

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：13201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25670992

研究課題名(和文) センサ装着を意識せずに食物の飲み込みを検出する技術開発への挑戦的研究

研究課題名(英文) A challenging study on development of a device without being aware of sensors to detect the swallowing of food

研究代表者

中島 一樹 (Nakajima, Kazuki)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授

研究者番号：50207776

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：高齢者数の増加に伴い、介護福祉施設利用者数が増加している。介護職員が最も困難に感じる介護サービスは食事介助である。本研究では、食事介助における介護職員の負担を軽減するために飲み込みセンサを開発した。加速度計を用いた飲み込み検出は筋電計を用いた飲み込み検出よりも容易であった。まず、飲み込みを検出するための最適な測定部位を検討した。胸骨舌骨筋の加速度の積分値(iAcc)は、他の部位よりも有意に大きかった。次に加速度計を内蔵したエプロンを開発した。このエプロンを評価した結果、若年者と高齢者共に安静時のiAccより飲み込み時のiAccが有意に大きかった。

研究成果の概要(英文)：The number of residents in care facilities has increased with the increase in the number of elderly people in Japan. The meal assistance was the most difficult service performed by the care staff. In this study, a swallowing sensor was developed to reduce burden of nursing care staff for meal assistance. The swallowing detection using an accelerometer was easier than detection using EMG methods. We determined a suitable position of the accelerometer to detect a swallowing. The integrated acceleration (iAcc) value at the sternohyoid muscle was significantly larger than that at other positions. We developed a device that equipped an apron with an accelerometer. The device was evaluated, and the iAcc value during swallowing was significantly larger than that during rest in both the young and the elderly people.

研究分野：高齢者工学

キーワード：嚥下 エプロン 加速度計 筋電計

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は H23 年度に富山県内の 154 老人介護福祉施設に勤務する 1,151 名のケアスタッフに対して介護技術提供に関する困難感調査を行い、「食事介助」に心理的負担感が強いことを明らかにした。さらに特別養護老人ホーム(特養)のケアスタッフ 11 人に、食事介助において感じた困難と対処等について 2 時間のグループインタビューを行った。その結果、彼らは「被介助者の自立や尊厳を意識した介助をしたい」、「安全に介助をしたい」、「利用者との信頼関係を壊さない介助をしたい」との信条を持っていることが浮き彫りとなり、特に食事介助時に被介助者の飲み込み(嚥下)を目視で判別できないことへの困難さや、誤嚥による肺炎から重篤な状態へと様態が変化しないかとの心理的負担感が強いことが明確になった。すなわち、(1)利用者の立場で介助でき、(2)急ぎすぎず誤嚥させないペースで食事を摂取してもらう、(3)見た目にも「検査」に相当しない、ことを実現させる介助機器のニーズがあることが明らかとなった。そこで被介助者の嚥下を介助者に知らせるセンサを開発する着想を得た。

2. 研究の目的

介護度の高い利用者が増加する中、介護現場ではいかにして安全で安楽な介護技術を提供するかが重要な課題である。その解決にはケアスタッフの介護技術力の向上と共に介助機器の活用も選択肢の 1 つであり、スタッフと利用者双方にとって利便性の高い介助機器の開発が必要である。これまでの研究で特別養護老人ホームのケアスタッフは、食事介助に困難感を持っていることを明らかにした。そこで介護現場で違和感のない福祉用具として、食事時には必ず利用するエプロンに着目し、食物の飲み込みをケアスタッフに知らせるセンサをエプロンに付加する着想を得た。本研究では被介護者にセンサ装着を意識させず、飲み込みを検出するセンサ技術を開発した。

3. 研究の方法

一般的な食事の流れは、食物の認識、口腔内に取り込む、咀嚼と食塊形成、咽頭への送り込み、咽頭通過、食道通過と分類される。ここで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、最適な飲み込みの検出手法および検出部位を検討した。

データの解析として、筋電図から得られた信号を全波整流し、ある一定の時間内でこれを積分した値を iECG として算出した。同様に加速度計で得られた信号も全波整流し、同じ一定の時間内でこれを積分した値を iACC

として算出した。

3. 1. 飲み込みの検出法

上述のように飲み込み時には、嚥下に関わる筋活動を伴う。筋活動の評価として代表的である筋電図および筋の動きを評価するために加速度計による信号について次のように測定、比較した。舌骨上筋群の中で舌骨挙上に関与している顎二腹筋を検出部位とし、表面筋電図法による飲み込みの判定を試みた。また、筋電図だけでなく加速度の変化からも飲み込みの判定が可能かを検討した。

健康成人男性 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に保ち、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)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 名ずつ行い、データの記録は嚥下の前後 5 秒間、合計 10 秒間行った。また、高齢者においては特別養護老人ホーム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。検者が飲み込み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ほぼ 5 等分し、各被験者で典型的な 5 回分の飲み込みデータとして解析した。飲み込み時刻は、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。

3. 2. 飲み込みの検出部位

測定部位は、他の研究者らが対象とした胸骨舌骨筋に加えて、顎二腹筋と、予備実験で飲み込み時に検者が目視で大きい筋活動と判断した胸骨甲状筋を加えた 3 箇所とした。飲み込み時の加速度の測定には、加速度計(加速度送信機 ZB-155H/ZB-156H, サイズ: 25 × 38 × 13 mm, 重量: 10/12 g, 周波数特性: DC ~ 200Hz, 日本光電)とマルチテレメータシステム(WEB1000, 日本光電)を用いた。加速度計は 3 箇所の測定部位(顎二腹筋: ZB-155H, 胸骨甲状筋: ZB-156H, 胸骨舌骨筋: ZB-156H)の皮膚表面に専用の両面テープを用いて装着された。また、加速度計の ZB-156H は、筋繊維走行が x 軸方向となるように、ZB-155H は筋繊維走行と x 軸方向が直角となるように装着された。各加速度計からの加速度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 3 箇所の波形は同時に表示・記録された。サンプリング周波数を 1 kHz とした。

被検者は座位で安静状態を保ち、飲料水(いろはす, 日本コカコーラ)10 ml を口に含んだのち、検者の指示した時刻に飲み込んだ。各被検者には 5 回の指示飲み込みを行わせ

た。各加速度計から得られる 3 箇所データの同時記録された。

被検者は健常成人男性 6 名 (22.3 ± 0.9 歳, 平均 \pm 標準偏差) とした。被検者は座位で安静状態を保ち、飲料水 (いりす, 日本コカコーラ) 10 ml を口に含んだのち、検者の指示した時刻に飲み込んだ。各被検者には 5 回の指示飲み込みを行わせた。各加速度計から得られる 3 箇所のデータは同時に記録された。測定は 1 名ずつ行い、データの解析は飲み込みの前後 5 秒間、合計 10 秒間を対象とされた。また、高齢者においては、特別養護老人ホームで毎食ごとに食事介助を受けている要食事被介護者 (男性 1 名, 女性 3 名, 83.0 ± 5.6 歳, 要介護 4.8 ± 0.5 , 平均 \pm 標準偏差) を被験者とした。測定は昼食時に行い、毎日飲んでいるゼリー状のお茶を、介護職員が被検者の口に運んだ。飲み込みしたと推定される時刻に、5 年以上の介護経験を持つ職員が PC に接続されたフットスイッチによりタイムスタンプを入力した。各被検者において、咀嚼開始から飲み込み終了までの間をデータ解析の対象とした。

4. 研究成果

4.1. 飲み込みの検出法

健常成人男性 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・解析を行った。その結果、健常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、我々の先行研究での結果と同様に、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。

4.2. 飲み込みの検出部位

健常成人男性 6 名を被検者とし、加速度計を用いて容易に飲み込みを検出できる被験筋の検討を行った。そして、容易に飲み込みを検出できる可能性があるのは、胸骨舌骨筋であることを明らかにした。

次に、被介護者・介護者の双方に負担にならないウェアラブル飲み込みセンサを開発した。健常成人 20 名、要介護高齢者 4 名を被検者とし、開発したウェアラブル飲み込みセンサを評価した。その結果、健常成人から得られた 3 軸の加速度波形は、飲み込み時のすべてにおいて顕著な変化がみられた。また、飲み込み時と安静時では、各軸において飲み込み時に有意に大きな信号が得られた。健常成人の場合、心拍動が観測されることから心拍動を閾値と定義することにより、安静時と飲み込み時の判別が容易に可能であり、飲み込みの自動検出の可能性が示唆された。一方、要介護高齢者から得られた波形の筋電図波形は、Takahashi らも指摘しているように皮膚のたるみやしわの影響からか、飲み込み時以外にも大きな信号が多数確認された。加速度波形では、飲み込み時以外にも顕著な信号は多少あったが、筋電図で得られる飲み込み以外の信号より小さかった。光学的手法を用いて皮膚表面から脈波検出を行った Nakajima らの報告では、若年層 (20~29 歳) と中年層 (30~39, 40~49 歳) において若年層の脈波が有意に大きかった。この原因は、加齢と共に皮膚の張力や弾性が衰えるためだと考えられた。要介護高齢者では、健常成人のような心拍動が観測されなかった。これは上記中年層よりもさらに高齢の被検者 (83.0 ± 5.6 歳, 平均 \pm 標準偏差) であることから、動脈硬化症の影響もあり、心拍動が検出されなかったと考えられる。筋電図では、要介護高齢者 4 名のうち 2 名が安静時よりも飲み込み時の iEMG が有意に大きく、加速度では要介護高齢者 4 名すべてで安静時よりも飲み込み時の iAcc が有意に大きかった。この結果から、加速度計を内蔵したウェアラブル飲み込みセンサは、我々の要求仕様を満足させることが示唆された。さらに前報告でも述べたように、要介護高齢者では筋電計よりも加速度計の方が飲み込みの判別が容易であることが再確認された。ただし、被検者が食べ物を口に含んだまま介護者と会話をする場合や、口に含んでから頭や首を動かすなどの体動がある場合など、飲み込み時以外の信号が大きい場合は、飲み込みの自動検出は難しいと考えられる。前報告では加速度波形であっても安静状態のデータ取得が容易でなかったが、今回我々が開発したウェアラブル飲み込みセンサでは、センサ取り付け位置の皮膚のたるみの影響を軽減でき、比較的安定した安静状態でのデータ取得することができた。しかし、皮膚のたるみには個人差があるので、被検者数を増やして検証する必要がある。本研究で

は、飲み込みの判別および飲み込みデータの解析は検者が手動で行っている。今後は、より明瞭に安静時と飲み込み時の判別を可能とする信号検出部の改善と、飲み込みを自動検出できるアルゴリズムを構築する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

都築 裕、西谷光世、金 主賢、中林美奈子、坪内奈津子、林一枝、中島一樹、高齢の要介護被介護者の飲み込み検出に関する研究、計測自動制御学会論文集、査読有、印刷中

西谷光世、都築 裕、金 主賢、中林美奈子、坪内奈津子、林一枝、中島一樹、Study of the acceleration sensor measurement region for detection of swallowing、Proceedings of Life Engineering Symposium 2014、査読有、2014、pp. 260 - 261

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、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、計測自動制御学会論文集、査読有、50 巻 8 号、2014、pp. 569 - 574

西谷光世、中林美奈子、坪内奈津子、金 主賢、林 一枝、中島一樹、筋電と加速度を用いたのみこみ判定の基礎的研究、生体医工学シンポジウム 2013 講演予稿集、査読有、2013、pp. 255 - 256

[学会発表](計 9 件)

【国際会議】(計 4 件)

都築 裕、西谷光世、金 主賢、中林美奈子、坪内奈津子、林 一枝、中島一樹、Assessment of neck position of an accelerometer to detect swallowing、IBEC 2014 jointly with u-Healthcare 2014、2014 年 11 月 20 日~22 日、Gwangju (Korea)

中島一樹、西谷光世、都築 裕、土井一平、金 主賢、中林美奈子、坪内奈津子、林 一枝、Preliminary Study on the Estimation of Swallowing Using a 3D-Accelerometer、10th International Conference on Ubiquitous Healthcare 2013、2013 年 9 月 12 日~14 日、慶応大学 (神奈川県横浜市)

中島一樹、西谷光世、都築 裕、土井一平、金 主賢、中林美奈子、坪内奈津子、林 一枝、Preliminary Study on Estimation of Swallowing using EMG、The 2nd German-Japanese Workshop on “Nonlinear Sciences and KANSEI-Informatics”、2013 年 8 月 29 日~30 日、山口県山口市

中島一樹、Development of care equipment for elderly care receiver - Aiming to support up to toileting assistance from meal assistance、The 2nd German-Japanese Workshop on “Nonlinear Sciences and KANSEI-Informatics”、2013 年 8 月 29 日~30 日、山口県山口市

【国内会議】(計 5 件)

都築 裕、西谷光世、金 主賢、中林美奈子、坪内奈津子、林 一枝、中島一樹、加速度センサ内臓の食事介助用エプロンによる飲み込み検出、第 54 回日本生体医工学会、2015 年 5 月 7 日~9 日、名古屋国際会議場 (愛知県名古屋)

西谷光世、都築 裕、金 主賢、中林美奈子、坪内奈津子、林一枝、中島一樹、Study of the acceleration sensor measurement region for detection of swallowing、ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2014、2014 年 9 月 17 日~19 日、金沢大学 (石川県金沢市)

都築 裕、土井一平、西谷光世、中林美奈子、坪内奈津子、金 主賢、林 一枝、中島一樹、加速度センサを用いた要介護高齢者の嚥下判断に関する基礎的研究、第 23 回ライフサポート学会フロンティア講演会、2014 年 2 月 28 日~3 月 1 日、東京理科大学 (東京都葛飾区)

西谷光世、中林美奈子、坪内奈津子、金 主賢、林 一枝、中島一樹、筋電と加速度を用いたのみこみ判定の基礎的研究、生体医工学シンポジウム 2013、2013 年 09 月 20 日~21 日、九州大学 (福岡県福岡市)

西谷光世、折戸亮輔、金 主賢、中島一樹、食事介助のためののみこみセンサ開発の基礎的研究、バイオメトリクス研究会、2013 年 5 月 24 日、富山県立大学 (富山県射水市)

[産業財産権]

出願状況 (計 1 件)

名称：飲み込み検出衣服および飲み込み検出器

発明者：中島一樹、中林美奈子、都築 裕

権利者：富山大学

種類：特許

番号：2015-48237

出願年月日：2015 年 03 月 11 日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 一樹 (NAKAJIMA, Kazuki)

富山大学大学院理工学研究部 (工学) ・ 教

授
研究者番号：50207776

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
中林 美奈子 (NAKABAYASHI, Minako)
富山大学大学院医学薬学研究部 (医学)・
准教授
研究者番号：30293286