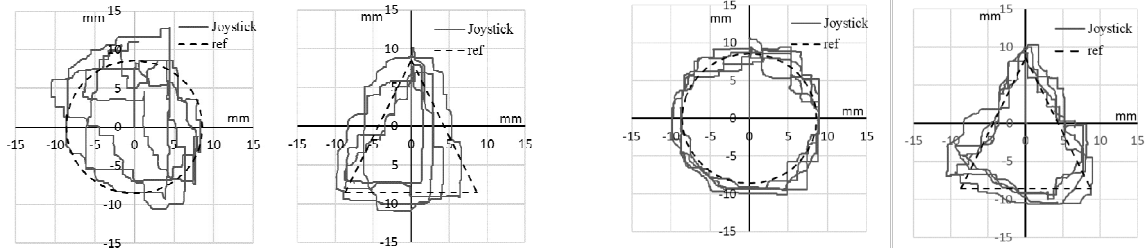


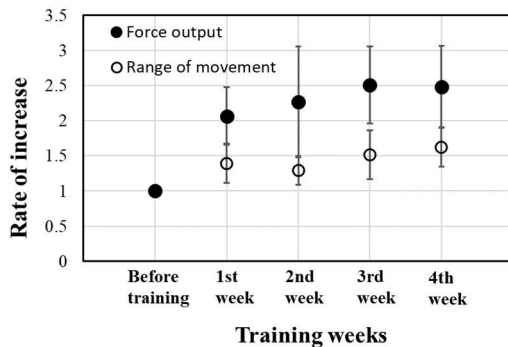
図5 トレーニングの様子



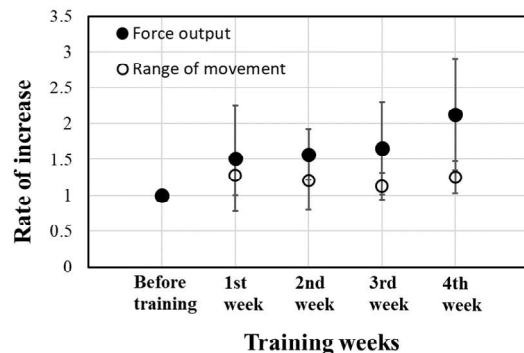
(a) 第1週目最終日

(b) 第4週目最終日

図6 線画トレース結果(円形, 正三角形)



(a) Sub.C



(b) Sub.D

図7 舌の運動機能(力, 可動域)の変化

【ブロック落としゲーム】

図8にPC画面を示す。この図に示すように中央に吊り下げられたブロックをジョイスティックに連動したハンマーでたたき落とすゲームである。ジョイスティックの運動は左右方向のみであり、ハンマーがブロックに当たった時点でブロックは落ち、次のブロックが準備される。設定した時間内に数多くのブロックを落とすことが要求される課題である。20秒間の操作を1セットとし、1日3セット行うこととし、週に3回（1日おき）、4週間（12日分）継続することとした。被験者は健康な男子大学生6名（Sub. E～J）である。

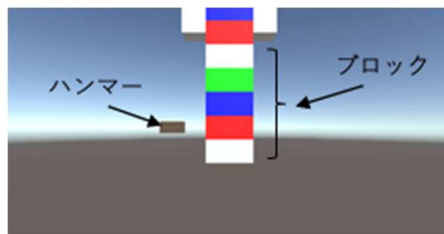
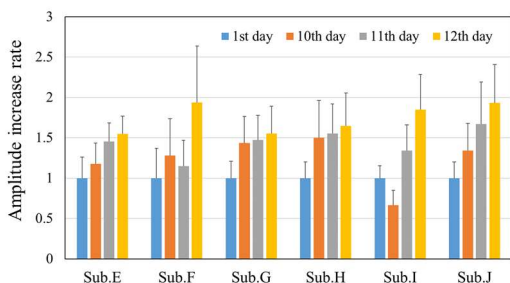


図8 ブロック落としゲーム画面

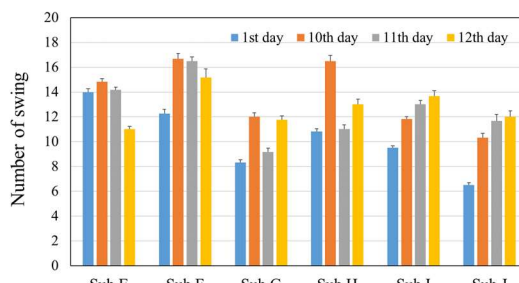
【ジョイスティック操作の変化】

ジョイスティック操作の振幅と往復回数の変化を図9に示す。1日目、10、11、12日目のトレーニングで得られたデータの平均値を示したものである。図9(a)の振幅の増減については、1日目の値で正規化したものである。図9(a)の振幅については、トレーニングの経過とともに増加する傾向が顕著であり、負荷に抗して大きな運動を生成できるようになっていることがわかる。図9(b)の往復回数については、バラツキはあるものの1日目と比較した場合、増加の傾向にあることが確認できる。

以上のことから、負荷に抗して素早く大きな運動が生成できるようになったことがわかった。



(a) スイング幅



(b) スイング回数

図9 スティックのスイング幅と回数の変化

最後に構音に必要な舌や唇の運動速度や巧緻性を評価するオーラルディアドコキネシス（パ、タ、カの発音回数/秒）を用いて機能改善に対する評価を行った。図10に1日目、6日目、12日目のトレーニングの後に測定した1秒当たりの発音回数を示す。これらの結果から、トレーニングの継続により発音回数が増加する傾向が確認された。

また、同時に行った左右方向への可動域、舌力の測定では、可動域については大きな変化は見られなかったものの、舌力はトレーニングによって増加することが確認された。

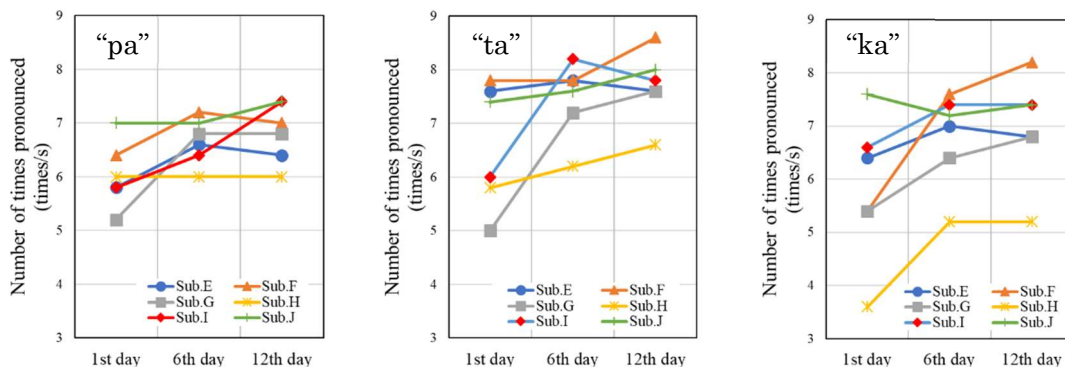


図10 “パ,”タ,”カ”の発音回数(回/秒)

本研究では、口腔内、口腔外の舌の運動の計測ができる装置の製作とそれを利用した舌運動トレーニングシステムを提案した。トレーニングメニューでは、弾性負荷や粘弾性負荷を課した運動を取り入れた。トレーニング実験により、可動域、舌力、姿勢（形状）制御、俊敏性など、摂食・嚥下、構音などで必要となる要素の改善に効果が期待できることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 梶川伸哉、近江大樹	4. 巻 24
2. 論文標題 粘弾性負荷を有するジョイスティックを用いた舌運動トレーニング	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本福祉工学会誌	6. 最初と最後の頁 8, 16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 梶川伸哉
2. 発表標題 負荷調整機能を有するジョイスティックを用いた舌運動トレーニング
3. 学会等名 日本人間工学会第62回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近江大樹、伊藤稀史、梶川伸哉
2. 発表標題 舌運動および力感覚機能のトレーニングシステム
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクスメカトロクス部門講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------