

健康維持のための噛み応えに関する生体信号情報の検討

Bio signal information Approach related to chewiness for health maintenance



八木 直美 (Naomi YAGI, Ph. D.)

兵庫県立大学先端医療工学研究所 准教授
(Associate Professor, Advanced Medical
Engineering Research Institute, University of
Hyogo)

IEEE, 日本知能情報ファジィ学会、電子情報通信学会、日本医用画像工学会、日本生体医工学会

受賞: IEEE Senior Member, IEEE (2019), Google Anita Borg Memorial
Scholarship Award (2012)

著書: N. Yagi, S. Imawaki, T. Ishikawa, and Y. Hata, “Ultrasonic Mobile
Smart Technology for Healthcare,” Advances in Intelligent Systems
and Computing (AISC), pp. 137-146, ISBN978-3-319-05500-8, 2014.

研究専門分野: 医工学

あらまし

人生 100 年時代を迎え、健康寿命の延伸は今や国策となっている。高齢になっても健康でいるための基本は「自分の口で食べる」ことにあり、健康長寿に向けて低栄養にならないために、十分な咀嚼機能を維持する必要がある。日常の食事で噛み応えのあるものを取り入れることが、予防的な観点から非常に大切である。超高齢時代の中、咀嚼能力の評価の重要性はますます高まっており、咀嚼能力の評価システムは歯科治療の支援、人の生涯の健康管理への支援にとって欠かせないツールとして期待されている。しかしながら、咀嚼・嚥下能力を簡易に計測し、定量的評価ができる方法は少なく、再現性が高い測定技術の開発はほとんど行われていない。そこで本研究では、骨伝導マイクを用いて咀嚼音および嚥下音を計測することで、健康維持のための噛み応えに関する生体情報処理技術を開発する。

1. 研究の目的

近年、歯の本数と全身の健康状態、歯周病と全身疾患との関係、口腔内細菌と心血管系疾患との関係等の

エビデンスが次第に明らかになってきており、健康寿命を延ばすためには歯を含めた口腔内の健康維持が重要であると考えられている。咀嚼には、食べ物からの栄養の確保をはじめ、風味や噛み応えなどの認知、唾液分泌の促進、嚥下機能や消化吸収の円滑化、口腔内の清掃効果など、多くの重要な役割がある。さらに、食生活の豊かさの確保や生活の質 (QoL: Quality of life) や日常生活動作 (ADL: Activities of Daily Living) の向上などに繋がる。そこで、本研究では、食栄養学の領域に、定量性・再現性を属性とする工学的アプローチを導入し、異分野融合による新しい IT 医療・ヘルスケア技術により、健康維持・増進を実現することを目的とする。

2. 研究の背景

わが国ではフレイル (※1 用語説明) を有する高齢者が年々増加しており、65 歳以上の高齢者において、フレイル有病率は 8.7%である。さらに、65 歳以上の高齢者の低栄養傾向 ($BMI \leq 20\text{kg/m}^2$) の割合は 17.6% (男性 12.2%、女性 22.4%)、年齢階級別では男女共に 85 歳以上でその割合が最も高い (令和 5 年 (2023) 「国民健康・栄養調査」、厚生労働省)。また、オーラルフレイル (※2 用語説明) が注目される中、日本歯科医師会では、「口腔の健康が全身の健康に密接に関係する」「歯科医療の充実と口腔健康管理の推進が医療の財政側面や健康寿命の延伸に大きく貢献する」と提言されている。

臨床現場で咀嚼機能を簡便に評価する方法として、試料を直接に判定する直接検査法と咀嚼に関連する項目から判定する間接検査法に大別される。直接検査法として、グミゼリー (2018 年保険適用、UHA 味覚糖株式会社) を 30 回咀嚼して吐き出した内容物を 10 段階で評価する咀嚼能率スコア法があげられるが、認知症患者などには実施が困難な場合がある。間接検査法として、4cm 程度の米菓 (ハッピーターン® 亀田製菓株式会社) を摂取させて対象者の正面から下顎の動きを観察し、その軌跡が上下運動のみでなく左右運動 (楕円または涙型に近い形であれば良い) を含むものであるかを判定する Saku Saku Test (SST, サクサクテス

健康維持のための噛み応えに関する生体信号情報の検討

Bio signal information Approach related to chewiness for health maintenance

ト)0 があげられるが、客観的評価であり検査者に判定のばらつきが生じる。また、赤外線距離センサおよび加速度センサを用いて咀嚼回数と姿勢を計測することができる bitscan (シャープ株式会社) が研究開発で製品化されており 0、咀嚼回数、咀嚼テンポ等が見える化できるというメリットがあるが、評価項目が限定的である。

3. 研究の方法

3. 1 実験方法

対象者に対して、(1) 命令嚥下実験 (食品を咀嚼せずに嚥下してもらう) および (2) 自由嚥下実験 (食品を咀嚼して嚥下してもらう) の 2 種類を実施する。自由嚥下実験については、咀嚼回数などの指示は行わず、対象者が食品を飲み込みやすいタイミングで嚥下するように指示する。

3. 2 検査食

命令嚥下実験および自由嚥下実験の各実験に検査食を選定する。

(1) 命令嚥下実験 (嚥下のみ)

検査食として、お粥の 2 種類と、水の 2 種類を選定する 0。お粥は、日本介護食品協会が食品のかたさや粘度等に応じて規格を定めているユニバーサルデザインフード (Universal Design Food: UDF0) に登録されている 2 種類を採用する。UDF は、4 段階の「1: 容易にかめる、2: 歯ぐきでつぶせる、3: 舌でつぶせる、4: かまなくてよい」に区分されている。水は、とろみ無し、とろみ有り (濃いとろみ) の 2 種類とする。とろみは、3 段階 (1: 薄いとろみ、2: 中間のとろみ、3: 濃いとろみ) に学会分類されている 0。本研究で使用する検査食は以下の通りである。

お粥 1 区分 3「舌でつぶせる」

(キューピー やさしい献立 やわらかごはん、
キューピー株式会社)

お粥 2 区分 4「かまなくてよい」のお粥

(キューピー やさしい献立 なめらかごはん、
キューピー株式会社)

水 1 とろみをつけていない水

(い・ろ・は・す、日本コカ・コーラ株式会社)

水 2 「濃いとろみ」に調整した水

とろみ調整用食品 (とろみファイン、キューピー株式会社) により調整

(2) 自由嚥下実験 (咀嚼および嚥下)

検査食として、2 種類の食パン (通常の食パン: C、大豆成分混合系食パン: SP) を調整する 0, 0。大豆成分混合系食パンは、高栄養食品として物性調整されたものをを用いる。

3. 3 計測方法

対象者には椅子に腰掛けて背筋を伸ばした状態で、食品を咀嚼・嚥下してもらい、骨伝導音と筋電位信号を同時計測する。

(1) 骨伝導音計測

イヤホンタイプの骨伝導マイク (エレクトレットコンデンサーマイクロホン, ECM-TL3, SONY 株式会社) を対象者の片耳に装着し、リニア PCM (pulse code modulation) レコーダー (PCM-D100, SONY 株式会社) を用いて骨伝導音を計測する (図 1)。

(2) 表面筋電位信号計測

対象者の左右の咬筋および舌骨上筋群に表面筋電位センサ (ブルーセンサー M-00-S, 長さ 40.8mm×幅 34mm, Ambu 株式会社) を貼り付けて、表面筋電位計測装置 (Personal-EMG plus, 有限会社追坂電子機器) を用いて筋電位信号を計測する (図 1)。

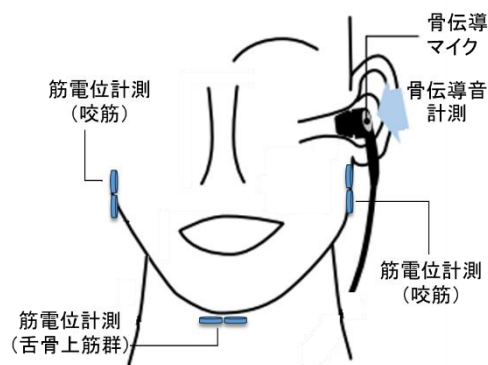


図 1 計測環境

3. 4 対象者

本研究は、兵庫県立大学環境人間学部研究倫理委員会（承認番号：318）および兵庫県立大学先端医療工学研究所倫理委員会（承認番号：23-011）の倫理審査の承認を得て実施された。研究対象者には文書を用いて、研究目的や方法等のプロトコルを説明し、書面による同意を得た。研究で得られた情報は、全て研究用 ID 管理し、個人が特定できないように配慮した。

4. 実験結果

対象者の咀嚼および嚥下時の筋電と骨伝導音を計測した。筋電位信号は、1000 倍に増幅後、多用途生体情報解析プログラム（BIMUTAS® II，キッセイコムテック株式会社）を用いて筋電特性値を解析した。咬筋の計測値は、左右の計測値の平均とした。骨伝導音はハイパスフィルター信号処理でノイズ除去した上で、Matlab R2024a（Mathworks, Natick, MA, USA）で解析した。命令嚥下実験および自由嚥下実験について、統計解析ソフトウェア SPSS v29 での解析結果の比較を行った。

命令嚥下実験結果（嚥下のみ）を表 1 に示す。対象者 12 名（22.3±1.0 歳）に対し、筋電位および骨伝導音の計測項目において、お粥においては「区分 3」より「区分 4」の方が、水においては「濃いとろみ」より「とろみなし」の方が、有意に小さいことが観察された。嚥下の機能は、食塊が通過する時間経過から、口腔期、咽頭期、食道期に分けられる 0。舌骨上筋群の活動時間および活動量、筋電位発生から骨伝導音発生までの時間が小さいことは、口腔期において効率よく食塊を形成されたことを示す。また、嚥下時の骨伝導音継続時間は、咽頭期の食塊通過を反映しており、骨伝導音継続時間の短縮は、飲み込みやすさが示唆された。

表 1 命令嚥下実験結果（嚥下のみ）

(a) お粥		
	区分 3	区分 4
舌骨上筋群：筋活動時間 [s]	1.139 ± 0.363	0.958 ± 0.229*
舌骨上筋群：筋活動量 [mV・s]	0.042 ± 0.016	0.032 ± 0.012*
筋電位発生から骨伝導音発生までの時間 [s]	0.551 ± 0.147	0.373 ± 0.132*
骨伝導音継続時間 [s]	0.430 ± 0.137	0.300 ± 0.076*
区分 3：n=65, 区分 4：n=63, *p<0.05 (独立したサンプルの t 検定)		

(b) 水		
	濃いとろみ	とろみなし
舌骨上筋群：筋活動時間 [s]	0.992 ± 0.313	0.781 ± 0.206*
舌骨上筋群：筋活動量 [mV・s]	0.031 ± 0.014	0.026 ± 0.015
筋電位発生から骨伝導音発生までの時間 [s]	0.528 ± 0.203	0.480 ± 0.189
骨伝導音継続時間 [s]	0.430 ± 0.107	0.295 ± 0.064*
とろみなし：n=54, 濃いとろみ：n=53, *p<0.05 (独立したサンプルの t 検定)		

自由嚥下実験結果（咀嚼および嚥下）を表 2 に示す。対象者 12 名（22.4±1.2 歳）に対し、C と比べて SP の方が、筋電位の計測項目において有意に増加し、骨伝導音の計測項目において有意に減少した。SP の摂取により、筋活動を促し、さらに安全性の高い嚥下を誘導できたと考える。

表 2 自由嚥下実験結果（咀嚼および嚥下）

	C	SP
咬筋：初回筋活動量 [mV・s]	0.031 ± 0.015	0.028 ± 0.015
咬筋：総筋活動量 [mV・s]	0.553 ± 0.289	0.685 ± 0.335*
舌骨上筋群：初回筋活動量 [mV・s]	0.019 ± 0.008	0.021 ± 0.009*
舌骨上筋群：総筋活動量 [mV・s]	0.749 ± 0.208	0.935 ± 0.276*
骨伝導音継続時間：咀嚼 1 回目 [s]	0.057 ± 0.015	0.046 ± 0.008*
骨伝導音継続時間：嚥下時 [s]	0.080 ± 0.018	0.072 ± 0.015*
C, SP: n=12, *p<0.05 (対応サンプルによる Wilcoxon の符号付き順位検定)		

健康維持のための噛み応えに関する生体信号情報の検討

Bio signal information Approach related to chewiness for health maintenance

5. 将来展望

本研究では、咀嚼および嚥下の様子を筋電および骨伝導音にて計測することで食品との関連性を検討した。命令嚥下実験では咀嚼に依存しない環境での嚥下評価を行い、飲み込みやすさの特性を確認した。さらに自由嚥下実験では、SPでの咀嚼回数の増加等による総筋活動量の増加と、骨伝導音継続時間の減少による嚥下しやすさを確認し、咀嚼と嚥下を総合評価できた。ヒトの健康にとって、栄養価が高く、噛み応えのある食品を、より安全に食することは非常に重要である。今後、咀嚼時の顎の動態解析等に発展させることで、咀嚼の質評価にもつなげたい。

おわりに

本研究課題の実施にあたり、咀嚼・嚥下測定に関して、ご尽力およびご教示いただきました兵庫県立大学大学院環境人間学研究科の大学院生の松原叶夏さん、島田良子助教、吉村美紀教授にここに心より深く感謝を申し上げます。

用語解説

*1 フレイル

健康な状態と要介護状態の中間の段階の状態であり、予備能力低下により身体機能障害に陥りやすい状態のことの総称。日本では2014年に日本老年医学会より虚弱に代わる学術用語として提唱された。

*2 オーラルフレイル

フレイルの前段階であるプレフレイル。口から食べ物をこぼす、ものがうまく吞み込めない、滑舌が悪くなる等といった軽微な衰えを見逃した場合、全身的な機能低下が進むことを示す。

参考文献

[1] H. Murayama, E. Kobayashi, S. Okamoto, T. Fukaya, T. Ishizaki, J. Liang, S. Shinkai, “National prevalence of frailty in the older Japanese population: Findings from a nationally representative survey,” Archives of Gerontology and Geriatrics, vol. 91, no.

1042202020, 2020.

- [2] 公益社団法人日本歯科医師会, “2040年を見据えた歯科ビジョン-令和における歯科医療の姿-,” 2020.
- [3] I. Tagashira, H. Tohara, Y. Wakasugi, K. Hara, A. Nakane, Y. Yamazaki, M. Matsubara, S. Minakuchi, A new evaluation of masticatory ability in patients with dysphagia: The Saku-Saku Test, Archives of Gerontology and Geriatrics, Vol. 74, pp. 106-111, 2018.
- [4] K. Hori, F. Uehara, Y. Yamaga, S. Yoshimura, J. Okawa, M. Tanimura, T. Ono, “Reliability of a novel wearable device to measure chewing frequency,” Journal of Prosthodontic Research, vol. 65, issue. 3, pp. 340-345, 2021.
- [5] 日本介護食品協議会, “ユニバーサルデザインフード自主規格について”, https://www.udf.jp/about_udf/index.html
- [6] 松原叶夏, 八木直美, 吉村美紀, “筋電位測定および嚥下音計測による食品の嚥下特性評価,” 日本咀嚼学会第35回学術大会, 2024.
- [7] 栢下淳, 藤島一郎, 藤谷順子, 弘中祥司, 小城明子, 水上美樹, 仙田直之, 森脇元希, “日本摂食嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類2021,” 日本摂食嚥下リハビリテーション学会誌, vol. 25, no. 2, pp. 135-149, 2021.
- [8] 松原叶夏, 島田良子, 八木直美, 江口智美, 桑野稔子, 吉村美紀, “咀嚼筋筋電図波形からみた大豆混合系食パンの特性,” 第45回日本バイオレオロジー学会年会, 2024.
- [9] 松原叶夏, 島田良子, 八木直美, 江口智美, 桑野稔子, 吉村美紀, “大豆成分混合系食パンの物性と咀嚼性から食べやすさの検討,” 日本咀嚼学会第34回学術大会, 2023.
- [10] 嚥下障害診療ガイドライン2024年度版, 日本耳鼻咽喉科頭頸部外科学会(編), 2024.
- [11] 林 祐一, 技術用語解説 フレイル, 日本食品科学工学会誌, 第64巻, 第8号, 日本食品科学工学会, p. 446, 2017.

健康維持のための噛み応えに関する生体信号情報の検討

Bio signal information Approach related to chewiness for health maintenance

- [12] 平野浩彦, 飯島勝矢, 菊谷武, 渡邊裕, 戸原玄
編『実践! オーラルフレイル対応マニュアル』
(第 1 版) 公益財団法人東京都福祉保健財団,
2016.

関連文献

1. 八木直美, 人工知能による嚥下ヘルスケアシステムの開発(生体信号計測と解析), 日本バイオロロジ学会誌(B&R), vol. 37, no. 2, pp. 9-14, 2024.
2. 八木直美, “人工知能で嚥下を科学する,” 第 44 回バイオロロジ・リサーチフォーラム, 2023.
3. 八木直美, “人工知能によるリハビリテーション評価システムの開発,” はりま産学交流会 6 月創造例会, 2023.

この研究は、令和 2 年度 S C A T 研究助成の対象として採用され、令和 3 ～ 5 年度に実施されたものです。