

健常者および嚥下障害患者における  
嚥下反射中の舌骨周囲筋群の  
筋長変化が舌骨軌跡に及ぼす影響

日本大学大学院歯学研究科歯学専攻

岡田 猛司

(指導：植田 耕一郎 教授)

# 目次

概要	.....	2
緒言	.....	3
対象および方法	.....	5
成績	.....	7
考察	.....	9
結論	.....	13
謝辞	.....	14
文献	.....	15

参考文献 Okada et al. (2013) Dynamic change in hyoid muscle length associated with trajectory of hyoid bone during swallowing: analysis using 320-row area detector computed tomography. J Appl Physiol. 2013

## 概要

嚥下反射時の筋活動の測定には限界がある。新たに開発された 320 列面検出器型コンピュータ断層撮影 (320-ADCT) は優れた空間分解能と時間分解能を有しており、咽頭および喉頭の解剖学的構造や嚥下運動時の定量的な動作分析を容易にした。我々は嚥下関連筋の筋長変化を観察することによって嚥下反射中の嚥下関連筋の活動パターンを調査した。加えて、嚥下障害の筋長測定を行い健側、病側の筋長変化の比較を行った。

対象は健常男性 26 名で、以下の項目の三次元的な変化を解析した。(1) 茎突舌骨筋、顎二腹筋前腹、後腹、顎舌骨筋、オトガイ舌骨および甲状舌骨筋の起始、停止間距離。(2) 舌骨の上方あるいは前方への移動距離。また、嚥下障害患者 2 名においても同様の撮影、解析方法を用いた。

その結果、嚥下反射の初期に茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹、顎舌骨筋の収縮がほぼ同時に認められた。これらの筋収縮は、舌骨の上方移動とほぼ同時に発生した。その後、オトガイ舌骨筋、甲状舌骨筋および顎二腹筋前腹は舌骨の前方移動と近いタイミングで収縮を開始した。嚥下反射における茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹、顎舌骨筋の収縮長は舌骨の上方移動距離との間で有意な相関を認めた ( $r = 0.45-0.65$ ,  $p < 0.05$ )。また、オトガイ舌骨筋の収縮長と舌骨の前方移動距離との間で有意な相関が認められた ( $r = 0.61$ ,  $p < 0.05$ )。嚥下障害患者においては茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹の収縮率の低下、ならびに収縮の遅延が認められた。

以上から、嚥下時の嚥下関連筋の収縮の順序は一定であることが判明した。また、嚥下関連筋の収縮は舌骨の運動軌道に影響を与えることが示され、茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹、顎舌骨筋は舌骨の上方移動、オトガイ舌骨筋は舌骨の前方移動距離に関連する重要な筋であることが明らかになった。嚥下障害患者においても 320-ADCT による筋長の測定は嚥下障害の経過を観察するのに有用な手段になりうるであろう。

なお、本論文は *Journal of Applied Physiology* (2013) に掲載された *Dynamic change in hyoid muscle length associated with trajectory of hyoid bone during swallowing: analysis using 320-row area detector computed tomography.* を基幹論文とし、臨床応用として嚥下障害患者のデータを加えることによって総括したものである。

## 緒言

ヒトの嚥下反射は嚥下関連筋群の協調運動によって起こり、その機序は複雑である。それらを解明する為には嚥下反射時の筋活動のパターンを解明することが必要不可欠である。嚥下反射の生理学的特性を解明するために様々な研究が行われてきた。嚥下動態の検査法としては嚥下造影検査 (videoendoscopy:VF)、嚥下内視鏡検査 (videofluorography:VE)があるが、これらの検査は嚥下時の口腔、咽頭内の解剖学的構造体の動態を観察することができる。マノメトリーおよび筋電図 (electromyography:EMG)は嚥下反射時の咽頭内圧の測定、あるいは筋活動の観察に用いられている。

嚥下反射時の筋活動の観察には主にEMGが適している。ヒトおよび動物を用いたEMGによる研究は嚥下反射のメカニズムの解明に貢献している。嚥下反射の研究で比較的初期に研究され、頻回に引用されているものにDotyとBosma<sup>5)</sup>の研究がある。彼らは麻酔下の動物を用いて口腔、咽頭、喉頭の筋活動を針筋電図により記録した。この研究では嚥下時の各々の筋活動の順序は系統的であり、かつ規則性があることを報告した。それに加え、口腔と咽頭に関するEMGの研究は数多く報告されてきた<sup>15,16,21,33,34,37)</sup>が、これらのデータは、DotyとBosma<sup>5)</sup>の嚥下反射の不随意運動が中枢パターン発生器によって制御されているという結論と一致している。

嚥下反射に関連する多くの筋は体表より深部に位置するため、EMGによる筋活動の測定には針またはワイヤー電極が主に用いられる。この方法を用いてヒトの筋活動を定量的に測定することは困難であり、この方法には限界があるとされている。そのため、ヒトを用いた嚥下関連筋の研究の多くは単一の筋または一対の筋を対象に行われている<sup>1,6,24,35,36)</sup>。ヒトで複数の嚥下関連筋を対象にした研究は過去に何例か報告されているが、先に述べたような限界があると同時に複数の筋活動の経時的関係を明確に定量化することが困難である<sup>7,9,26,30,32)</sup>。さらに、EMGの利点では嚥下時の動的な変化を観察できないが、食塊が口腔、咽頭を通過して食道へ流入するまでの一連の複雑な過程を観察することができる。

食塊通過時は口腔、咽頭内の各構造において生理学、生体力学的な変化の結果として生じる。VFを用いた研究にて嚥下時の舌骨の上方および前方方向の運動が検証、定量化されている<sup>4,31)</sup>。舌骨に付着する舌骨上筋群と舌骨下筋群は、舌骨の運動を制御する役割を果たしていると考えられている<sup>18,19)</sup>。VFとEMGの同時計測は舌骨の運動に関連している筋を解明する為の一助となる。しかし、VFとEMGの同時実験は、まだ数例の動物研究でしか行われていない<sup>10,16)</sup>。した

がって、舌骨上筋と舌骨下筋の役割について明確かつ直接的な解析はまだ行われていない<sup>3,14,17)</sup>。最近の研究で、Pearson<sup>27)</sup>らは死体から採取した舌骨周囲筋の筋断面や健常人のMRI画像を用いて、舌骨上筋および舌骨下筋だけでなく筋長の長い咽頭筋も舌骨甲状複合体の挙上に関与することを提案した。

今回の研究で用いた320列面検出器型コンピュータ断層撮影(320-ADCT)は優れた空間分解能と時間分解能を有する新しく開発された装置である。320-ADCTを用いれば通常の嚥下反射で起こる筋収縮の動的变化を推察することが可能になる。さらに嚥下運動の定量的解析や、舌骨や声帯などの咽頭喉頭内の構造物の識別を行うことも可能にした<sup>8,12)</sup>。また、この三次元画像の技術は対象とする構造物を任意の方向からの立体的に表示でき、正確な定量化や動的な計測を可能にした<sup>13,23)</sup>。

よって、320-ADCTを用いることにより、筋収縮と舌骨の動きを直接観察することができる。さらに、筋の起始、停止を同定することにより、舌骨上筋と舌骨下筋の筋長を測定することが可能となる。本研究では、嚥下反射において個々の舌骨周囲筋が舌骨を上方、前方に動かすための特定の役割を持っていると仮説を立て、それを検証するために我々は最初に6種類の舌骨周囲の筋長の連続的变化を測定した。そして舌骨の軌跡を上下、前後方向に分け計測を行った。最後に筋長の変化と舌骨の上方と前方の移動距離との相関を分析した。

さらに、本研究では臨床応用として嚥下障害を持つ患者に対して320-ADCTによる嚥下運動の撮影および筋長の計測を行い、健側、病側の比較を行った。

# 対象および方法

## 1. 被験者および方法

対象は藤田保健衛生大学病院に所属し、過去に神経疾患、上部食道の手術歴の無い嚥下機能が正常な 20 歳以上の健康成人 26 名とした。嚥下機能は言語聴覚士および医師によって正常と判断された。すべての被験者に対して藤田保健衛生大学での倫理委員会によって承認されたプロトコルに基づき、研究に参加するためのインフォームドコンセントをリハビリテーション科医師によって行った。身長の影響を最小限に抑えるために、男性のデータのみを分析した。平均年齢は  $46 \pm 16$  歳 (±標準偏差) である。撮影には 320-ADCT (Aquilion ONE, 東芝メディカルシステムズ株式会社, 栃木県大田原市, 日本) を使用した。この研究のために設計されたリクライニング椅子 (東名ブレース株式会社, アスカ株式会社共同制作, 愛知県瀬戸市, 日本) を CT テーブルの反対側に配置した。被験者は 45 度で傾斜したリクライニングチェアに着座した。リクライニングチェアは座面ごと前後にスライドするように設計されており, CT テーブルと CT スキャン面が 22 度傾斜した状態で CT テーブルの反対側からリクライニングチェアを挿入した (第 1 図)。撮影範囲は頭蓋底から食道上部までの 160mm とした。撮影条件は次のように設定した: 管電圧/電流 = 120 kV/60 mA。CT の実効線量および線量指数 (CT dose index, dose length product) は, それぞれ 10.8mSv および (34.7mGy, 554.9mGy cm) である。頭部の位置確認のため事前に 1 回転のみの撮影を実施した。

試料にはとろみを付与したバリウム 10ml (5%v/w, ネオハイトロミール, 株式会社フードケア, 神奈川県相模原市, 日本) を使用した。被験者は試料を口腔内に保持した状態でリクライニングチェアに着座した。その後, 照射と同時に合図を行い, 嚥下するように指示した。撮影は 1 施行あたり 9 回転行い, 合計 3.15 秒間撮影した。1 回転 0.175 秒で記録されたデータは再構成を行った。撮影で得た多断面再構成像 (MPR) と三次元 CT 画像は, スキャナ付属のソフトウェアを用いて解析を行った。3D 画像は 0.10 秒間隔で 2.9 秒間, 計 29 枚を構成した。

嚥下障害患者においては症例 A (74 歳女性, 左側 Wallenberg 症候群, 発症後 46 日経過) および症例 B (71 歳男性, 左側 Wallenberg 症候群, 発症後 184 日目) の 2 例を対象とした。嚥下障害患者も健常者と同様の方法で撮影を行った。

## 2. CT 画像の解析

CT 画像内の距離、面積、体積を専用のソフトウェアを介して三次元測定することが可能となった。筋長は筋の起始停止間の距離と定義した。骨組織上の起始、停止部を有する筋は 320-ADCT を用いて同定することが可能である。そこで、茎突舌骨筋、顎二腹筋前腹、後腹、顎舌骨筋、オトガイ舌骨および甲状舌骨筋の起始停止部は、3D 座標を用いて同定した（第 2 図）。顎舌骨筋は顎舌骨筋縫線に沿って走行し、円周状の形態をしている特異な筋である。顎舌骨筋の起始においては前頭断で観察していき顎舌骨筋の後端部を顎舌骨筋線の起始部と定義した。本研究で定義した各筋の起始停止部を示す（第 1 表）。筋の起始停止部を MPR 画像から 1 枚ごとに同定し、計 29 フレームの起始停止部間の距離の変化を計算した。

三次元 CT 画像で計測を行う筋の起始停止部、および筋長を典型的な例を第 2 図に示す。筋の収縮長は最大筋長から最小筋長の差分と定義した。収縮率は以下のように定義した。

$$\text{収縮率 (\%)} = \frac{\text{最小筋長 (mm)}}{\text{最大筋長 (mm)}} \times 100$$

筋の収縮率が 95%未満であった場合において、積極的な筋収縮が発生したと定義した。

舌骨については舌骨の上方および前方向移動開始のタイミングも測定した。舌骨の上方移動の開始は安静時からの上方移動距離が舌骨の上方総移動距離の 5%を超えたタイミングと定義した。また、舌骨の前方移動の開始も同様に安静時からの前方移動距離が舌骨の前方総移動距離の 5%を超えたタイミングと定義した。本研究では、舌骨の上方への移動開始したタイミングを 0.0 秒とした。水平方向の基準線は前鼻棘、後鼻棘を通る線を水平線（第 3 図）として定義した。さらに、舌骨の前方方向は水平線に平行な方向と定義し、上方方向は水平線に対して垂直な方向と定義した。嚙下障害患者も同様の方法にて筋長および舌骨移動距離の計測を行い、さらに左右の筋長の測定を行った。

## 3. 統計処理

最大筋長、筋収縮長、筋収縮率の相関関係、および各嚙下関連筋の収縮長と舌骨の上方及び前方移動距離の相関関係はスピアマンの順位相関係数を用いた。統計に用いたソフトは SPSS ver. 19.0 J for Mac (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) である。有意水準を 5%未満とした。

# 成績

## 1. 嚙下関連筋の最大筋長および最小筋長

最大筋長および最小筋長の平均と標準偏差を第 2 表に示す。被験者の多くでは最大筋長は嚙下直前または嚙下前の早い段階で観察され、最小筋長は嚙下中に観察された。何例かの甲状舌骨筋と顎二腹筋の前腹で、最大筋長は舌骨の挙上開始時や挙上時に観察された。舌骨周囲筋のうち筋長が最も長いものは顎二腹筋後腹で最大筋長は  $85.2 \pm 8.2$  mm, 次は茎突舌骨筋の  $59.3 \pm 12.3$  mm であった。6 種類の筋の中で比較的筋長が短いものはオトガイ舌骨と甲状舌骨筋の  $32.5 \pm 5.5$  mm,  $30.6 \pm 7.5$  mm であった。

収縮長 (8.2~12.8 mm) は比較的一定であったが、収縮率 (14-32 %) は舌骨周囲筋群の間で異なっていた (第 2 表)。第 4 図 A にすべての被験者の 6 種類の舌骨周囲筋の最大筋長と収縮長をプロットした。最大筋長と収縮長の間には有意な相関は認められなかった。第 4 図 B に最大筋長と収縮率をプロットした。最大筋長と収縮率との間に有意な相関関係 ( $P < 0.001$ ,  $r = -0.380$ ) が認められた。また、筋長が短い筋ほどより高い収縮率を示した。

## 2. 嚙下時の筋長変化

第 5 図に舌骨の上方への移動の開始を 0.0 秒とした時の 0.1 秒のフレームごとの筋長と舌骨の移動距離の平均値を示す。茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹、顎舌骨筋が嚙下の初期段階ではほぼ同時に収縮を開始した。その後、オトガイ舌骨筋、甲状舌骨筋、および顎二腹筋前腹が順次収縮を開始した。第 3 表に各筋が収縮を開始したタイミングと舌骨の前方運動開始のタイミングの平均と標準偏差を示す。舌骨の上方移動のタイミングと茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹、および顎舌骨筋の収縮開始のタイミングは近似していた。舌の前方移動開始のタイミングはオトガイ舌骨筋、甲状舌骨筋、および顎二腹筋前腹の収縮開始のタイミングに近似していた。

## 3. 筋の収縮と舌骨の軌跡

舌骨の上方移動距離の平均は  $16.5 \pm 9.2$  mm, 前方向移動距離の平均は  $12.8 \pm 5.0$  mm であった。第 6 図は、6 つの舌骨周囲筋群の筋収縮長と舌骨の上方移



動距離との相関を示している。茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹および顎舌骨筋は舌骨の上方移動距離との間に有意な相関を示した ( $r = 0.652, 0.452, 0.625, p < 0.05$ )。第 7 図は、6 つの舌骨周囲筋群の筋収縮長と舌骨の前方移動距離との相関を示している。オトガイ舌骨の筋収縮長と舌骨の前方移動距離との間に有意な相関を示した ( $r = 0.611, p < 0.01$ )。有意差は認められないが、顎二腹筋前腹ならびに甲状舌骨筋の筋収縮長と舌骨の前方移動距離との間にも弱い相関を示した ( $r = 0.304, 0.333, n. s.$ )。

#### 4. 嚥下障害患者における筋長の解析

2 例の嚥下障害患者の筋長変化のグラフを第 8 図 A, B に示す。

症例 A においては健側に比して、病側の茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹の収縮率の低下が認められた。他の筋に関しては著名な収縮率の減少は認められなかった。舌骨の上方移動、前方移動距離はそれぞれ 8.1 mm, 17.7mm であった。舌骨の上方移動においては健常例の舌骨の上方移動距離の平均値  $16.5 \pm 9.2$  mm より低い値となった。

症例 B においては病側の茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹、顎舌骨筋の収縮が健側よりやや緩慢であった。他の筋においては筋収縮の遅延は見られなかった。収縮率に関しては著名な差は認められなかった。舌骨の上方移動、前方移動距離はそれぞれ 13.0 mm, 15.3mm であった。舌骨の上方移動距離においては健常例の舌骨の上方移動距離の平均値と近似した値となった。

# 考 察

## 1. 舌骨周囲筋の筋活動

嚥下反射に関与する筋収縮はEMGを用いて評価することができる。EMGに関する研究は過去50年間のうち何例か報告されている<sup>5,34)</sup>。EMGを用いた動物実験は、嚥下反射は複数の舌骨上筋の収縮によって開始されることを示唆している<sup>5,34)</sup>。また、DotyとBosma<sup>5)</sup>らは顎舌骨筋は連続する筋活動のパターンの中で重要な筋であることを示した。しかし、嚥下反射中の同一電極から測定した筋電図で同一の波形や類似した波形が存在しなかったことから、彼らは筋活動のタイミングに幅広いバリエーションがあることも示唆している。Thexton<sup>34)</sup>らは嚥下反射中の咽頭のEMG活動を再調査した。彼らは顎舌骨筋の筋活動は他の筋の筋活動に先行して起こらず、さらにオトガイ舌骨筋は先行する筋群の一部ではないことも示唆している。しかし、彼らはまた、筋が高度にステレオタイプな運動を示したにも関わらず、EMG波形では筋の種類や動物間の双方においてもばらつきが存在すると述べている。これらのばらつきの一部は、筋活動の際に生じる電極のわずかな動きが原因ではないかと推測している。

ヒトの場合、舌骨に付着する舌骨周囲筋が深部に存在するため、嚥下関連筋の針電極による筋電図は手足の筋よりも記録するのが困難である。針電極による筋電図は、比較的安全な手技と言われているが<sup>17,22)</sup>、嚥下時の筋活動を見るには他の筋と重複しないようにするため深部に針を挿入する必要があり、結果として操作に時間が掛かり、患者への不快感に繋がるのが問題になる。したがって、ヒトへの嚥下関連筋における筋活動の研究には限界があり、茎突舌骨筋や顎二腹筋後腹のEMGの研究はほとんど行われていない<sup>17)</sup>。

一般的に連続的な筋長の短縮は筋活動における求心性収縮を示している<sup>11,20)</sup>。それ故に、嚥下時の舌骨筋群の筋活動を評価するために二次元的な測定が行われてきた<sup>20)</sup>。本研究では、舌骨上筋および舌骨下筋の起始停止間距離の変化を320-ADCTを用いて三次元的に測定した。今回の結果で舌骨上筋および舌骨下筋は嚥下時に筋長が変化し、筋活動の連続的な変化はある程度一定でステレオタイプであることが明らかになった。

## 2. 舌骨運動に対する舌骨筋群の役割

嚥下の咽頭期における咽頭の運動を決定する重要な現象として舌骨の上方への運動とその後に起こる前方移動がある。VFを用いた研究によって食道へ食塊

が通過する間に舌骨の上前方移動が定量化されている<sup>4,31)</sup>。今回の研究では3D-ADCTを用いることにより舌骨の上方移動距離、前方移動距離の測定が可能になった。

舌骨に付着する舌骨筋群は舌骨の動態に影響を与えるとされているが、その役割は明確に示されていない<sup>3,14,17)</sup>。最近の研究でPearson<sup>28)</sup>らは、死体を用いて舌骨の上方および前方の動きを筋の位置関係から評価した。それによると筋の構造特性からして、オトガイ舌骨筋は舌骨を前方に、顎舌骨筋は舌骨を上方に牽引する可能性が高いと報告した<sup>28)</sup>。しかし、Pearsonらはその臨床的有用性を確立するために、解剖学的データが機能的な研究によって裏付けされる必要があると述べている。今回の研究で、われわれはオトガイ舌骨筋と顎舌骨筋の役割を3D-ADCTを用いて示した。

舌骨筋群の筋活動の分析で、嚥下中に茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹、および顎舌骨筋の収縮が他の舌骨上筋群の収縮前に先行して観察された(第5図および第3表)。これらの筋の収縮は同期しており、舌骨の上方移動と有意な相関を示した(第6図:  $r = 0.45-0.65$ ,  $p < 0.05$ )。このことは茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹、顎舌骨筋が舌骨の上方への移動を引き起こすことを示唆している(第9図)。これら3筋の収縮に続き、オトガイ舌骨筋、甲状舌骨筋および顎二腹筋前腹の収縮と舌骨の前方への移動がほぼ同時期に引き起こされた。オトガイ舌骨筋の収縮長は舌骨の前方移動距離と有意な相関を示した(第6図:  $r = 0.61$   $p < 0.01$ )。また、甲状舌骨筋と顎二腹筋前腹の収縮長も舌骨の前方移動距離との間に弱い相関を示した(第7図:  $r = 0.304$ ,  $0.333$  n. s.)。甲状舌骨筋の収縮が舌骨の前方移動と同時期に発生したことから、甲状舌骨筋の主な機能は舌骨と喉頭を近接させることであると推察される。上記の結果から、オトガイ舌骨筋が舌骨の前方移動に対し重要な筋であり、顎二腹筋前腹は舌骨の前方移動に寄与する二次的な筋であることが示された(第9図)。

以上の結果をまとめると、舌骨筋群の連続的な筋収縮は舌骨の運動に大きな影響を与える。さらに、舌骨筋群は舌骨が動く方向に基づいて2つのグループ分けが可能となった。第一のグループである茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹および顎舌骨筋は嚥下反射の最初期に収縮し、舌骨を上方に運動させる。第二のグループであるオトガイ舌骨筋と顎二腹筋前腹はその直後に収縮を開始し舌骨を前方に移動させる。

### 3. 嚥下研究の対する本研究の限界と320-ADCTの有用性

320-ADCTは対象物を複数の方向から立体的に観察することが可能である。3D画像は0.1秒間隔で29枚の画像に分けて再構成することができ、嚥下の運動解

析を可能にした<sup>8)</sup>。CTはMRIに比べ軟組織の組織分解能が劣り、筋肉などの識別が困難である。しかし、320-ADCTを用いることによって骨組織上での筋の起始および停止を設定することで320-ADCT上で正確に同定し、測定することが可能となる。舌骨と喉頭は嚥下時に非常に高速で移動する。本研究において用いたCT画像は0.1秒単位で撮影でき、連続的な多断面観察による画像は形態学的検査をより単純にしており運動学的分析が可能となった。嚥下障害患者においても分析、評価が可能であることが示された。

本研究にはいくつかの限界が存在する。第一にCT撮影による放射線被曝のリスクである。CT撮影による実効線量は、VF検査一回の線量とほぼ同じ1.08 mSvであった(VF検査は5分間で1.05mSv)。これは、一般的な頸部CT撮影1回分2.8mSvよりも低い線量となる。本研究の被曝量では、確定的影響は考え難く、確率的影響に関しても50mSv以下なので、癌などの発生率に問題はないと考えている。しかし、我々は被験者の被曝量を最小限にするために複数回の検査を行わず、食塊の違いなどによる検証を行わなかった。第二にリクライニングが45度であった点である。CTの構造上、被験者を直立座位の姿勢にできなかったことがその理由である。このことによりリクライニング位と座位の状態の結果が異なる可能性が存在する。最後に年齢や性別による変化を評価するために被験者数を増やす必要がある。

VFと比較して320-ADCTの最大の利点は3D画像が撮影できる点である。このことは嚥下に関する研究が大きく飛躍する可能性を秘めている。将来的な研究として上部食道括約筋、咽頭腔、咽頭収縮筋などの観察が期待される。臨床応用として、舌骨周囲筋の筋長変化の測定は嚥下障害のリハビリテーションの効果判定に応用できる可能性がある。例えば咽頭嚥下障害による舌骨の運動制限に対するリハビリで考えると、電気刺激や筋強化訓練の効果の有効性が評価できるであろう。嚥下機能検査として利益相反の観点から考察すると、ある一定量の放射線被曝がある危険性があるが、3Dによる情報はVFの二次元的な情報よりもさらなる有益な情報を提供し嚥下障害患者の未知なメカニズムの解明に寄与するだろう。

#### 4. 嚥下障害患者における320-ADCTの臨床応用

本研究は2例の嚥下障害患者の健側、病側の筋長変化を測定した。

症例Aにおいては、病側の茎突舌骨筋、顎二腹筋前腹に収縮率の低下が認められた。症例Aは脳梗塞発症後46日であり、発症からの経過日数が短いため病側の筋収縮の低下が現れたのだと考えられる。舌骨の上方移動距離は8.1 mmであり、健常例の舌骨の上方移動距離の平均値 $16.5 \pm 9.2$  mmより低い値となった。このことは、病側における茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹の収縮力低下により、結

果として舌骨の上方移動の低下が引き起こされたのだと考察される。

一方、症例 B においては病側の茎突舌骨筋，顎二腹筋後腹，顎舌骨筋の収縮が健側よりやや緩慢であったが，左右側の筋長での収縮率では著名な左右差は認められなかった。舌骨の上方移動距離は 15.3mm であった。健常例の舌骨の上方移動距離の平均値と近似した値となった。症例 B は脳梗塞発症後 184 日経過しており，発症からの長期経過により病側の筋収縮の改善が認められたと考えられる。

このように，嚥下障害患者における 320-ADCT を用いた筋長測定は筋収縮の健側，病側を経時的に観察することができ，臨床において重要な情報になりうる事を示している。本研究では経過の異なる 2 例のみの測定を行ったが，同一の患者を継続して複数回撮影し，観察する事により病状の改善傾向などを観察することが可能となるだろう。

## 結 論

本研究では、嚥下反射中の嚥下関連の筋長および舌骨上方、前方向運動の連続的变化を測定し、筋長の変化と舌骨の上方、前方の移動距離との相関を分析した。その結果、以下の結論を得た。

1. 茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹、および顎舌骨筋の収縮が舌骨の上方移動とほぼ同時に観察され、各筋の収縮長と舌骨の上方移動距離との間に有意に相関した。このことより茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹、顎舌骨筋と舌骨の上方への移動を引き起こす第一のグループである。
2. 上記の筋の収縮の後、オトガイ舌骨筋、および顎二腹筋前腹が順次収縮を開始し、オトガイ舌骨筋の収縮長は舌骨の前方移動距離と有意な相関を示し、顎二腹筋前腹の収縮長も舌骨の前方移動距離と弱い相関を示した。このことよりオトガイ舌骨と顎二腹筋前腹は上記の筋の後に収縮を開始し舌骨を前方に移動する第二のグループである。
3. 甲状舌骨筋の収縮が舌骨の前方移動と同時期に発生したことから、甲状舌骨筋の主な機能は舌骨と喉頭を近接させる事であると推察される。
4. 嚥下障害患者においては、茎突舌骨筋、顎二腹筋後腹の収縮率の低下や収縮の遅延が観察でき、臨床において嚥下障害の観察に有用であることを示した。

## 謝 辞

本研究の実施にあたり、懇切丁寧なるご指導をいただきました日本大学大学院歯学研究科摂食機能療法学講座の植田耕一郎教授に深謝するとともに、心よりお礼申し上げます。また本研究に多大なるご協力いただいた藤田保健衛生大学医学部リハビリテーション医学Ⅰ講座、放射線医学教室、日本大学大学院歯学部摂食機能療法学講座の諸先生に心より感謝いたします。

## 文 献

1. **Basmajian JV, and Dutta CR.** Electromyography of the pharyngeal constrictors and levator palati in man. *Anat Rec* 139: 561-563, 1961.
2. **Borley NR, Standring S, and Gray H.** *Gray's anatomy : the anatomical basis of clinical practice.* Edinburgh: Churchill Livingstone, 2008.
3. **Cook IJ, Dodds WJ, Dantas RO, Massey B, Kern MK, Lang IM, Brasseur JG, and Hogan WJ.** Opening mechanisms of the human upper esophageal sphincter. *Am J Physiol* 257: G748-759, 1989.
4. **Dodds WJ, Stewart ET, and Logemann JA.** Physiology and radiology of the normal oral and pharyngeal phases of swallowing. *AJR Am J Roentgenol* 154: 953-963, 1990.
5. **Doty RW, and Bosma JF.** An electromyographic analysis of reflex deglutition. *J Neurophysiol* 19: 44-60, 1956.
6. **Ertekin C, and Aydogdu I.** Electromyography of human cricopharyngeal muscle of the upper esophageal sphincter. *Muscle Nerve* 26: 729-739, 2002.
7. **Ertekin C, Pehlivan M, Aydogdu I, Ertas M, Uludag B, Celebi G, Colakoglu Z, Sagduyu A, and Yuceyar N.** An electrophysiological investigation of deglutition in man. *Muscle Nerve* 18: 1177-1186, 1995.
8. **Fujii N, Inamoto Y, Saitoh E, Baba M, Okada S, Yoshioka S, Nakai T, Ida Y, Katada K, and Palmer JB.** Evaluation of swallowing using 320-detector-row multislice CT. Part I: single- and multiphase volume scanning for three-dimensional morphological and kinematic analysis. *Dysphagia* 26: 99-107, 2011.
9. **Gay T, Rendell JK, and Spiro J.** Oral and laryngeal muscle coordination during swallowing. *Laryngoscope* 104: 341-349, 1994.
10. **German RZ, Crompton AW, and Thexton AJ.** Integration of the reflex pharyngeal swallow into rhythmic oral activity in a neurologically intact pig model. *J Neurophysiol* 102: 1017-1025, 2009.
11. **Huxley AF.** Muscle structure and theories of contraction. *Prog Biophys Biophys Chem* 7: 255-318, 1957.
12. **Inamoto Y, Fujii N, Saitoh E, Baba M, Okada S, Katada K, Ozeki Y, Kanamori D, and Palmer JB.** Evaluation of swallowing using 320-detector-row multislice CT. Part II: kinematic analysis of laryngeal closure during



- normal swallowing. *Dysphagia* 26: 209–217, 2011.
13. **Inamoto Y, Saitoh E, Okada S, Kagaya H, Shibata S, Ota K, Baba M, Fujii N, Katada K, Wattanapan P, and Palmer JB.** The Effect of Bolus Viscosity on Laryngeal Closure in Swallowing: Kinematic Analysis Using 320-Row Area Detector CT. *Dysphagia* 2012.
  14. **Kahrilas PJ, Logemann JA, Lin S, and Ergun GA.** Pharyngeal clearance during swallowing: a combined manometric and videofluoroscopic study. *Gastroenterology* 103: 128–136, 1992.
  15. **Kawasaki M, Ogura JH, and Takenouchi S.** Neurophysiologic Observations of Normal Deglutition. I. Its Relationship to the Respiratory Cycle. *Laryngoscope* 74: 1747–1765, 1964.
  16. **Kobara-Mates M, Logemann JA, Larson C, and Kahrilas PJ.** Physiology of oropharyngeal swallow in the cat: a videofluoroscopic and electromyographic study. *Am J Physiol* 268: G232–241, 1995.
  17. **Kurt T, Gurgor N, Secil Y, Yildiz N, and Ertekin C.** Electrophysiologic identification and evaluation of stylohyoid and posterior digastricus muscle complex. *J Electromyogr Kinesiol* 16: 58–65, 2006.
  18. **Ludlow CL, Humbert I, Saxon K, Poletto C, Sonies B, and Crujido L.** Effects of surface electrical stimulation both at rest and during swallowing in chronic pharyngeal Dysphagia. *Dysphagia* 22: 1–10, 2007.
  19. **Matsuo K, and Palmer JB.** Anatomy and physiology of feeding and swallowing: normal and abnormal. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 19: 691–707, vii, 2008.
  20. **Mepani R, Antonik S, Massey B, Kern M, Logemann J, Pauloski B, Rademaker A, Easterling C, and Shaker R.** Augmentation of deglutitive thyrohyoid muscle shortening by the Shaker Exercise. *Dysphagia* 24: 26–31, 2009.
  21. **Miller AJ.** Significance of sensory inflow to the swallowing reflex. *Brain Res* 43: 147–159, 1972.
  22. **Mu LC, and Yang SL.** A new method of needle-electrode placement in the posterior cricoarytenoid muscle for electromyography. *Laryngoscope* 100: 1127–1131, 1990.
  23. **Nakayama E, Kagaya H, Saitoh E, Inamoto Y, Hashimoto S, Fujii N, Katada K, Kanamori D, Tohara H, and Ueda K.** Changes in Pyriform Sinus Morphology in the Head Rotated Position as Assessed by 320-Row Area Detector

CT. *Dysphagia* 2012.

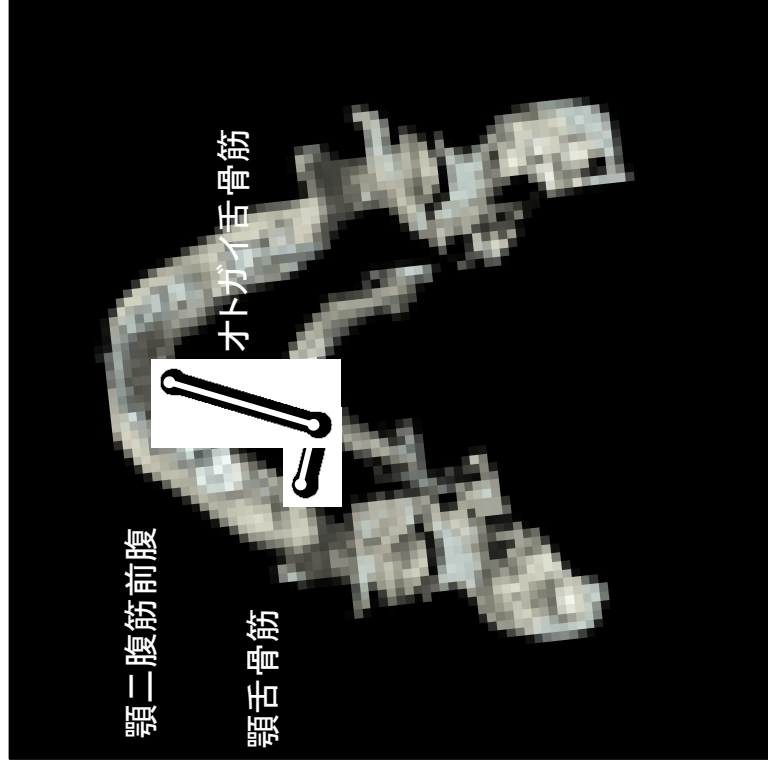
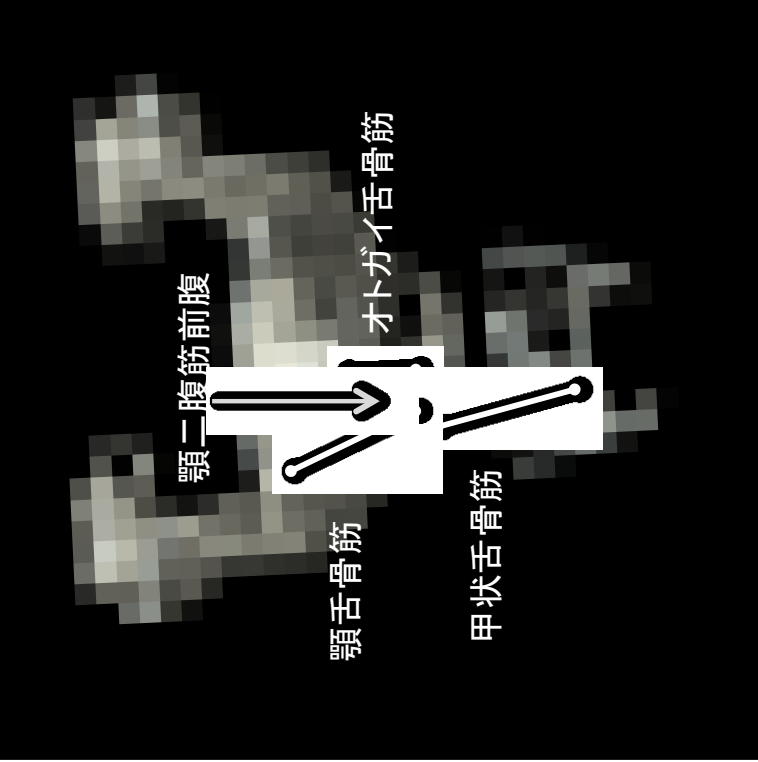
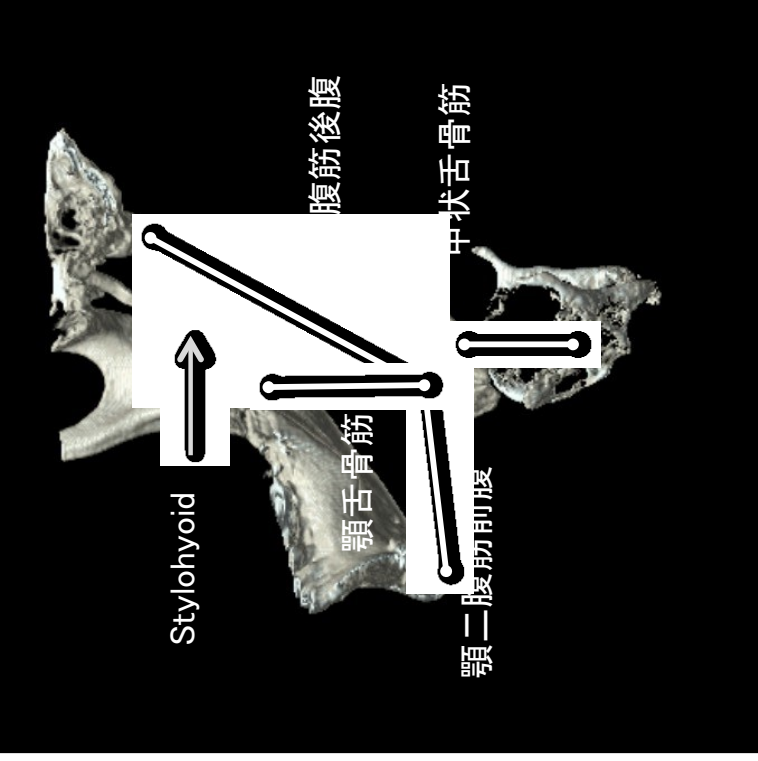
24. **Palmer JB, Tanaka E, and Siebens AA.** Electromyography of the pharyngeal musculature: technical considerations. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 70: 283-287, 1989.
25. **Palmer PM, Luschei ES, Jaffe D, and McCulloch TM.** Contributions of individual muscles to the submental surface electromyogram during swallowing. *J Speech Lang Hear Res* 42: 1378-1391, 1999.
26. **Palmer PM, McCulloch TM, Jaffe D, and Neel AT.** Effects of a Sour Bolus on the Intramuscular Electromyographic (EMG) Activity of Muscles in the Submental Region. *Dysphagia* 20: 210-217, 2005.
27. **Pearson WG, Hindson DF, Langmore SE, and Zumwalt AC.** Evaluating Swallowing Muscles Essential for Hyolaryngeal Elevation by Using Muscle Functional Magnetic Resonance Imaging. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2012.
28. **Pearson WG, Jr., Langmore SE, and Zumwalt AC.** Evaluating the structural properties of suprahyoid muscles and their potential for moving the hyoid. *Dysphagia* 26: 345-351, 2011.
29. **Pearson WG, Langmore SE, Yu LB, and Zumwalt AC.** Structural Analysis of Muscles Elevating the Hyolaryngeal Complex. *Dysphagia* 2012.
30. **Perlman AL, Palmer PM, McCulloch TM, and Vandaele DJ.** Electromyographic activity from human laryngeal, pharyngeal, and submental muscles during swallowing. *J Appl Physiol* 86: 1663-1669, 1999.
31. **Perlman AL, VanDaele DJ, and Otterbacher MS.** Quantitative assessment of hyoid bone displacement from video images during swallowing. *J Speech Hear Res* 38: 579-585, 1995.
32. **Spiro J, Rendell JK, and Gay T.** Activation and coordination patterns of the suprahyoid muscles during swallowing. *Laryngoscope* 104: 1376-1382, 1994.
33. **Suzuki M, Tokuriki M, and Nomura SI.** Electromyographic studies on the deglutition movement in the goat. *Nihon Juigaku Zasshi* 39: 243-253, 1977.
34. **Thexton AJ, Crompton AW, and German RZ.** Electromyographic activity during the reflex pharyngeal swallow in the pig: Doty and Bosma (1956) revisited. *Journal of applied physiology* 102: 587-600, 2007.
35. **Trigos I, Ysunza A, Vargas D, and Vazquez MC.** The San Venero Roselli pharyngoplasty: an electromyographic study of the palatopharyngeus muscle. *Cleft Palate J* 25: 385-388, 1988.

36. **van Overbeek JJ, Wit HP, Paping RH, and Segenhout HM.** Simultaneous manometry and electromyography in the pharyngoesophageal segment. *Laryngoscope* 95: 582-584, 1985.
37. **Venker-van Haagen AJ, Hartman W, van den Brom WE, and Wolvekamp WT.** Continuous electromyographic recordings of pharyngeal muscle activity in normal and previously denervated muscles in dogs. *Am J Vet Res* 50: 1725-1728, 1989.

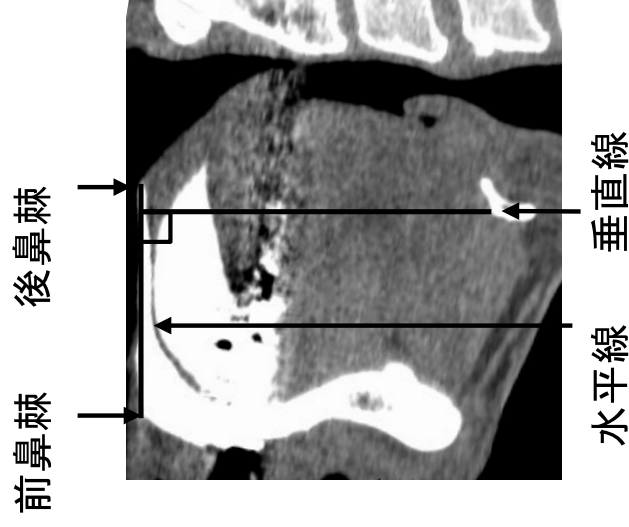
# 図および表



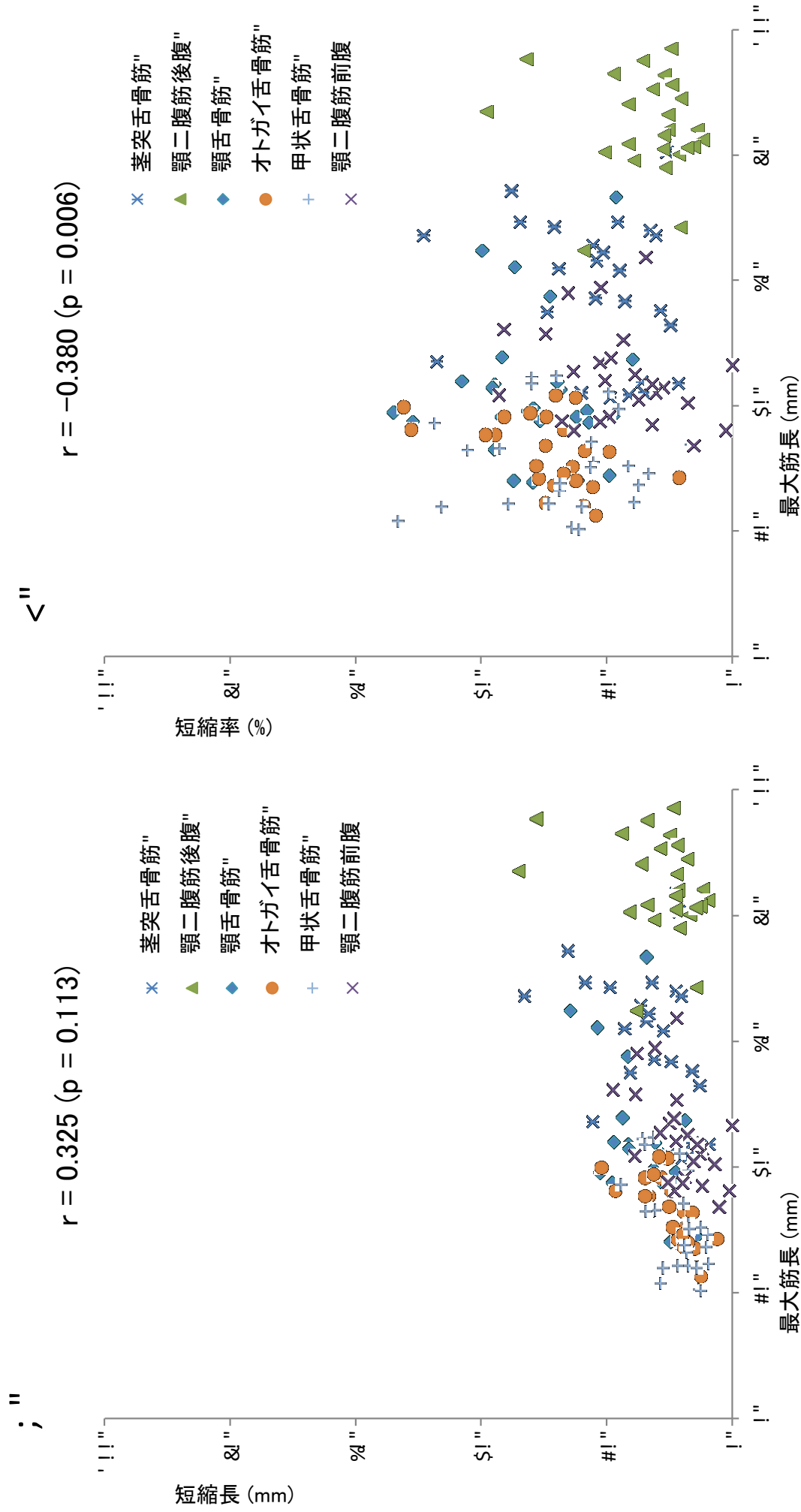
第1図 . 320-ADCTによる撮影風景



第2図. CT像による下顎骨、側頭骨、舌骨、甲状軟骨、舌骨周囲筋の起始停止部の正面、側面、上面像

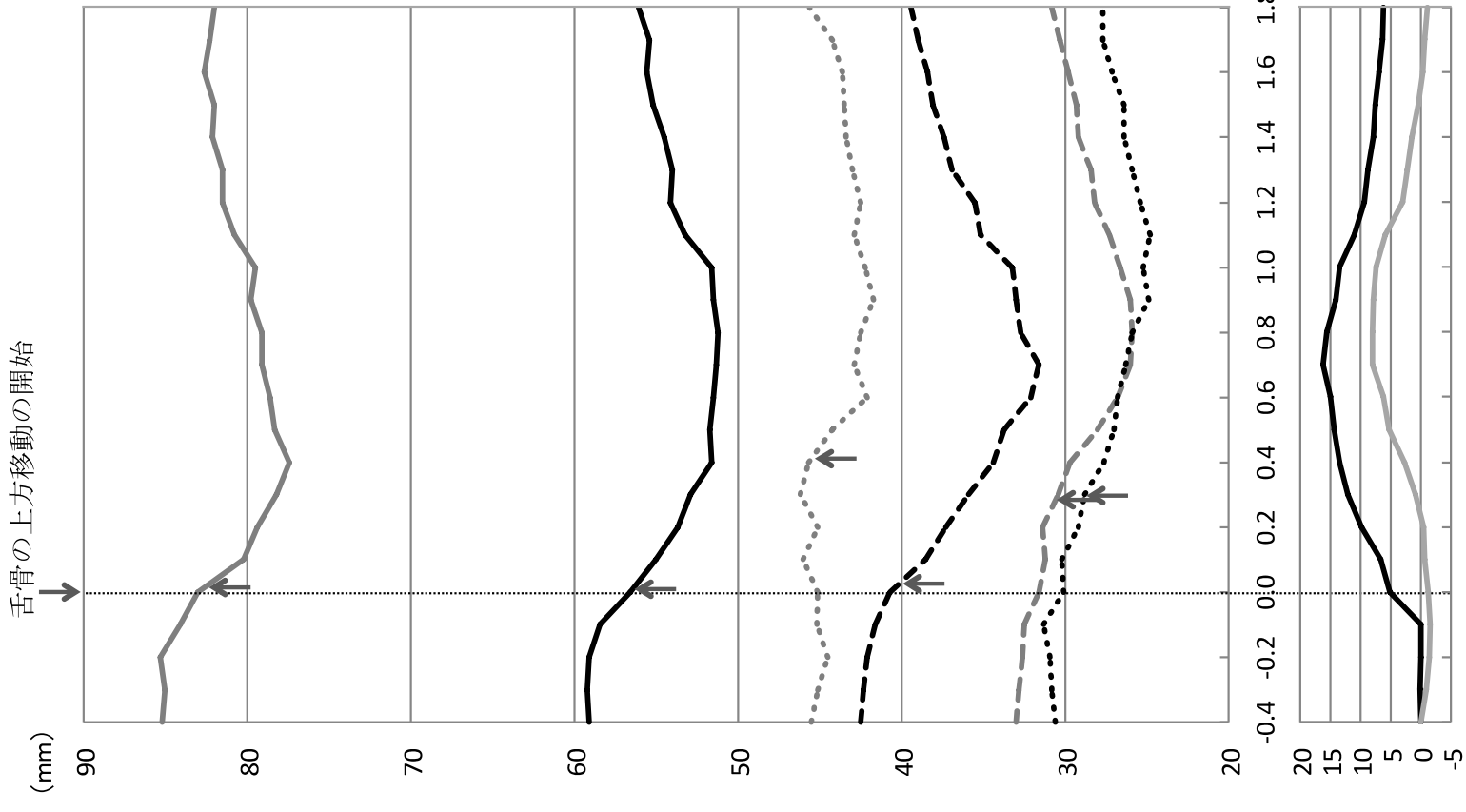


第3図. 水平方向の基準線は前鼻棘、後鼻棘を通る線を水平線として定義した。各筋肉や舌骨の前方へ移動は水平線に平行な方向と定義し、上方向への移動は水平線に対して垂直な方向と定義した。

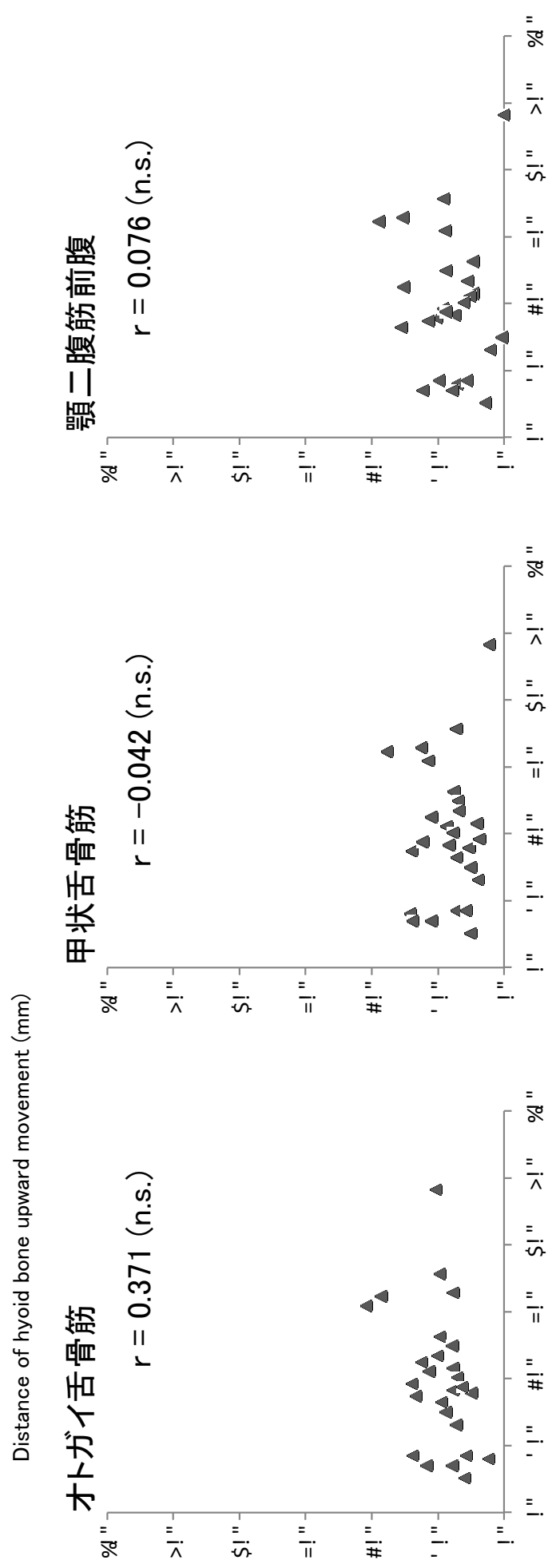
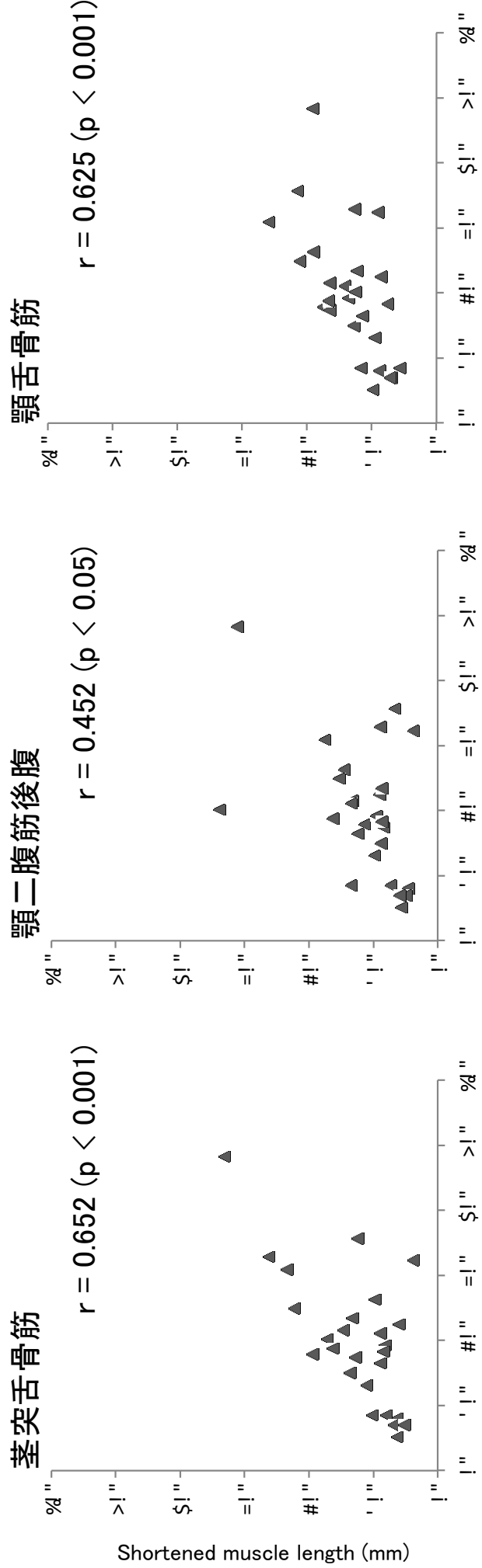


**第4図. A.** 6つの舌骨周囲筋の最大筋長と短縮長のプロットを示す。最大筋長と短縮長の筋肉の間に有意な相関は見られなかった。  
**B.** 6つの舌骨周囲筋の最大筋長と短縮率のプロットを示す。最大筋長と短縮率との間に有意な相関関係 ( $P < 0.01$ 、 $R = -0.380$ ) が認められた。

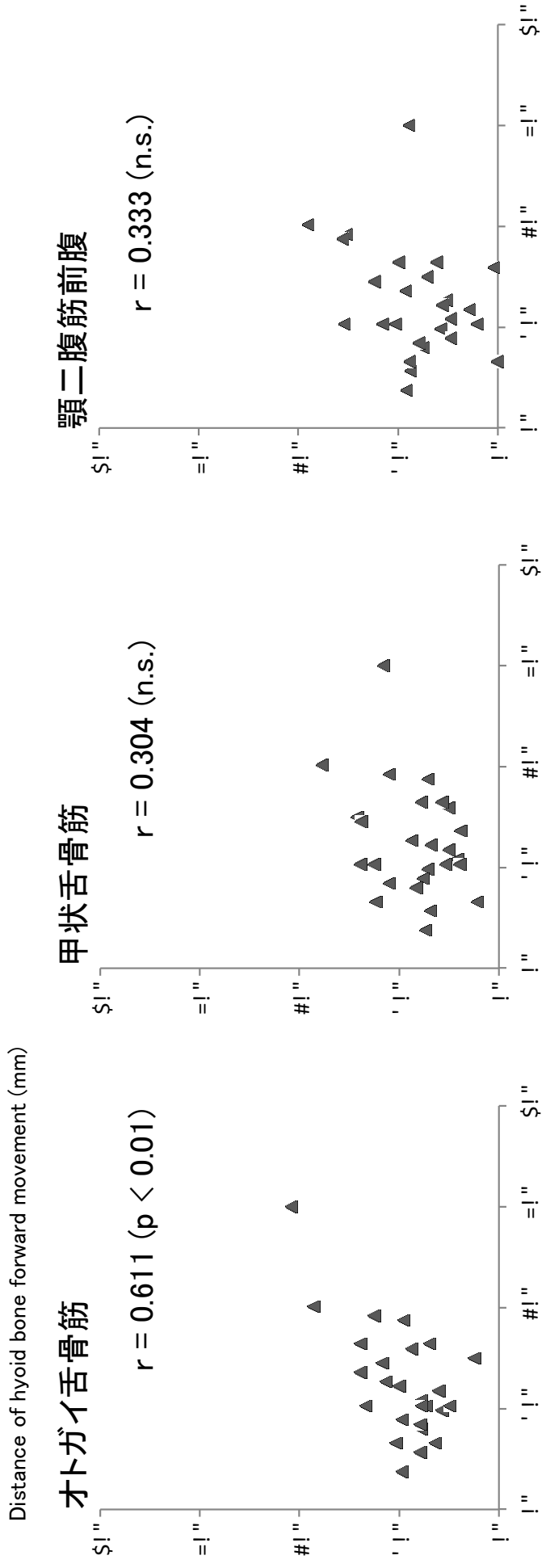
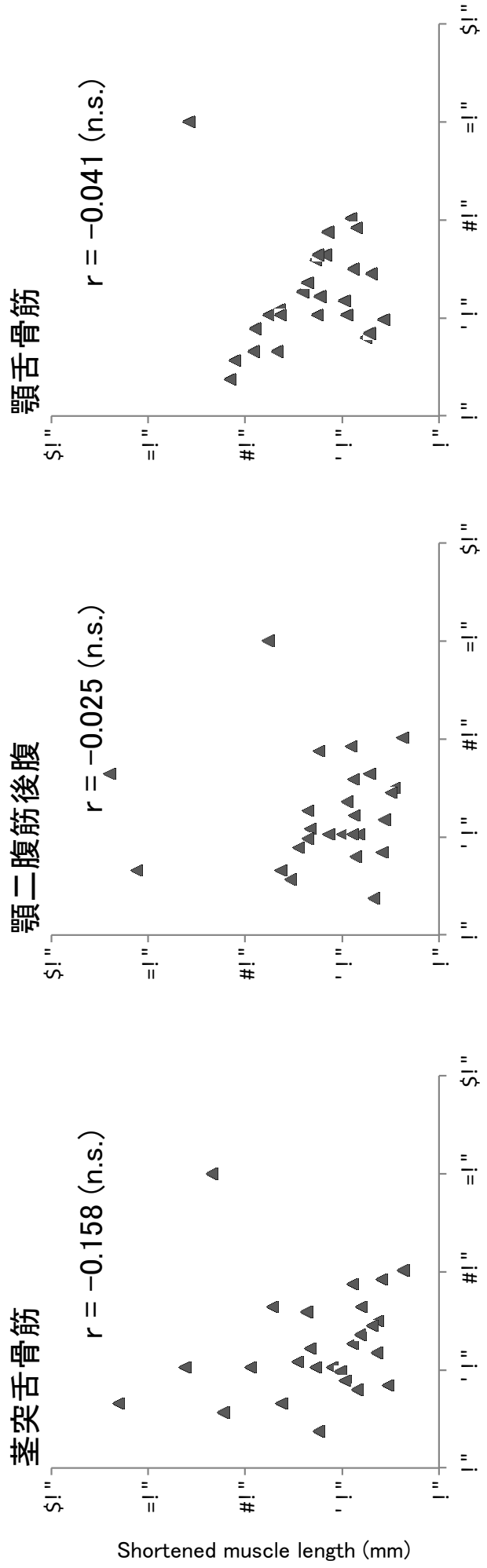




第5図. 舌骨の上方移動の開始を0.0秒とした時の0.1秒のフレームごとの筋長と舌骨の移動量の平均値を示している。矢印は筋の短縮率が95%未満であった箇所を示している。

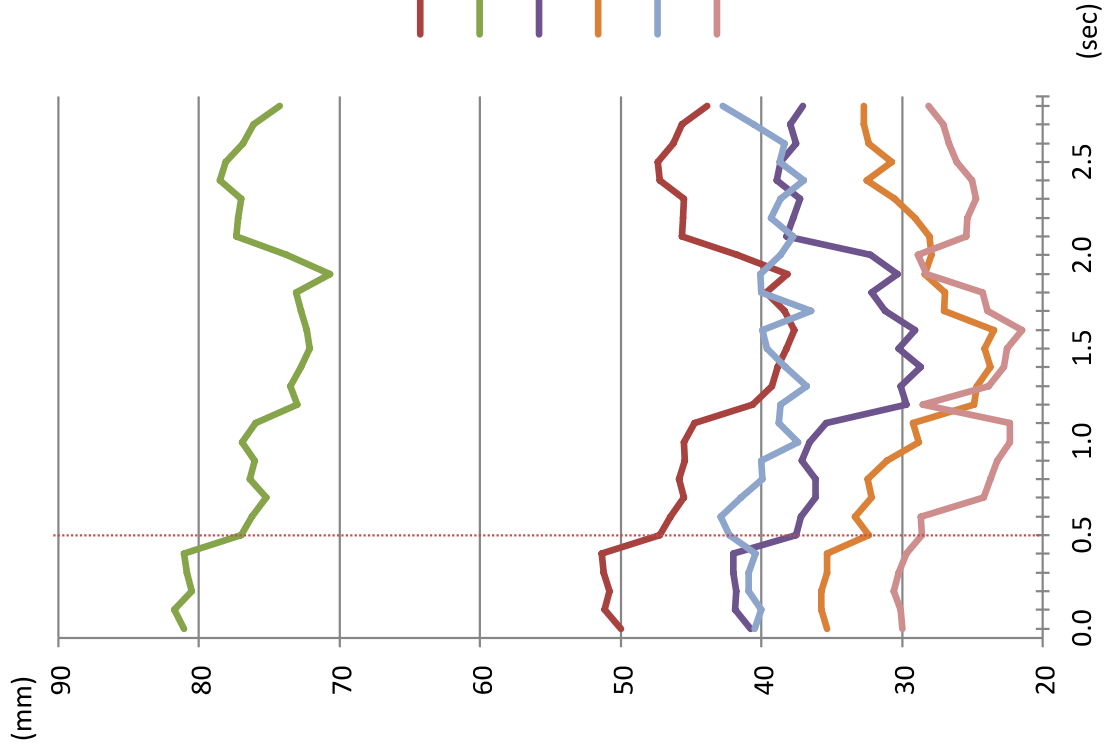


第6図. 6つの舌骨周囲筋の嚥下時の筋短縮長と舌骨の上方移動距離との相関を示す。

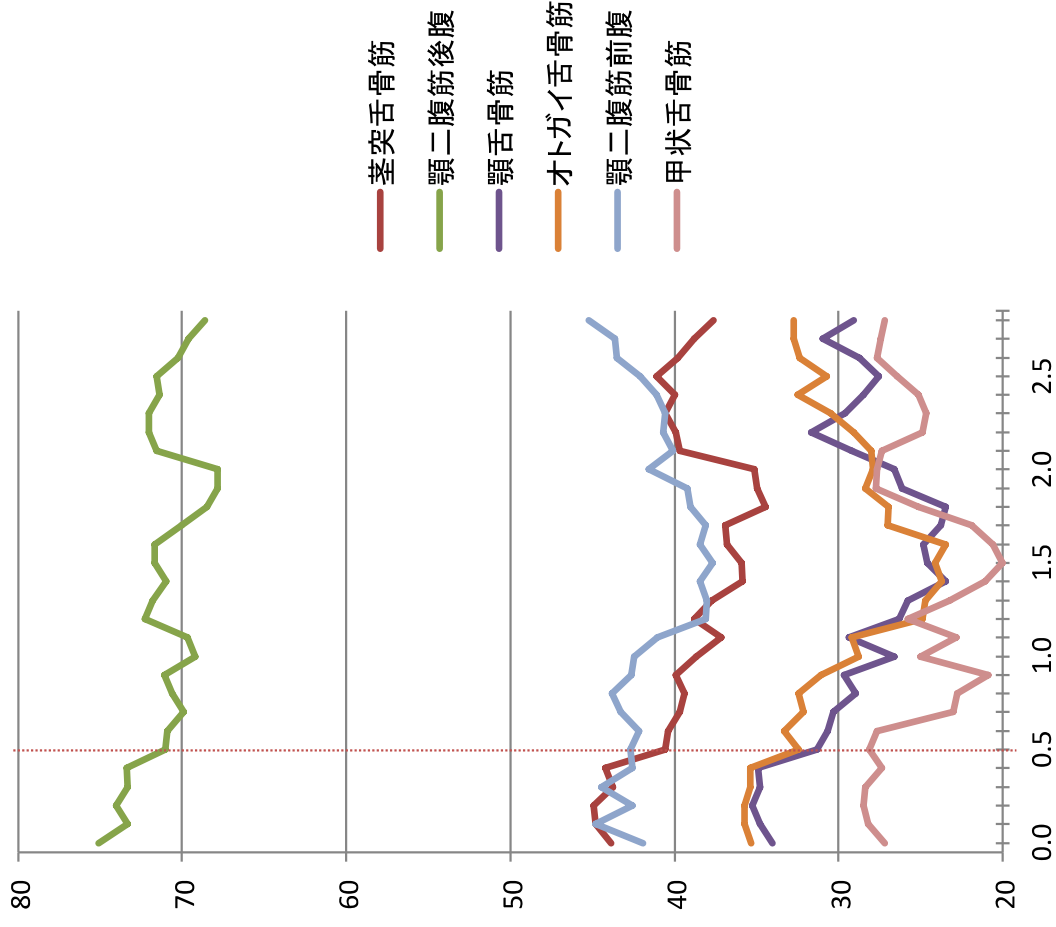


第7図. 6つの舌骨周囲筋の嚥下時の筋短縮長と舌骨の前方移動距離との相関を示す。

### 右側(健側)

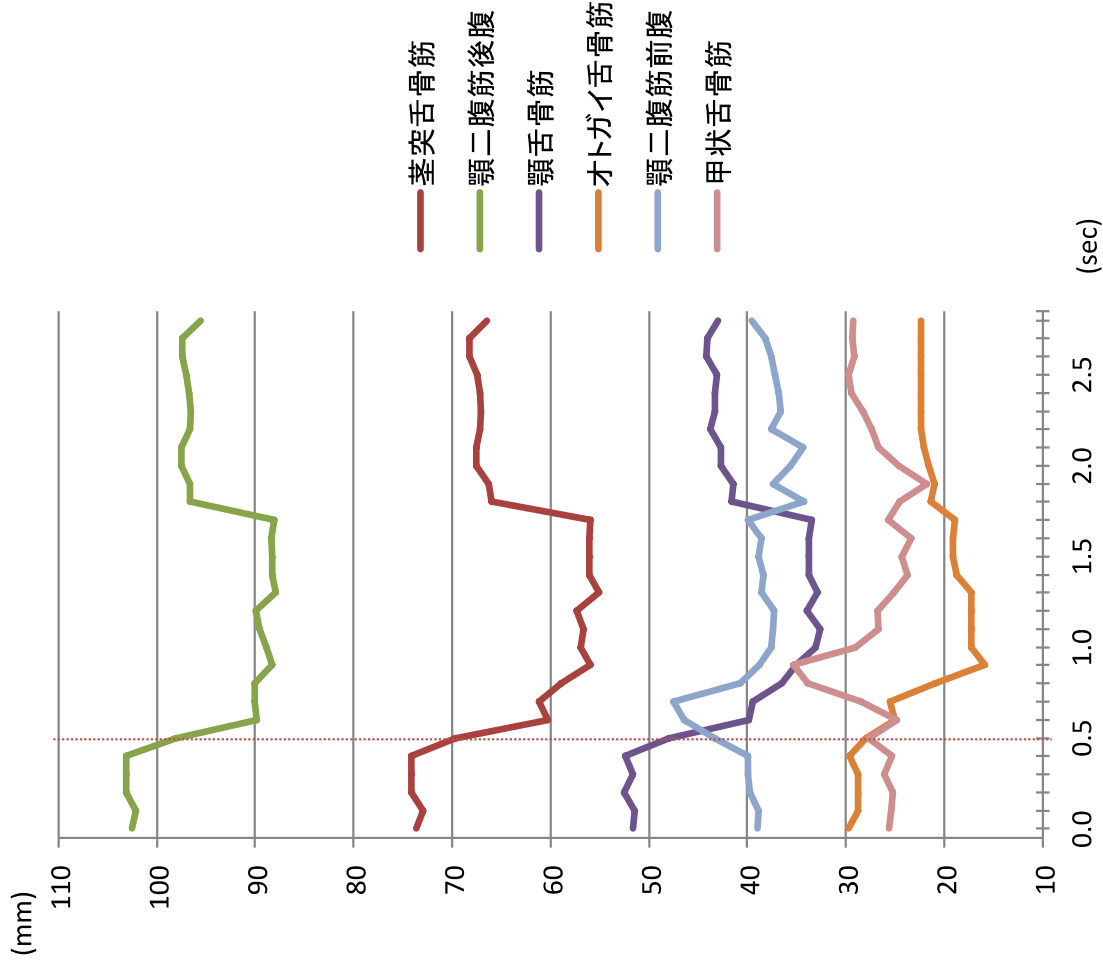


### 左側(病側)

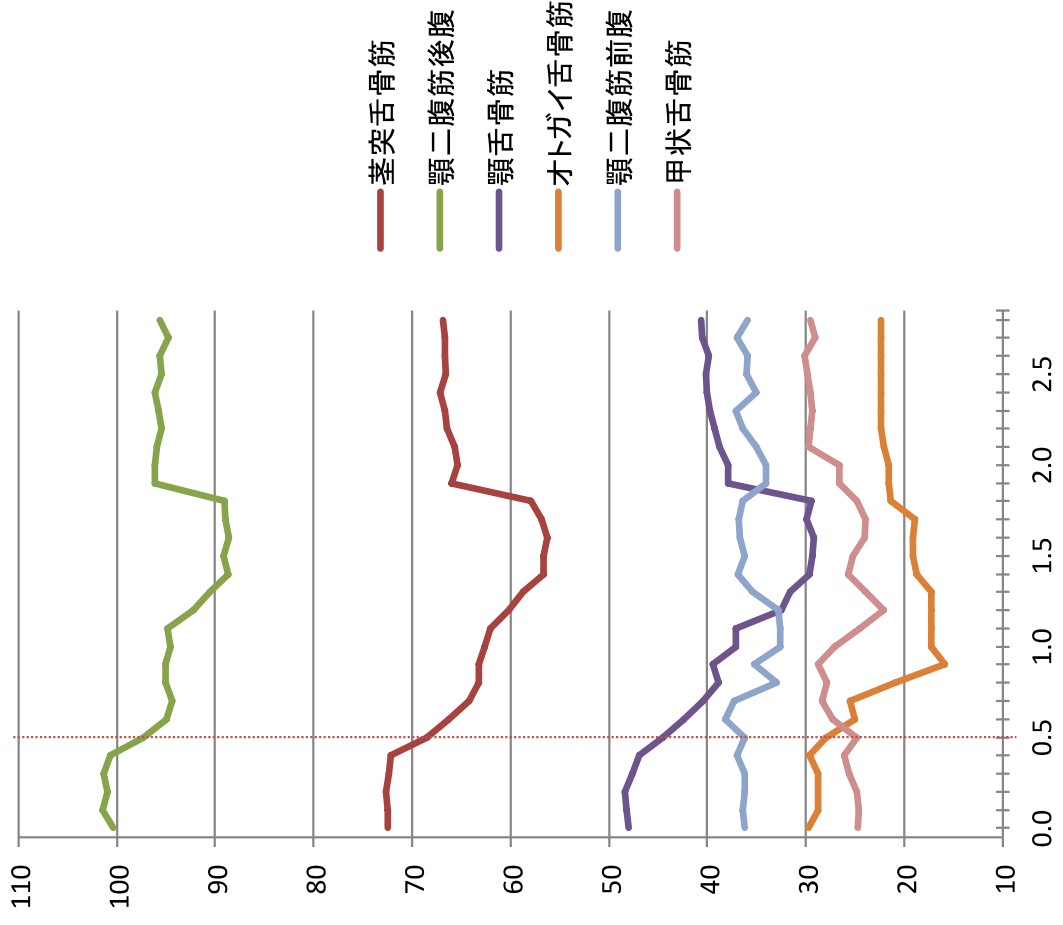


第8図A. 嚥下障害患者における筋長変化(赤破線は舌骨の上方移動開始地点)  
症例A (74歳女性、左側Wallenberg症候群、発症後46日目)

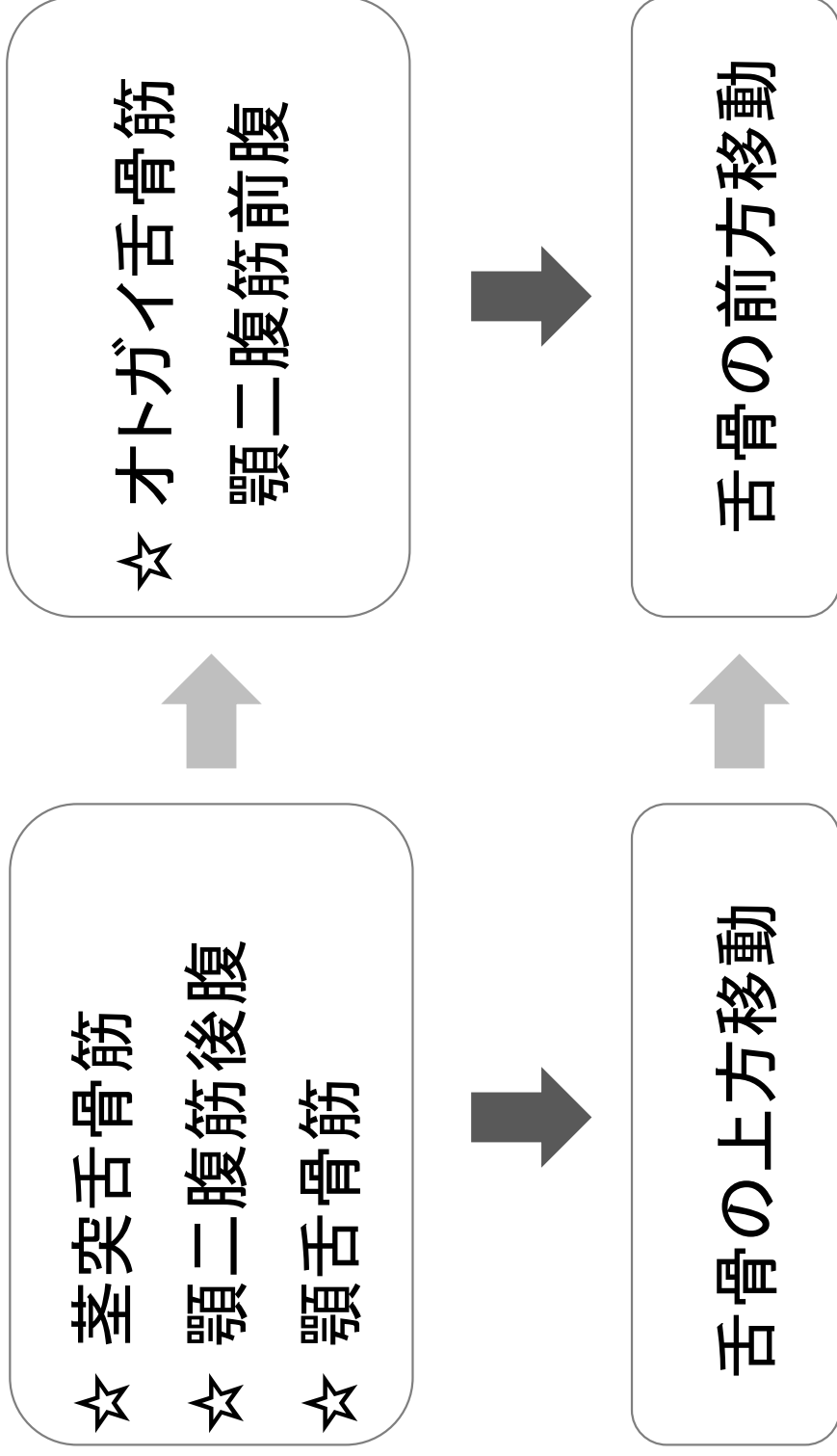
### 右側(健側)



### 左側(病側)



第8図B. 嚥下障害患者における筋長変化(赤破線は舌骨の上方移動開始地点)  
症例B (71歳男性、左側Wallenberg症候群、発症後184日目)



第9図. 舌骨周囲筋と舌骨の移動との関係。星で示したのは舌骨の各移動で重要となる筋肉

第1表. 本研究で定義した舌骨周囲筋群の始起および停止部

筋名	起始	停止
茎突舌骨筋	茎状突起の先端部	舌骨小角の先端部
顎二腹筋後腹	乳突突起の先端部	舌骨小角の先端部
顎舌骨筋	顎舌骨筋線の最後方部	舌骨上縁と下縁の中点
オトガイ舌骨筋	棘突起の先端部	舌骨体中央の最前部
甲状舌骨筋	舌骨小角部下縁と 舌骨大角先端との中点	甲状突起の先端部と 甲状軟骨下角先端との中点
顎二腹筋前腹	二腹筋窩の最下部	舌骨小角の先端部

第2表. 測定した嚥下関連筋の最大筋長、最小筋長、短縮長、短縮率、短縮率は以下の式で算出した。

$$\text{短縮率(\%)} = \frac{\text{最小筋長 (mm)}}{\text{最大筋長 (mm)}} \times 100$$

筋	最大筋長 (mm)	最小筋長 (mm)	短縮長 (mm)	短縮率 (%)
茎突舌骨筋	59.3 ± 12.3	46.6 ± 11.6	12.8 ± 7.2	21.3 ± 10.8
顎二腹筋後腹	85.2 ± 8.2	72.6 ± 9.4	11.7 ± 7.2	13.6 ± 8.1
顎舌骨筋	42.3 ± 11.3	29.0 ± 9.3	13.3 ± 5.2	31.6 ± 9.6
オトガイ舌骨筋	32.5 ± 5.5	22.8 ± 3.8	9.7 ± 4.1	29.2 ± 9.0
甲状舌骨筋	30.6 ± 7.4	22.1 ± 6.6	8.5 ± 3.8	28.1 ± 11.7
顎二腹筋前腹	44.7 ± 7.5	36.5 ± 6.5	8.2 ± 4.7	17.9 ± 9.4



第3表. 舌骨の上方移動の開始を0.0秒とした時の各筋が短縮を開始したタイムミングと舌骨の前方運動開始のタイムミングの平均と標準誤差を示す

	平均値 (秒)	標準誤差 (秒)
舌骨の上方移動開始	0	0
舌骨の前方移動開始	0.34	0.1
茎突舌骨筋	0.01	0.05
顎二腹筋後腹	0.03	0.06
顎舌骨筋	0.04	0.09
オトガイ舌骨筋	0.27	0.12
甲状舌骨筋	0.29	0.09
顎二腹筋前腹	0.39	0.18