

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：82727

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2016

課題番号：16K14205

研究課題名(和文)高齢者の咀嚼力をアシストするパワーデンチャーロボットの開発

研究課題名(英文)Development of power denture robot to assist the elderly in chewing ability

研究代表者

新家 寿健 (ARAIE, Toshitake)

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校(能力開発院、基・能力開発院・助教)

研究者番号：90726663

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、障害を持たない高齢者の咀嚼・嚥下動作をアシストするロボット「パワーデンチャーロボット」を開発することである。その第一歩として、本研究では臼歯の役割である物を圧縮する機能と、摩擦によってすりつぶす機能を実現する機構を試作した。試作した機構の咀嚼値を測定した結果、衝撃による粉碎は減少する傾向を示したが、回転と溝を組み合わせる咀嚼は有効であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop a robot, i.e., a "power denture robot" that would assist the chewing and swallowing movements of elderly people without disabilities. As a first step, in this research, we tried to create a mechanism to compress things, which is the role of the molars and a mechanism to realize the function of grinding by friction. Measurement of the chewing value of the prototype mechanism showed a decreasing tendency for crushing by impact; however, it was suggested that chewing by combining rotation and groove was effective.

研究分野：福祉工学

キーワード：パワーアシスト 咬合力

1. 研究開始当初の背景

(1)近年、医療の発達により人間の寿命は伸びている。しかし、自立した生活が出来る状態の寿命を表す健康寿命は寿命ほど長くはなく、その差は男性で9年程、女性で12年程である^[1]。この健康寿命に関わる要因として咀嚼が挙げられる。人間は年齢を重ねると咀嚼能力が低下し、舌の運動機能や唾液の分泌量も低下する。その結果、摂食障害・嚥下障害、脱水・低栄養状態を起こす可能性が高くなる。また、食事が減り十分な栄養を取ることが出来なくなり、健康状態を保つことが困難となる。咀嚼は食事の質に影響し、その食事の内容は健康と生活の質に大きな関わりがあり、咀嚼・摂食の改善は生活の質を高める重要な要因であると言われている。

(2)歯科医学分野では、食事の内容の改善や健康寿命の延伸のために顎運動計測器や食物物性測定器、介護機器等が開発されている。人間の咀嚼運動を顎運動計測器によって工学的に解明し、顎運動障害者の治療を実現してきた^[2]。また、食物の物性を測定することや、食事を行うことをアシストする機器により咀嚼の運動以外の面の研究・開発も行われている。一方で、障害を持たない高齢者の自立支援機器として摂食をアシストする研究は進んでいないのが現状である。

2. 研究の目的

前述の背景から、障害を持たない高齢者の自立した咀嚼のアシストを実現させることで咀嚼が改善され、生活の質の向上が期待でき、寿命と共に健康寿命の延伸を望むことができると考えた。そこで本研究では障害を持たない高齢者を対象とし、その咀嚼能力をアシストするため、咀嚼・嚥下動作と一連の機能を実現するためのロボットであるパワーデンチャーロボットを開発することを目的とした。本研究ではその第一段階として、外骨格型の装置ではなく、一般的な義歯に咀嚼をアシストする機構を組み込んだ義歯を想定し、咀嚼アシスト機構の動作や仕様を検討及び設計・試作を行った。また、その機構により咀嚼能力・咀嚼能率どの程度が向上するのかを検証するため実験を行った。

3. 研究の方法

(1)一般的に人が行う咀嚼は、切断、粉碎、すりつぶしの要素が含まれ、歯列によって機能が異なる。その中で、本研究では臼歯を対象とし、臼歯の持つ食物を噛み締めて圧縮する機能と、摩擦によってすりつぶす機能を実現する機構を検討した。咀嚼のアシストを検討した結果、3種類の機構の案ができた。3種類の機構の性質から検討した結果、本研究では螺旋式機構を採用して、実験を行うこととした。咀嚼アシスト機構を設計する上で検討したことは、与える咬合力、ばねの反発力、咬合時の押し込み量、螺旋形状のリード角、

咬合時の回転量、咬合面の平行溝の寸法である。

図1に咀嚼アシスト機構の構造を示す。アシスト機構は、ばねを含む5つの部品で構成される。咬合面に垂直な力が加わると、部品が螺旋形状に沿って回転しながら下降する。下降時には、ばねの力によって食物を押し上げながらすりつぶす。

ばねは、咬合力が低下した高齢者が使用しても可動できるものとして、ばね定数6N/mmのばねを選定した。咬合面には、すりつぶしの効果を上げるために平行溝を設けた。平行溝は先行研究^[3]より、良好な結果を得た溝幅1mm、深さ1mmとした。

図2に試作した咀嚼アシスト機構を示す。機構の試作には、3Dプリンタを用い、材料にはアクリル材を使用した。設計した機構の咀嚼効果を検証するために、実際の歯よりも大きいサイズで試作した。

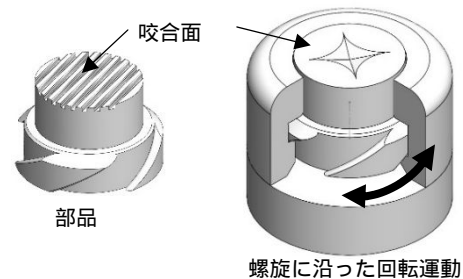


図1 咀嚼アシスト機構の構造

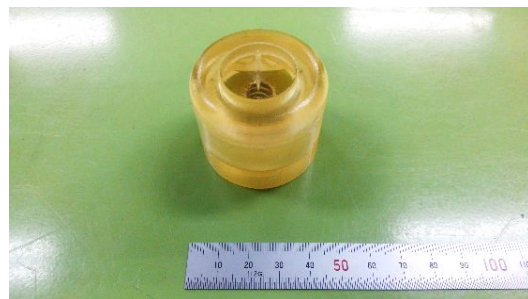


図2 咀嚼アシスト機構試作機

(2)咀嚼効果を検証するために、表1に示す4種類の機構を準備した。

表1 機構の種類

	回転	咬合面の溝	ばね	粉碎方法
機構A	なし	なし	なし	衝撃
機構B	なし	あり	なし	
機構C	あり	なし	あり	圧縮
機構D	あり	あり	あり	摩擦

実験条件は、咀嚼能力検査法のひとつであるManly法^[4]を参考とした。Manly法は、被験者に3gのピーナツを20回噛ませ、咀嚼した試料を10meshの篩にかけ、重量を測定して標準重量との比を咀嚼値として求める方

法である。

咬合力として押力を与えるものとして空気圧シリンダ(PBDALS 10×30-M, コガネイ)を用い, 押力測定にはロードセル(LCN-A-2kN, 共和電業)を用いた。咀嚼アシスト機構を測定用の治具に設置し, 機構に垂直に力を与えるように空気圧シリンダを固定した。試料は, Manly 法と同じくピーナツとし, 実験では1粒の半分のピーナツで重量が平均的な0.4g程度のものを選定し使用した。試料の断面を咬合面の向きに合せて配置し, 30回最大50Nの力を与えた。押力は, 正常な咬合が可能な人の通常時の咬合力が100N程度であることから, 高齢者を想定して値を低く設定した。その後, 粉碎された試料を10meshの篩にかけ, 標準重量と篩目をすり抜けた試料の重量の割合を咀嚼値として求めた。各条件で10回ずつ実験を行い, 咀嚼値の平均値と標準偏差を求めた。また, 押力の違いが与える咀嚼値への影響を調べるために, 押力を30, 40Nとした場合の実験を行った。

4. 研究成果

(1)機構A~Dの咀嚼効果検証の結果を表2に示す。表2は押力50Nの結果である。左の列の下段が咀嚼前の重量, 上段が咀嚼後, 篩にかけた後の重量である。右の列が咀嚼値である。

表2 押力50Nの咀嚼値

	回転無し				回転有り			
	溝無し		溝有り		溝無し		溝有り	
1	0.09	21.43	0.10	23.26	0.06	14.29	0.08	19.05
	0.42		0.43		0.42		0.42	
2	0.09	21.43	0.12	28.57	0.05	13.16	0.07	16.67
	0.42		0.42		0.38		0.42	
3	0.07	17.50	0.12	30.77	0.05	12.82	0.12	30.77
	0.40		0.39		0.39		0.39	
4	0.05	11.90	0.10	25.00	0.05	12.82	0.06	14.29
	0.42		0.40		0.39		0.42	
5	0.13	31.71	0.10	25.00	0.07	17.07	0.12	28.57
	0.41		0.40		0.41		0.42	
6	0.12	31.58	0.10	24.39	0.07	16.28	0.09	21.95
	0.38		0.41		0.43		0.41	
7	0.08	18.60	0.09	20.93	0.10	25.00	0.08	18.60
	0.43		0.43		0.40		0.43	
8	0.15	35.71	0.10	23.81	0.08	21.62	0.12	29.27
	0.42		0.42		0.37		0.41	
9	0.12	30.77	0.08	19.51	0.04	9.30	0.08	19.05
	0.39		0.41		0.43		0.42	
10	0.07	17.50	0.08	20.51	0.08	18.60	0.11	28.95
	0.40		0.39		0.43		0.38	
平均		23.81		24.18		16.10		22.72
標準偏差		7.98		3.51		4.67		6.08

機構A~Dの咀嚼値の結果をまとめ, グラフで表したものを図3に示す。押力30Nでは, 回転のある機構C,Dが, 回転のない機構A,Bより低い咀嚼値となった。押力40Nでは, どの機構も同等の咀嚼値となった。押力50Nでは, 回転あり・溝なしの機構Cが他の咀嚼値と比較して, 低い値となった。t検定の結果, 押力50Nでは, 機構Cとそれ以外の機構との間で有意差が認められた。

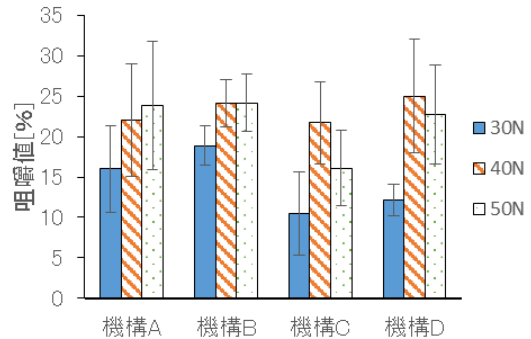


図3 機構による咀嚼値の違い

($p < 0.05$)。押力30, 40Nで実験を行い比較した結果, 回転のない機構A,Bは押力の増加につれて, 咀嚼値が増加するという結果となった。回転のある機構C,Dは, どちらも押力40Nを与えた場合の咀嚼値が高い傾向にあったが, 回転のない機構A,Bと比較すると大きな差は見られなかった。

(2)全体を比較して, 回転のある機構C,Dの咀嚼値が低い傾向にあった。この理由として, 本実験では10meshの篩を使用して, 咀嚼値を算出したため, 1.7mm以下に粉碎されたかどうかのみを見ていた。そのため, 主に衝撃による粉碎が発生している状況での, 衝撃による粉碎を咀嚼値として評価し, 更に細かい粉碎を篩によって判別できず, 摩擦によるすりつぶしの効果を評価することができなかったと考えた。よって, すりつぶしの効果を評価するために, より細かい篩を持つ篩での実験を検討する必要がある。

また, 回転のある機構C,Dの咀嚼値が低い傾向にあったことの原因を特定するために, 押力を50Nとしたときの測定波形をとり, その結果をまとめた。図4は, 機構A~Dの波形の立ち上がりをグラフにまとめたものである。ばねのない機構A,Bと, ばねのある機構C,Dを比較すると, 機構C,D押力の立ち上がりが緩やかであった。これはばねによって押力の伝わる速さを遅らせたと考えられる。押力と時間から積分をし, 力積を求めた結果, 機構C,Dグループは, 機構A,Bグループと比較して, 約9~12%低いことが分かった(立ち上がりの時間を50msとして算出)。このことから, 機構C,Dは機構A,Bより衝撃が小さくなり, 衝撃による粉碎の効果が薄れ, 咀嚼値の低下が見られたと考える。

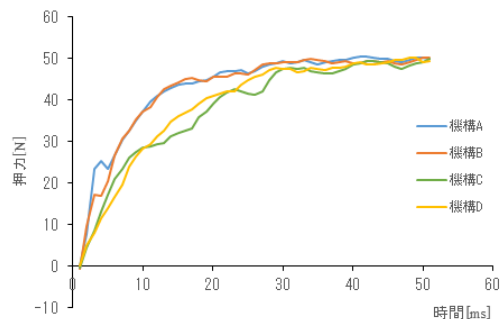


図4 押力50Nの測定波形

回転のある機構 C,D において, 40N のみ高い咀嚼値となったことについては, 押力とばねの反発力に関係していると考えている. 押力 30N を与えた実験では, 回転部品が最下点まで到達しなかったため, 機構の機能を十分に発揮できていなかったと考えられる. 押力 50N を与えた実験では, 咬合力がばねによる押さえつけ力に対して大きいため, 押さえつけの効果が小さく, すりつぶしの効果が低くなったと考えた. 一方で, 押力 40N を与えた実験では, 咬合力と押さえつけ力の差が小さくなり, 試料の押さえつけが安定し, すりつぶしの効果が現れたと考えた. この関係を検証するために, ばね定数の異なるばねを再選定し, 実験をすることを検討する必要がある.

(3)試作は, 3D プリンタを用い, 設計仕様に沿った形状を得ることができた. また, 回転量やばねの反発力も理論値通りの結果を得られた. 咀嚼効果検証の実験より, 咬合面が加工されていない回転のみの機構では, 主に圧縮力による粉砕となり, 咀嚼値が低下することが分かった. 回転による摩擦とばねによる圧縮の組み合わせによる粉砕は, 咀嚼に対して有効であることが考えられる.

今後の課題として, 咀嚼アシスト機構の摩擦による咀嚼効果の検証の行うために, 更に節目の細かい節の選定を検討し, 再度実験を行い咀嚼アシスト機構の評価を行うこと, 機構に適した回転量やばねの反発力を特定し, より咀嚼効果が上がる機構の検討が挙げられる. また, 機構の小型化や, 唾液の代替品を用いての実験を検討し, 実際の環境に近い実験を行う.

<引用文献>

厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会: 健康日本 21 (第 2 次) の推進に関する参考資料, 2012 年, P25

高信英明, 矢島武幸, 高西淳夫, 大月佳代子, 大西正俊: デンタルロボティクス技術を応用した開閉口訓練ロボットの開発と治療への適用, 日本顎関節学会雑誌, Vol. 9, No. 1, 1997 年, P72 - 79

橋本有希, 杉本恭子, 沖和広, 皆木省吾: 義歯疼痛の軽減と咀嚼可能食品の多様化を目的とした高咀嚼能率人工歯形態の開発, 日本補綴歯科学会誌, 6 巻, 123 回特別号, 2014 年, P195

Manly R.S, Braley L.C: Masticatory performance and efficiency, JDentRes29, 1950, 448-462

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

Toshitake Araie, Tomozumi Ikeda, Uichi Nishizawa, Akira Kakimoto, Shigeki Toyama, Mechanism evaluation of agricultural power assist suit under development, Vibroengineering PROCEDIA, 査読有, Vol. 8, 2016, pp. 328-333

[学会発表](計 1 件)

Toshitake Araie, Tomozumi Ikeda, Uichi Nishizawa, Akira Kakimoto, Shigeki Toyama, Mechanism evaluation of agricultural power assist suit under development, Vibroengineering, October 4-7, 2016, Moscow (Russia)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新家 寿健 (ARAIE, Toshitake)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基盤整備センター)・能力開発院・助教
研究者番号: 9 0 7 2 6 6 6 3

(2) 研究分担者

垣本 映 (KAKIMOTO, Akira)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基盤整備センター)・能力開発院・教授
研究者番号: 6 0 4 4 7 5 7 1

池田 知純 (IKEDA, Tomozumi)

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、基盤整備センター)・能力開発院・准教授
研究者番号: 8 0 6 4 8 9 2 3

(3) 連携研究者

遠山 茂樹 (TOYAMA, Shigeki)
東京農工大学・工学研究科・教授
研究者番号: 2 0 1 4 3 3 8 1

西澤 宇一 (NISHIZAWA, Uichi)

東京農工大学・工学研究科・助教
研究者番号: 8 0 5 5 3 2 2 1