

骨伝導マイクを用いた咀嚼回数向上支援システムのフィードバック方法の検討

三井 秀人^{1,a)} 横窪 安奈^{1,2,b)} ロペズ ギョーム^{1,c)}

概要：肥満は咀嚼回数を向上させることで抑制可能であるが、日常生活の中で常に意識し続けることは難しい。従来の咀嚼回数測定装置は、リアルタイムで測定していないことや、装置自身が大きく、日常生活の中では用いることが難しいという問題点もあった。本研究では、日常生活の中でも利用可能となるように、安価で小型の骨伝導マイクとスマートフォンまたはスマートウォッチで構成する咀嚼回数支援システムを提案し、咀嚼回数向上に適した視覚フィードバック方法を検討した。本システムを用いて 22～23 歳までの成人男性 18 人に対し実験を行い、その効果を確認したところ、咀嚼回数は音声解析により約 91%、発話時間は約 96%の精度の判定が可能となった。また、スマートフォンまたはスマートウォッチでの視覚フィードバックの評価では、フィードバック有りでは無しの場合と比べて約 14%の咀嚼回数の増加が確認された。

1. はじめに

肥満は糖尿病や心疾患などの生活習慣病を引き起こす恐れがある。厚生労働省はこの予防のために対策を講じてきたが、10 年前に比べて肥満の患者数は減少していない [1]。肥満対策として、適度な運動を行うこと、食事内容の改善、咀嚼回数を増やすことなどが挙げられるが、咀嚼回数を増やすことは、誰でも手軽に取り組むことが可能である。

肥満と咀嚼回数には密接な関係がある。咀嚼回数の増加に伴い脳の働きが活発になり、満腹中枢や交感神経を刺激することで、食欲を抑えるホルモンが分泌される。そのため、全体の食事量が減り、肥満が抑制される。一方、早食いの人は肥満が多い傾向にあることが示されているが、これは早く食べることでホルモンの分泌が低下することが食事量の増加を引き起こしていることが一因であると報告されている [2]。従って、肥満の予防にはゆっくりよく噛んで食べることが望ましい。

本研究では、食事中でもユーザが使用可能なデバイスを用いて、リアルタイムで咀嚼を解析し、視覚によるフィードバックを提示することで、咀嚼回数の増加を図るための咀嚼回数向上支援システムを提案する。提案システムに適

したフィードバック方法を検討するために、評価実験を行い、その結果を報告する。

2. 咀嚼回数向上支援システム

2.1 システム概要

提案システムは、骨伝導マイクをウェアラブルに取り付け可能にした装置と、スマートフォンまたはスマートウォッチを用いて実現した。ユーザは骨伝導マイクを装着し、食事を行うと、食事中的音声データを、装着した骨伝導マイクから取得し、Bluetooth で接続されたスマートフォン上に送信する。取得した音声データを元に、スマートフォン上で音声解析を行い、解析結果に合わせて適切なフィードバックを返すことで、咀嚼回数向上の支援を図る。

提案システムの使用イメージを図 1 に示す。提案システムで用いた骨伝導マイクは、Motorola 社製の MOTOROLA Finiti HZ800 Bluetooth Headset を、スマートフォンは Android を搭載した Motorola 社製の Moto G を採用した。

2.2 アプリケーション例

咀嚼回数のフィードバックが適切かどうかを評価するために、Android で咀嚼回数のフィードバックを提示するアプリケーションを実装した。咀嚼に関する視覚フィードバックとして、以下の 2 種類を用意した。

- パターン A：スマートフォンの画面上で、咀嚼に合わせて変化する画像と、咀嚼回数を反映したゲージを表示したフィードバックを行った。
- パターン B：スマートフォンの画面上で、咀嚼回数の

¹ 青山学院大学
Aoyama Gakuin University, Sagami-hara-shi, Kanagawa 252-5258, Japan

² お茶の水女子大学
Ochanomizu University, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, Japan

a) hmitsui@wil-aoyama.jp

b) yokokubo@it.aoyama.ac.jp

c) guillaume@it.aoyama.ac.jp



図 1 提案システムの使用イメージ

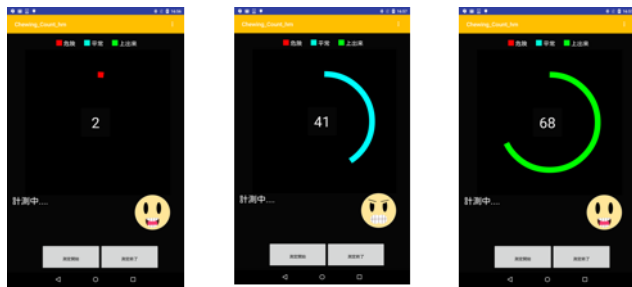


図 2 パターン A における咀嚼回数表示の例

表示のみによるフィードバックを行った。

パターン A では、咀嚼回数を中央に表示し、咀嚼回数が増えていくと、咀嚼回数と連動した円形ゲージが変化する(図 2)。円形ゲージは咀嚼回数に応じてゲージの値が伸びていき、閾値が判別可能になるように円形ゲージ色の変化で提示した。円形ゲージに使用する色は、赤色を咀嚼回数の向上を強く促すための警告色、青色を咀嚼回数の向上をやや促すための色、緑色を咀嚼回数が適正であることを示す色を採用した。また色が段階的に変化していくための咀嚼回数の条件は、赤色を 0～29 回までとし、青色を 30～49 回まで、緑色を 50 回以上とした。加えて、色変化のみでは警告を示しているのか、適正值なのかが不明であると考え、右下に顔の画像を用いることで、顔の表情変化から警告が適正值なのかを判別可能になるようにした。

パターン B では、咀嚼を判定すると画面右側に計測した咀嚼回数を数値で表示する(図 3)。画面左側の顔画像は、咀嚼回数が偶数の場合は口を開けている画像に、奇数の場合は口を閉じている画像に変化する。

視覚フィードバックが使用する端末で影響を受けるかを確認するために、パターン C の条件も用意した。パターン C では、パターン A と同じ画面のフィードバックをスマートウォッチの画面上に表示した。

3. 評価実験

3.1 実験概要

パターン A、パターン B、パターン C の視覚フィードバックの効果を検証するために、各パターンにおける評価実験を行った。



図 3 パターン B における咀嚼回数表示の例

はじめに、ユーザに骨伝導マイクを装着してもらい、食事や発話を行うよう指示した。次に骨伝導マイクによって音声データを取得し、スマートフォンに送信する。スマートフォンでは受信した音声データを短時間エネルギー処理により解析し、咀嚼と発話を判定した後、ユーザへの視覚フィードバックとしてスマートフォンまたはスマートウォッチの画面に、上記 3 パターンのフィードバックを提示した。

なお、咀嚼と発話の判定には、実験開始時に行うキャリブレーションで自動的に決定した閾値を用いた。音声データの値が閾値を超えた段階で咀嚼と発話の判別及び算出を行った。咀嚼判定は、設定された閾値を一定時間超えた場合を発話とし、それ以下の場合は咀嚼と判定した。また、咀嚼回数は音声データの値が閾値を超え、一定時間内に閾値を下回る毎に 1 回とカウントした。

3.2 実験方法

本実験は、22～23 歳までの成人男性 18 名を対象に実施した。実験内容で使用した視覚フィードバックは、フィードバックの有無の 2 通りを用意した。フィードバック有りの場合は、骨伝導マイクを装着する以外には被験者に対する制約はなく、普段通りに食事をするよう指示した。対照的にフィードバック無しの場合は、被験者に骨伝導マイクを装着させ、提案システムである咀嚼回数向上支援アプリケーションを開始し、食事を行うよう指示した。咀嚼と判定するために、最初の一口目を指定した回数で咀嚼してもらい、その回数から閾値を設定した。閾値を設定した後は、被験者に対して自由に食事を行うよう指示した。

食事課題は、食べ物に依らない咀嚼判定精度を評価するために、おにぎり(2 個)と千切りキャベツ(120g)の 2 種類を用意し、各々の食事を同被験者に課した。発話課題として、実験中に実験者が被験者に関して質問を行い、受け答えの時間を測定した。咀嚼回数と発話時間の真値を得るために、ビデオカメラにより実験中の被験者の要素を録画した。食事課題終了後には、被験者に対して提案システ

表 1 提案システムの咀嚼回数と発話時間算出精度

	咀嚼回数	発話時間
測定値平均	225 回	8.61 秒
真値平均	212 回	8.72 秒
相対誤差平均	約 9%	約 4%
標準偏差	約 4%	約 3%
平均精度	約 91%	約 96%

表 2 フィードバックの有無による咀嚼回数の計測結果

	咀嚼回数
フィードバックなし	186 回
フィードバックあり	212 回
増加数	+26 回
増加率	約 14.0%

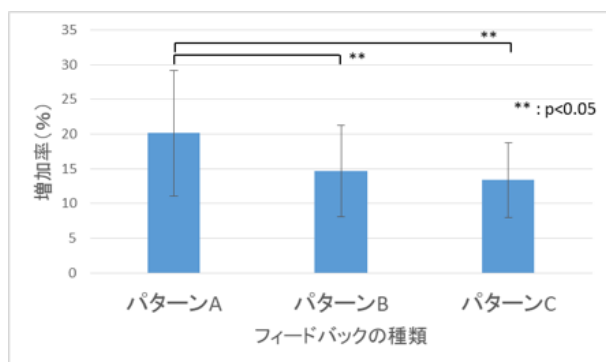


図 4 各フィードバックにおける咀嚼回数の増加率

ムに関するアンケートを実施した。

3.3 実験結果

本実験で取得した咀嚼回数と発話時間の真値と測定値を用いて、提案システムの判定精度を算出した（表 1）。咀嚼回数に着目すると、個人によってばらつきは存在するものの、全体平均で 91%という高い精度で咀嚼回数を判定できていることが示唆された。発話時間においても、全体平均で約 96%と高精度で判定できていることが示唆された。

被験者に対してフィードバックを返す場合と返さない場合での咀嚼回数の平均を表 2 に示す。フィードバックを返す場合では、返さない場合より、咀嚼回数が約 14%増加したことがわかる。また、ウィルコクソンの符号付順位検定により、有意な差であることが示された ($p < 0.01$)。

フィードバックの種類毎の咀嚼回数の増加率を図 4 に示す。具体的な数値で比較すると、咀嚼回数の増加率が多い順にパターン A が 20%、パターン B が 15%、パターン C が 13%となった。ウィルコクソンの順位和検定により、パターン A とパターン B、パターン A とパターン C では有意に ($p < 0.05$) 咀嚼回数が増加することが示されたが、パターン B とパターン C の差は有意だと示されなかった。

4. 考察

今回の実験結果より、リアルタイムでの咀嚼回数の判定

精度は 91%であった。これは、先行研究での咀嚼回数の判定精度、約 89%と比較すると、約 2%精度が向上した。また、視覚的フィードバックにより優位に咀嚼回数の増加数を促すことが可能であると明らかになった。以上から、提案した咀嚼回数向上支援システムは有用であり、咀嚼回数を向上させることで、短期間でも高い効果が期待できる。

一方、フィードバックの種類毎の咀嚼回数の増加率が変化する要因としては、フィードバック画面内に、ユーザに対して「噛む」動作を意識させるための情報が含まれることや使用するデバイスに適した情報提示になっているか否かが重要であると考えられる。

前者においては、咀嚼回数の提示のみであったパターン B よりも、咀嚼回数に対して、警告などのメッセージ性を持たせたパターン A の方が、ユーザに与える情報量が多かったため、有意に咀嚼回数が増えたからだと考えられる。後者においては、パターン A とパターン C のフィードバック画面は同一であるが、スマートフォンを使用した場合の方が、スマートウォッチを使用してフィードバック提示したパターン C よりも有意に咀嚼回数が増えた。

これはスマートフォンとスマートウォッチの画面の大きさが起因すると考えられるため、デバイスの大きさに合わせた情報提示手段を考慮する必要がある。加えて、実際の食事中に提案システムを使用する場合、食材が変わる毎に閾値の設定を行う必要があったため、咀嚼の判定精度が落ちてしまう問題点があった。そのため、食材毎の閾値設定が必要だと考えられる。

5. 関連研究

咀嚼に関する研究として、宇野らは骨伝導マイクロフォンを用いて咀嚼回数と噛みごたえ度を検出するシステムを提案している [3]。しかし、システムを実現させるためにチャージアンプや PC を用いているため、装置が大きく、日常生活の中で用いること困難である。また、咀嚼音のみを想定したシステムであるため、発話の検出の検討は不十分であった。

日陶科学株式会社によって、咀嚼計測装置である「かみかみセンサ」が開発され、商品化されている [4]。かみかみセンサは、子供たちの噛むことへの意識を高め、よく噛む習慣を自然に身に付けてもらうことが目的とされている。顎の下にあるセンサを用いることによって、咀嚼をカウントする装置である。この商品のシステムでは顎の下のセンサによって、顎の筋肉動作の違いなどを検知することで、咀嚼と会話を判断し、フィードバック画面に咀嚼回数を表示する。しかし、センサが顎に当たるように装着しなければならないので、ユーザは食事中に違和感を覚えたり、食事時の姿勢により、咀嚼回数として反映されないという問題点があった。

このように、咀嚼回数を測定し、記録・モニタリングす

ることを目的としたシステムでは、測定する装置が大きく、日常生活の中で用いることに適していないのが現状である。

音声解析の先行研究には、Amft らの周波数領域を用いた解析の研究 [5] や Zhang らの 48Khz サンプリングが可能な高性能マイクを用いた研究 [6] が挙げられる。いずれも高性能マイクを用いているため、発話の検出も可能であるが、リアルタイムでの音声解析は行っていなかった。

筆者らは、日常生活の中でも使用可能かつリアルタイムで咀嚼回数を計測することに着目した。

6. まとめと今後の展望

日常生活の中で使用可能な咀嚼回数向上支援システムとして、ハンズフリーな骨伝導マイクとスマートフォンまたはスマートウォッチを用いたリアルタイムでの咀嚼回数のフィードバックを提示するシステムを開発した。

提案システムのリアルタイムにおける咀嚼判定精度を測定、先行研究と比較して、約 2% 向上し、約 91% の精度で判定することに成功した。そのため、ユーザに対して、食事中にリアルタイムで咀嚼状態のフィードバックを行うことで、咀嚼回数向上への効果が期待できると考えられる。しかし、視覚フィードバックに表示する情報量で効果が変わることが明らかになったので、提示する情報を精査する必要があると考えられる。

今後は、視覚フィードバックの画面デザインの再検討に加え、どの食材にも対応できるように閾値設定を変更可能にすることで、咀嚼回数の判定精度を向上させたい。

参考文献

- [1] 厚生労働省：国民健康・栄養調査報告 (2014).
- [2] 花王健康科学研究会：Kao ヘルスケアレポート，“よく噛んで味わって食べる効用 メタボリックシンドロームと肥満の予防対策” (2007 年 12 月 28 日発行)(2007).
- [3] 宇野修司，有泉亮，金田重朗，芳賀博英：骨伝導マイクロフォンを用いた咀嚼回数指導方式の提案，人工知能学会全国大会論文集 24 回，pp.1-4(2010).
- [4] 安富和子：日本かみかみクラブ，<http://xn-u8ja9mb.com/sensor/index03.html>(2004).
- [5] Amft, O., et al. : Wearable Eating Habit Sensing System Using Internal Body Sound, *Proceedings of 7th International Conference on Ubiquitous Computing*, pp.56-72(2005).
- [6] H. Zhang, G. Lopez, M. Shuzo, J.J. Delaunay, I. Yamada : Analysis of eating habits using sound information from a bone-conduction sensor, *Proceedings of the IADIS International Conference e-Health 2011*, pp.18-27, 20-22(2011).