介護者の負担軽減を目指した嚥下センサ開発のための基礎的研究

西谷光世*・都築裕*・金主賢*・土井一平*
中林美奈子**・坪内奈津子***・林一枝***・中島一樹*A Preliminary Study on Development of a Swallowing Sensor to Reduce Burden of
Nursing Care Staff for Meal AssistanceKosei NISHITANI*, Yutaka TUDUKI*, Juhyon KIM*, Ippei DOI*,
Minako NAKABAYASHI**, Natsuko TSUBOUTI***, Kazue HAYASHI*** and Kazuki NAKAJIMA*

In Japan, number of nursing facility users who require high nursing care level is increasing every year. The previous study was showed that “meal assistance” was the most difficult care technique for the nursing care staff. In this study, a swallowing sensor was developed to reduce burden of nursing care staff for meal assistance. The electromyogram and acceleration of the digastric muscle was measured both at the resting and at the time of swallowing, and evaluated the time of swallowing by computing an integrated root mean square of electromyogram (iE_{RMS}) and that of acceleration (iA_{RMS}). Eight healthy males swallowed 2 g or 10 g of pudding, respectively. iE_{RMS} and iA_{RMS} at the time of swallowing were significantly larger than those at the resting, respectively. Elderly people in a special elderly nursing home also ate their lunch, and iE_{RMS} and iA_{RMS} were obtained. iE_{RMS} and iA_{RMS} at the time of swallowing were also significantly larger than those at the resting.

Key Words: swallowing, electromyogram, acceleration

1. はじめに

総務省が発表した2012年8月1日現在の推計人口によると、65歳以上は前年より95万人多い3057万人で、総人口に占める割合の24.3%を占める¹⁾。さらに65歳以上人口は増加し、2060年には39.9%に達すると推計されている²⁾。高齢者人口の増加に伴い、介護度・医療依存度の高い利用者数と介護施設数が増加している^{3), 4)}。介護保険法の人員に関する基準により、介護老人福祉施設では利用者数当たりの介護職員数が決められている。近年、利用者の介護度が高くなってきていることから、食事や入浴などに代表される各種介護業務に対する介護職員の困難感や負担感が増加している⁵⁾。介護職員の負担感や困難感の増大は、介護職員自身の心身疲弊を引き起こし、利用者への介護の質の低下や利用者のQOL (Quality Of Life) の低下につながる可能性も否定できない⁶⁾。

この問題に対する解決方法としては、介護職員が提供する介護技術力の向上も重要であるが、福祉用具・機器の活用によって負担感や困難感を軽減させることも有効と考えられる。これが実現すれば、介護職員が利用者に接する時間を取りやすくなることから、利用者のQOLの向上にも貢献すると考えられる。われわれはどのような福祉用具・機器を開発すべきかを調べることを目的として、富山県内の介護施設の職員が提供する介護技術の中で、どのような困難感を有しているかを調査した^{7), 8)}。施設の種類により困難感の傾向はわずかに異なったが、全施設の平均では食事介助に対する困難感が最も強く、特に特別養護老人ホーム(特養)では以下の3点で食事介助に対する困難感がきわめて強いことが明らかになった。まず、食事介助時の介護職員は、①被介護者のペースで食事をしてもらいたいが、ほかの業務もあるので実現困難な場合が少なくないこと、②健康維持のために食事を全量摂取してほしいが、被介護者の食欲を把握できないこと、さらに③死亡にも至る可能性のある肺炎を引き起こす誤嚥をしてほしくないことから、大きな心理的困難感を有していることがわかった。食事介助時に被介護者の嚥下を明瞭に把握できれば、介護職員の食事介助の困難感が軽減されと考えられる。嚥下に関するいくつかの研究では、被験筋に針電極を直接刺して嚥下を検出している^{9), 10)}。しかし、針電極を用いる方法は侵襲的であること¹¹⁾、さらに医療での検査目的で使用されていること¹²⁾から、介護施設で食事介助を目的とした利用は困難

* 富山大学工学部 富山市五福 3190

** 富山大学医学部 富山市杉谷 2630

*** 特別養護老人ホーム梨雲苑 富山市吉作 1725

* Faculty of Engineering, University of Toyama, 3190 Gofuku, Toyama

** Faculty of Medical, University of Toyama, 2630 Sugitani, Toyama

*** Riunen, Special Elderly Nursing Home, 1725 Yoshizukuri, Toyama

(Received January 30, 2014)

(Revised May 13, 2014)

と考えられる。これに対して、皮膚表面に電極を取りつける表面筋電図法で嚥下を検出する方法も研究されている¹³⁾。ただし、こちらも食事介助のたびに頸部に筋電図電極をわざわざ取りつけることは、日常生活を営んでいる特養では実施できない。われわれは被介護者の負担がなく介護職員の食事介助時の心理的困難感を軽減するための嚥下センサの開発を目指している。このセンサを用いれば、嚥下か誤嚥かの判別を行なうのではなく、介護職員がつぎのスプーン 1 杯を被介護者に運ぶきっかけを知ることができる。本研究では、誤嚥の判定ではなく嚥下を検出するための基礎的なデータを取得することを目的とする。嚥下時の筋活動に着目し、表面筋電図（以下、筋電図）と加速度を用いて嚥下判定のための予備的研究を行なった。

2. システム概要

2.1 検出部位の決定

一般的な食事の流れは、①食物の認識、②口腔内に取り込む、③咀嚼と食塊形成、④咽頭への送り込み、⑤咽頭通過、⑥食道通過・食塊を咽頭に送ることで食物を胃での消化と分類される¹⁴⁾。ここで④の咽頭へ食物を送り込むときには舌が上下運動し、これに連動する筋活動が発生する。正常な嚥下には舌骨挙上が必要であり、これを担う舌骨上筋の筋力が弱まると誤嚥のリスクが高まる。本研究では、舌骨上筋群の中で舌骨挙上に関与している顎二腹筋¹⁵⁾を検出部位とし、表面筋電図法による嚥下の判定を試みた。また、筋電図だけでなく加速度の変化からも嚥下の判定が可能かを検討した。

2.2 システム構成

嚥下時の筋電図および加速度の測定には、マルチテレメータシステム (WEB1000, 日本光電) を用いた。このシステムは、コードレステレメータ電極と受信機から構成されており、無拘束状態での筋電図などの測定を行なうことができる。Fig. 1 に測定システムの概要を示す。測定部位である顎二腹筋上の皮膚表面に筋電図送信機 (ZB-150H: 25 × 34.5 × 12 mm, 10 g, 電極 10 × 2 mm, 電極間距離 5 mm, 日本光電) を筋繊維走行と直角に装着した。さらに、筋電図送信機と並行して 3 軸加速度送信機 (ZB-156H: 25 × 38 × 13 mm, 12 g, 日本光電) を顎二腹筋の筋繊維走行が x 軸方向となるように装着した。各送信機は専用の両面テープで皮膚に装着された。各送信機からの筋電図や加速度の信号は無線で受信機 (ZR-100H, 日本光電) に送信され、計算機 (CC-700H, 日本光電) で波形を表示・記録された。サンプリング周波数は 1 kHz とした。

2.3 解析方法

測定した筋電図および加速度のデータから、(1) 式と (2) 式で筋電図および加速度の RMS (Root Mean Square) 値をそれぞれ算出した。E_t は筋電図の生データ、E_{RMS} は筋電図の RMS を示す。加速度では x_t は生データ、 $\bar{x}$ は安静時における平均値、A_{RMS} は加速度の RMS として、3 軸でそれぞれ A_{RMS} が計算された。健常成人男性の予備実験では、筋電図測定により嚥下時の活発な筋活動が約 0.8 秒間であることが

Fig. 1 Anatomical drawing¹⁶⁾ and outline of measurement system

わかった。そこで E_{RMS} および A_{RMS} の積分範囲が嚥下の動作時間に含まれるように、0.001 秒ごとに積分周期を嚥下時の活発な筋活動時間の半分である 0.4 秒間とした iE_{RMS} および iA_{RMS} を算出した。嚥下を行なう直前から 30 秒前までの信号の安定している 1 秒間を安静時とした。さらに健常成人男性の嚥下時間より高齢者の嚥下時間が長くなると予想し、iE_{RMS} の最大値から前後 0.5 秒間を嚥下時と定義した。

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_t E_t^2} \quad (1)$$

$$A_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_t (x_t - \bar{x})^2} \quad (2)$$

3. 実験方法

3.1 倫理と統計処理

本研究は富山大学倫理委員会および梨雲福祉会研究倫理審査委員会から研究実施の承認を得、被験者には書面と口頭による説明を行ない、書面にてインフォームドコンセントを得た後に測定を実施した。得られたデータは t 検定により解析された。

3.2 若年者

健常成人男性 8 名 (21.9 ± 1.4 歳) が被験者となった。被験者を座位で安静状態を保ち、プリンを口に含ませたのち、検者が指定した時刻にプリン 2 g と 10 g (プッチンプリン、グリコ)¹⁷⁾ をそれぞれ 5 回ずつ合計 10 回の指示嚥下をさせた。被験者にはプリン 2 g と 10 g をランダムに与えた。筋電図送信機と加速度送信機は、プリン 2 g および 10 g でそれぞれ 5 回の嚥下を終えてから取り外された。測定は 1 名ずつ行ない、データの記録は嚥下の前後 5 秒間、合計 10 秒間行なった。

3.3 高齢者

特養で日頃から食事介助を受けている要介護高齢者 (男性 1 名、女性 3 名、77.5 ± 10.5 歳) の昼食時に測定を行なった。昼食はいつも食べている介護食で、介護職員が食事を被験者の口に運んだ。検者が嚥下したと推定される時刻を記録した。食事開始から終了までを時間的にはほぼ 5 等分し、各被験者で典型的な 5 回分の嚥下データとして解析した。嚥下時刻は、介護施設での勤務経験が 5 年以上の介護職員が目視で嚥下を判断し検者に伝え、検者が PC にタイムスタンプを入力した。

Fig. 2 Typical example of swallowing waveforms at digastric muscle in a healthy male subject Pudding 2 g: (a) EMG, (b) acceleration waveforms and Pudding 10 g: (c) EMG, (d) acceleration waveforms

Fig. 3 Comparison between resting and swallowing in iERMS and iARMS ($n = 40$), * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

4. 実験結果

4.1 若年者

健康成人男性のプリン 2 g と 10 g の 1 回の嚥下の典型例を **Fig. 2** に示す。Fig. 2(a) と (b) にプリン 2 g の嚥下における筋電図と加速度波形を、(c) と (d) にプリン 10 g の嚥下における筋電図と加速度波形を示す。プリン 2 g および 10 g の両方とも、被験者に嚥下するよう指示した時刻に筋電図に大きな反応が得られた。加速度でも筋電図と同様に、両方のプリンの量で嚥下時に大きな反応が 3 軸で得られ、特に頸部の前後変化を記録した x 軸方向の反応が大きかった。ほかの

被験者でも同様に嚥下時には顕著な信号が得られ、嚥下時の時刻を特定することが可能であった。**Fig. 3** に若年被験者 8 名全員の筋電図と加速度の安静時と嚥下時の RMS の積分値を示す。筋電図の RMS 値では、安静時よりも嚥下時が有意に大きく、3 倍以上の差があった。加速度の RMS 値でも全軸とも 7 倍以上の差があり、嚥下時の値が有意に大きかった。

4.2 高齢者

ある女性高齢被験者の 2 回の嚥下時の典型例を **Fig. 4** に示す。Fig. 4(a) と (b) は同時記録したある嚥下時の筋電図と加速度波形を、(c) と (d) も同時記録したほかの嚥下の筋電図と加速度波形を示す。前者の嚥下では筋電図からは嚥下に

Fig. 4 Typical example of waveforms swallowing at digastrics muscle in an elderly people swallowing1: (a) EMG, (b) acceleration waveforms and swallowing2: (c) EMG, (d) acceleration waveforms

Fig. 5 Comparison between resting and swallowing in iERMS and iARMS (n = 20), * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

伴う大きな信号は得られなかった。加速度信号では頸部の前後変化を記録した x 軸方向と頸部の上下変化を記録した z 軸方向に嚥下時刻としてタイムスタンプを入力された時刻に一致する信号が得られた。一方、後者では嚥下前後で筋電図に大きな信号が得られ続け、若年者のように特定の嚥下時刻を

推定するのは困難であった。同様に加速度信号でも 3 軸とも大きな信号が得られ続け、若年者のように特定の嚥下時刻を推定するのは困難であった。この例と同様に、ほかの高齢者でも嚥下前後で筋電図や 3 軸の加速度信号ともに大きな信号が得られ続ける場合や、筋電図と加速度信号のどちらかが嚥

下に一致する信号が得られる場合があった。全 20 回中 13 回の嚥下データでは、筋電図と 3 軸の加速度信号の両方で大きな信号が得られ続け、嚥下時刻を特定するのが困難であった。**Fig. 5** に高齢被験者 4 名全員の筋電図と加速度の安静時と嚥下時の RMS 値を示す。嚥下データのなかで比較的反応が小さい期間を安静時、検者がタイムスタンプを入力することにより嚥下時刻を推定した範囲での iE_{RMS} の最大値前後 0.5 秒間を高齢者の嚥下時とした (Fig. 5)。筋電図の RMS 値では、安静時よりも嚥下時が有意に大きく、3 倍程度の差があった。加速度の RMS 値でも全軸とも 3 倍程度の差があり、嚥下時の値が有意に大きかった。

5. 考 察

健康成人男性 8 名と要介護高齢者 4 名に筋電図と加速度を用いて嚥下の測定・解析を行なった。その結果、健康成人男性は筋電図波形、加速度波形ともに嚥下時に大きな信号が得られた。また、安静時と嚥下時ではそれぞれ嚥下時に有意に大きいことが確認された。筋電図や加速度の RMS 値において、ある閾値を設定すれば容易に安静時と嚥下時を判別でき、嚥下の自動判別の可能性も示唆された。高齢者においても若年者と同様に筋電図波形、加速度波形ともに嚥下時のほうが統計的にも有意に大きな結果が得られた。しかし、高齢者の筋電図、加速度波形には嚥下時以外にも大きな反応が多数得られた。若年者と異なり、高齢者では筋電図と加速度の RMS 値からある閾値を設定することで、嚥下時を自動判別することは容易ではないと考えられる。さらに、筋電図センサや加速度センサのセンサ取り付け位置の皮膚のたるみや振戦により、安静時のデータを安定して取得することが容易でないことも明らかになった。また、高齢者の場合は食物を口に入れた後、そのまま嚥下をする場合や咀嚼しながら嚥下する場合など、同一被験者の嚥下でも複数のパターンがあった。本研究では検者が嚥下時刻を推定したが嚥下を目視で評価することは困難であった。また、われわれの先行研究^{7), 8)}での結果と同様に、熟練の介護者でも嚥下を目視で評価することが困難であるとのコメントを得ている。今後の課題としては、明瞭に嚥下を自動識別でき、センサの取り付け方や振戦に影響されない拘束性の少ない測定法の開発が必要である。

謝辞 測定にご協力いただきました梨雲苑の介護職員の皆様に感謝申し上げます。本研究の一部は JSPS 科研費 25670992 の助成を受けたものです。

参 考 文 献

1) 総務省統計局：人口推計 2013 年 1 月度推計結果, <http://www.stat.go.jp/data/jinsui/pdf/201301.pdf>

2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来の人口推計 2012 年 1 月度推計, <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/point.pdf>

3) 厚生労働省：有料老人ホームについて, <http://www.cao.go.jp/consumer/doc/100409.shiryou2-1.pdf>

4) 厚生労働省：介護保険事業報告, http://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyo/10/dl/h22_gaiyou.pdf

- 5) 厚生労働省：指定介護老人福祉施設の人員、設備及び運営に関する基準, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H11/H11F03601000039.html>
- 6) 中原 純：高齢者介護における負担感とその要因について、研究の動向と今後の課題、生老病死の行動科学, **9**, 91/99 (2004)
- 7) 平田, 中林, 成尾, 中島, 中村, チャビ, 成瀬：ユーザビリティを考慮した介護機器の開発に関わる研究 (1), 第 71 回日本公衆衛生学会抄録集, 406 (2012)
- 8) 中林, 平田, 成尾, 中島, 中村, チャビ, 岸, 炭谷, 成瀬：ユーザビリティを考慮した介護機器の開発に関わる研究 (2), 第 71 回日本公衆衛生学会抄録集, 407 (2012)
- 9) 三村 博：ヒト頸二腹筋前腹運動単位の生理学的特性, 日本口腔科学会雑誌, **56-1**, 75/92 (1989)
- 10) 三浦不二夫：筋電図法による咀嚼筋の活動様式に関する研究, 口腔病学会雑誌, **23-4**, 291/320 (1956)
- 11) 佐藤, 中島：睡眠時無呼吸症候群の睡眠中の嚥下機能, 日本口腔・咽頭科学会, **24-1**, 7/16 (2011)
- 12) 南 豊彦：嚥下口腔期 客観的治療評価法, 口腔・咽頭科, **9-3**, 363/370 (1997)
- 13) 興津, 有田, 園田, 大田, 堀田, 本田, 千野：舌骨上筋群における嚥下表面筋電図の電極位置の検討, リハビリテーション医学, **35-4**, 241/244 (1998)
- 14) 藤島一郎：こうすれば食べられる 嚥下困難患者への新しいアプローチ, 8/25, 中央法規出版 (1994)
- 15) 戸原, 和田, 三瓶, 井上, 佐藤, 飯田, 鰐原, 岡田, 島野, 石山, 中川, 植田：簡易な開口力測定器の開発, 老歯学, **26-2**, 78/84 (2011)
- 16) 小川, 森, 森：解剖学 1 (第 10 版), 279, 金原出版 (1977)
- 17) J. Furuya, S. Nakamura, T. Ono and T. Suzuki: Tongue pressure production while swallowing water and pudding and during dry swallow using a sensor sheet system, J. Oral Rehab., **39-9**, 684/691 (2012)

[著 者 紹 介]

西 谷 光 世

2013 年富山大学工学部電気電子システム工学科卒業, 同年富山大学大学院理工学部電気電子システム工学専攻入学, 現在に至る。介護者の負担を軽減する嚥下センサ開発の研究に従事。

都 築 裕

2010 年富山大学工学部電気電子システム工学科入学, 現在に至る。介護者の負担を軽減する嚥下センサ開発の研究に従事。

金 主 賢

2009 年富山大学大学院生命融合科学教育部修了, 博士 (工学)。2009 年テネシー大学健康科学センター博士研究員, 2012 年富山大学大学院理工学研究部講師, 現在に至る。睡眠・覚醒に関する脳内機構の研究に従事。

土 井 一 平

2010 年富山大学工学部電気電子システム工学科入学，現在に至る．介護者の負担を軽減する嚙下センサ開発の研究に従事．

中 林 美奈子

富山大学大学院医学薬学研究部，准教授，保健師，博士（工学）．公衆衛生看護学および産業看護学に基づく地域ケアシステムづくりに関する実践的研究や保健事業の評価に関する研究に従事．

坪 内 奈津子

富山市医師会看護専門学校卒業，1972 年五省会西能病院看護師，看護師長，2001 年特別養護老人ホーム梨雲苑ホーム長，（福）梨雲福祉会理事．要介護高齢者の生活質向上に関する研究に従事．

林 一 枝

（福）梨雲福祉会理事長，医師．要介護高齢者の生活質向上に関する研究に従事．

中 島 一 樹（正会員）

1987 年京都工芸繊維大学大学院工学研究科修了，博士（工学）．88 年山口大学助手，99 年国立長寿医療研究センター室長，2003 年富山大学助教授，2010 年同大学大学院理工学研究部教授，現在に至る．無拘束生体計測および福祉機器開発などの研究に従事．

.....