

# 嚥下障害における頸部運動の新規三次元動作解析法の開発：妥当性と再現性の確認

(研究助成金 80万円)

代表研究者 東京大学大学院医学系研究科 リハビリテーション医学分野  
井口 はるひ

共同研究者 東京大学大学院医学系研究科 リハビリテーション医学分野  
戸島 美智生  
芳賀 信彦

東京大学医学部附属病院 リハビリテーション科  
中原 康雄  
緒方 直史  
耳鼻咽喉科 二藤 隆春

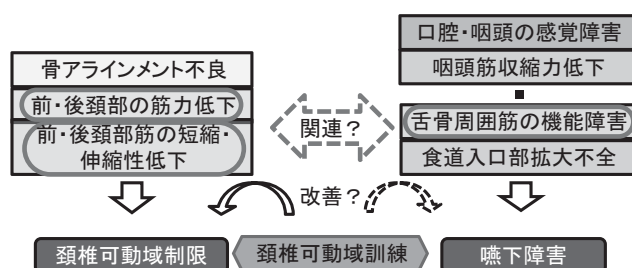
## I はじめに

現在日本で行われているリハビリテーションの中には、研究により効果が確認されていない訓練がある。詳細な評価が困難であった機能障害を、新たな計測機器を用いて精密に評価することで、今までに立証できていない訓練の効果を知らることができる可能性がある。

嚥下は頭部・頸部の種々の筋肉が複合的に活動することで安全に機能している。現在嚥下機能障害に対して口腔や咽頭のリハビリテーションにより機能回復を目指す<sup>1)</sup>とともに、姿勢調整<sup>2)</sup>や食形態の変更<sup>3)</sup>等の代償的アプローチが行われている。食物の誤嚥防止システムの一つとして喉頭の上方への移動があり、それにより食物の気管侵入を防いでいる。前頸部の舌骨周囲筋群が収縮することによって喉頭挙上が起こるため、舌骨周囲の筋力低下により嚥下障害が生じることが知られている<sup>4)</sup>。

舌骨の運動を担う舌骨周囲筋群は頸部屈曲運動の補助筋でもあるため、舌骨の運動を伴う嚥下機能は頸部筋力や頸部可動域 (range of motion; 以下ROM) と関連があると推定できる (図1)。嚥下障害に対する訓練法として頸部ROM訓練が推奨されている<sup>1)</sup>が、その根拠となるエビデンスは示されていない。頭頸部腫瘍に対する放射線治療の合併症として、嚥下障害とともに頸部筋力低下と頸部

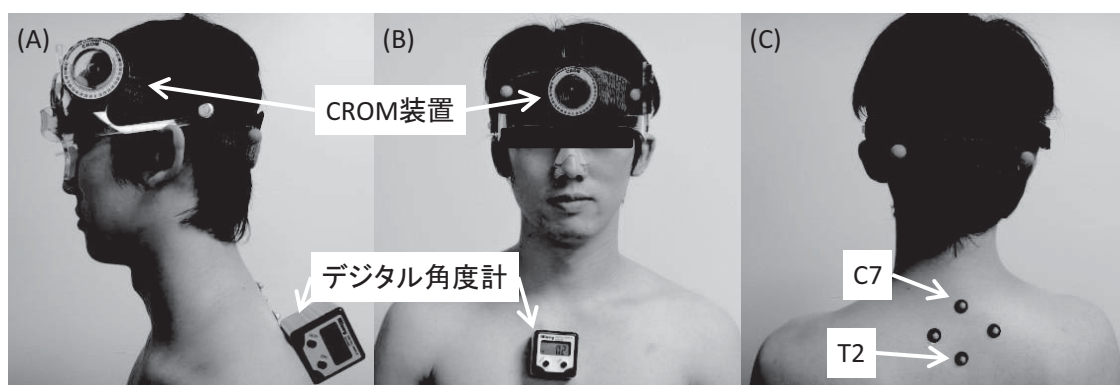
図1 本研究の概要



ROM制限が生じる<sup>5)</sup>。その他にも加齢や頸椎疾患で頸部ROM制限と嚥下障害が生じることが知られており、今後頸部ROM制限と嚥下障害の関連を示すことで、嚥下障害の治療法としての頸部ROM訓練の有効性を立証できる可能性がある。

頸部には屈伸・側屈・回旋方向の可動性があり、それらの組み合わせで様々な運動が可能であるが、今までに頸部ROMの詳細な三次元的解析は行われていない。過去に角度計・加速度計などの機器で頸部ROMの測定は行われ、中でもCervical Range of Motion（以下CROM）装置（Performance Attainment Associates, Roseville, MN, U. S. A., 図2）の高い妥当性が報告されている<sup>6)</sup>。CROM装置は安価でかつ簡便に使用できるが、いくつかの問題点を有する。回旋のROMは頸部に巻き付けた磁石による磁場を基準に頭部の方位磁針から角度を測定するため、体幹に対する頭部のROM、すなわち頸部ROMを測定している。しかし、屈曲伸展・側屈は頭部の傾斜角度計を使用するため、地面に対する頭部の動きを測定しており、純粋な頸部ROMは測定できない。また、その他の頸部ROM計測機器と同様に、CROM装置は一時点での二次元的な角度しか計測ができないという欠点もある。

図2 研究参加者のイメージ



研究参加者イメージ。(A) 屈曲・伸展用のCervical range of motion (CROM) 装置の傾斜角度計とデジタル角度計、(B) 側屈用のCROM装置の傾斜角度計とデジタル角度計、および前頭部2箇所の赤外線反射マーカ貼付位置、(C) 後頭部2箇所と頸胸椎移行部4箇所（第7頸椎・第2胸椎棘突起上および両マーカの間の高さの左右脊柱起立筋上）のマーカ貼付位置。

三次元動作解析装置は三次元的運動の連続的かつ詳細な評価が可能である。VICON（VICON Motion System Ltd, Oxford, U. K.）は三次元動作解析装置の一つとして広く世界で使用されており、歩行の解析ではその正確性は高く評価されている<sup>7)</sup>。しかし一般的に用いられているマーカ貼付法であるPlug-in Gaitモデルでは、胸郭と頸部の両者の動きの合計である体幹のROMのみが計算可能<sup>8,9)</sup>で、純粋な頸部のROM測定はできない。われわれの研究室では、既に三次元動作解析装置を用いて、経時的な腰部ROM計測が測定可能であることを確認している<sup>10)</sup>。その手法を頸部に応用することで、より詳細に連続的な三次元の頸部運動の測定が可能になると考える。

本研究の目的は、屈曲伸展および側屈の頸部ROMを三次元動作解析装置で測定した結果と既に推奨

されている計測法であるCROM装置で測定した結果の、それぞれの日間の再現性を確認することと、両測定法結果間の妥当性を確認することである。本研究で三次元動作解析装置により頸部ROMが測定できることが立証できれば、今後、頸部ROM制限のある患者の頸部ROMと嚥下障害の関連を確認し、また頸部ROM訓練を行うことで嚥下機能が改善するかを証明することが可能であると考えられる。

## II 方法

### 1. 研究参加者

研究参加時に頸部痛がなく、全身性関節炎・全身性骨疾患・神経筋疾患・頸部手術歴を有しない健康成人12人が研究に参加した。

研究プロトコルは、研究開始前に東京大学倫理委員会にて承認を受けた。参加者は研究参加前に医師により頸部運動に異常がないことが確認を受け、口頭と書面で研究内容の説明をされ同意をした。

### 2. 三次元動作解析装置 (VICON)

赤外線反射マーカを研究参加者の頭部4箇所、頸胸椎移行部4箇所（第7頸椎・第2胸椎棘突起上および両マーカの中間の高さの左右脊柱起立筋上）に貼付した（図2）。9台の赤外線カメラを用いてマーカの位置データを100Hzで収集した。

### 3. CROM装置

マーカ貼付後、研究参加者の頭部にCROM装置を装着した。また体幹の屈曲伸展位・側屈角度を計測するため、二つのデジタル角度計（Wixey™, Sanibel, FL, U. S. A.. 最小表示0.1度、検出精度±0.1度）を、研究参加者の左肩甲骨内側と胸骨上で頸胸椎移行部のマーカ群と同じ高さに貼付した。

### 4. 実験の流れ

研究参加者が4種類の頸部運動（屈曲、伸展位、左右側屈）を行っている時に、CROM装置とVICONを用いた測定を同時に行った。高さ40cmの木製プラットフォームを計測空間に設置し、研究参加者に両足を地面に付け、両手を大腿の上に置いた状態でVICONと同期したスイッチを左手に持たせ、真っ直ぐ座るように指示した。測定開始前に、研究参加者は4種類の頸部運動を一度ずつ練習し、動作に慣れてもらった。最初に安静にして正面を向き、肩や体幹をできる限り動かさないようにして、指示された方向にゆっくり最大限の角度まで頸部を動かしてもらった。研究参加者に動作開始前の安静位と最大姿勢時にスイッチを押すように指示した。VICONは動作開始前から終了前まで連続的に頸部運動を測定した。また、CROM装置とデジタル角度計については、研究参加者がスイッチを押したタイミングで検者がCROM装置による頸部角度とデジタル角度計による体幹角度を読み取り記録した。各頸部運動とも5回ずつ計測を行った。

日間の再現性を確認するため、1回目の計測（Day 1）から約1ヶ月の間隔を開けて、同様の測定を行った（Day 2）。

## 5. 解析

CROM装置で測定した安静時の頭部角度を最大姿勢時の頭部角度から引くことで、頭部ROMを計算した。次にデジタル角度計で測定した安静時の体幹角度を最大姿勢時の体幹角度から引くことで、体幹ROMを計算した。そして頭部ROMから体幹ROMを引き、頸部ROMを計算した。

VICONによる測定結果については、頭部4箇所と頸胸椎移行部の4箇所のマーカからそれぞれのセグメントを作り、両者間の角度、すなわち頸部角度をVICON BodyBuilder version 3.6 (VICON Motion System Ltd, Oxford, U. K.) を用いて計算した。そしてスイッチを基準に安静時頸部角度と最大姿勢時頸部角度を抽出し、両者の差をとることで、各動作時の頸部ROMを計算した。

屈曲・伸展は5回の計測で算出した頭部・頸部ROMの平均値を、側屈は左右合計10回の平均値を用いて更なる解析を行った。計算にはMATLAB (Math Works, Natick, MA, U. S. A.) を用いた。

## 6. 統計

CROM装置で測定した頭部ROMと、CROM装置とVICONで測定した頸部ROMの日間の再現性に関しては、それぞれの測定結果の各日の平均を級内相関係数 (interclass correlation coefficient (以下ICC)<sup>1, 2)</sup>) を用いて比較した。CROM装置とVICONで測定した頸部ROMの結果を比較し妥当性を確認するため、各研究参加者の両日のデータを用いて、線形回帰分析と決定係数 ( $R^2$ ), Pearsonの積率相関係数 ( $r$ ) を計算した。また両測定法による結果を用いてBland-Altman Plot<sup>11)</sup>を作成し、誤差の傾向を視覚的に確認した。有意水準は5%未満とし、統計にはSPSS Statistics version 21 (IBM, Armonk, NY, U. S. A.) を用いた。

## III 結果

1人の研究参加者は側屈の測定を1日しか行わなかったため、屈曲・伸展は12人、側屈は11人の結果が得られた (表1)。

表1 研究参加者の概要

|                | 男性 | 年齢(歳)      | 身長(cm)      | 体重(kg)      | BMI<br>(kg/m <sup>2</sup> ) |
|----------------|----|------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| 屈曲・伸展 (n = 12) | 8  | 34.7 ± 8.9 | 166.1 ± 7.9 | 63.3 ± 10.6 | 22.8 ± 1.9                  |
| 側屈 (n = 11)    | 7  | 34.6 ± 9.5 | 165.8 ± 9.3 | 63.4 ± 11.3 | 22.8 ± 2.0                  |

平均±標準偏差. BMI: body mass index.

### 1. 再現性の確認

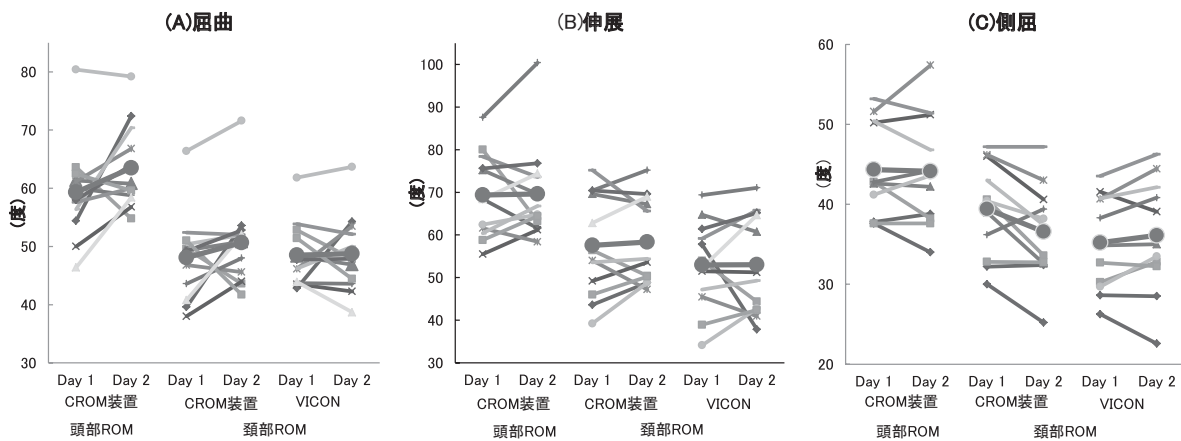
表2に各動作の日間の測定結果の違いを示す。CROM装置による頭部ROM, およびCROM装置・VICONによる頸部ROMのICC<sup>1, 2)</sup>は屈曲で0.611-0.786であり、伸展で0.833-0.950, 側屈で0.866-0.974であった (図3)。

表2 CROM装置とVICONで計測した可動域の日間の再現性

|             | 頭部ROM       |             |                        | 頸部ROM       |             |                       |             |             |                       |
|-------------|-------------|-------------|------------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|
|             | CROM装置      |             |                        | CROM装置      |             |                       | VICON       |             |                       |
|             | ROM(度)      |             | ICC(1,2) (95%CI)       | ROM(度)      |             | ICC(1,2) (95%CI)      | ROM(度)      |             | ICC(1,2) (95%CI)      |
|             | day 1       | day 2       |                        | day 1       | day 2       |                       | day 1       | day 2       |                       |
| 屈曲 (n = 12) | 59.3 ± 8.4  | 63.5 ± 7.3  | 0.611 (-0.291 - 0.887) | 48.1 ± 7.5  | 51.3 ± 8.3  | 0.736 (0.122 - 0.923) | 48.5 ± 5.6  | 48.8 ± 6.6  | 0.786 (0.288 - 0.937) |
| 伸展 (n = 12) | 69.4 ± 10.0 | 69.6 ± 11.3 | 0.849 (0.499 - 0.956)  | 57.5 ± 12.0 | 58.3 ± 10.1 | 0.950 (0.834 - 0.985) | 53.0 ± 10.4 | 54.0 ± 11.7 | 0.833 (0.446 - 0.951) |
| 側屈 (n = 11) | 44.4 ± 6.9  | 44.1 ± 7.1  | 0.974 (0.813 - 0.986)  | 39.4 ± 6.0  | 36.6 ± 6.1  | 0.866 (0.526 - 0.963) | 35.2 ± 6.0  | 36.1 ± 6.1  | 0.962 (0.866 - 0.99)  |

平均±標準偏差. ROM; Range of motion, CROM; Cervical range of motion. ICC, intraclass correlation coefficient 級内相関係数.

図3 日間の測定結果の違い



日間の測定結果の違い。CROM装置による頭部ROM, およびCROM装置・VICONによる頸部ROMの個人の測定結果について, 1回目と2回目を直線でつないだ。太線は全参加者の平均値を示す。

## 2. 妥当性の確認

表3に2回測定した両方の結果を含む, 各動作でのROM測定結果を示す。頸部ROMではCROM装置・VICONによる頸部ROMの決定係数( $R^2$ )は0.607-0.745であり, VICONで測定したROMの全分散のうち6割以上がCROM装置の測定結果で説明できることを示している。Pearsonの積率相関係数( $r$ )は0.779-0.863と高い相関を示した(図4)。Bland-Altman Plotより, 両測定法の誤差はゼロ付近に分布し, 測定値の大きさに関係しなかった(図5)。

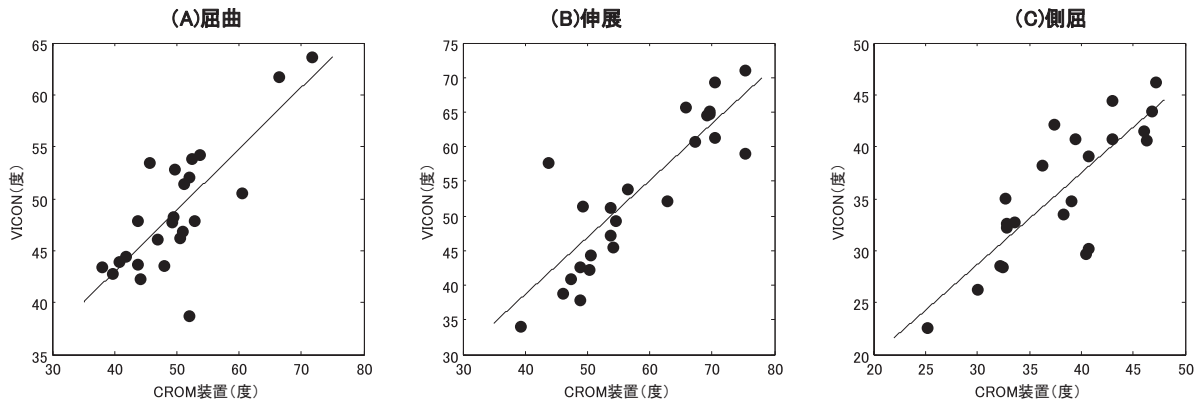
表3 各動作でのROM測定結果とCROM装置とVICONで計測した頸部可動域の相関関係

|                 | 頭部ROM       |             | 頸部ROM       |               | Pearsonの積率相関係数( $r$ ) |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------------------|
|                 | CROM装置(度)   | CROM装置(度)   | VICON(度)    | 決定係数( $R^2$ ) |                       |
| 屈曲 (n = 12 * 2) | 61.4 ± 8.0  | 49.7 ± 7.9  | 48.7 ± 6.0  | 0.607         | 0.779                 |
| 伸展 (n = 12 * 2) | 69.5 ± 10.4 | 57.9 ± 10.9 | 53.0 ± 10.8 | 0.745         | 0.863                 |
| 側屈 (n = 11 * 2) | 44.2 ± 6.4  | 38.0 ± 6.0  | 35.7 ± 6.5  | 0.674         | 0.821                 |

平均±標準偏差. ROM; Range of motion, CROM; Cervical range of motion.

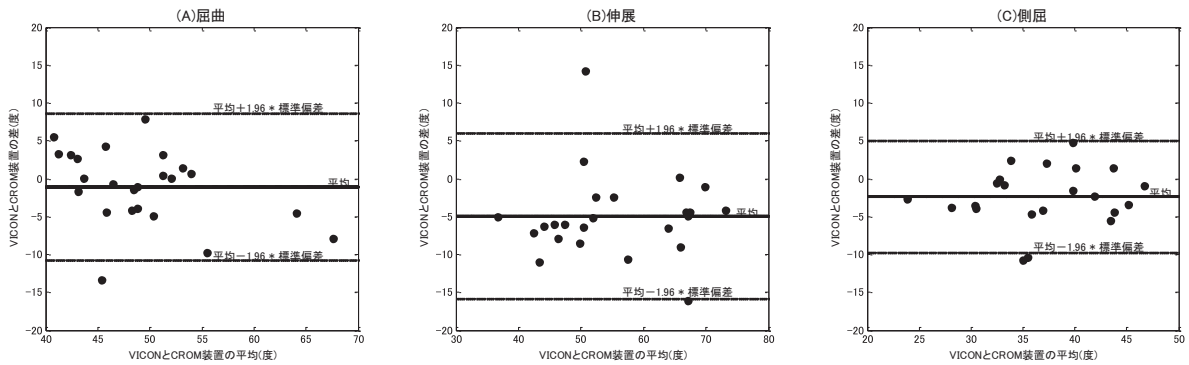


図4 CROM装置とVICONによる頸部可動域の関連



CROM装置とVICONで計測した頸部可動域の散布図。直線は回帰直線を示す。(A) 屈曲では $Y_{VICON} = 0.592 * X_{CROM device} + 19.219$ , (B) 伸展では $Y_{VICON} = 0.823 * X_{CROM device} + 5.673$ , (C) 側屈では $Y_{VICON} = 0.881 * X_{CROM device} + 2.179$ .

図5 Bland-Altman Plotによる測定結果の違い



CROM装置とVICONで計測した頸部可動域の誤差を示すBland-Altman Plot。両測定法の誤差はゼロ付近に分布し、測定値の大きさに関係しなかった。

#### IV 考察

本研究において、CROM装置で測定した頭部のROMと、CROM装置とVICONで計測した頸部ROMの日間の再現性は高いこと、三次元動作解析装置で頸部ROMが測定可能であること、CROM装置にデジタル角度計を追加することで頸部のみのROMが測定できることが示された。

本研究の頭部ROM、頸部ROMは過去の研究で示されている健常人のROMと比較しても妥当な結果であった。過去の報告で頸部ROMは、屈曲で43-69度、伸展で66-93度<sup>12-15)</sup>、側屈で38-49度<sup>16,17)</sup>であった。過去の研究は体幹のROMを含む結果であるため、本研究の頭部ROMに当たり、本研究の頸部ROMは過去の研究結果や本研究で測定した頭部ROMよりも小さい値となっている。頸椎のROMはレントゲンで評価が可能である<sup>14,18-20)</sup>が、被ばくを受けることに加え、連続的な撮影が困難であること、撮影装

置内での撮影姿勢をとるため日常生活動作における頸部の評価が難しいことなどの問題点が挙げられる。VICONによる測定法、もしくはCROM装置とデジタル角度計を併用する測定法は、ともに低侵襲で、特に前者は連続的な評価も可能であることから、今後臨床的な応用も可能であると考えられる。

CROM装置とVICONの頸部ROMの結果を比較すると、伸展のみでCROM装置の再現性が高かった。CROM装置では2度単位の日盛りを検者が読み取るのに対し、VICONではマーカのミリメートル単位の位置情報を9台のカメラで読み取り、その情報を用いて角度を計算する。そのためVICONを用いた方が、より詳細な結果が得られる。VICONの問題点として、頸部伸展時に後頸部につけたマーカの一部が、後頸部の皮膚により隠れてしまうことがあったため、VICONの伸展ROMの再現性が他の動作と比し低かったと考える。

本研究において屈曲ROMの再現性がどの機器でも低かった原因として、頸部屈曲は動作の再現が難しかったことを考える。頸部の屈曲動作では、頸部を前に出す頸部屈曲と顎を頸部に引き寄せる頭部屈曲が、頸部の伸展動作では、頸部を後方に動かす頸部伸展と顎を前に突き出す頭部伸展が合わせて起きる<sup>21)</sup>。本研究において、研究参加者に対して動作時に「可能な範囲で最大限頸部を屈曲・伸展・側屈する」ように指示をしており、頸部屈曲時に頭部屈曲の有無は指示しなかった。そのため、日間で頭部・頸部屈曲の程度に差が出て、再現性が低くなったと推測する。屈曲姿勢については、研究参加者への指示方法に検討が必要である。

CROM装置にデジタル角度計を併用し頸部ROMを測定する方法は、VICONを使用した頸部可動域測定と同様に、今後臨床評価で応用できると考えられる。CROM装置で測定された頭部ROMの妥当性が高いという報告<sup>6)</sup>は過去にあり、CROM装置を用いて頸部疾患患者の頸部ROMを健常者と比較した報告<sup>22, 23)</sup>、患者の介入前後のROM変化を見た報告<sup>24, 25)</sup>がある。しかし、CROM装置のみを用いた場合、測定結果に体幹のROMを含んでいるため、精確な頸部ROMの評価はできない。今回、われわれの開発したCROM装置にデジタル角度計を併用し測定した頸部ROMは、CROM装置単独で計測した頭部ROMと同様の再現性があり、侵襲がなく頸部だけのROMを測定することができる。VICONを使用した頸部ROM測定はカメラの設定が必要で測定空間を選ぶのに対し、CROM装置は持ち運びが可能で外来などでも使用が可能であると考えられる。今後状況に応じて両者を使い分けることで、より多くのデータの収集を検討している。

本研究で三次元動作解析装置やCROM装置とデジタル角度計の併用で頸部ROMが測定できることが立証できたため、今後、頸部ROM制限のある患者の頸部ROMと嚙下障害の関連を確認し、また頸部ROM訓練を行うことで嚙下機能が改善するかを証明することが可能であると考えられる。また嚙下障害患者以外にも、頸椎疾患患者の評価や手術・リハビリテーションなどの介入による変化を詳細に評価することが可能になるとと思われる。

## V 謝辞, その他

本研究への助成を賜りました財団法人総合健康推進財団に深く感謝いたします。また本研究の実施にあたり、ご協力いただきました東京大学医学部附属病院リハビリテーション部の皆様、参加者の皆様に厚く御礼申し上げます。

これらの研究成果は第40回日本臨床バイオメカニクス学会（2013年11月22-23日）で発表した。

## VI 文献

- 1) 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会. 訓練法のまとめ (改訂2010). 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会誌. 2010;14 (3) :644-63.
- 2) 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会. 摂食・嚥下障害の評価 (簡易版). 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会誌. 2011;15 (1) :96-101.
- 3) 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類2013. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会誌. 2013;17 (3) :255-67.
- 4) Feng X, Todd T, Lintzenich CR, Ding J, Carr JJ, Ge Y, Browne JD, Kritchevsky SB, Butler SG. Aging-related geniohyoid muscle atrophy is related to aspiration status in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2013 Jul;68 (7) :853-60.
- 5) van Wilgen CP, Dijkstra PU, van der Laan BF, Plukker JT, Roodenburg JL. Morbidity of the neck after head and neck cancer therapy. *Head Neck.* 2004 Sep;26 (9) :785-91.
- 6) Williams MA, McCarthy CJ, Chorti A, Cooke MW, Gates S. A systematic review of reliability and validity studies of methods for measuring active and passive cervical range of motion. *J Manipulative Physiol Ther.* 2010 Feb;33 (2) :138-55.
- 7) Ferrari A, Benedetti MG, Pavan E, Frigo C, Bettinelli D, Rabuffetti M, Crenna P, Leardini A. Quantitative comparison of five current protocols in gait analysis. *Gait Posture.* 2008 Aug;28 (2) :207-16.
- 8) Gutierrez-Farewik EM, Bartonek A, Saraste H. Comparison and evaluation of two common methods to measure center of mass displacement in three dimensions during gait. *Hum Mov Sci.* 2006 Apr;25 (2) :238-56.
- 9) Orendurff MS, Segal AD, Klute GK, Berge JS, Rohr ES, Kadel NJ. The effect of walking speed on center of mass displacement. *J Rehabil Res Dev.* 2004 Nov-Dec;41 (6A) :829-34.
- 10) Tojima M, Ogata N, Yozu A, Sumitani M, Haga N. Novel 3-dimensional motion analysis method for measuring the lumbar spine range of motion: Repeatability and reliability compared with an electrogoniometer. *Spine (Phila Pa 1976).* 2013 Oct 1;38 (21) :E1327-33.



- 11) Bland JM, Altman DG. Agreed statistics: Measurement method comparison. *Anesthesiology*. 2012 Jan;116 (1) :182-5.
- 12) Audette I, Dumas JP, Cote JN, De Serres SJ. Validity and between-day reliability of the cervical range of motion (CROM) device. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010 May;40 (5) :318-23.
- 13) BUCK CA, DAMERON FB, DOW MJ, SKOWLUND HV. Study of normal range of motion in the neck utilizing a bubble goniometer. *Arch Phys Med Rehabil*. 1959 Sep;40:390-2.
- 14) Tousignant M, de Bellefeuille L, O'Donoghue S, Grahovac S. Criterion validity of the cervical range of motion (CROM) goniometer for cervical flexion and extension. *Spine (Phila Pa 1976)* . 2000 Feb 1;25 (3) :324-30.
- 15) Bennett SE, Schenk RJ, Simmons ED. Active range of motion utilized in the cervical spine to perform daily functional tasks. *J Spinal Disord Tech*. 2002 Aug;15 (4) :307-11.
- 16) Morphett AL, Crawford CM, Lee D. The use of electromagnetic tracking technology for measurement of passive cervical range of motion: A pilot study. *J Manipulative Physiol Ther*. 2003 Mar-Apr;26 (3) :152-9.
- 17) Haynes MJ, Edmondston S. Accuracy and reliability of a new, protractor-based neck goniometer. *J Manipulative Physiol Ther*. 2002 Nov-Dec;25 (9) :579-86.
- 18) Tousignant M, Duclos E, Lafleche S, Mayer A, Tousignant-Laflamme Y, Brosseau L, O'Sullivan JP. Validity study for the cervical range of motion device used for lateral flexion in patients with neck pain. *Spine (Phila Pa 1976)* . 2002 Apr 15;27 (8) :812-7.
- 19) Strimpakos N, Sakellari V, Gioftos G, Papathanasiou M, Brountzos E, Kelekis D, Kapreli E, Oldham J. Cervical spine ROM measurements: Optimizing the testing protocol by using a 3D ultrasound-based motion analysis system. *Cephalalgia*. 2005 Dec;25 (12) :1133-45.
- 20) Ordway NR, Seymour R, Donelson RG, Hojnowski L, Lee E, Edwards WT. Cervical sagittal range-of-motion analysis using three methods. cervical range-of-motion device, 3space, and radiography. *Spine (Phila Pa 1976)* . 1997 Mar 1;22 (5) :501-8.
- 21) Hislop, H, Montgomery, J. 新・徒手筋力検査法. 8th ed. 津山直一, 中村耕三訳; 東京: 協同医学出版社; 2008 : 25-33.
- 22) Wibault J, Vaillant J, Vuillerme N, Dederig A, Peolsson A. Using the cervical range of motion (CROM) device to assess head repositioning accuracy in individuals with cervical radiculopathy in comparison to neck- healthy individuals. *Man Ther*. 2013 Oct;18 (5) :403-9.
- 23) De-la-Llave-Rincon AI, Fernandez-de-Las-Penas C, Laguarda-Val S, Ortega-Santiago R, Palacios-Cena D, Martinez-Perez A. Women with carpal tunnel syndrome show restricted cervical range of motion. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2011 May;41 (5) :305-10.

- 24) Wu XD, Yuan W, Chen HJ, Chen Y, Wang JX, Cao P, Zhang Y, Wang XW, Yang LL, Chen YY, Tsai N. Neck motion following multilevel anterior cervical fusion: Comparison of short-term and midterm results. *J Neurosurg Spine*. 2013 Apr;18 (4) :362-6.
- 25) Wu XD, Wang XW, Yuan W, Liu Y, Tsai N, Peng YC, Chen Y, Wang C, Gu SY, Chen HJ, Zhou XH, He HL, Chen YY. The effect of multilevel anterior cervical fusion on neck motion. *Eur Spine J*. 2012 Jul;21 (7) :1368-73.