

綜 説

嚥下第二期の生理と病態

*平野 実

Pharyngeal Stage of Swallowing —Its Physiology and Pathologies—

Minoru Hirano, M.D.

Department of Otolaryngology, Kurume University, School of Medicine, Kurume

This paper describes dynamics of the pharyngeal, or the second stage of volitional swallowing in normal and pathological conditions. The description is based upon our current investigations as well as upon available literature. In our investigations, simultaneous recordings of EMG of selected swallowing muscles and X-ray video images were adopted.

In normal swallowing, a series of events take place consistently with respect to timing during the pharyngeal stage. There is no clear-cut distinction between the oral and the pharyngeal stages in the activities of the pertinent muscles as well as in the movements of the food channel. It seems, however, to be practical to assume that the pharyngeal stage begins roughly with the first appearance of bolus in the pharynx and ends with complete disappearance of bolus from the pharynx in normal swallowing. From the neurological point of view, it turned out that this period corresponds to the period of relaxation of the cricopharyngeal muscle, lasting approximately 0.5 sec.

Swallowing begins with an elevation of the larynx. Then, the velum and the tongue base begin to rise, the epiglottis to bend backwards, and the supraglottic region to close. Bolus first enters the pharynx when the velopharyngeal closure is about completed. Almost simultaneously with this, the cricopharyngeal muscle relaxes whereas the vocal fold adductors and the thyrohyoid muscle contract. Shortly after, peristaltic movements of the pharynx occur. When bolus is completely transported into the esophagus, the velum and the tongue base begin to fall, the larynx starts opening, and the cricopharyngeal muscle contracts to close the pharyngo-esophageal junction. The entire procedure ends up with a complete fall of the larynx.

Even in some pathological conditions, such as amyotrophic lateral sclerosis, oculopharyngeal muscular dystrophy and "cricopharyngeal achalasia," the muscles act in the similar fashion as in normal with respect to timing. This causes an incoordination of muscular activities and the passage of bolus. No feedback mechanism or volitional adaptation seems to be able to modify the timing of muscular exertion during the pharyngeal stage.

I はじめに

人の随意嚥下 volitional swallowing における第二期の生理と病態について、過去約10年間

に私共の教室で行ってきた研究と、文献的考察にもとづいて、論説的に説明する。人の随意嚥下についてのデータが不十分な点に関しては、動物実験によるデータから推定する。

* 久留米大学耳鼻咽喉科学教室

II 嚥下とその staging

嚥下とは bolus を口腔から胃まで運搬する一連の動きである。一般にその動きは3つの時期に分けられている。すなわち bolus を口腔から咽頭に送る第一期(口腔期), 咽頭から食道に送る第二期(咽頭期), 食道内を経て胃に送る第三期(食道期)である。この区分は概念的には解りやすいが, 実際の嚥下を研究するに当たっては, 各期の境界線をはっきり定めるのが容易でない。Bolus の一部が咽頭に入り残部は口腔にある時期は第一期なのか第二期なのか, また一部が食道に入り残部は咽頭にある時期は第二期なのか第三期なのか, 上記の表現では判断に迷う。

幸いなことに, 第一期は随意運動, 第二期は反射運動, 第三期は食道の蠕動運動による, ということが定義されている。これに準拠すると正常者の第二期と第三期の区分は比較的容易である。すなわち, bolus が全部食道内に入り, 食道の蠕動が開始される時点が第三期の始まりである。咽頭を中心に観察している場合には食道の蠕動が始まる時点を確認にはとらえられないが, bolus の最後部が食道内に入った時点をもって第二期の終了時点として, 臨床的には一応さしつかえない。

しかし, 第一期と第二期との区分はこの定義によっても厳密には定め難い。実験的に知覚神経または知覚受容器を刺激して, あるいは中枢神経系の特定の部位を刺激して嚥下反射を起こす場合には, 筋活動が最初に出現する時点が反射運動の始まりといえる。しかし意志によって惹起する随意嚥下では, 同じ筋が第一期にも第二期にも活動するので, どこまでが随意運動で, どこからが反射運動なのかは, 識別が困難である。

ここでは一応, bolus の先端が口峽を越えて咽頭内に入って来た時点をもって第二期の始まり, 後端が食道内に入った時点をもって第二期の終りとし, これらに関連した, 前後の動きも含めて論ずることとする。このように第二期を定めると, その期間は後述のように輪状咽喉筋が弛緩する期間におおよそ一致する。ただし, 病的な場合にはこの設定は当てはまらないことがあるので,

筋の活動パターンから第二期の範囲を定めることにする。

III 正常の嚥下第二期について

咽頭は鼻腔, 口腔, 喉頭, 食道に連なっている。咽頭内の bolus を食道に送るには, 鼻腔, 口腔, 喉頭への通路を遮断し, 食道への通路を開いて, 咽頭内の圧を高めなければならない(図1)。

嚥下第二期およびその前後の bolus の通過状態, 軟口蓋挙上, 舌根部の後上方への挙上, 喉頭挙上, 喉頭蓋の後下方への倒れ, 声門上部の閉鎖, 咽頭蠕動波の生起, 主要な筋の活動状態を図2に模式的に示す。この図は Saunders et al. (1951), Ramsey et al. (1955), Chrstrup (1964), 吉田 (1979) のX線の研究, Doty & Bosma (1956), Kawasaki et al. (1964), 井上 (1967), Shipp et al. (1970), 国武 (1971), 前山 (1975), 吉田 (1979) の筋電図的研究の成績を総括して描いたものである。図3は実際の記録を示す(吉田, 1979)。

これらの図にもとづいて嚥下第二期に関連した事象を説明すると次のごとくである。

(1) まず喉頭が挙上し始める。嚥下時の喉頭挙上に最も大きく関与するオトガイ舌骨筋と甲状舌骨筋(前山, 1975)は喉頭挙上の開始期には未だ収縮していないので, 初期の挙上は顎舌骨筋など他の舌骨上筋によると考えられる。時

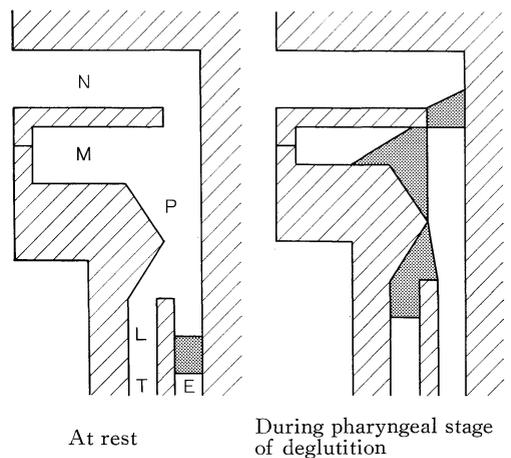


図1 嚥下第二期における通路の模式図

N: 鼻腔, M: 口腔, P: 咽頭, L: 喉頭, T: 気管, E: 食道

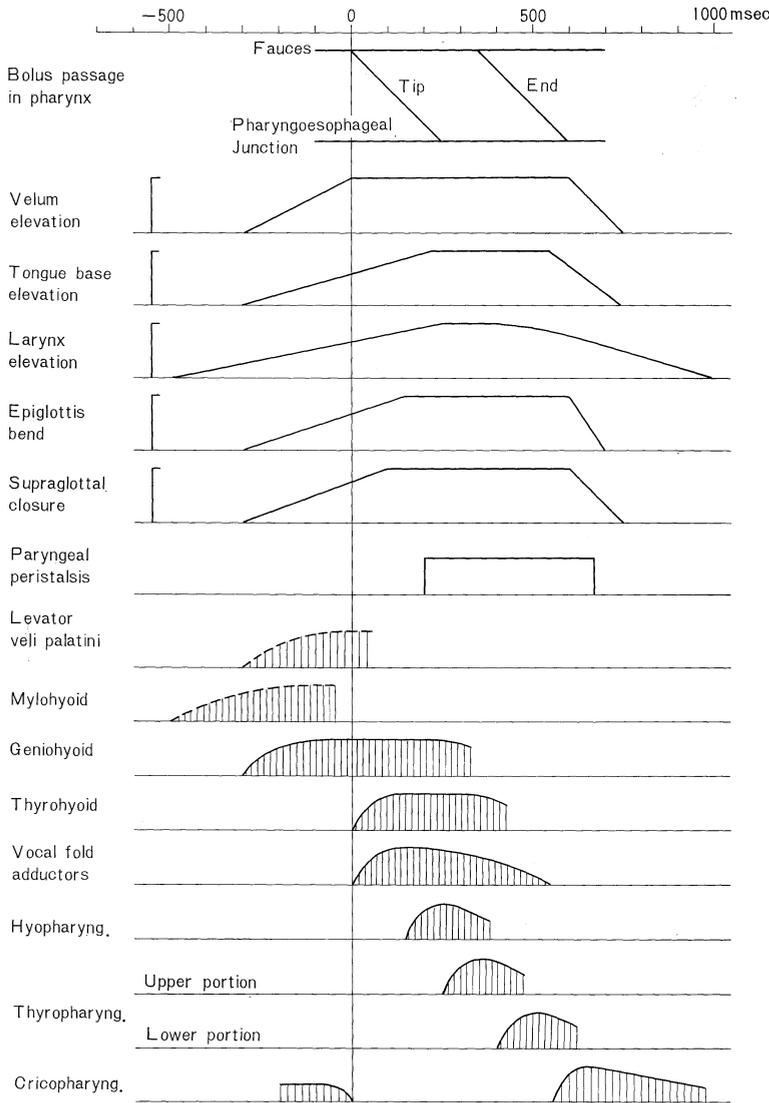


図2 嚥下第二期に関連した動きと筋活動の模式的表示

期的には嚥下第一期の運動と推定される。

(2) 次に軟口蓋の挙上, 舌根部の後上方への挙上, 喉頭蓋の後下方への倒れ, 声門上部の閉小が互いに相前後して始まる。これらの動きもその初期には嚥下第一期の運動である。随意嚥下を起し始めて第二期の反射が起こる直前の状態で意識的に嚥下を止めてみると、このことがよく感知できる。

(a) 軟口蓋の挙上は主として口蓋帆挙筋の収縮による。

(b) 舌根部の挙上は茎突舌筋, 口蓋舌筋, 内

舌筋の収縮によると考えられ, 顎舌骨筋も補助的に関与する。

(c) 喉頭蓋が倒れるのは舌骨, 喉頭の前上方への挙上と舌根部の後方移動とによる。

(d) 声門上部の閉小も喉頭の前上方への挙上と舌根部の後方移動による。声門閉鎖筋はこの時期には未だ収縮していない。被裂喉頭蓋筋, 仮声帯筋は声門閉鎖筋とほぼ同時に収縮すると考えられる(野副, 1975)。

(3) 軟口蓋が挙上し終わった頃, bolusの先端が咽頭内に入ってくる。これと相前後して甲状舌骨筋, 声門閉鎖筋が収縮を開始する。また輪状咽頭筋は弛緩する。

(a) 甲状舌骨筋は喉頭を更に挙上させる。

(b) 声門閉鎖筋は喉頭閉鎖を強化する。

(c) 輪状咽頭筋の弛緩は食道入口部の抵抗を弱め, 喉頭の前上方への挙上と相俟って食道入口部を開く(Doty, 1968; 廣戸・富田, 1968; 平野他,

投稿中)。

(4) Bolusの先端が喉頭蓋谷に達する頃には喉頭は完全に閉じている。

(5) Bolusの先端が食道入口部を通過すると相前後して, 舌根部の挙上, 喉頭挙上はピークに達する。またこれにやや先立って咽頭の蠕動状運動が始まる。

(a) 舌根部の後上方への挙上は中咽頭上部を狭くし, propelling forceの形成に預かる。

(b) 喉頭挙上は下咽頭から食道入口部を広げる。

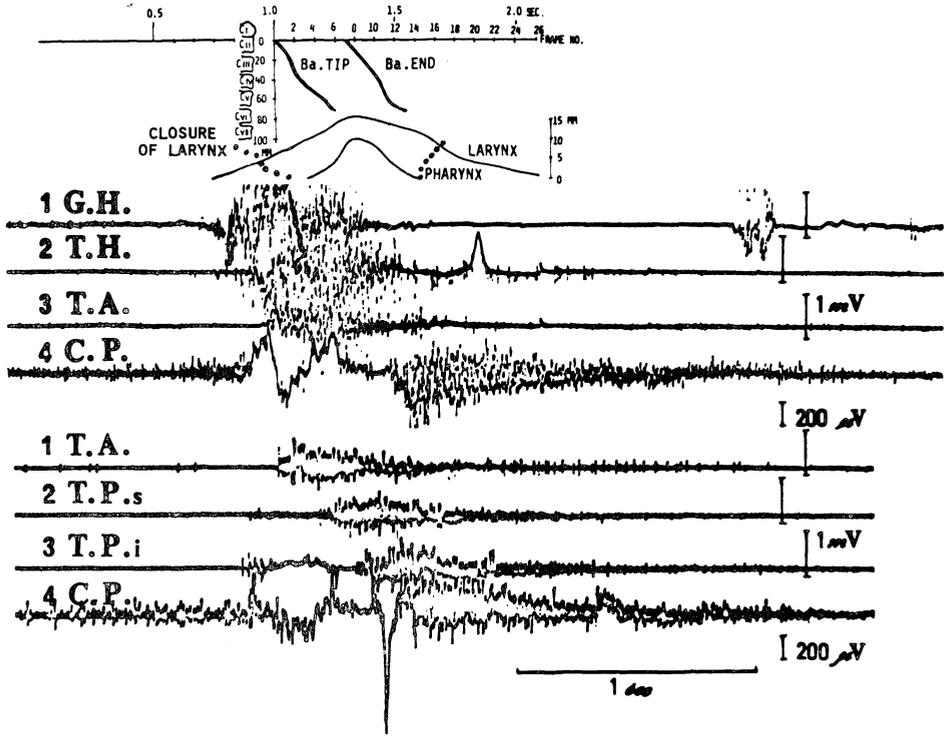


図3 正常者の嚥下動態記録の1例 Ba. TIP : Bolus 先端, Ba. END : Bolus 後端, LARYNX : 喉頭の挙上・下降, PHARYNX : 第六頸椎中間のレベルにおける咽頭の前後径, CLOSURE OF LARYNX(点線) : 声門上部の前後径, G.H. : オトガイ舌骨筋, T.H. : 甲状舌骨筋, T.A. : 甲状披裂筋, T.P.s : 甲状咽頭筋上部, T.P.i : 甲状咽頭筋下部, C.P. : 輪状咽頭筋

(e) 咽頭の蠕動状運動は舌骨咽頭筋, 甲状咽頭筋が上から下へ順次収縮するために起こり, propelling force を形成する。

(6) Bolus の後端が咽頭内を通過するに従って, 喉頭, 次いで舌根部が下降し始める。

(7) Bolus の後端が食道に入ると相前後して軟口蓋は下降し始め, 喉頭蓋が起き上がり始め, 喉頭は開き始める, また, 輪状咽頭筋が収縮して食道入口部を閉じる。

(8) 次いで軟口蓋, 舌根部は下降し終り, 喉頭は開き終る。

(9) 最後に喉頭が下降し終る。

以上は適量のバリウムを嚥下する際の動態である。嚥下物の性質と量, 体位などによって若干の変化はある(吉田, 1979)が, 基本的パターンは変わらない。嚥下反射は極めて複雑であるが, 精巧で強固 stereotype である(Doty, 1968;

角, 1971)。

IV 嚥下第二期の障害とその病態

嚥下障害は諸種の原因によって起る(吉田他, 1976)。そのいくつかについて, 私共の研究成績にもとづいて説明する。

1. 筋萎縮性側索硬化症

本症は第一次および第二次運動ニューロンが系統的に障害される疾患である。延髄が犯されると嚥下障害を起す。嚥下第一期および第二期の運動を遂行する筋が種々の程度に麻痺するため, 次のよう異常がみられる(大久保, 1980)。

(1) 嚥下の惹起困難。嚥下しようとしても bolus を口腔から咽頭に円滑に送り込めない。あるいは咽頭内に bolus が入ってきて, 第二期の反射が惹起されにくい。

(2) 下顎の挙上。嚥下第一期の輸送に重力を利用しようとして下顎を挙上する。

(3) 嚥下の反覆。1回の嚥下で bolus を全部食道内に送り込めないで、嚥下を繰り返す。

(4) Bolus の停留。嚥下第二期の筋活動が終了しても bolus は咽頭に一部停留する。

(5) 誤嚥。咽頭に停留している bolus が、喉頭が下降し開いたときに下気道内に流入して誤嚥を起こす。

(6) 喉頭挙上の異常。嚥下に際しての喉頭の挙上・下降が円滑に行われぬ。

(7) 鼻咽腔への誤入。軟口蓋麻痺のために bolus が鼻咽腔へ誤入する。

図4, 5にX線ビデオと筋電図の同時記録の結果を例示する。

図4の例では正常者と同様に、bolus の先端が口峽部を越えて咽頭に入る頃に、輪状咽頭筋が弛緩する。しかし以後の bolus 通過は極めて緩慢である。甲状咽頭筋、オトガイ舌骨筋、口蓋帆挙筋は第二期に関しては正常のタイミングで活動する。輪状咽頭筋の弛緩持続時間も正常である。ただ筋の収縮力が弱いので、bolus の運搬が障害される。そして bolus は大部分咽頭

内に停留しているにもかかわらず輪状咽頭筋が収縮するので、食道への送り込みは更に障害される。

図5の例では bolus が咽頭内に入ってきて、しばらくは第二期の反射が起こらない。Bolus の先端は喉頭蓋谷辺りのレベルで停留する。甲状披裂筋が収縮して声門を閉じている。咽頭内にある程度 bolus が溜まると第二期の反射が起こる。すなわち輪状咽頭筋が小収縮の後弛緩し、甲状舌骨筋、甲状披裂筋が収縮する。咽頭の挙上は急峻となる。しかし propelling force が弱いので、輪状咽頭筋が弛緩している間に bolus を全部食道内に送り込むことはできない。

両例においてオトガイ舌骨筋は早くから収縮を始めている。喉頭は挙上し始めるが円滑には挙上せず、ゆらぎながら挙上してゆく。これらは第一期の運動が円滑に進行しないことを示している。第二期の反射が起こると喉頭挙上は速くなるが、第二期の反射終了後も喉頭はしばらく高位に留まり、その後ゆらぎながら下降する。これは咽頭内に停留している bolus に対する反応と考えられる。また両例において、第6

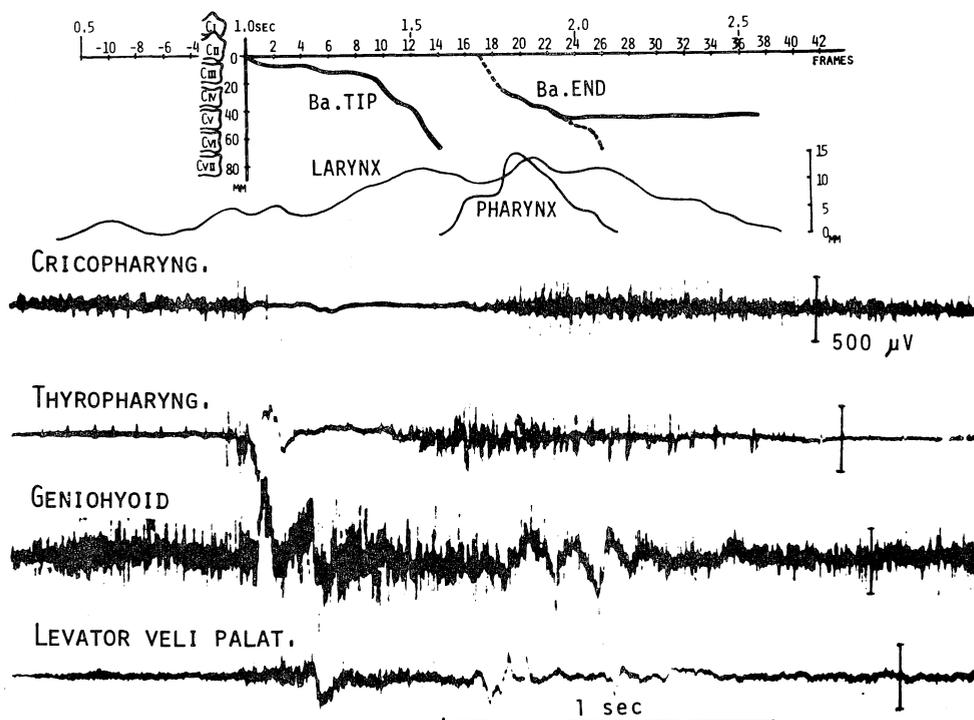


図4 筋萎縮性側索硬化症における嚥下動態 症例 T.H. 51歳男, 記号は図3参照。

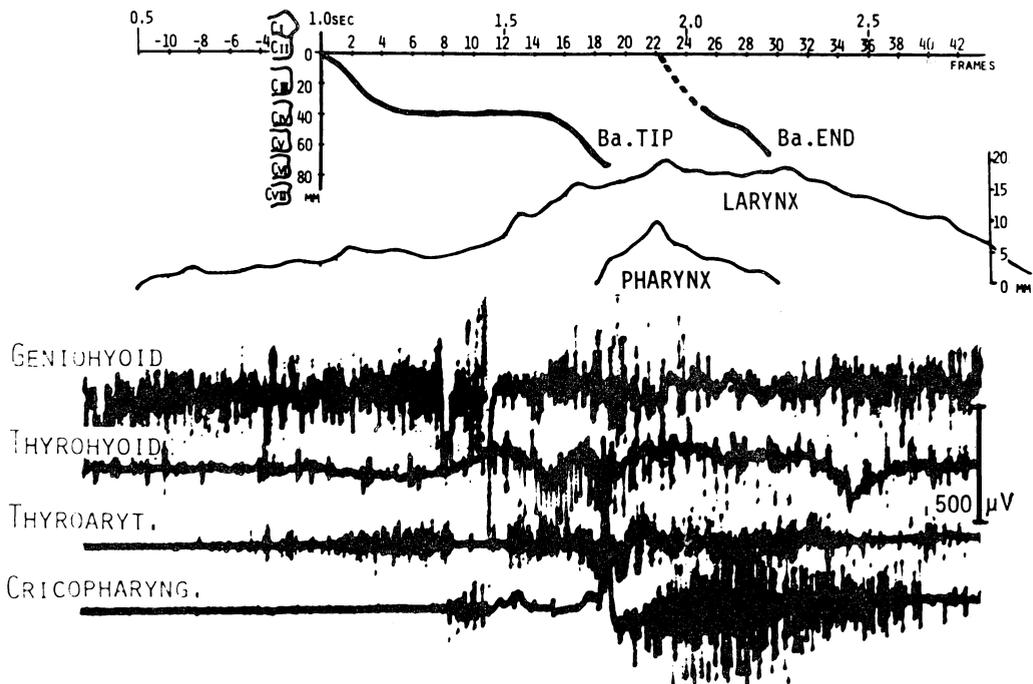


図5 筋萎縮性側索硬化症における嚥下動態 症例 M.I. 57歳男, 記号は図3 参照。

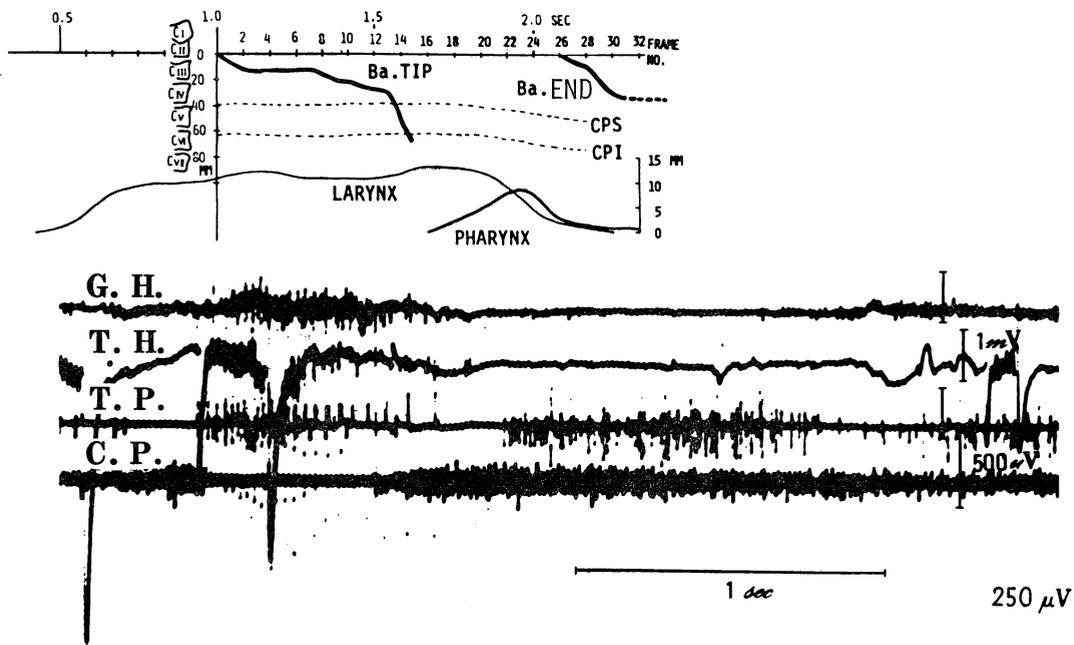


図6 眼・咽頭ジストロフイにおける嚥下動態 症例 T.M. 59歳男, 記号は図3 参照。
CPS: 輪状咽頭筋上縁, CPI: 輪状咽頭筋下縁

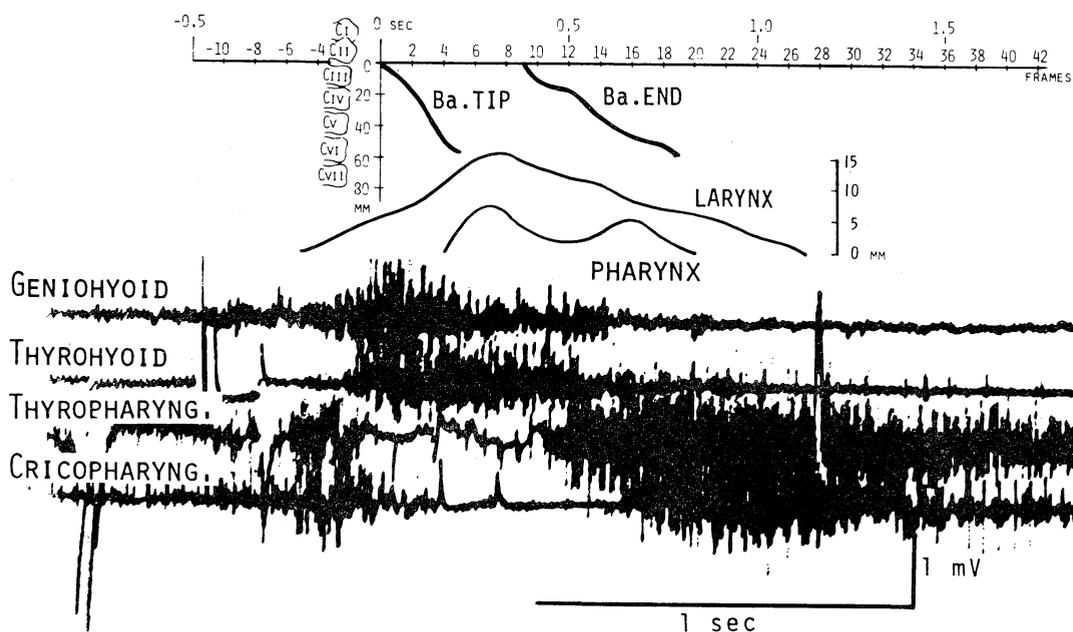


図7 いわゆる輪状咽頭筋アカラジアにおける嚥下動態 症例 R.T. 43歳男, 記号は図3参照。

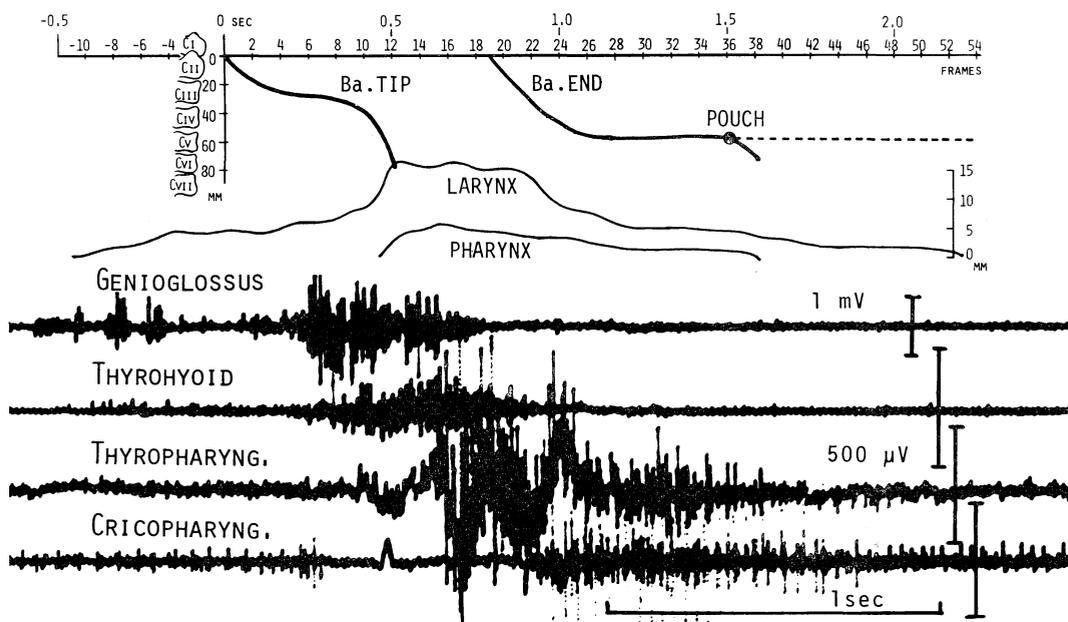


図8 いわゆる輪状咽頭筋アカラジアにおける嚥下動態 症例 K.Y. 67歳男, 記号は図3参照。
POUCH: 憩室が造影される時点とそのレベル

頸椎中間部のレベルにおける咽頭管の開大閉小が円滑に行われぬ。Bolus の通過が円滑でないことを示している。

注目すべきは何れの例においても、第二期の反射が一たん惹起されると、bolus の運搬が支障を受けているにもかかわらず、各筋はほぼ正

常のタイミングで活動することである。すなわち第二期の反射は、意志作用や feedback の影響をほとんど受けないことが示唆されている。

2. 眼・咽頭筋ジストロフイ

本症は進行性筋ジストロフイの特殊型で、眼筋と咽頭筋が犯される。私共の経験した症例について、嚥下動態の要点を説明する（詳細は、大久保他, 1978）。図6はX線ビデオと筋電図の同時記録を行った結果を示す。

Bolus の先端が咽頭に入ると相前後して、正常者と同様に、輪状咽頭筋は弛緩する。オトガイ舌骨筋はそれまでに収縮を始めており、甲状舌骨筋は輪状咽頭筋の弛緩と相前後して収縮を始める。甲状咽頭筋の収縮は正常よりやや早く始まる。しかし bolus の通過は緩慢で、その先端は舌根部、喉頭蓋谷辺りで一たん停留する。輪状咽頭筋の弛緩している時間は正常範囲である。しかし咽頭内の bolus はこの間には食道内へはほとんど入らない。多量の bolus が咽頭内に溜まり、喉頭が開くときに誤嚥を起こす。

喉頭の挙上は筋萎性側索硬化症の場合と比べると、円滑である。ただし、一たん下降しかけた後再び挙上し、その後下降してゆく。これは咽頭内に停留している bolus に対する反応と考えられる。

この例においても、bolus が咽頭に停留しているにもかかわらず、第二期の反射における各筋の活動のタイミングはほぼ正常である。

3. いわゆる輪状咽頭筋アカラジア

他の神経・筋系に異常がなく、他の器質的疾患もないのに、食道入口部の通過が障害されて嚥下障害を起こす疾患がある。造影X線検査を行ってみると、輪状咽頭筋の部位が強くなっているため、輪状咽頭筋アカラジアと呼ばれている。下咽頭に憩室を生ずることもある。

図7, 8は本症の症例の嚥下動態を示す。図8の例では憩室を併っている。先ず注目すべきは、両例とも嚥下第二期の反射に際して、輪状咽頭筋が弛緩することである。すなわち、アカラジア（無弛緩症）ではないのである。オトガイ舌骨筋、甲状舌骨筋、甲状咽頭筋は正常のタイミングで活動し、輪状咽頭筋の弛緩も正常に持続する。

しかし、両例ともに bolus の咽頭内通過は遅れ、とくに図8の例では著しく遅い。また図7の例では bolus の先端が咽頭内に入るのとほぼ同時に、輪状咽頭筋が弛緩するが、図8の例では、bolus が咽頭内にある程度入ってから、輪状咽頭筋の弛緩が始まる。それまで bolus は喉頭蓋谷のレベル近くで停留気味である。何れの例においても、輪状咽頭筋の弛緩が終り収縮を始めたときに、bolus はまだ咽頭内に残っている。

私共はこれまで“輪状咽頭筋アカラジア”の症例5例を詳細に調べているが、真の意味でのアカラジアは1例も認めていない。また全例輪状咽頭筋切断術が著効を奏している。本症の本態については別の機会に報告する。

4. 小括

以上の3疾患5症例について重要な点をまとめておく。

(1) 嚥下第二期の反射における各筋の活動のタイミングはほぼ正常である。Bolus の通過が障害されていても、それに対する意志作用や、それによる feedback の影響はほとんど受けていない。

(2) 第二期の反射が正常のタイミングで遂行されることは、嚥下障害がある場合に都合が悪い。Bolus が咽頭内に残っていても、輪状咽頭筋は強く収縮し、propelling force を形成する筋活動は終るので、残された bolus は咽頭内に停留する。その量が多いと喉頭内に流入して誤嚥を起こす。

(3) 輪状咽頭筋の弛緩が、bolus が咽頭内に入るのとほぼ同時に始まる例（図4, 6, 7）と、bolus が咽頭内にある程度溜ってから始まる例（図5, 8）とがある。このことは随意嚥下における第二期の反射の引き金は何であるかを考える上に、手掛りを与える事実である。前者では正常と同じ刺激で嚥下中枢が作動するが、後者では嚥下中枢に対する促進的刺激と抑制的刺激の加わり方が、正常とは異なると考えられる。

なお嚥下障害の1つの現われである誤嚥について、別に報告しているので（平野他、投稿中）、それを御参照いただきたい。

V むすび

嚥下第二期の生理と病態について最新の知見の一端を紹介した。人は胎生23週までにすでに羊水を嚥下し始めており、正常成人は1日に約600回の嚥下を行うという (Doty, 1968)。このことから解るように、第二期の反射は巧緻、複雑であるにもかかわらず、再現性を強く有し強固である。正常者における variation が少なく、病的な場合にも頑固に基本的パターンを保持していることもよくうなずけるのである。嚥下障害がある場合には不利なことが多いが、反面、治療する上にはしばしば好都合でもある。リハビリテーションは自ずと限界があることになる。

文 献

- 1) Christrup, J.: Normal swallowing of food-stuffs of pasty consistence. A cinefluorographic investigation of a normal material. Danish Med. Bull., 11: 79-91, 1964.
- 2) Doty, R.W.: Neural organization of deglutition. Handbook of physiology. Section 6: Alimentary canal. Vol. IV: 1861-1902, American Physiological Soc., Washington D.C. 1968.
- 3) Doty, R.W. and Bosma, J.F.: An electromyographic analysis of reflex deglutition. J. Neurophysiol., 19: 44-60, 1956.
- 4) 平野実・他: 誤嚥の臨床的分類とその意義, 主として動的障害について, 日気食会報, 投稿中。
- 5) 廣戸幾一郎, 富田英寿: 脳幹疾患と嚥下障害, 災害医学, 11: 148-156, 1968.
- 6) 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.
- 7) Kawasaki, et al.: Neurophysiologic observations of normal deglutition. I. Its relationship

to the respiratory cycle. II. Its relationship to allied phenomena. Laaryngoscope, 74: 1747-1780, 1964.

- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 野副功: 嚥下時の喉頭閉鎖に関する研究, 耳鼻, 21: 762-786, 1975.
- 11) 大久保洋: 筋萎縮性側索硬化症の嚥下動態, X線透視と筋電図の同時記録による研究, 耳鼻, 26: 44-78, 1980.
- 12) 大久保洋・他: Oculopharyngeal muscular dystrophy における嚥下障害の病態, 1症例の報告, 耳鼻, 24: 70-77, 1978.
- 13) Ramsey, G.H. et al.: Cinefluorographic analysis of the mechanism of swallowing. Radiology, 64: 498-518, 1955.
- 14) Saunders, J.B. et al.: The mechanism of deglutition (second stage) as revealed by cine-radiography. Ann. Otol., 69: 897-918, 1951.
- 15) Shipp, T. et al.: Pharyngeal muscle activity during swallowing in man. Laryngoscope, 80: 1-16, 1970.
- 16) 角忠明: 嚥下の神経機構に関する新知見とその解釈, 医学のあゆみ, 78: 733-742, 1971.
- 17) 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.
- 18) 吉田義一・他: 嚥下障害の原因とその分類, 主として動的障害の原因について, 耳喉, 48: 699-702, 1976.

(別刷請求: 〒830 久留米市旭町67
久留米大学医学部耳鼻咽喉科
平野 実)