

原 著

動的 MRI を用いた嚥下咽頭期における 中咽頭形態変化の解析

原 口 正 大¹⁾

¹⁾久留米大学医学部 耳鼻咽喉科・頭頸部外科学講座

要旨 [目的] 嚥下の咽頭期における咽頭収縮筋運動による咽頭周囲組織の受動運動を解明する。[対象と方法] 健常成人 30 名を対象とした。3.0 テスラ全身 MRI の T2 強調画像を使用し, 上下歯列と第二頸椎前縁下端を通る水平断面で嚥下運動を連続撮影した。安静時と咽頭最大収縮時の水平断画像を選択した。各画像における咽頭枠組みの面積から咽頭収縮率 (PCR) を算出し解析の指標とした。PCR に対する, ①年齢, ② Body mass index (BMI), ③肉眼的な口蓋扁桃の大きさ, ④安静時の口蓋扁桃の面積, ⑤嚥下による外頸動脈の移動距離, ⑥嚥下による副咽頭間隙の面積変化の相関関係を検討した。[結果] 年齢と PCR には弱い相関関係があるも有意差はなかった ($r = -0.21$, $r^2 = 0.045$, $p = 0.26$)。BMI ($r = -0.52$, $r^2 = 0.27$, $p < 0.05$) および口蓋扁桃の面積 ($r = -0.55$, $r^2 = 0.30$, $p < 0.05$) と PCR は中等度の負の相関関係にあり有意差があった。外頸動脈の移動距離 ($r = 0.45$, $r^2 = 0.21$, $p < 0.05$) および副咽頭間隙の面積変化 ($r = 0.54$, $r^2 = 0.29$, $p < 0.05$) と PCR は中等度の正の相関関係にあり有意差があった。[まとめ] 嚥下咽頭期には, 咽頭収縮運動に伴う受動運動として咽頭周囲組織は形態変化し咽頭方向へ移動した。BMI, 両側口蓋扁桃の面積, 外頸動脈移動距離および副咽頭間隙の面積変化は, 咽頭収縮に伴う中咽頭の形態変化に関与する因子であることが推察された。

キーワード: 嚥下咽頭期, 動的 MRI, 副咽頭間隙, 咽頭形態, 口蓋扁桃

I. はじめに

嚥下運動の咽頭期は嚥下反射によって誘発される不随意運動であり, 咽頭腔に入った食塊の後端が食道入口部を通過するまでをさす¹⁾。嚥下反射は, 咽喉頭粘膜の食塊刺激が求心性神経を経て延髄内で運動ニューロンから主に X, XII 脳神経の遠心性神経

を介して誘発される。末梢効果器である嚥下関与筋はこの反射運動を司っており, 舌根の後方運動による筋運動に加え, 咽頭収縮筋が上方から下方にかけて順次収縮運動を起こすいわゆる蠕動様運動を生じることによって, 嚥下時の咽頭内圧形成に重要な役割を果たしていると考えられている²⁾。また, 咽頭を構成する筋以外の組織の形態や物性は咽頭内圧形成に関与すると考えられるが, 解剖学的に複雑な構造をもつ咽頭の嚥下時形態変化に関しては不明な部分が多い。

咽頭の嚥下時形態変化に対する評価法の一つである嚥下造影は, 咽頭期における食塊輸送や咽頭壁の形態などを時間的変化として捉えることができ, こ

別刷請求: 〒830-0011 久留米市旭町 67 番地

久留米大学医学部 耳鼻咽喉科・頭頸部外科学講座

原口正大

受付日: 2015 年 5 月 10 日

採択日: 2015 年 9 月 2 日

れまでに嚥下関与筋の活動³⁾や、筋を支配する神経伝達機構の解明の一助となった⁴⁾。しかし、嚥下造影は、対象とする組織の放射線透過性の差を利用し、咽頭内腔と周囲組織を区別する2次元の評価であるため、他の消化管と同様に咽頭腔をひとつの管腔として捉えるには限界がある。つまり、咽頭期に生じる咽頭形態変化は、前壁、後壁、側壁、上壁などとして区別した壁運動として捉えられるため、咽頭管が中心に向かうとする収縮運動として捉えることは難しい。

嚥下の咽頭期において、咽頭収縮筋を取り巻く脂肪組織や血管で構成される副咽頭間隙あるいは口蓋扁桃などの咽頭周囲組織の形態変化と、咽頭収縮筋運動との相互作用を理解することが重要である。つまり、咽頭収縮筋の内側に位置する口蓋扁桃組織は、嚥下関与筋による咽頭収縮により内方へ圧迫され移動すると考えられる。また同時に、咽頭収縮筋の外側に位置する副咽頭間隙内の脂肪や血管などの軟部組織は、嚥下関与筋の収縮と弛緩によって何らかの形態変化が生じることが推察される。臨床的に経験する事例をあげると、両側の口蓋扁桃肥大に対して扁桃摘出術を施行した場合に術後の咽頭内腔は拡大するものの、最終的に術後嚥下障害を訴える症例はほとんどない。この場合、何らかの機能代償運動によりその嚥下動態に変化が生じているはずである。また、頭頸部腫瘍に対して、頸部外切開で外側咽頭後リンパ節領域の郭清術を行った場合には、術後に咽頭内圧形成不全による嚥下障害を生じることがある。術後組織の容量減少あるいは瘢痕形成が咽頭収縮筋の運動を阻害した可能性がある。これらの事例を検証するには、咽頭を構成する組織を区別し、嚥下の際に生じる形態変化を経時的に解析する必要がある。

そこで、近年著しい進歩を遂げている医用画像法の1つである核磁気共鳴画像法 (magnetic resonance imaging: MRI) の特徴に着目した。MRIは他の画像評価機器に比べ任意の方向での撮影が可能であり、コントラスト分解能が高いため咽頭を構成する筋と咽頭周囲組織を区別した描出が可能である。さらに、動的解析を行うのに必要な時間分解能を有するMRIの特徴を嚥下機能の解析へ応用できると考えられる。本研究では、嚥下の咽頭期における咽頭収縮筋運動による咽頭周囲組織の受動運動を解明することを目的に、動的MRIを用いた正常嚥

下動態の解析を行った。

II. 対象と方法

成人ボランティア30名を研究対象とした。全員が健常者であり、頭頸部の構造異常、消化管疾患、神経障害および嚥下障害がないことを確認した。性別の内訳は男性が15名、女性が15名で、年齢範囲は23歳～54歳の平均31歳である。身長は152～178cmの平均164cm、体重は43.0～80.0kgの平均59.2kg、およびBody mass index (BMI)は18.0～28.8 kg/m²の平均21.8 kg/m²である。本研究は久留米大学倫理委員会の承認を得て実施し、すべての研究参加者に対して研究の必要性を説明し同意を得た。

1. 画像取得

画像装置には、3.0テスラ全身MRI (Signa HDx; General Electric Healthcare) を使用した。撮影体位は仰臥位でヘッドフレームを使用し頭部を固定した。撮影法はグラディエントエコー法を用いた。設定は、リピート時間3.1 ms、エコー時間1.0 ms、スライス厚4.5 mm、フリップアングル45°である。

上下歯列と第二頸椎前縁下端を通る水平断面をT2強調画像で連続撮影した。撮影時間の20秒間に2回以上の空嚥下の繰り返しを指示し、50枚の連続画像を取得した (時間分解能2.5画像/秒)。

2. 動的MRIによる特徴的所見の評価

取得した連続画像の嚥下回数を測定し、画像のアーチファクトを含め口蓋扁桃、副咽頭間隙や咽頭収縮筋などの咽頭周囲組織の位置や形態の変化といった動的画像における嚥下時の特徴的所見について評価した。

3. 画像解析

参加者1名に対して50枚取得した連続画像はすべてJPEGイメージに変換して保存した。保存した画像をwindows 7コンピュータにイメージデータとして取り込み、連続画像の中から1回の嚥下における安静時と咽頭最大収縮時の2枚の水平断画像を選択した (Fig. 1)。画像解析ソフトImage J (NIH, U.S.) を使用し、マウス操作によってまず両側の翼突下顎縫線を直線で結び、咽頭収縮筋の外側縁に沿って咽頭形態をトレースした (Fig. 2)。この部分は咽頭形態を表す枠組み (pharyngeal frame) として定義し、トレースした線で囲まれた面積 (area

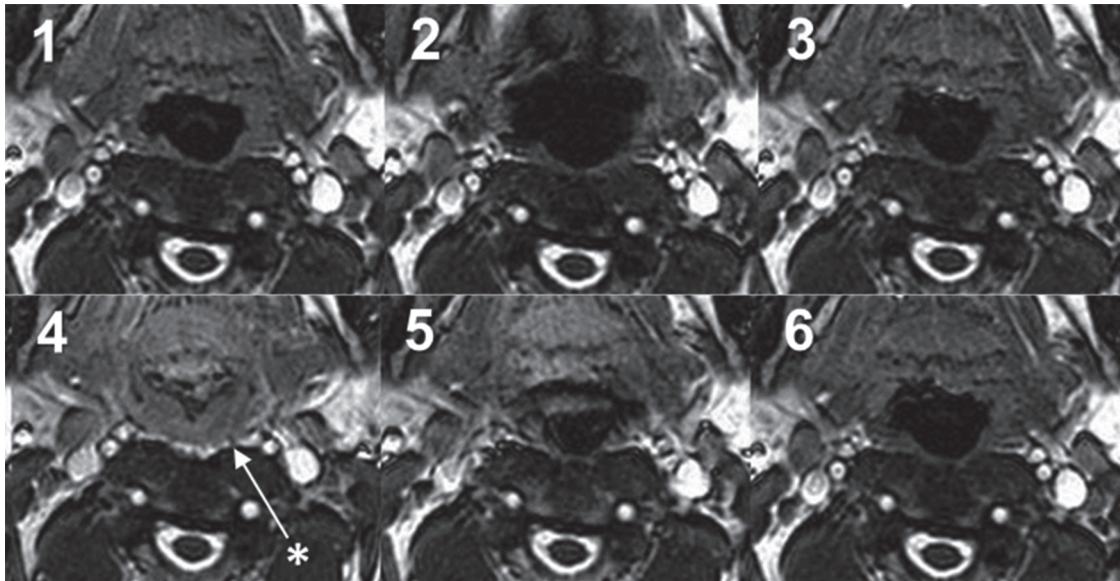


Fig. 1 Time series of six successive axial images of a swallow taken by a healthy volunteer, illustrating the dynamics of the tongue base and pharyngeal movements. Image at rest (1). Image at maximum pharyngeal contraction (4). White asterisk: Dilation of the retropharyngeal vein during pharyngeal contraction.

of pharyngeal frame : APF) を計測した。安静時の APF を (A), 咽頭最大収縮時の APF を (B) とし, $100 \times [(A) - (B)] / (A)$ から算出した値を咽頭収縮率 (pharyngeal contraction rate : PCR) と呼称し解析の指標とした。

4. 検討項目

①年齢 (age), ②Body mass index (kg/m²), ③肉眼的所見による口蓋扁桃の大きさ (Mackenzie 分類: 扁桃肥大 I 度, II 度, III 度), ④安静時の口蓋扁桃の面積 (mm²), ⑤嚥下による外頸動脈の移動距離 (mm), ⑥嚥下による副咽頭間隙の面積変化 (mm²) の 6 項目を解析し, それぞれ PCR に対しての相関関係を検討した。

上記①から⑥の各パラメータ計測においても同様に画像解析ソフト Image J を使用した。④と⑥の面積はそれぞれ, 安静時の口蓋扁桃の外枠をトレース (Fig. 2), 安静時と咽頭最大収縮時の副咽頭間隙の外枠をトレースすることにより計測した (Fig. 3)。⑥の副咽頭間隙の面積変化は, 咽頭最大収縮時の面積から安静時の面積を引いた値を用いた。⑤では, 外頸動脈の外枠をトレースし, 安静時と咽頭最大収縮時におけるそれぞれの枠線の重点の位置を計測した上で, 重点間距離を算出した (Fig. 3)。上記④から⑥の計測値においては, 左右から得られる計測結果の平均値を用いた。また, すべての計測は 2 人の評価者がそれぞれ 3 回行い, その計測値の平

均を解析に使用した。各パラメータの計測値の相関関係の検討には, 統計ソフト StatMate III for Windows (ATMS, Tokyo, Japan) を用い, 算出した相関係数 r と決定係数 r^2 の強さの検定は Evans⁵⁾ の方法を用いた。また, 相関関係の有意性の検定は, Paired t 検定を用い $p < 0.05$ を有意差ありとした。

III. 結 果

被験者 30 名においてすべての検討項目を解析しえた。取得した 20 秒間 50 枚の連続画像に含まれる嚥下回数は 3~7 回 (平均 5 回) であった。舌根後方運動によるアーチファクトが強く生じた嚥下画像は削除し, アーチファクトの少ない 1 回の嚥下画像を選択し連続画像として解析した。咽頭収縮筋は翼突下顎縫線と左右筋の正中縫線が起点となって, 側壁, 前壁などでは区別できない咽頭腔の中心に向かう全体的な収縮運動を生じた。筋と脂肪織の境界は明瞭で, 咽頭収縮筋外側輪郭は嚥下運動時にも確認でき, 咽頭周囲組織の輪郭をトレースすることが可能であった。動的 MRI の特徴的所見については, 全例で, 副咽頭間隙および外頸動脈の咽頭方向への移動が確認されると同時に, 安静時に確認し難かった後咽頭間隙が嚥下時に容易に確認できるようになり後咽頭静脈の拡張所見が認められた (Fig. 1)。

PCR の最小値は 10.3%, 最大値は 34.0% で, その平均は 20.6% であった。年齢と PCR の関係で

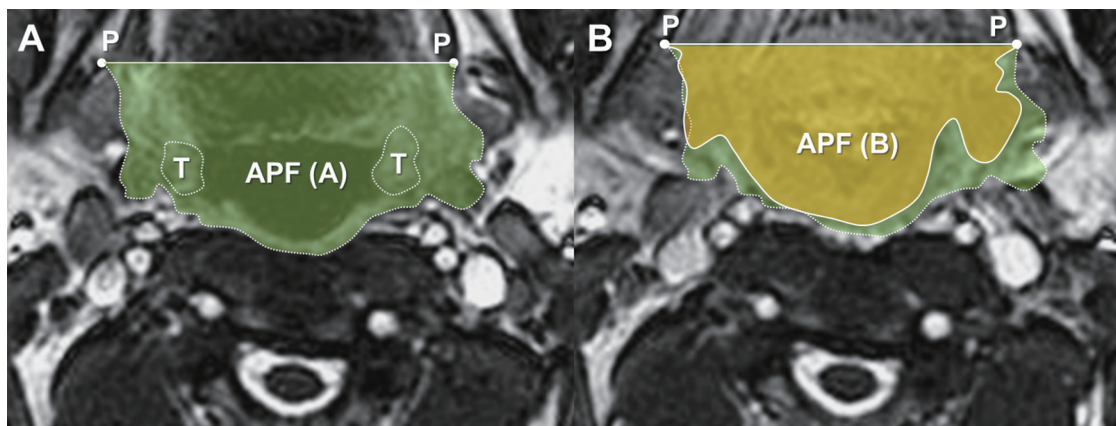


Fig. 2 Schematic views of morphologic changes of the APF at the oropharynx level. A : Image at rest. B : Image at maximum pharyngeal contraction. APF : area of pharyngeal frame. APF (A) : green colored area. APF (B) : yellow colored area. T : tonsillar gland.

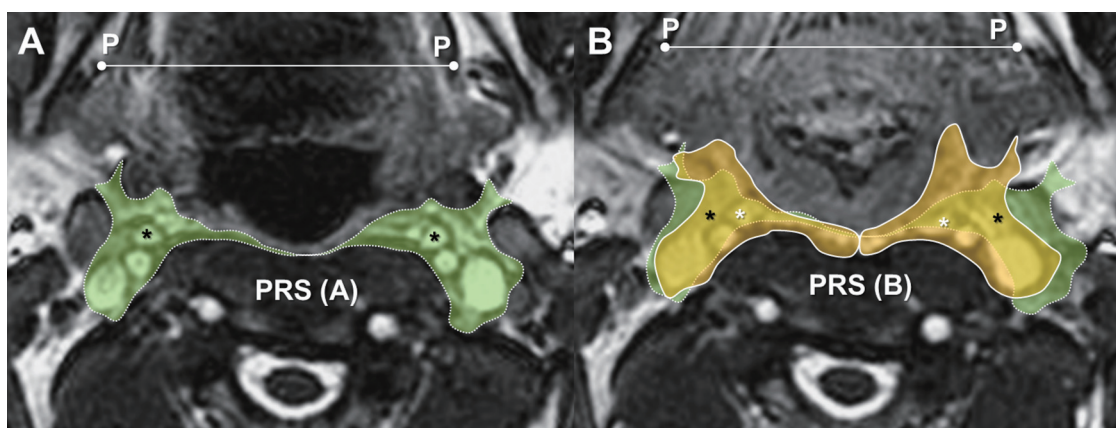


Fig. 3 Schematic views of morphologic changes of the PRS at the oropharynx level. A : Image at rest. B : Image at maximum pharyngeal contraction. PRS : para- and retropharyngeal space. PRS (A) : green colored area. PRS (B) : yellow colored area. Black asterisk: center of the external carotid artery at rest. White asterisk: center of the external carotid artery at maximum pharyngeal contraction.

は、年齢が高いほど PCR が小さい傾向にあった。しかし両者は弱い相関関係にあるも有意差はなかった ($r = -0.21$, $r^2 = 0.045$, $p = 0.26$) (Fig. 4)。BMI と PCR の関係では、BMI が大きいほど PCR が小さい、中等度の負の相関関係にあり有意差があった。 ($r = -0.52$, $r^2 = 0.27$, $p < 0.05$) (Fig. 5)。口蓋扁桃の大きさは、Mackenzie 分類 I 度が 11 名、II 度が 18 名、III 度が 1 名であった。I 度における PCR は最小値 19.8%、最大値 34.0% で、平均は 25.0% であった。II 度における PCR は最小値 11.1%、最大値 27.0% で、平均は 18.6% であった。III 度における PCR は 10.2% であった。口蓋扁桃の大きさと PCR の関係では、口蓋扁桃が大きいほど PCR が低い傾向にあった (Fig. 6)。安静時の口

蓋扁桃の面積は最小値 58.5 mm^2 、最大値 584 mm^2 で、平均が 303 mm^2 であった。安静時の口蓋扁桃の面積と PCR の関係では、口蓋扁桃の面積が大きいほど PCR が小さく、中等度の負の相関関係にあり有意差があった ($r = -0.55$, $r^2 = 0.30$, $p < 0.05$) (Fig. 7)。嚥下による外頸動脈の移動距離の最小値は 2.05 mm、最大値は 12.1 mm で、平均が 5.30 mm であった。嚥下による外頸動脈の移動距離と PCR の関係では、外頸動脈の移動距離が大きいほど PCR が大きい、中等度の正の相関関係にあり有意差があった ($r = 0.45$, $r^2 = 0.21$, $p < 0.05$) (Fig. 8)。嚥下による副咽頭間隙の面積変化は 27.9 mm^2 から 195 mm^2 で、平均が 88.2 mm^2 であった。嚥下による副咽頭間隙の面積変化と PCR の関係では、

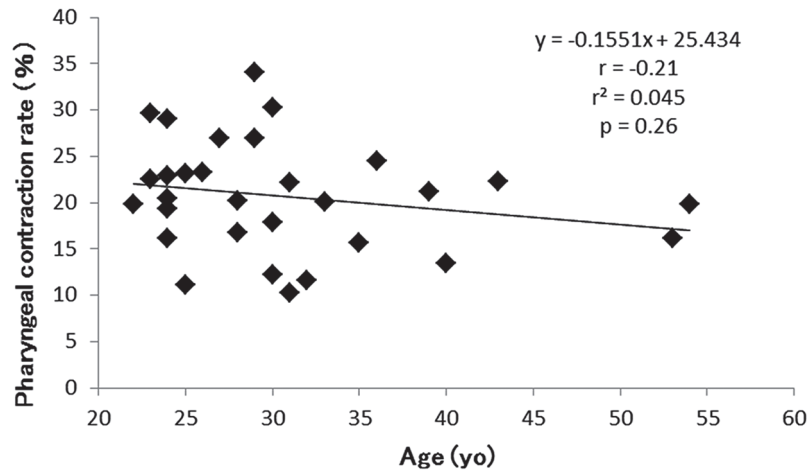


Fig. 4 Correlation between age and pharyngeal contraction rate. r : correlation coefficient. r^2 : coefficient of determination. p : p -value.

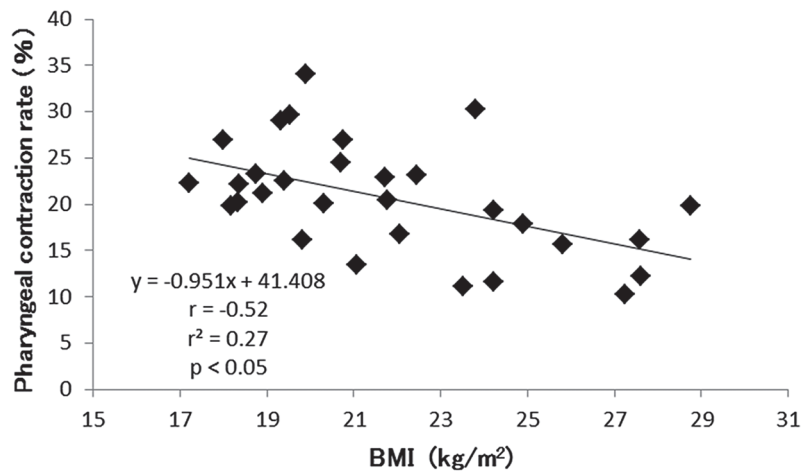


Fig. 5 Correlation between BMI and pharyngeal contraction rate. r : correlation coefficient. r^2 : coefficient of determination. BMI : body mass index. p : p -value.

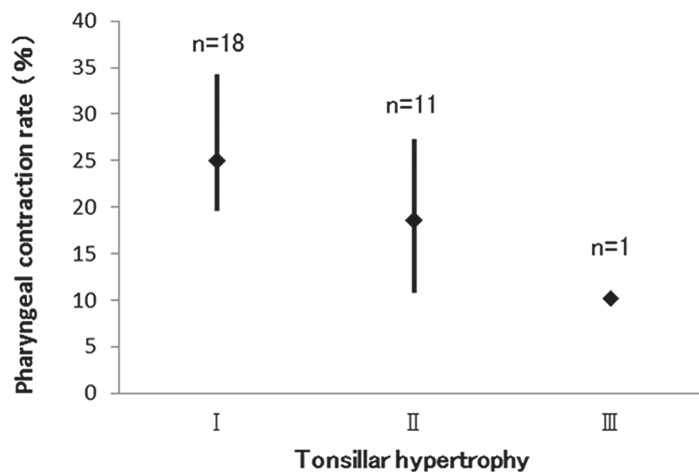


Fig. 6 Relationship between tonsillar hypertrophy (grade I, II, III of Mackenzie classification) and pharyngeal contraction rate.

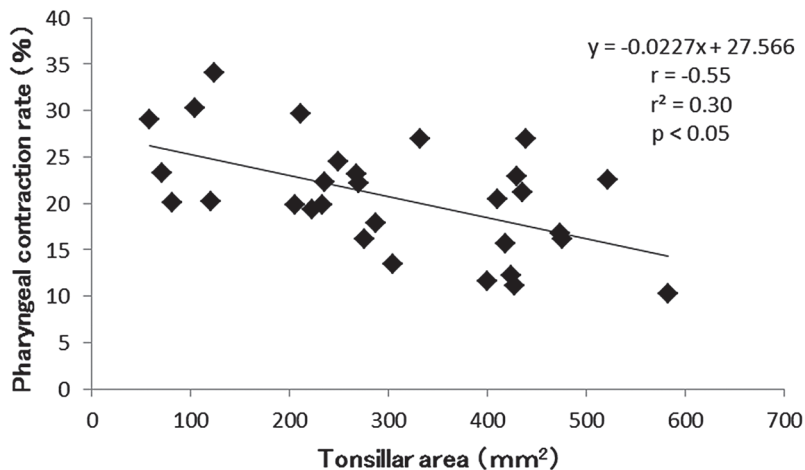


Fig. 7 Correlation between tonsillar area and pharyngeal contraction rate. r : correlation coefficient. r^2 : coefficient of determination. p : p -value.

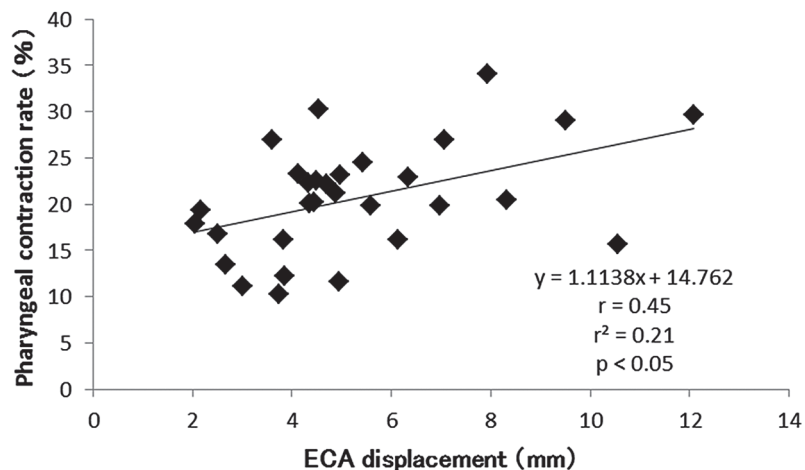


Fig. 8 Correlation between displacement of the bilateral external carotid arteries and pharyngeal contraction rate. ECA : external carotid artery. r : correlation coefficient. r^2 : coefficient of determination. p : p -value.

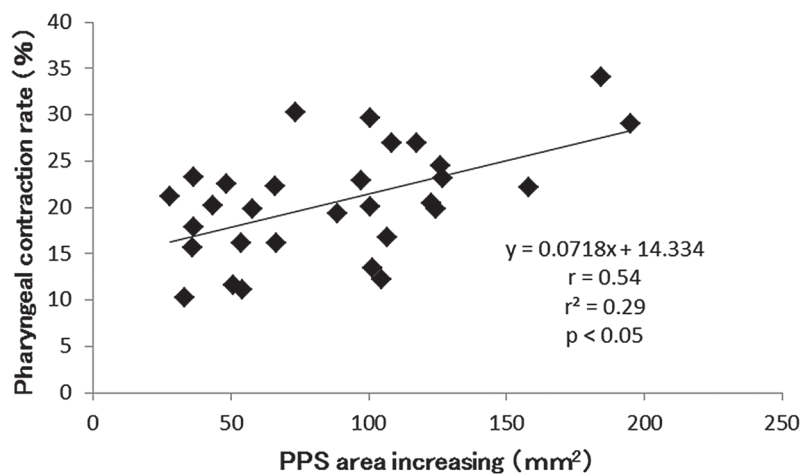


Fig. 9 Correlation between the increase in parapharyngeal area and pharyngeal contraction rate. PPS : parapharyngeal space. r : correlation coefficient. r^2 : coefficient of determination. p : p -value.

副咽頭間隙の面積変化が大きいほどPCRが大きい, 中等度の正の相関関係にあり有意差があった ($r=0.54$, $r^2=0.29$, $p<0.05$) (Fig. 9)。

IV. 考 察

嚥下咽頭期における咽頭周囲組織の形態変化に着目し, 咽頭収縮筋運動による咽頭周囲組織の受動運動を解析した。BMI, 両側口蓋扁桃の面積, 血管移動距離および両側副咽頭間隙の面積変化は咽頭収縮率と相関関係にあり, これらは嚥下咽頭期における咽頭収縮に伴う中咽頭の形態変化に関与する因子であることが推察された。つまり, 咽頭周囲組織の形態変化は咽頭筋運動による受動的な変化ではあるが, その組織量や物性の変化が筋収縮運動自体を変化させ, それに伴う咽頭形態変化にも影響する可能性が示唆される。

本研究において, 嚥下開始と嚥下途中の咽頭収縮運動の面積計測における基準点とした翼突下顎縫線は, 蝶形骨の翼突鉤と下顎骨の頬筋後後端を結ぶ靭帯様の結合組織であり, その前縁に頬筋, 後縁に上咽頭収縮筋が付着し, これら2つの筋にとっての anchor として作用し各々の筋の独立した運動を可能にしている⁶⁾。MRI 撮影時に頭蓋骨は固定されており, 翼突下顎縫線は咽頭収縮運動による位置変化の影響を受けにくいとため, 本研究での咽頭枠組みの面積計測の左右基準点として良い指標となった。

口蓋扁桃はリンパ組織として胎生期～小児期の気道感染防御の役割があり, 幼小児期に年齢とともに増大し, 青壮年期以降で退縮していくリンパ組織であり, 解剖学的に咽頭枠組みの内側に位置する⁷⁾。口蓋扁桃が最も肥大する幼小児期に口蓋扁桃摘出術を施行することがあるが, 摘出によって機能障害を生じることはほとんどない。本検討結果では口蓋扁桃が大きいほど咽頭収縮率は低下していた。つまり, 嚥下時の咽頭収縮運動において, 口蓋扁桃の容量自体が咽頭圧を形成する際に補助的な役割を担うものと考えられる。逆に, 加齢により口蓋扁桃が退縮することは嚥下機能に影響する一因になることが示唆される。また口蓋扁桃摘出後にはその欠損を補う形で咽頭収縮運動が増大する, いわゆる機能代償運動が働くことが予想される。本研究でのMRI評価法を実際に頭頸部腫瘍に対する手術例などに応用することにより, 切除後残存組織の機能代償運動⁸⁾の解明の一助になることが期待される。

副咽頭間隙は咽頭収縮筋の外側に位置し, 三叉神経第三枝, 顎動脈, 上行咽頭動脈の分枝, 咽頭静脈叢, 頸動静脈や交感神経幹が脂肪組織を主体に軟部組織として存在している。その臨床的意義は炎症の進展路とリンパ節転移個所とのみ理解されてきた⁹⁾。これらの比較的軟らかい組織は, 嚥下咽頭期の運動とどのように関与しているかは, これまで不明であった。本研究結果では, 咽頭収縮運動により副咽頭間隙は面積を増加させ形態変化しつつ咽頭方向へ移動していた。また, 副咽頭間隙内に存在する外頸動脈も咽頭方向へ移動をしていた。これらは, 咽頭収縮に伴う受動運動であるため, 逆に外頸動脈を含んだ副咽頭間隙の形態変化は, 咽頭収縮運動を円滑にする役割があるものと推察できる。さらに, この受動運動の際に, 副咽頭間隙内は陰圧に変化しているものと考えられる。咽頭収縮時に全例で確認しえた後咽頭間隙内の後咽頭静脈の拡張所見は, 副咽頭間隙内の陰圧変化を裏付けている。

本研究に用いた3.0テスラMRIによる動的撮影にはいくつかの限界がある。第一に, 嚥下運動を解析する評価を仰臥位で行っていることがあげられる。Castellらは仰臥位と座位では協調的な嚥下運動に大きな変化が生じると述べている¹⁰⁾。また, 嚥下障害患者に仰臥位で撮影を行うことは誤嚥の危険性があり不適切であるとした報告もある¹¹⁾。これに対し, Hondaらは0.5テスラMRIシステムを用い, 座位で造影剤の経口摂取にて嚥下機能評価を行っている¹²⁾。しかし, 咽頭収縮と咽頭周囲の形態変化を解析する本検討では食塊の嚥下動態を直接的に評価するものではないので, 座位で行う必要性は少ないものと考えられる。第二に, 時間分解能2.5画像/秒は1つの嚥下運動を解析するには十分でないかもしれない。Fujiiらは, 嚥下造影を用い正常嚥下における咽頭後壁と舌根部の接触時間は0.289秒(標準偏差=0.089)と報告した¹³⁾。つまり, 本検討での時間分解能であれば, 咽頭後壁と舌根部が接触している画像1枚程度を撮影できることになる。本MRI機器を用いて, 時間分解能を高くすることは可能であるものの, 咽頭および周囲臓器を詳細に解析するには現状では限界と考えられる。第三に, 上下歯列と第二頸椎前縁下端を通る水平断面だけでは, 十分な機能評価ができないかもしれない。しかし, 副咽頭間隙は頭蓋底を底面とした逆円錐形であり, その尖端は舌骨付近に終わるため, 下咽頭～頸

部食道付近の検討はできない。さらに、咽頭の他の部位であっても、軟口蓋や喉頭の運動によって生じるアーチファクトを考慮すると、本検討で使用した咽頭レベルでの水平断面の解析は妥当な部位であったものと考えられる。

嚥下機能の評価法として動的 MRI を利用した海外の報告は、すべて連続した矢状断画像における嚥下運動や口腔形態変化の解析である^{11, 14-18)}。Hartlらは、舌癌再建術後患者の正中での矢状断画像を用い、口腔から咽頭への食塊の輸送や咽頭壁の蠕動様運動などの嚥下機能を解析した^{17, 18)}。しかし、嚥下運動に対する矢状断画像は嚥下造影の側面像に比べて情報量が多いと言えない。一方、Ikedaらは、動的 MRI の矢状断画像を用いて閉塞性睡眠時無呼吸症候群患者と健常成人の覚醒時と睡眠時の上気道の形態変化を評価し、上気道の形態変化の評価法として利用できると述べている¹⁹⁾。本研究では、嚥下の咽頭期における咽頭の形態変化に対する新たな評価法として、水平断の連続撮影における動的 MRI の利用を考案した²⁰⁾。特に、頭頸部疾患における術後嚥下評価を行う上で、本研究での嚥下時の筋運動を含めた咽頭周囲組織の形態変化の直接的な評価は臨床的意義があるものと考えられる。今後のさらなる MRI 機器の進化によって、術後嚥下機能の更なる解明に繋がることが期待される。

V. まとめ

1. 嚥下咽頭期における咽頭周囲組織の形態変化に着目し、動的 MRI を用いて咽頭収縮筋運動による咽頭周囲組織の受動運動を解析した。
2. 嚥下咽頭期には、咽頭周囲組織は咽頭収縮によって咽頭方向へ形態変化し移動した。
3. BMI, 両側口蓋扁桃の面積, 外頸動脈移動距離および副咽頭間隙の面積変化は咽頭収縮率と相関関係にあり、咽頭収縮に伴う中咽頭の形態変化に関与する因子であることが推察された。

稿を終わるに臨み、研究の機会をいただき、終始懇切なご指導を賜りました久留米大学耳鼻咽喉科・頭頸部外科学講座の中島 格名誉教授ならびに梅野博仁教授に深甚なる謝意を捧げます。さらに本研究の遂行に際し、多大なるご指導ならびにご高閲を賜りました同講座の千年俊一准教授に心から厚く御礼申し上げます。また、ご協力いただきました同講座の教室員の皆様に深く感謝いたします。

なお本論文の要旨の一部は第 11 回日本台湾耳鼻咽喉科・頭頸部外科学会議 (2011 年 12 月神戸), 第 8 回国際頭頸部癌学会議 (2012 年 7 月トロント) ならびに第 64 回日本気管食道科学会 (2012 年 11 月東京) において講演した。

本論文に関連し、開示すべき利益相反関係にある企業などはありません。

文 献

- 1) 丘村 熙: 嚥下の解剖と生理—咽頭期—。丘村熙編, 嚥下のしくみと臨床, pp.17-20, 金原出版, 東京, 1993.
- 2) Palmer JB, Tanaka E, Ensrud E, et al: Motion of the posterior pharyngeal wall in human swallowing: a quantitative videofluorographic study. Arch Phys Med Rehabil 81: 1520-1526, 2000.
- 3) 吉田哲二: 正常嚥下に関する筋電図的ならびに X 線的研究. 耳鼻 25: 824-872, 1979.
- 4) 吉田義一, 矢武克之, 福永博之・他: 嚥下咽頭期に関わる咽頭筋—支配運動ニューロンと筋線維タイプ—. 口咽科 12: 1-11, 2000.
- 5) Evans JD: Straightforward statistics for the behavioral sciences, Brooks/Cole, Pacific Grove, 1996.
- 6) Shimada K, Gasser RF: Morphology of the pterygomandibular raphe in human fetuses and adults. Anat Rec 224: 117-122, 1989.
- 7) 川内秀之: ヒト免疫防御機構の発達におけるアデノイド, 口蓋扁桃の役割. JOHNS 20: 679-685, 2004.
- 8) 千年俊一, 濱川幸世, 前田明輝・他: 中咽頭癌切除再建術後の機能代償に関する研究. 日気食会報 61: 1-7, 2010.
- 9) 山下敏夫: 口腔咽頭の臨床 5) 周辺領域, pp.10-11, 医学書院, 東京, 2009.
- 10) Castell JA, Dalton CB, Castell DO: Effects of body position and bolus consistency on the manometric parameters and coordination of the upper esophageal sphincter and pharynx. Dysphagia 5: 179-186, 1990.
- 11) Suto Y, Kanba M, Kato T: Technical note: dynamic analysis of the pharynx during swallowing using Turbo-FLASH magnetic resonance imaging combined with an oral positive contrast agent—a preliminary study. Br J Radiol 68: 1099-1102, 1998.
- 12) Honda Y, Hata N: Dynamic imaging of swallowing in a seated position using open-configuration MRI. JMRI 26: 172-176, 2007.
- 13) Fujiu M, Logemann JA: Effect of a tongue hold-

- ing maneuver on posterior pharyngeal wall movement during deglutition. *Am J Speech-Lang Pathol* 5 : 23-30, 1996.
- 14) Breyer T, Echternach M, Arndt S, et al : Dynamic magnetic resonance imaging of swallowing and laryngeal motion using parallel imaging at 3T. *MRI* 27 : 48-54, 2009.
 - 15) Foucart JM, Carpentier P, Pajoni D, et al : Kinetic magnetic resonance imaging analysis of swallowing: a new approach to pharyngeal function. *Surg Radiol Anat* 20 : 53-55, 1998.
 - 16) Barkhausen J, Goyen M, von Winterfeld F, et al : Visualization of swallowing using real-time true FISP MR fluoroscopy. *Eur Radiol* 12 : 129-133, 2002.
 - 17) Hartl DM, Kolb F, Bretagne E, et al : Cine magnetic resonance imaging with single-shot fast spin echo for evaluation of dysphasia and aspiration. *Dysphasia* 21 : 156-162, 2006.
 - 18) Hartl DM, Kolb F, Bretagne E, et al : Cine-MRI swallowing evaluation after tongue reconstruction. *Eur J Radiol* 73 : 108-113, 2010.
 - 19) Ikeda K, Ogura M, Oshima T, et al : Quantitative assessment of the pharyngeal airway by dynamic magnetic resonance imaging in obstructive sleep apnea syndrome. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 110 : 183-189, 2001.
 - 20) Chitose S, Haraguchi M, Nagata S, et al : Analysis of passive motion of para- and retropharyngeal structures during swallowing using dynamic magnetic resonance imaging. *Dysphasia* 29 : 387-395, 2014.

J. Jpn. Bronchoesophagol. Soc., 66 : 391-399, 2015

Evaluation of Passive Motion around Pharyngeal Structures during Pharyngeal Swallowing Using Dynamic Magnetic Resonance Imaging

Masahiro Haraguchi, M.D.¹⁾

¹⁾*Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Kurume University School of Medicine, Fukuoka*

The aim of this study was to analyze passive motion around pharyngeal structures using dynamic magnetic resonance imaging (MRI). We conducted a preliminary study involving 30 healthy volunteers who underwent dynamic MRI. Consecutive MRI axial images were obtained by examining the plane parallel to the hard palate at the level of the anterior inferior corner of C2. The area differences in pharyngeal frame during pharyngeal swallowing were measured as a motion index of pharyngeal contraction rate (PCR). Age, body mass index (BMI), tonsillar area (TA), displacement of the bilateral external carotid arteries (ECA) as well as increase in parapharyngeal area were calculated at rest and at maximum pharyngeal contraction. In most participants, the bilateral ECAs were anterointernally displaced by pharyngeal contraction. A weak negative correlation was found between age and PCR ($r = -0.21$, $r^2 = 0.045$, $p = 0.26$), with no significant difference. There were moderate negative correlations between BMI and PCR ($r = -0.52$, $r^2 = 0.27$, $p < 0.05$) and between TA and PCR ($r = -0.55$, $r^2 = 0.30$, $p < 0.05$). There were moderate positive correlations between ECA displacement and PCR ($r = 0.45$, $r^2 = 0.21$, $p < 0.05$) and between increase in parapharyngeal area and PCR ($r = 0.54$, $r^2 = 0.29$, $p < 0.05$). These results revealed that pharyngeal contraction creates passive motion around pharyngeal structures toward the pharyngeal air space.

Key words : pharyngeal swallowing, dynamic magnetic resonance imaging, pharyngeal structures, parapharyngeal space, deglutition disorders
