シンポジウム I : 食道の生理と病態

1. X線および筋電図による食道運動の観察

——食道入口部を中心として——

*進 武 幹

Symposium I: Pathophysiology of the Esophagus

1. Electromyographic and Radiological Investigations of Swallowing in the Pharyngo-esophageal Junction

Takemoto Shin, M.D.

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

Dynamics of swallowing in the pharyngo-esophageal junction was investigated in normal and pathological conditions. In this study, the electromyography of selected muscles and X-ray video images were simultaneously recorded.

In normal swallowing, the pharyngeal cavity at the level of the sixth cervical vertebra is opened after the cricopharyngeal muscle begins to relax, and it is closed nearly at the same time of the cricopharyngeal relaxation. The end of the bolus passes the entrance of the esophagus during the cricopharyngeal relaxation.

Following the transport of the bolus from the pharynx into the cervical esophagus, the cervical esophagus muscles contract inconsistently with respect to timing as well as the movement of the food channel.

In some pathological conditions such as amyotrophic lateral sclerosis, difficulty in swallowing is caused by weakness of the muscles participating in the pharyngeal stage. Incoordination of the passage of the bolus and the muscular kinesiology in the pharyngeal stage accelerated the problems. This can be attributed to the different location of the efferent neurons innervating the cricopharyngeal muscle and the cervical esophagus muscles in the brain stem.

Key words : 食道入口部, X線透視, 筋電図

I はじめに

嚥下運動は食塊や液体を咽頭から胃へ運搬することである。その stage は次のように分類されている。①第1期(口腔期): 随意運動であり、口腔から咽頭へ運ぶ。②第2期(咽頭期): 反射的不随意運動であり、咽頭から食道へ運ぶ。③第3期(食道期): 不随意運動であり、蠕動運動により食道から胃に運ぶ。これらは一連の

運動であるが、咽頭と食道の境界部を形成する食道入口部の作動様式については未解決の問題も少なくない。本研究ではX線透視と筋電図の同時記録による食道入口部の嚥下動態の観察を行い、正常および嚥下障害における通過機構について解析したものである。人における研究が不十分の点については動物実験を追加し考察する。

II 食道入口部の臨床解剖

食道入口部とは臨床的に漠然とした名称と呼

*久留米大学医学部耳鼻咽喉科学教室

ばれ、第1狭窄部位ともいわれ、摘出標本について咽頭と食道の境界を後面からみると輪状咽頭筋とそれに連なる食道は明らかに区分されている。輪状咽頭筋は特異的な形態を示し、リング状の横部と斜部に分けられる。この筋は安静時には第6頸椎の中間の高さに位置し、持続的に弱い収縮をしている。この収縮状態がいわゆる sphincter zone を形成し、透視所見で見られるくびれ、あるいは内視鏡施行時にみられる食道入口部を形成している。

組織学的には咽頭、食道の粘膜はともに重層扁平上皮で被われ、咽頭に相当する部位には輪状咽頭筋がみられ、食道へ移行すると横紋筋で構成される内輪筋、外縦筋がみられる。

以上のように咽頭と食道の境界は輪状咽頭筋の下縁ということができる。臨床的に用いられる食道入口部とは一定の幅をもった、すなわち輪状咽頭筋とそれに続く食道筋から構成される横紋筋帯によって閉じられている部位と考えられる。

Ⅲ 研究方法

研究対象は正常4例、嚥下障害症例では、筋萎縮性側索硬化症5例、Wallenberg 症候群3例である。動物実験の方法については後述する。

研究装置は図1のブロックダイアグラムに示すとおりである。X線テレビ装置と4チャンネル筋電図の同時記録による観察が可能である。すなわち、嚥下運動のX線透視所見はテレビカメラがとらえ、一方、オシロスコープ上の筋電図波形もビデオカメラに撮影され、X線透視画像の中に superimpose される。

Ⅳ 食道入口部の嚥下動態

1. 正常例について：X線透視所見では、正面像で観察すると、bolus は咽頭から食道へと円滑に通過する。嚥下第2期の所要時間はきわめて短く約0.5秒である。筋電図所見とX線画

図1 4ch. 筋電図とX線テレビ透視の同時記録装置

図2 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6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, 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

像上の各部の動きを対比させ、その時間的關係について分析した結果は図2に示す。図3はそのシェーマを示す。これらの図から嚥下動態を要約すると bolus の先端が食道入口部を通過するのとはほぼ同時に舌根部は挙上される。また喉頭の挙上はピークに達する。この挙上運動は下

DYNAMICS OF SWALLOWING (NORMAL)

図3 図2の作動様式の模式図

DYNAMICS OF SWALLOWING (ALS)

図5 図4の作動様式の模式図

図4 筋萎縮性側索硬化症における嚥下動態 (記号は図2参照)

咽頭から食道入口部を広げ, bolus の後端が食道に入ると相前後して喉頭は開きながら下降し始める。この時点で輪状咽頭筋は収縮して食道入口部を閉じる。

2. 嚥下障害例について: 嚥下運動の調節に関与する神経・筋系の機能障害によって起る嚥下障害の代表例について述べる。

i) 筋萎縮性側索硬化症: 上位運動ニューロンと下位運動ニューロンがともに選択的に変性した特異な疾患である。嚥下障害の程度も病態の進行程度により相違するが、その特徴は bolus が食道入口部を通過するのに正常例と比較し、

約3倍の時間を要する。また、食道に入るまでに一時 bolus が停留する現象がみられる。本症の嚥下動態の分析図は図4, 5に示す。Bolus が咽頭内に入ってきて、しばらくの間、第2期の反射が起ってこない。ある程度の量の bolus が溜ってくれば反射が起る。一旦反射が起ると嚥下に参加する各筋の作動様式は正常のパターンをとる。すなわち、筋電図所見では輪状咽頭筋が小収縮の後弛緩し、甲状舌骨筋、甲状披裂筋が収縮し喉頭挙上が見られる。しかし propelling force が弱いいため輪状咽頭筋が弛緩している間に bolus を食道内に全部送りこむことができない。このことは bolus の移動と筋活動の間に timing のずれが生じることになる。

ii) Wallenberg 症候群: 本症は脳血管障害のなかでは障害部位が明らかであるといわれる。透視所見では bolus を咽頭内へ円滑に送りこむことができない。少量入ったバリウムは喉頭蓋谷の付近で停留し、食道入口部を通過しない (図6)。図6はX線と筋電図の同時記録を分析したものである。輪状咽頭筋の活動様式は正常例と比較し、収縮開始時点も異なる。また、嚥下に関与する各筋の筋活動の時間的關係も一定のパターンをとらない。この理由は本症では中枢における核性の麻痺あるいは逆に中枢に対

する抑制的刺激が加わり嚥下不能の状態になったのではないかと考える。

3. 下咽頭および頸部食道の通過機構 bolus: 以上の結果は, 適量のバリウムを嚥下させたときの輪状咽頭筋を主体にした嚥下第2期の動態である。本項では輪状咽頭筋とこれに続く頸部食道筋の作動様式について述べる。

i) 正常例について: 図7は咽頭から頸部食道へと通過する bolus の先端と後端をトレースしたものである。正常嚥下では bolus の先端が食道入口部を過ぎると, その速度が増すが, bolus の後端はゆるやかになる。図8はこの時の筋電図所見を示す。同一症例で同じような嚥下運動をさせた場合である。上の図は輪状咽頭筋の収縮に引き続いて頸部食道筋にきわめてわずかに筋放電がみられる。一方, 下の図は同じ嚥下動作にもかかわらず頸部食道筋の収縮がやや強くみられる。また, 両筋の収縮の時間的關係にもずれがみられる。このように輪状咽頭筋は全く規則正しい収縮をくり返しているが, 頸部食道筋の収縮は必ずしも一定のパターンをとらない。

ii) 実験動物による観察:
実験装置は前述の人における

るものと同一のものをを用いた。実験にはネコ(体重2.8~3.0kg)を使用し, 嚥下反射が容易に起る程度の浅い麻酔(塩酸ケタミン30mg/kg)を施した。輪状咽頭筋にはあらかじめ双極有鉤電極を埋め込み, 食道筋には直達鏡下に同型の電極を刺入し筋電図を誘導した。反射性嚥下を起すには造影剤(バリウム)に栄養剤を混ぜ半

図6 Wallenberg 症候群における嚥下動態
(記号は図2参照)

図7 食道入口部の通過状態

CPS: 輪状咽頭筋上部

CPI: 輪状咽頭筋下部

図8 輪状咽頭筋と頸部食道筋の筋電図

C.P.: 輪状咽頭筋

C.E.: 頸部食道筋

流動体としたものを咽頭に注入した。図9はX線透視所見と筋電図の同時記録の代表例を示す。この例では輪状咽頭筋の収縮に引き続いて, bolus が頸部食道のa点すなわち電極を刺入している部位を通過した後, しばらくして食道筋の収縮がみられる。b点すなわち輪状咽頭筋より3cm下方の食道筋では bolus の後端が

通過した後に比較的長い時間にわたり収縮がみられる。このように頸部食道運動はあたかも嚥下第2期の影響を受けているようにみうけられる。しかし、実験を重ねていくと作動様式が異なる例もみられる。図10は別の実験動物であるが、bolusの先端がくるとほぼ同時に食道筋は強い収縮が持続的に起こる。同じ頸部食道筋でも収縮の時間的關係は図9の例のように一定のパターンをとらないこともある。透視所見と筋電図を対比すると bolus の通過状態とよく一致し、後端は頸部食道に停留している。

以上のように嚥下第2期と第3期すなわち食道入口部を中心として咽頭側と食道側の通過状態は異なっている。これは輪状咽頭筋と頸部食道筋はお互いに全く無関係の作動様式を示していると考えられる。

iii) 輪状咽頭筋および頸部食道筋の運動神経細胞起始核について：上述の実験結果から輪状咽頭筋と頸部食道筋の中枢支配はそれぞれ異なっているのではないかと推察される。これを検討する目的でネコを用い、両筋の運動神経細胞起始核を H.R.P. 法(Horseradish Peroxidase 法)にて染色した。実験方法の詳細は文献4)を参照されたい。

図11は標識細胞を図示したものである。左は延髄横断面を示し、星形のマークは輪状咽頭筋、黒丸は頸部食道筋の標識細胞である。両者ともに nucleus retrofacialis と

図9 X線透視と筋電図の同時誘導の代表例(猫)
c.p.: cricopharyngeal muscle
c.e.: cervical esophageal muscle
(a) 安静時の輪状軟骨の高さより、2cm下方
(b) 安静時の輪状軟骨の高さより、3cm下方

図10 X線透視と筋電図の同時誘導の代表例(猫)
c.p.: cricopharyngeal muscle
c.e.: cervical esophageal muscle
(a) 安静時の輪状軟骨の高さより、5cm下方
(b) 安静時の輪状軟骨の高さより、6cm下方

図11 運動神経細胞起始核
CP: 輪状咽頭筋
CE: 頸部食道筋

nucleus ambiguous の吻側にみられる。しかし、頸部食道筋は輪状咽頭筋と比較し、腹外側寄りにあり、細胞数も少なく細胞の大きさもやや小さい。図11の右は延髄の水平断を示し、両者ともに顔面神経核の尾側端の直下に標識細胞が出現する。しかし頸部食道筋に H.R.P. を注入した方が輪状咽頭筋注入側と比較して外側に存在し、細胞柱も短い。

以上の研究結果より両筋が嚥下運動に際しその基本的パターンは相違すると考える。

V むすび

食道入口部を中心とした嚥下動態について検討を加えた。主な結論はつぎのごとくである。

1) 正常例では、bolus の通過に際し、輪状咽頭筋は短時間（約 0.5 秒）弛緩し、通過後は強く収縮する。食道に入ると bolus の先端は速度を増し、後端はゆるやかになる。

2) 筋萎縮性側索硬化症では propelling force の減弱により輪状咽頭筋が弛緩している間に bolus を全部食道内へ送り込むことはできない。

3) Wallenberg 症候群では、嚥下に関与する各筋の筋活動の時間的關係がくずれ、いわゆる嚥下不能の状態になる。これは核性の麻痺あるいは中枢に対する抑制的刺激のためと考える。

4) 食道入口部を中心として咽頭側と食道側ではその作動様式が異なる。裏付けとして運動神経細胞起始核を標識し、考察を加えた。

終りに、研究指導者として終始ご指導を賜った平野実教授に深い感謝の意を表する。また協同研究者として本研究に従事してくれた吉田義一、吉田哲二、大久保洋、江崎修市、平出芳生、宮崎俊巳の諸氏に満腔の謝意を表する。

本研究の一部は昭和54年度久留米大学同窓会研究助成金の援助によるものである。

主要文献

- 1) 平野実：嚥下第二期の生理と病態，日気食会報，31：1-9，1980.
- 2) 大久保洋：筋萎縮性側索硬化症の嚥下動態，X線透視と筋電図による研究，耳鼻，26：44-78，1980.
- 3) 進武幹：嚥下時の喉頭閉鎖，日気食会報，26：131-142，1975.
- 4) Yoshida, Y. et al.: Location of motoneurons supplying the cricopharyngeal muscle in the cat studied by means of the horseradish peroxidase method. Neuroscience Letters, 18：1-4，1980.
- 5) 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.

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学教室
進 武幹