嚥下時における舌骨運動の X 線学的研究

北里大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：設楽哲也教授）

中原 学

A CINEFLUOROGRAPHIC STUDY OF HYOID AND LARYNGEAL MOVEMENTS
DURING DEGLUTITION

MANABU NAKAHARA, M. D.

Department of Otolaryngology, School of Medicine, Kitasato University, Sagami-hara

Hyoid and laryngeal movement during deglutition were analyzed by means of cineradiography on twenty four normal adult males.

The movement were measured in two direction, horizontal and vertical. The vertical movement of the hyoid associated with swallowing was divided into 5 phases:

1) the slowly ascending phase, 2) the rapidly ascending phase, 3) the standing phase at the position of maximum rise, 4) the rapidly descending phase, 5) the slowly descending phase.

The horizontal movement of the hyoid was divided into 4 phases: 1) the backward phase, 2) the forward phase, 3) the standing phase at the front-most position, 4) the backward phase.

In vertical direction, it was found that the hyoid movement was similar to the motion of the larynx, while in horizontal direction, the hyoid moved in a more complicated fashion.

It was considered that the upward and forward movements of the hyoid bone contribute to the enlargement of the hypopharynx for preventing from misdeglutition.

The hyoid starts ascending rapidly prior to the onset of the second stage of deglutition.

Key words: 嚥下運動, 舌骨, X 線映画A90—0669—60096

A. 緒 言

嚥下とは食塊を口腔から胃へと搬送する一連の運動であり、このために舌や下顎・咽頭・食道の筋群が高度の協調運動を行っていると考えられている。嚥下運動はすでに 1817 年に Magendie¹⁾ が 3 相に区分しており、彼は 1) bolus が口峽を通りすぎるまでの口腔期、2) 口峽より上食道口通過までの咽頭期、3) 上食道口より噴門通過までの食道期に区分している。この区分は運動生理の面から見ると第 1 期は随意期、第 2 期は不随意期(反射期)、第 3 期は不随意期におおよそ対応していると考えられる。この各期の区分のうち 2 期と 3 期の区別は比較的容易である。すなわち bolus がすべ

て食道内に入り、食道の蠕動運動が開始される時点が第 3 期の始まりである。第 2 期に関する研究は古くから行われており、食道内圧を測定した研究^{2)~7)}、X 線映画(ビデオ)を用いた研究^{8)~10)}、筋電図を用いた研究^{11)~14)}、あるいはこれらを同時に組み合わせた研究^{15)~18)} などが報告されているが、1 期・2 期の境界つまり随意期から不随意期への移行に言及している報告は少ない。平野¹⁹⁾ は筋電図学的立場から、第 2 期の始まりは輪状咽頭筋の弛緩におおよそ一致すると述べている。嚥下時には内舌筋群・外舌筋群・内外喉頭筋群・舌骨上下筋群等多数の筋肉が活動し、その結果は舌・舌骨・喉頭などの運動として現れる。この点に注目し

て古川²⁰⁾は嚥下時のX線フィルムから甲状軟骨の運動の解析を行い、急速に挙上する時期を反射期の開始としている。今回は嚥下時に作用する多くの筋が付着している舌骨に注目して嚥下時の舌骨・喉頭運動の両者の関係について解析を試み、随意期と反射期の受け渡しの機構について考察を行った。

B. 目的

舌骨は舌と喉頭の間位置する器官であり、嚥下時に活動する多くの筋群が付着している。したがって嚥下時にはこの筋群の活動によって舌骨は大きく運動する。嚥下全経過において舌骨はどのような運動を行うかを解析し、嚥下第1期～第2期への移行の状態を舌骨の運動の面から推定することを目的とした。さらに舌骨・喉頭を一つの運動系とみて嚥下の期間中両者はどのように関係しているかについてもさらに検討した。

C. 研究対象

咽喉頭異常感を訴えて北里大学病院耳鼻咽喉科外来を受診し、下咽頭・食道透視検査を行った患者のうち器質的・機能的異常が認められず、咽喉頭異常感症²¹⁾と診断された成人男性24名である。年齢は35～60歳であり、その内訳を表1に示す。対象の選定条件としてはX線フィルム上に嚥下期間中に舌骨体・喉頭がいずれも明確に同定しうるものとした。

D. 方法

被検者を立位としバリウム嚥下時に頸部側面からX線映画撮影を行い、得られたフィルムから motion analyzer を用いて舌骨・喉頭運動を解析した。造影剤は硫酸バリウム 100 w/v % を使用し、1回嚥下量は 20 ml とした。撮影は1回の嚥下ごとに行った。撮影速度は本研究においては 30 コマ/秒に固定した。1コマあたりの露出時間は 1/68 秒である。なおX線条件は 65～70 kv, 1 mA である。撮影時に前頸部正中に長さ 2 cm の鉄片を貼布し、フィルム計測時の実長の基準とした。計測点としてフィルム上で認められる次の5点をとった(図1)。①第3頸椎前縁上端、②第5頸椎前縁下端、③舌骨体の上端、④舌骨体の下端、⑤甲状軟骨の前縁下端、である。このうち、①②の2点を結ぶ直線を基準線とし、これと③および⑤をそれぞれ舌骨・喉頭の代表として測定点の移動を見るわけである。なお④は舌骨の回旋をみるための測定点である。また

表1 対象例の年齢分布

年 齢	例 数
～35	1
36～40	6
41～45	8
46～50	5
51～60	4
計	24

図1 X線写真上の計測点

bolus の移動についてはその先端と後端とを測定点として求めた。フィルムをナック製の motion analyzer モデル 350 を用い、1コマごとに各5点、さらに bolus の出現しているコマでは各7点を座標値としてパーソナル・コンピュータ(PC-9801・PC-100)を用いて処理した。各点の移動距離を各座標から計算し、上下方向・前後方向に分解して経時的に運動曲線として表示した。北里大学耳鼻咽喉科教室では検査の一環として下咽頭・食道透視時にX線映画撮影を行っており、この研究のために被検者にたいして特別な処置は行っていない。

E. 結果

[1] 嚥下時における舌骨運動

(1) 舌骨体の運動(図2)

舌骨は嚥下時には図2に示すように概ね三角形に類

似た曲線を描くように運動しており、これを3相から成る運動区分として図のように命名した。まず第一に比較的ゆっくりと挙上運動を始めるが、この際わずかに後退運動を伴うことが多い(挙上後退運動)。次いで第二に舌骨は大きく挙上、同時に急激に前進する(挙上前進運動)。そして最大挙上位置および最大前進位置に停滞した後に第三の運動、すなわち元の位置へと復元するために後退・下降運動を行う(下降後退運動)。この舌骨運動を上下、前後の成分にわけて経時的に記録した曲線の代表的な一例を図3に示す。上のグラフが前後方向(頸椎上の2点を結んだ基準線に対して垂直に移動する運動)、そして下のグラフが上下運動(基準線に対して平行に移動する運動)を現わしている。これを図4のように模式化して区分を試みた。二次元的

図2 嚥下時の舌骨運動

図3 嚥下時の舌骨運動

図4 嚥下時の舌骨運動

的に見ると舌骨体の運動の軌跡は三角形を形作り3つの成分に分かれたが、経時的に見ると前後・上下ともに運動の速度の違いや、運動が一時ストップする時期があることから5つの成分に分かれた。しかし前後方向運動の後部2つの成分ははっきり区分することが困難であり、ここは1つとして扱った。

1) 上下方向運動

舌骨上下運動は5つの成分に区分できる。①比較的ゆっくりと挙上していく相(挙上第一相)、②続いて急速に挙上する相(挙上第二相)、③②に続き下降する前に最大挙上位置にとどまる相(停滞相)、④停滞相から急速に下降する相(下降第一相)、⑤最後に緩徐な下降を示す相(下降第二相)である。

2) 前後方向運動

大きく4つに区分できる。①あわずかに後退する相(後退相)、②急速に前進する相(前進相)、③②に続き最大前進位置にとどまる相(停滞相)、④元の位置へと復元するために下降する相(復元後退相)である。この復元後退相は上下方向運動の下降第一相・第二相に相当するが、前後方向ではその区分が明瞭に表れず一つの相とした。

3) 両方向の運動の時間関係について

上下方向運動と前後方向運動は互いに挙上第一相と後退相、挙上第二相と前進相、停滞相と停滞相、下降第一・第二相と復元後退相、というようにほぼ対応している。挙上第一相と後退相はほぼ同時に開始する。症例によってはごくわずかに挙上運動が早く開始されることがあるがその差は最大でも0.06秒である。続いて挙上第二相と前進相に移り、この際多くの症例では(24例中18例)前進相が挙上第二相よりも早く始まるがその差は平均0.02秒であり、分解能からみて判定できない。相の長さについては停滞相は上下方向運動・前後方向運動はほぼ同じであり、また下降第一相+第二相は復元後退相よりも0.08秒長いという結果を得た。

(2) 舌骨運動における各成分の所要時間および移動距離について(表2)

1) 上下方向運動

a) 挙上第一相

挙上開始からの比較的ゆっくりとした時期の運動であり、所要時間は 0.44 ± 0.12 秒、平均 5.1 ± 2.1 mm の挙上を示す。速度は 11.5 ± 3.5 mm/秒である。

b) 挙上第二相

第一相に続く急速に舌骨が上方へと運動する相である。平均 0.26 ± 0.15 秒かかり、 11.2 ± 3.2 mm の挙上

表 2 嚥下時における舌骨の移動時間・距離

	運 動 区 分	移 動 時 間 (秒)		移 動 距 離 (mm)	
		平 均	標準偏差	平 均	標準偏差
上 下 運 動	1. 挙上第一相	0.44	0.12	5.1	2.1
	2. 挙上第二相	0.26	0.15	11.2	3.2
	3. 最大挙上位置 にとどまる相(停滞相)	0.32	0.08	—	—
	4. 下降第一相	0.28	0.05	7.9	2.4
	5. 下降第二相	0.47	0.12	4.5	2.6
前 後 運 動	a. 後 退 相	0.46	0.14	1.0	1.2
	b. 前 進 相	0.27	0.06	10.3	2.5
	c. 最大前進位置 にとどまる相(停滞相)	0.32	0.07	—	—
	d. (復元)後退相	0.67	0.18	8.1	2.4

n = 24

を示す。その速度は 37.3 ± 8.5 mm/秒と、第一相の 3 倍以上の値を示す。挙上第一相と第二相の合計が嚥下による舌骨挙上距離で平均 16.3 ± 3.9 mm である。

c) 最大挙上位置にとどまる相

挙上第一・第二相で最大上昇位置に到達した舌骨はここに停滞する相を有する。その平均時間は 0.32 ± 0.08 秒である。

d) 下降第一相

c) に続いて舌骨は下降を開始する。初期には比較的速度い運動であり、その平均時間は 0.28 ± 0.05 秒、距離は 7.9 ± 2.4 mm である。速度は 28.2 ± 4.2 mm/秒と挙上第一相よりも速い。

e) 下降第二相

最後に舌骨はゆっくりとした下降第二相に入り、舌骨は一定の位置へと達し、嚥下による運動を終了する。これには 0.47 ± 0.12 秒を要し、平均移動距離は 4.5 ± 2.6 mm である。その速度は 9.5 ± 2.4 mm/秒である。下降第一相と第二相を合計したものが嚥下時の舌骨下降距離に相当し、平均 12.4 ± 3.5 mm である。これからわかるように舌骨の嚥下終了時には嚥下前の安静時の位置まで下降しておらず、途中の位置に停滞している。

2) 前後方向運動

a) 後退相

これは上下方向運動における挙上第一相に相当する。この際後退するケースが多いが、症例によってはほとんど元の位置に停滞したままのもの（すなわち挙上

運動のみの例)、あるいは逆に前進するものもあるが、後退する症例が最も多く (24 例中 14 例)、便宜上後退相と命名した。開始時期は上下方向運動における挙上第一相とほぼ同じであり、所要時間は 0.46 ± 0.14 秒、移動距離は平均 1.0 ± 1.2 mm である。速度は前進した症例・後退した症例とともにその移動距離を絶対値として算出しており、 3.1 ± 0.4 mm/秒と非常にゆっくりとしたものであった。

b) 前進相

一度わずかながら後退した舌骨は大きく前進する。これは上下方向運動における挙上第二相に相当する。その所要時間は 0.27 ± 0.06 秒で、移動距離は 10.3 ± 2.5 mm である。速度は 38.2 ± 5.5 mm/秒であり嚥下時の舌骨運動のなかでは最大の値を示す。

c) 停滞相

最大前進位置に達した舌骨は挙上時と同様にここに停滞する。上下方向運動における停滞相に相当する。その時間は平均 0.32 ± 0.07 秒である。

d) (復元) 後退相

最後に舌骨は元の位置へもどるための後退運動を行う。上下方向運動における下降第一・第二相に相当する。上下運動と同様に 2 段階に分かれて後退する場合もあるが、その境界が明瞭ではないため、ここでは単一の相とした。このため所要時間は 0.67 ± 0.18 秒と最も長く、移動距離は 8.1 ± 2.4 mm、速度は 12.1 ± 3.5 mm/秒と比較的ゆっくりとしたものであった。舌骨はここでも嚥下終了時には安静時の位置まで後退しきつ

ていない。これは後述するように甲状軟骨の場合と同様である。

(3) 嚥下時の舌骨の回旋運動について (図5)

嚥下時に舌骨は単純な平行運動をしているのではなく体部を中心として大角が垂直面上で回旋運動を行っている。この回旋は舌骨の上・下端を結ぶ直線と先に設定した基準線との角度を舌骨体の傾きの変化として計測した。後述するようにフィルム上で計測された舌骨体上の上・下端の長さは一定ではなくコマごとに变化している例が多く、信頼できる計測例は5例であった。その結果を図5に示す。安静時には舌骨体の角度は基準線に対して24～30度であるが、運動を開始し挙上後退相に入るとこの角度が大きくなり（すなわち舌骨体は水平に近づく）、挙上後退相の終了付近では38～42度の角度となる。次いで挙上後退相に入るが舌骨体はそのままか、もしくはやや角度を減じながら（すなわち垂直に近づく）運動、この相の終了時には30～35度となり安静時と比較すると傾斜はやや小さくなる。このあと元の位置に下降してくる時にほぼ安静時の角度に復元している。

[2] 嚥下時における舌骨と甲状軟骨運動との関係について

舌骨の運動を計測する際に同時に甲状軟骨の運動も計測した。ここで両者の関係について述べる。古川²⁰⁾は嚥下時の喉頭運動を甲状軟骨を代表させて上下方向では5段階に、前後方向では2段階に区分しており、今回の舌骨運動との関係を図6および図7に示した。上下方向運動が図6、前後方向運動が図7である。双方の運動相の区分を記載した。上下方向運動では舌骨と甲状軟骨はよく類似した運動を行い、同様の経時的区

図5 嚥下時における舌骨の回旋運動

図6 嚥下時の舌骨と甲状軟骨の関係（上下方向）

図7 嚥下時の舌骨と甲状軟骨の関係（前後方向）

表3 嚥下時における甲状軟骨の移動時間・距離

	運動区分	移動時間 (秒)		移動距離 (mm)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
上下運動	1. 挙上第一相	0.43	0.15	9.3	3.1
	2. 挙上第二相	0.25	0.14	18.7	4.2
	3. 停滞相	0.30	0.11	—	—
	4. 下降第一相	0.29	0.08	16.1	3.9
	5. 下降第二相	0.55	0.13	8.3	2.2
前後運動	a. 後退相	0.30	0.09	7.1	1.8
	b. 前進相	0.44	0.11	5.7	1.7

分をすることができる。前後方向運動では甲状軟骨が前進・後退という単純な運動を行うのに対して舌骨は、より複雑であり停滞相を有することが大きな相違点である。甲状軟骨運動の時間経過・移動距離・所要時間を表3に示す。

[3] 舌骨運動の経時的推移および甲状軟骨の関係について(図8)

ここで嚥下時における舌骨と甲状軟骨の時間的経過についてまとめてみる。嚥下の開始とともにまず舌骨の挙上第一相と後退相が始まり、次いで甲状軟骨の挙上第一相、さらに舌骨の挙上第二相と前進相が始まる。続いて甲状軟骨の挙上第二相が開始、最後に甲状軟骨の前進相へと続く。この時間関係を図8に示す。舌骨と甲状軟骨の挙上第二相が同時に開始している症例(24例中4例)もあった。しかし甲状軟骨が舌骨よりも早く挙上第二相を開始する症例は一例もなかった。嚥

図8 嚥下時における舌骨と甲状軟骨の関係

図9 舌骨・甲状軟骨の運動と嚥下第2期との関係(上下方向)

下運動後半期においては両者の時間関係が一定しないため、図示していない。

[4] 舌骨・喉頭運動と bolus の移動との関係について(図9)

舌骨・甲状軟骨の各運動相は bolus の通過とどのように関係しているのかという点について述べる。bolus の先端が口峽をこえる時点は舌骨挙上第二相および前進相の開始後平均 0.09 ± 0.02 秒である。すなわち舌骨の急速挙上相を反射期の開始とした場合、反射期は bolus が口峽を越える時点、すなわち bolus の移動から見た第2期よりももっと早くから始まっているのである。甲状軟骨との関係でみると、甲状軟骨の挙上第二相は、舌骨の挙上第二相と嚥下第2期開始との間にあり、舌骨との時間差は 0.08 ± 0.05 秒であった。前述したように舌骨の挙上第二相と甲状軟骨の挙上第二相との差がほとんどない症例もあった。この場合には舌骨の挙上第二相と bolus の咽頭流入との時間差がほとんどないことになる。しかし bolus の咽頭流入が、舌骨の挙上第二相よりも早い症例は一例もなかった。嚥下第2期の終了は舌骨が最大挙上・最大前進位置に停滞している間であるが、甲状軟骨との関係では第2期の終了は停滞相の終了付近に相当している。

F. 考察

舌骨は口腔底、下顎、舌などと喉頭との中間に位置し、いわばこれらの器官の間に宙づりにされた格好になっており、多数の筋肉が舌骨を経由している。これらのうち直接に舌骨に付着するだけでも顎二腹筋、茎突舌骨筋、顎舌骨筋、オトガイ舌骨筋、胸骨舌骨筋、甲状舌骨筋、肩甲舌骨筋、咽頭舌骨筋、中咽頭収縮筋などがある。これらの筋群が活動することによって咀嚼、嚥下、発声などの巧妙な動作がなされている。したがって舌骨の動きを調べることにより嚥下の動態を観察できると考えられる。古くより嚥下時の舌骨運動については研究が行われ、本邦でも松本²²⁾・古沢²³⁾はそれぞれ成人、学童を対象として嚥下時の舌骨運動についてX線映画を用いることによって詳細な報告を行っており、また、吉田¹⁷⁾・平野¹⁸⁾はX線テレビに筋電図を組み合わせて筋群の動きと舌骨・喉頭の運動を多元的に研究している。舌骨の運動についてはX線テレビを用いた Ramsey²⁴⁾や Saunders¹⁰⁾の研究があるが、舌骨の経時的な運動パターンや喉頭の動きとの関連についてはまだ十分に解明されたとは言えない。筆者は反射期における筋群の急激な活動が舌骨・喉頭

の運動の変化として表現されるであろうと考え、X線映画撮影法を用いて同一のフィルムにこの両者の運動(移動)を同時に記録し、その軌跡を追うことにより嚥下運動の解析を試みた。運動曲線の作成は得られたX線フィルムをmotion analyzerを用いて舌骨・甲状軟骨の座標を定め、これをパーソナル・コンピュータに入力して直接に曲線を描かせる方法によった。この方法により運動パターンを時間的に展開し、定量的な計測を行えた。

1. 研究対象について

今回の対象となった症例はすべて男性であり、しかも若年者を含んでいない。これは古川²⁰⁾も述べているように女性では喉頭の計測点である甲状軟骨の前縁下端の石灰化が十分ではなく²⁵⁾、計測点を定めることが困難であること、また若年者は咽喉頭異常感を訴えることが少ないために症例が集まりにくかったからである。造影剤の量については各報告者により異なるが、この量により嚥下の全経過時間、特に嚥下第2期がかわってくる。すなわち造影剤の量が少なければ短く、多ければ長くなるとされている²⁶⁾。今回は通常の食事時の摂取量に近く、しかも1回で嚥下可能で二度飲みしない量として20 mlと定め、すべて1回飲みとした。

また当初筆者は嚥下時の舌骨大角の方向、すなわち垂直方向の舌骨の回旋運動にも注目した。これを舌骨体の上端、下端の2点をとって両者を結ぶ直線の傾きとして測定を試みたが、フィルム上に投影されるみかけ上の舌骨体の長さ・幅はコマごとに変動を生ずる例が多く、定量的な解析を行えるだけの例数が集まらずに定性的な検討に終わった。

2. 撮影法について

被験者は立位としてバリウムを嚥下させた。舌骨の運動は頸部の状態(伸展・前屈)により変化すると思われるが、前屈した状態では舌骨が挙上した際にその陰影が下顎の陰影に重なり、計測できない。したがって本研究はある程度頸部を伸展させた状態での測定結果である。この際なるべく自然に近い状態とするために頸部の固定は行っていない。このため嚥下時に頸部が大きく前後に動く症例では、基準線・舌骨運動に相対的な変化が現われると考えられるため対象から外した。

基準線を第3・第5頸椎間においたのは喉頭は安静時にはほぼ第5頸椎の高さにあること、また嚥下時には舌骨・喉頭はだいたい第3～第5頸椎間を動くこと、

さらに基準点の決定が比較的容易であること、等の理由からである²⁰⁾。

撮影速度は可変式であるが今回の研究では30コマ/秒に固定して行った。bolusの流れに重点を置きその解析を中心に行おうとするならばさらに高速度の撮影が必要であろう。Saunders¹⁰⁾は舌骨・喉頭よりも速い喉頭蓋の運動解析のためには30コマ/秒以上の速さが必要であるとし、Ramsey²⁴⁾は嚥下時の舌骨・喉頭の観察のためには30コマ/秒を推奨しており、Shedd²⁷⁾は24コマ/秒でよいとしている。本邦では松本²²⁾・古沢²³⁾は25コマ/秒、吉田¹⁷⁾は24コマ/秒で行っている。今回の研究で30コマ/秒とした理由として①運動がbolusや喉頭蓋ほど速くなく、コマ数を上げる必要がないこと、②被験者の被爆量をできるだけ少なくするため、である。このため1/30秒(0.033秒)以下の時間関係の比較については言及できない。

3. 嚥下における舌骨運動の区分

舌骨運動を上下方向では5段階に、前後方向では4段階に区分した。舌骨運動を上下・前後別に測定した例はSaunders¹⁰⁾や吉田¹⁷⁾の報告があるが、区分を試みた報告は少なく松本²²⁾・古沢²³⁾の報告のみである。舌骨の運動経過を上下・前後別に図示したものに吉田¹⁷⁾の報告がありその曲線は今回の研究で得たものと類似しているが、時間的な区分や運動距離については触れていない。舌骨運動を古沢²³⁾は上下方向では5段階に区分し、これは本研究と一致しており、前後方向でも5段階に区分している。これは前述したように復元後退相を下降第一・第二相と同じように2つの相に区分したためで、本研究ではその境界がはっきりしないという理由から後退相は一つの相として扱った。また古沢²³⁾は舌骨運動を運動曲線としては現しておらず、実際の移動距離は椎体高に対する相対的なものとしており、この点に関してはSaunders¹⁰⁾の報告も同様である。今回の研究では移動速度を計算する目的もあって移動距離は実測値として求めた。

4. 測定結果について

今回測定した嚥下による舌骨運動の全経過は1.80±0.25秒であり、これは従来の報告とほぼ一致するか、やや大きい値である。従来の主な嚥下運動計測の報告を表4に示した。また各区分ごとの経過時間・運動距離を古沢²³⁾の報告した学童期における舌骨運動計測と比較したものが表5である。各区分ごとの時間をみると上下方向でほぼ一致したのは舌骨の挙上前進運動期にあたる挙上第二相のみで他はすべて1.5～2倍ほ

ど今回の研究の値の方が大きい。古沢²³⁾の報告における嚥下全経過時間は約1秒であり、これは表4からもわかるように他の報告に比してかなり小さな値である。これは最初の挙上第一相の開始点および最後の下降第二相の終了点の決定の相違によるものと思われる。挙上第一相の開始は運動曲線の変化が少ないことから決定が難しい症例が少なくない。筆者は舌骨、喉頭、さらに bolus の移動状態から嚥下の経過を観察したが、これを舌骨だけから見ると上記の理由のためみかけ上は第一相が短くなる可能性もあると考えられる。また下降第二相については、前述したように舌骨は嚥下がすべて終了したあともしばらく安静時よりもやや高い位置にとどまっており、この時期のとりかたによって下降第二相の長さに差が出たものと思われる。次に停滞相の長さについて述べる。停滞相とは舌骨が最大前進・最大挙上位置にとどまる時期であり、これは下咽頭腔を最大限に拡張して bolus の通過を助けるという意義があると考えられる。したがって舌骨は bolus が咽頭を通過し、すべて食道内に入るまで停滞している必要がある。今回測定した嚥下第2期の長さは約0.60秒であり、これは挙上第二相と停滞相の合計の長さにほぼ一致する¹⁰⁾²⁸⁾²⁹⁾。bolus がすべて食道内に入ってから舌骨は下降・後退を始めるのであり、これは Saunders¹⁰⁾の報告とも一致している。筆者の停滞期における data が古沢²³⁾のそれより2倍も大きな理由の一つとして造影剤の量の違いが考えられる。古沢²³⁾は1回嚥下量を5mlとしており、これに対し筆者の研究では20mlで行った。前述したように1回嚥下量が多くなれば嚥下第2期の所要時間は長くなり、このために両者の結果に大きな差がでたものと思われる。

次に運動距離について比較してみる。古沢²³⁾や Saunders ら¹⁰⁾は運動距離を椎体高を基準とした相対

的な値として表わしている。椎体高として第4頸椎を代表させ、寺田ら³⁰⁾の頸椎モアレ写真を元に日本人の第4頸椎平均高を12mmと定めてこれから運動距離を算出したものが表5である。古沢²³⁾の報告では下降相、あるいは後退相の数値がなく、また Saunders ら¹⁰⁾も下降相における結果を提示していない。したがって比較検討できるのは挙上相における運動距離のみである。この表から大きな差があるのは挙上第二相での移動距離である。本研究では舌骨と甲状軟骨の運動を同時に測定しておりこの両者の関連からみるとこの時期には舌骨のみならず喉頭も大きく挙上しており、その移動量は25～30mmにも達する。この喉頭挙上は後述するように甲状舌骨筋の収縮による部分と、オトガイ舌骨筋などの収縮による舌骨挙上によって牽引される部分とから成っており、喉頭の挙上距離を考えると舌骨も相当量の運動を行っていると考えられる。古沢²³⁾は挙上第一相と第二相とで約10.0mmとしているが、これは今回得られた結果と比較するとやや小さい数値のように思われる。この理由として加齢による舌骨の位置変化が考えられる。すなわち学童期には舌骨・喉頭はともに高い位置にあり、このため嚥下の際にもあまり大きく運動する必要がない。加齢とともに舌骨・喉頭はしだいにその位置が低下してくるために嚥下時には運動量が大きくなるものと思われる。舌骨は喉頭と同様、嚥下終了時には前後・上下方向ともに安静時の位置には戻っていないが、これはすぐ次の嚥下に備えるためと思われる。通常の食事時には次々に食塊が送り込まれてくるが、その際その都度ごとに安静時の位置から運動を繰り返すのでは運動量が多すぎ追従できない恐れがある。やや挙上した位置からであれば容易に挙上第二相に移行でき、連続した嚥下にも対応できるものと考えられる。これは喉頭の場合でも同様であり、やはり嚥下終了時には前後・上下方向ともに安

表4 嚥下全経過時間の比較

報告者	全経過時間	測定方法	備 考
吉 田	1.4秒	筋 電 図	
Saunders	1.2秒	X線映画	舌骨・喉頭を測定
古 川	2.4秒	X線映画	喉頭を測定
平 野	1.4秒	筋 電 図	
古 沢	1.0秒	X線映画	舌骨を測定
松 本	1.5秒	X線映画	舌骨を測定
中 原	1.8秒	X線映画	舌骨を測定

表5 嚥下時における舌骨の平均移動時間・距離(他文献との比較)

	運 動 区 分	移 動 時 間 (秒)		移 動 距 離 (mm)	
		中 原	古 沢	中 原	古 沢
上 下 運 動	1. 挙上第一相	0.44	0.22	5.1	5.3
	2. 挙上第二相	0.26	0.25	11.2	5.2
	3. 最大挙上位置 にとどまる相(停滞相)	0.32	0.13	—	—
	4. 下降第一相	0.28	0.20	7.9	***
	5. 下降第二相	0.47	0.21	4.5	***
前 後 運 動	a. 後退相	0.46	0.22	1.0	***
	b. 前進相	0.27	0.25	10.3	***
	c. 最大前進位置 にとどまる相(停滞相)	0.32	0.18	—	—
	d. (復元)後退相	0.67	***	8.8	***

***はdataなし

静時の位置まで戻っていない。

5. 嚥下における舌骨運動観測の意義

嚥下における舌骨運動の役割は①挙上・後退することによる舌の保持、②前方への移動およびさらに大きく挙上することによる一同時に挙上する喉頭の作用とも相まって一食道入口部の拡大にあると考えられる。すなわち bolus が口腔内から咽頭へ送り込まれる際には舌が後方へ移動し、bolus を後方へ押し込む。この際、舌骨が舌を後下方から保持することが必要であり、さらに咽頭腔を拡大するためにわずかに挙上する。この際舌骨はその大角が水平に近づいて後下方に倒れ込む舌を保持する。咽頭へ送り込まれた bolus は食道入口部へ向かうが、この際舌骨はさらに挙上、そして大きく前進して下咽頭腔を拡大する。また同時に喉頭をも引き上げ、この作用を増強するとともに誤嚥の防止に役立つ³¹⁾³²⁾。また舌骨は最大前進・最大挙上位置にとどまり、この間に嚥下第2期が終了する。これは bolus が入口部にすべて流入する間、下咽頭腔を拡大しておくためであると考えられる。このように考えると舌骨運動で最も重要なのは挙上第二相と前進相、および停滞相であると考えられる。特に嚥下第2期に相当する挙上第二相・前進相では短時間のうちにこれらの動作を完了しなければならず、これは舌骨の移動速度がこの時期に最大であることに表れている。挙上第一相や後退相では bolus の咽頭流入に備えるためのいわば準備段階であるからこの時期での移動はあまり高速である必要はなく、事実これらはその値がごく小さい。ま

た下降相や復元後退相ではすでに bolus が食道入口部を通過してからの運動で、下降第一相は比較的高速で行われているが、これは喉頭の場合と同様である。

6. 嚥下第2期の開始点と舌骨運動

嚥下第2期とは bolus の面からみると、その先端が口峽をこえる時点から後端が入口部に入った時点までの期間である。また筋電図学的にみると輪状咽頭筋が弛緩している時期に一致するといわれている。これを舌骨の面から考察してみたい。輪状咽頭筋の弛緩の開始した時点を第2期の開始と考えるならばこれは舌骨の挙上第二相の開始に相当すると考えられる。これは甲状軟骨の挙上第二相よりも0.08秒早い。古川²⁰⁾は嚥下第2期の開始を甲状軟骨の挙上第二相としたが、舌骨はこれよりも早く急速挙上を開始している。ここで文献上から嚥下時に舌骨・喉頭に関与する筋の作用について考察してみたい。嚥下第2期の主な動きと主に関与する筋の関係はまず舌の運動では内舌筋群、外舌筋群が関与し、舌骨の動きには舌骨上筋群、舌骨下筋群、舌骨咽頭筋、外舌筋が、そして喉頭の位置変化には舌骨上筋群、舌骨下筋群、中・下咽頭収縮筋などが関与している¹⁷⁾。嚥下時に舌骨を挙上させる筋は解剖学的には顎二腹筋¹⁴⁾・顎舌骨筋・オトガイ舌骨筋・茎突舌骨筋が考えられ、また喉頭を挙上させる筋としては舌骨上筋4筋と、舌骨下筋では甲状舌骨筋が考えられる²⁹⁾。胸骨舌骨筋、胸骨甲状筋はその筋放電が嚥下時には抑制され、喉頭の挙上にはあまり関与していないとされる¹³⁾³³⁾。これらの筋のうち最も強力に舌骨を挙

上させるのは顎舌骨筋、オトガイ舌骨筋であり、また喉頭を引き上げるのはオトガイ舌骨筋、そして最も強く挙上させるのは甲状舌骨筋であるという点で諸家の報告はほぼ一致している³⁴⁾³⁵⁾³⁶⁾。嚥下初期にはまずオトガイ舌筋が収縮し、次いでオトガイ舌骨筋が収縮する。挙上第一相・第二相はそれぞれ主としてオトガイ舌筋・オトガイ舌骨筋の収縮によると思われるが、この際すでに喉頭もわずかながら挙上を開始しておりこれは舌骨が喉頭を牽引するようにして引き上げていくためと思われる。このように舌骨と甲状軟骨の動きはわずかに舌骨が先行し、甲状軟骨はそれに追従するような形で運動を開始している。このあと甲状舌骨筋にて喉頭はさらに引き上げられる。吉田²⁹⁾はオトガイ舌骨筋の収縮は bolus の先端が口峽を通過する時点より常に早いと報告しており、これは bolus がまだ口腔内にとどまっている時期に舌骨が挙上第二相を開始することを裏付けている。舌骨の挙上第二相開始と嚥下第2期の開始との差は平均0.13秒である。またこのことは口腔内に bolus があるときからすでに bolus の受け入れ体制が整っているものと考えられる。

G. 結 語

正常者の嚥下における舌骨・喉頭運動を分析し、次のような結果を得た。

1. 舌骨運動は上下方向では緩徐な挙上期（挙上第一相）、急速な挙上期（挙上第二相）、最大挙上位置にとどまる時期（停滞相）、急速な下降期（下降第一相）、緩徐な下降期（下降第二相）に分かれ、前後方向では後退期（後退相）、前進期（前進相）、最大前進位置にとどまる時期（停滞相）、元の位置に復元するための後退期（復元後退相）に分かれる。
2. 嚥下時には bolus の通過を助けるためと誤嚥防止のために下咽頭腔の拡大及び喉頭を挙上させる必要がある。これらの作用は舌骨の上下・前後運動に反映されていると考えられる。すなわち舌骨が大きく前進することにより下咽頭腔を拡大し、また挙上することによって喉頭をも引き上げる。これは誤嚥防止に役立つ。
3. bolus の先端が口峽を通過する以前に舌骨の挙上第二相は始まっている。

参考文献

- 1) Magendie F : Précis élémentaire de physiologie. Méquignon-Marvis, Paris, 1817, pp. 58—67.
- 2) 内田正興：食道動態の研究(第一報)。食道内圧測定

- 法による食道運動の基礎的研究。日気食会報 17 : 273-293, 1966.
- 3) 宮川 清：食道運動の生理。日消誌 59 : 709-714, 1962.
- 4) 宮川 清：嚥下時の消化管内圧変化。一特にその歴史的展望— 信州医誌 9 : 775-781, 1960.
- 5) 西納真介, 小宮山莊太郎, 渡辺 宏, 廣戸幾一郎：嚥下圧測定装置の試作とその臨床的応用。日気食会報 30 : 379-383, 1979.
- 6) 小宮山莊太郎：誤嚥症例における嚥下圧測定の意義。日気食会報 31 : 121-125, 1980.
- 7) 森 敏裕, 丘村 照：嚥下圧測定の臨床的意義。日気食会報 35 : 241-249, 1984.
- 8) Negus VE : The second stage of swallowing. Acta Otolaryngol : 78-82, 1948.
- 9) 棚橋汀路：レ線映画による第2期嚥下運動の研究。日耳鼻 70 : 1256-1285, 1967.
- 10) Saunders JB, Davis C and Milller ER : The mechanism of deglutition (Second stage) as revealed by cine-radiography. Ann Otol Rhinol Laryngol 60 : 897-916, 1951.
- 11) Doty RW, Bosma JF : An electromyographic analysis of reflex deglutition. J Neurophysiol 19 : 44-60, 1956.
- 12) 甲田博和：嚥下および食道運動に関する実験的研究。耳鼻臨床 49 : 819-853, 1956.
- 13) 前山忠嗣：嚥下時の内外喉頭筋の機能に関する実験的研究—特に喉頭挙上について—。耳鼻 21 : 787-807, 1975.
- 14) 国武博道：外喉頭筋の機能に関する筋電図学的研究。日耳鼻 74 : 1155-1188, 1971.
- 15) Kirchner JA : The motor activity of the cricopharyngeus muscle. Laryngoscope 68 : 1119-1159, 1958.
- 16) 井上鉄三：X線テレビ及び筋電図による嚥下運動の解析。日気食会報 18 : 5-16, 1967.
- 17) 吉田義一, 平野 実, 進 武幹, 吉田哲二：嚥下運動の多元的観察装置—X線テレビと4チャンネル筋電図の同時記録—。日耳鼻 79 : 1601-1610, 1976.
- 18) 進 武幹：X線および筋電図による食道運動の観察。一食道入口部を中心として—。日気食会報 32 : 83-88, 1981.
- 19) 平野 実：嚥下第二期の生理と病態。日気食会報 31 : 1-9, 1980.
- 20) 古川浩三：嚥下における喉頭運動のX線学的解析—特に年齢変化について—。日耳鼻 87 : 169-181,

- 1984.
- 21) 三宅 弘：咽喉頭異常感の診断と治療。耳鼻臨床 67：918-920, 1974.
- 22) 松本秀樹：X線テレビ映画法による嚥下時，最大開口時および舌運動時における舌骨ならびに喉頭蓋基底の位置変化について。歯科学報 76：1713-1770, 1976.
- 23) 古沢節夫：X線テレビ映画法による学童期における嚥下時の舌骨ならびに喉頭蓋基底部の位置変化について。歯科学報 80：1739-1767, 1980.
- 24) Ramsey GH, Watson JS, Gramiak R et al：Cinefluorographic analysis of the mechanism of swallowing. Radiology 64：498-518, 1955.
- 25) 守屋孝子：人間甲状軟骨の化骨構造とCa量に関する研究。耳展4，補2：1-11, 1961.
- 26) 古川浩三，石井豊太，中原 学，新美誠司，設楽哲也：嚥下障害例のX線学的研究—筋萎縮性側索硬化症について—。耳鼻臨床 77：931-936, 1984.
- 27) Shedd DP, Scatliff JA and Kirchner JA：A cineradiographic study of postresectional alterations in oropharyngeal physiology. Surg Gynecol Obstet 110：69-89, 1960.
- 28) Chrstrup J：Normal swallowing of foodstuffs of pasty consistence. A cinefluorographic investigation of a normal material. Dan Med Bull 11：79-91, 1964.
- 29) 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.
- 30) 寺田春水，池田敏子：モアレ骨格アトラス。南山堂，東京，1980，12-19頁。
- 31) Hurwitz AL, Nelson JA and Haddad JK：Oropharyngeal dysphasia. Manometric and cine esophagraghic findings. Dig Dis Sci 20：313-324, 1975.
- 32) Silbiger ML, Pikielney R and Donner MW：Neuromuscular disorders affecting the pharynx. Cineradiographic analysis. Invest Radiol 2：442-448, 1967.
- 33) 進 武幹：嚥下時の喉頭閉鎖。日気食会報 26：131-142, 1976.
- 34) 木村直正：外喉頭筋の筋電図学的研究。耳鼻臨床 54：481-495, 1961.
- 35) 山脇吉次：発声ならびに構音機構に関する筋電図学的研究。日耳鼻 58：284-303, 1955.
- 36) 山本忠邦：嚥下と呼吸との関係に関する実験的研究（その1）主として内圧曲線による。耳鼻臨床 49：346-353, 1956.
- 稿を終えるに臨み，御指導・御校閲を賜りました北里大学医学部耳鼻咽喉科学教室設楽哲也教授に深謝します。データの採取及びその解析に御協力をいただきました北里大学医学部放射線科学教室中沢 啓講師，桜井清子講師に深謝します。終わりに直接の御指導をいただきました古川浩三講師，東京大学医学部音声医学研究施設新美誠司助教授および北里大学医学部耳鼻咽喉科学教室員各位に深謝いたします。
- 本研究の一部は，第36回日本気管食道科学会および第86回日本耳鼻咽喉科学会総会において発表した。本研究は昭和58年度文部省科学研究費（奨励研究(A)・課題番号58771156）の補助を受けた。

（原稿受付 昭和61. 5. 9日）

印刷請求先 〒228 相模原市北里1-15-1

北里大学医学部耳鼻咽喉科学教室 中原 学