

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 2 月 17 日現在

機関番号：17301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24659936

研究課題名(和文)嚥下中の体幹筋群の役割の解明と介助用下肢ロボットスーツの嚥下訓練応用の可能性

研究課題名(英文)the role of core muscle on the coordination of swallowing and respiration

研究代表者

鮎瀬 てるみ (AYUSE, Terumi)

長崎大学・病院(歯学系)・助教

研究者番号：00284703

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)：オトガイ舌筋群、前脛骨筋群、腹直筋群、脊柱起立筋群、咬筋、胸鎖乳突筋群の筋電図を測定し、呼吸相と嚥下相の協調的同期を鼻マスクからの呼吸曲線により解析した。嚥下機能の評価は、一般的な検査法である、1)改訂水飲みテスト、2)フードテスト、3)反復唾液嚥下テストの3つとして、体位は座位(足底が設置する体位)、端座位(足底が接地しない体位)、立位で行った、足底が接地しない端座位では、前脛骨筋群の筋活動性が弱まり、逆に体幹の保持のために咬筋、脊柱起立筋群の筋活動性が増加した。また、足底の接地しない体位では、嚥下誘発までの時間が長くなる傾向があり、また嚥下時無呼吸の時間も長くなることが認められた。

研究成果の概要(英文)：We analyzed 1) sitting position (the posture that a sole sets up), 2) sitting position (the posture that a sole does not ground), 3) standing position. We have analyzed genioglossus muscles, pretibial muscles, rectus abdominis muscle, erector muscle of spine, sternocleidomastoid muscle. We have also analyzed the breathing phase and the deglutition phase by pneumogram from nasal mask during swallowing. We have used three types of food (beef jerky, jelly, water) to test swallowing function. As a result, with the side locus that a sole did not ground, muscle activity of the pretibial group of muscles weakened, and rectus abdominis muscle group, erector muscle of spine group, activity of the musculus sternocleidomastoideus group increased for the maintenance of the trunk adversely. Furthermore, what effect gave you in a timing of breathing cooperation swallowing from the sternocleidomastoid excessive tension that was accessory respiratory muscles was found.

研究分野：障害者歯科学

キーワード：嚥下機能 呼吸調節 体位

### 1. 研究開始当初の背景

嚥下機能の調節メカニズムの中で、咽頭部筋肉の役割と伴に重要な因子として、嚥下時の呼吸調節がある。すなわち嚥下時に誤って気道内に流入しないように、嚥下と呼吸相の協調運動が生理的に調節され、吸気・呼気の呼吸サイクルの中で吸気時には嚥下が起きないように保護されている。呼吸の調節には咽頭部筋肉の他に、胸鎖乳突筋、後背筋、側頭筋などの呼吸補助筋と呼ばれる筋群も関与していて、嚥下機能の調節メカニズムもこれらの補助筋群の調節を受けている可能性は高い。さらに頭頸部を支えて姿勢維持に重要な役割を果たしている体幹を保持する筋群や抗重力筋群も、呼吸だけでなく嚥下機能と密接な関与が推測されるが、未だにこれらの機能を検討した研究はない。

“老いは、足腰から来る”と言われ、歩けなくなったり立てなくなったりお年寄りの誤嚥性肺炎の発症率は高い。抗重力筋群と呼ばれる前腓骨筋、大腿四頭筋、腹直筋、頸部屈筋群、脊柱起立筋群、咬筋などの嚥下機能に与える影響は極めて大きいと推測されるが、未だに相互作用は明らかになっていない。

本研究はこれらの背景を踏まえて、以下の仮説を検証するために臨床研究を行った。

<仮説1>：体幹を保持する筋群と下肢の骨格筋群（抗重力筋群）が嚥下機能の呼吸調節機能に影響を与える。

<仮説2>：抗重力筋の機能維持により嚥下機能は改善する。

研究開始当初の研究計画では体幹を保持する筋肉群と抗重力筋群がどのような働きをしているかを詳細に測定・検討し、これらの筋群の機能異常が嚥下障害の発症の因子となりうるかを解析する予定であった。さらに体幹筋群の働きが減少している患者の機能補助のために介護用の下肢のロボット

スーツを装着させ、患者の嚥下機能が改善するかを検討する予定であった。しかし、予備実験において嚥下機能に対する抗重力筋群の関与が予想よりも重要な事が明らかになり、また、下肢のロボットスーツの市販が遅れたことなどから、抗重力筋群と嚥下機能の生理的な相互関係を明らかにすることに焦点を絞って研究を行った。

### 2. 研究の目的

本研究目的は研究背景を踏まえて、以下の仮説を検証するために臨床研究を行った。

<仮説1>：体幹を保持する筋群と下肢の骨格筋群（抗重力筋群）が嚥下機能の呼吸調節機能に影響を与える。

<仮説2>：抗重力筋の機能維持により嚥下機能は改善する。

### 3. 研究の方法

筋活動の測定には表面筋電計(Biopack社製筋電計)を用いる。導出筋はオトガイ舌筋などの咽頭部の嚥下関連筋群、腹直筋、脊柱起立筋、前脛骨筋、胸鎖乳突筋、下腿三頭筋、咬筋の9筋とした。電極の貼付位置は、腹直筋は臍より5cm下方で3cm外側、脊柱起立筋はL1,2の高さで棘突起よりも約6cm外側、前脛骨筋は脛骨粗面より4横指遠位部で脛骨稜より1横指外側とした。導出方法は双極導出法を用い、電極には銀・塩化銀型disposable生体用表面電極を用いた。電極中心間隔を20mm、皮膚インピーダンスを5k $\Omega$ 以内とした後、各筋の筋線維走行に並行に電極を貼付した。測定は筋電計内蔵のインピーダンステストをクリアしたのを確認後行った。表面筋電計から測定したデータはサンプリング周波数1kHzでA/D変換し、解析用パーソナルコンピューターに取り込んだ。波形解析は筋電解析ソフトにて解析し、バンドパスフィルターは10~500Hzと設定とした。筋活動ピーク時は、MVCすなわち最大筋力発揮を指標とし、各筋の等尺性収縮（筋の長さが河原に収縮方法）で計測した。関節を

固定した状態（関節が動かないように固定して）最大随意収縮を行う方法である。前脛骨筋では足関節背屈努力、腹直筋は体幹前屈努力、背筋は体幹伸展努力、胸鎖乳突筋は頸部の回旋および前屈努力時の最大筋収縮力を指標とした。筋活動量は徒手筋力検査法で判定が段階5となる手技を行わせた時の3秒間の表面筋電計より得られた筋電図積分値を各筋における100%筋活動量として正規化し各課題施行時の%IEMGを算出した。

足底接地の影響を検討するために、次のプロトコールを行った。

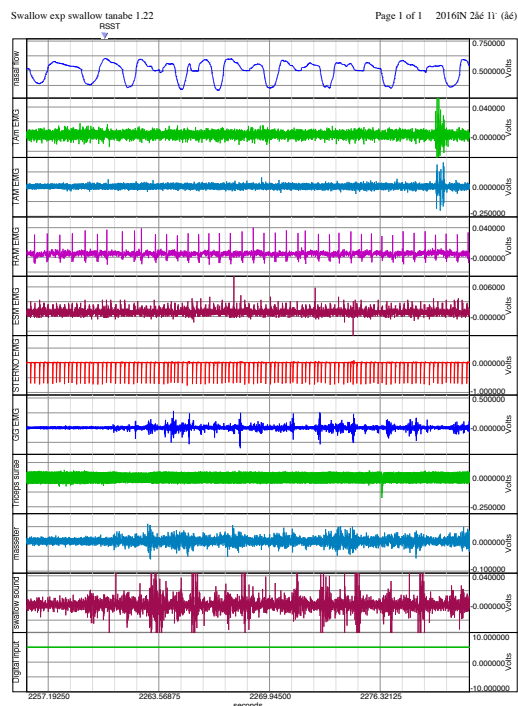
研究1)：座位と立位での足底接地の影響の検討：嚥下機能の測定は、1) 座位（足底が設置する体位）、2) 端座位（足底が接地しない体位）、3) 立位の3条件の体位を昇降式の歯科用ツール・チェア（オサダ電機社製：DS-11）に座らせて再現し、各体位での嚥下中の各機能を解析した。有意差検定はWilcoxonの符号付順位検定を用い、統計学的優位水準は5%未満とした。

測定項目：

嚥下中に評価する項目としては、オトガイ舌筋群、前脛骨筋群、下腿三頭筋、腹直筋群、脊柱起立筋群、胸鎖乳突筋群、咬筋の筋電図を測定・解析し、嚥下中の呼吸機能に関しては、呼吸相と嚥下相の協調的同期を鼻マスクからの呼吸曲線により解析した。また、嚥下反射のタイミングを評価するために、喉頭マイク（南部電機社製、）により嚥下音を測定し、デジタル波形を記録し、同時にスピーカにて確認した。嚥下機能の評価は、一般的な検査法である、1) 改訂水飲みテスト(modified water swallow test: MWST)、2) フードテスト(food test: FT)、3) 反復唾液嚥下テスト(repetitive saliva swallowing test: RSST)の3つを用いた。1)の改訂水飲みテストは、3mlの冷水を口腔内に入れて嚥下を行わ

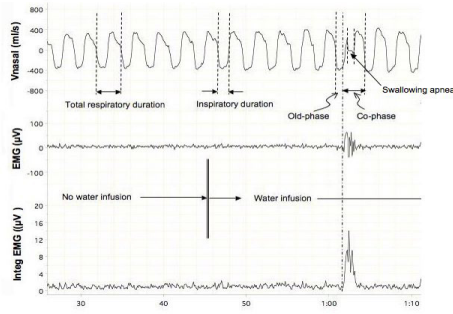
せ。嚥下反射の有無、むせ、呼吸の変化を評価した。2)のフードテストは、スプーン1杯(3~4g)のプリン(プッチンプリン)を口腔内に入れ、嚥下反射誘発の有無、むせ、呼吸の変化を観察した。3)の反復唾液嚥下テストは、被験者に空嚥下(唾液嚥下)してもらい、嚥下反射の随意的な惹起能力を評価した。30秒間に何回嚥下できるかを定量的に評価した。これらの3つのテストをそれぞれの体位(座位、端座位、立位)で、測定法、体位をそれぞれランダム化して、測定を行った、被験者は健康成人被験者とし、研究同意書を取得の上、研究を行った、それぞれの筋群の最大収縮量を記録して、それに対する変化量で筋活動性を評価した。

#### 4. 研究成果



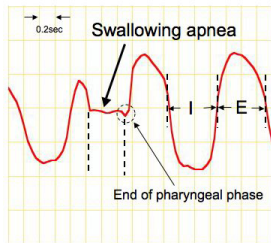
(図1)

(上段より：鼻マスクでの呼吸呼吸曲線、左右腓骨筋筋電図、腹直筋筋電図、脊柱起立筋筋電図、胸鎖乳突筋筋電図、オトガイ舌筋筋電図、大腿三頭筋筋電図、咬筋筋電図、喉頭マイクでの嚥下音、嚥下タイミング評価用デジタル入力を示す)



(図 2)

(上段より：鼻マスクでの呼吸呼吸曲線、咬筋筋電図、咬筋筋電図積分波形)



(図 3)

(鼻マスクでの呼吸呼吸曲線より嚥下性無呼吸：swallowing apnea) と嚥下の惹起潜時を計測評価。

結果：研究 1)：座位と立位での足底接地の影響の検討 (被験者 6 名)：足底が接地しない端座位では、前脛骨筋群の筋活動性が弱まり、逆に体幹の保持のために咬筋、腹直筋群、脊柱起立筋群、胸鎖乳突筋群の tonic な筋活動性が増加した。特に嚥下の相に一致して、咬筋において Phasic な筋活性が亢進した。さらに呼吸補助筋である胸鎖乳突筋の過度な緊張から、嚥下中の呼吸協調のタイミングにも影響与えることが明らかになった。また、足底の接地しない体位では、嚥下誘発までの時間が長くなる傾向があり、また嚥下時無呼吸の時間も長くなることが認められた。

表 1 体位変換による呼吸パラメータと筋電図の変化

	端座位 (足底接地)	座位 (足底非接地)	立位
<b>呼吸パラメータ (嚥下時状態)</b>			
呼吸数 (=f, breath/min)	14.8±2.5	17.9±2.3 #	15.1±2.7 #
一回換気量 =V <sub>T</sub> (ml/sec)	375±117	369±69 #	441±71 #
分時換気量 =V <sub>E</sub> (ml/sec)	6110±930	6095±1150 #	6474±1265 #
総呼吸サイクル時間 (=T <sub>tot</sub> , sec)	3.63±0.82	3.22±0.85 #	4.51±0.63 #
吸気時間 (=T <sub>I</sub> , sec)	1.67±0.53	1.59±0.41 #	1.90±0.31 #
吸気duty cycle (T <sub>I</sub> /T <sub>tot</sub> )	0.46±0.06	0.43±0.04	0.47±0.07
<b>嚥下テスト (フードテスト)</b>			
嚥下性無呼吸時間 (sec)	0.65±0.12	0.76±0.06	0.58±0.08 #
嚥下回数 (counts/min)	8.5±3.8	8.4±2.1	6.9±1.5 #
オトガイ舌筋筋活動性時間 (sec)	1.63±0.3	2.15±0.40	1.46±0.50 #
オトガイ舌筋筋電図積分値 (microVsec)	4.5±3.6	4.1±2.1	5.2±3.5
咬筋筋活動性時間 (sec)	1.59±0.60	1.9±0.80	1.43±0.70 #
咬筋電図積分値 (microVsec)	4.3±2.1	3.9±1.8	5.4±3.1

座位では足底の安定を行うことにより、嚥下惹起時間の減少 (嚥下性無呼吸時間の減少) と嚥下に伴う嚥下関連筋と咬筋を含む抗重力筋の Phasic な活性亢進が認められた。

本研究の最も興味深い知見は、抗重力筋である咬筋の関与である。咬筋は閉口筋、咀嚼筋としての役割だけでなく、抗重力筋としての重要な働きがある。高齢者ではオーラルフレイルと呼ばれる口腔領域の機能低下が示唆されているが、抗重力筋の重要な役割を果たしている咬筋の機能低下が嚥下機能にも影響を与える可能性が明らかになった。もし、抗重力筋である咬筋の機能低下が嚥下機能に間接的に影響を与えているのが事実であれば、高齢者に対する抗重力筋群の機能回復やリハビリは極めて重要な治療になりうると考える。

さらに本研究から別の重要な知見も得られた。嚥下機能の向上のためには足底の接地によって得られる体幹部の安定が有効で、体幹、特に下肢の筋力が低下したような高齢者の場合、足底を自律的に接地できるような訓練ならびに体幹保持のリハビリ器具を併用することは重要な治療法になると考えられる。簡便に嚥下機能の向上に結びつく介入として有用と考える。本研究の結果より、嚥下機能の低下した患者への介入には、嚥下に直接関連する筋群だけでなく、足底を安定させる姿勢を調整する体幹筋群の機能回復が重要である。“老いは、足腰から来る”と言わ

れ、歩けなくなったお年寄りの誤嚥性肺炎の発症率は高い事実から考えて、まずは足底を接地して、自らの足で歩く努力が重要であると考え。しかし、筋力の低下した高齢者に対して、自ら歩くりハビリは相当な期間を要すると考えられ、下肢ロボットスーツのような限局した補助器具を有効に利用することは、より短時間での嚥下リハビリテーションの効果が期待できると考える。

#### 臨床への応用

嚥下機能に直接関与する筋群は、咽頭部や頭頸部に近接した骨格筋であることは自明だが、人間が重力に抗して直立（座位でも上半身は直立）し、頭部を支えるためには、体幹筋、特に抗重力筋群の働きが重要である。体幹筋は前体幹筋（腹直筋、腹斜筋、大胸筋）と後体幹筋（後背筋、脊柱起立筋、僧帽筋）に分類され、体幹のさらに下方を維持する、体肢筋と呼ばれる下肢の筋群がある。現在まで、嚥下機能と抗重力筋の関連性を検討した研究は無く、いったい、これらの筋群がどの程度関与していて、どの程度の重要度があるのか、全く不明である。これらの筋群の関与が証明されれば、嚥下リハビリのための極めて有用な知見となりうる。

さらに、本研究で得られた知見を応用して、介護用の下肢のロボットスーツを補助的に応用することで、①各種嚥下訓練時の効果の増強の可能性、②嚥下中（座位）の姿勢介助による嚥下機能の改善、特に咬筋を含む抗重力筋群の機能回復の可能性が検証されれば、嚥下障害で苦しんでいる患者に役に立つ知見が得られると考える。

さらに、近年のロボット技術の進化により医工連携が重要になり、介助用ロボットの嚥下訓練への応用も技術的にも可能になってきた。基礎データとして、嚥下中の咽頭部筋群と体幹筋群、下肢の筋群の嚥下時の

詳細な役割が解明されれば、そのデータを入力して、ロボットスーツを作動させることができると思う。機能低下による嚥下機能障害を介助用ロボットスーツにより改善させようとする研究は無く、極めて独創的である。脳卒中後の早期の嚥下リハビリや、高齢者で特に体幹筋群と下肢の筋群の機能低下が認められる患者の補助器具として、応用することができれば、日常のQOLの維持に多大な効果があるばかりでなく、医療費の軽減などの面からも、社会貢献できると考える。

本研究で得られた知見を元に、現在、下肢に装着したロボットスーツの埋め込み筋電図電極から得た筋電活性を応用して、「頭頸部姿勢制御と呼吸相制御に同期した随意運動介助型の抗重力筋電気刺激療法」を開発中で、特許申請も検討中である。さらにサルコペニアやフレイルなどの筋力の低下した高齢者を対象としたデータ解析を行い、嚥下障害に対する抗重力筋の関与を解明していく方針である。

本領域の研究で、興味深い知見が得られているため、今年度の障害者歯科学会および摂食嚥下学会で研究成果発表を行った後に、研究成果を学術論文としてまとめ、国際学術雑誌に研究成果の発表を行う予定である。

#### 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 0 件）

〔学会発表〕（計 0 件）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鮎瀬 てるみ (AYUSE, Terumi)  
長崎大学・病院（歯学系）・助教  
研究者番号：00284703

### (2) 研究分担者

鮎瀬 卓郎 (AYUSE, Takao)  
長崎大学・医歯薬学総合研究科（歯学系）・  
教授  
研究者番号：20222705

### (3) 連携研究者

(なし)

研究者番号：