《原 著》

咀嚼が食塊の咽頭進入に及ぼす影響

武田 斉子^{*1} 才藤 栄一^{*1} 松尾浩一郎^{*1,*2}
馬場 尊^{*1} 藤井 航^{*1} Jeffery B PALMER^{*3}

Influence of Chewing on Food Transport and Swallowing

Seiko TAKEDA,^{*1} Eiichi SAITOH,^{*1} Koichiro MATSUO,^{*1,*2}
Mikoto BABA,^{*1} Wataru FUJII,^{*1} Jeffery B PALMER^{*3}

Abstract : When normal subjects eat solid food, the bolus is formed in the oropharynx prior to swallowing. Bolus formation for liquids, however, is usually in the mouth. The purpose of this study was to determine whether the act of chewing alters the relationship between bolus position and swallow initiation. Ten healthy volunteers aged 29.2 ± 4.1 years were imaged with videofluorography while consuming barium-mixed foods included 10 ml-liquid (LQD), 8 g-corned beef hash (CBH), 8 g-cookie (COK), and a mixture of 5 ml-liquid with 4 g-CBH (MIX). They were instructed to chew and then swallow. For liquid, an additional recording was made with command swallow. Swallow onset was defined as the moment hyoid began its rapid elevation. The position of the leading edge of bolus at swallow onset and the duration of bolus transition were measured. The position of the leading edge of bolus was classified in Oral cavity (OC), Upper-oropharynx (UOP), Valleculae (VAL), or Hypopharynx (HYP). With LQD, the leading edge of bolus was in OC or UOP at time of swallow onset in 89.5% of swallows without chewing. In contrast, bolus entered VAL and HYP before swallow onset in 45% of swallows of LQD with chewing. For CBH and COK, the leading edge of the bolus entered VAL before swallow onset in 55.0% and 50.0% of swallows, respectively. For MIX swallows, the leading edge reached VAL or lower before swallow onset in 100% of swallows. From these findings the act of chewing seemed to be a prime determinant of a manner of chew-swallow complex characterized by the existence of the stage II transport. And for observation of this phenomenon clinically, MIX chew-swallowing is the most suitable because of its high reliability. In chew-swallow of food including liquid properties (LQD and MIX), high frequency of bolus entering in HYP before swallow onset was observed. The food transport to hypopharynx seemed to be influenced by gravity. This finding was very important in consideration of aspiration mechanism of dysphagic patients especially with false-negative results of videofluorographic study. High correlation was recognized in the chewing time and the oropharyngeal transport time, and hypopharyngeal transit time was long in LQD with chewing and MIX. Steadiness of hyoid bone movement time indicated that this parameter should be suitable for standardize of time measurement. The manner of chew-swallow complex was obviously different from that of command swallow. It seemed to be important clinically to assess chew-swallow complex additionally to the conventional videofluorography. (*Jpn J Rehabil Med* 2002; 39: 322-330)

2002年3月25日受付, 2002年5月31日受理

^{*1} 藤田保健衛生大学医学部リハビリテーション医学講座/〒470-1192 愛知県豊明市杻掛町田楽ヶ窪 1-98
Department of Rehabilitation Medicine, School of Medicine, Fujita Health University

^{*2} 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科老化制御学系専攻口腔老化制御学講座口腔老化制御学分野/〒113-0034 東京都文京区湯島 1-5-45
Gerodontology, Department of Gerodontology, Division of Gerontology and Gerodontology, Graduate School, Tokyo Medical and Dental University

^{*3} Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Johns Hopkins University Medical School and Good Samaritan Hospital

要 旨：咀嚼嚥下の評価法の確立のため、健常成人10名を対象として、4食物条件下で咀嚼が嚥下反射開始前の食塊位置および嚥下時間経過に及ぼす影響を嚥下造影検査を用いて検討した。液体命令嚥下に比し全咀嚼条件で食塊先端位置の中～下咽頭への到達率が高く、食塊進入には咀嚼の存在が一義的に関与し、食物形態はそれを修飾する役割を担うと思われた。混合咀嚼条件では食塊は全例で嚥下前に中～下咽頭へ到達しており、信頼性の高い負荷法といえた。液体を含む咀嚼嚥下では、下咽頭到達が高率で下咽頭通過時間も長く、誤嚥防止の観点から興味深い所見であった。咀嚼嚥下は命令嚥下とは別様式であり「食べる」機能の評価と位置づけられた。(リハ医学 2002; 39: 322-330)

Key words: 嚥下障害 (swallowing disorder), 咀嚼 (mastication), 食物形態 (food consistency), ビデオ嚥下造影検査 (videofluorography)

はじめに

嚥下障害の標準的検査としてビデオ嚥下造影検査 (Videofluorography: VF) が広く用いられている。この検査により、誤嚥の同定、不顕性誤嚥の発見、効果的な食物形態・体位・代償法の決定など治療に直結する極めて具体的な所見を得ることができるからである^{1,2)}。

ところで、これまでVFにおける嚥下動態の解析は、主に4期モデル (four-stage sequence model) を基本概念において行われてきた。このモデルは命令嚥下 (command swallow), すなわち、液体や食塊を口腔に含ませた後、「飲んでください」という命令を合図に一息で飲み込む嚥下運動の観察から定義されたものであり、これは検査を効率的に行うための単純化として広く受け入れられてきた³⁾。4期モデルは、嚥下運動を口腔準備期、口腔送り込み期、咽頭期、食道期という4期のはっきりとした時間的連続過程として捉える考え方である。特に、嚥下反射の開始時期については、食塊が口腔からの送り込みにより中咽頭へ運ばれるとその直後に喉頭挙上を伴う咽頭期が続くとされ、この考え方をもとに各期の開始や終了を定義し、その延長や嚥下反射の遅延を議論してきた。しかし、ゼリーなど模擬食品の摂食時には一息で飲み込むことは少なく、4期モデルとは異なる嚥下動態の存在に気づかれるようになった。

Hiimaie と Palmer は咀嚼を要する固形物の嚥下動態を解析し、4期モデルとは異なった概念を用いて解釈する必要があることを示した^{4,5)}。それがVFを用いた一連の実験から提案されたプロセスモデル (Process model) である⁵⁾。プロセスモデルは固形物の咀嚼を含む嚥下動態を液体の命令嚥下と比較した初めてのモデルであり、咀嚼嚥下 (chew-swallow complex) 時には、咀嚼により嚥下可能なまでに粉碎され

た食物が舌による能動的輸送によって中咽頭に送り込まれ、そこで食塊としてまとめられることが特徴となる。彼らは、この咀嚼と同期しておこる舌による食物の能動的輸送を Stage II transport と定義した。これまでの液体の命令嚥下の解析では、嚥下反射開始前に食塊が口峽を越えて咽頭に達する例は嚥下反射の遅れなどの異常があると考えられていた⁶⁾が、咀嚼条件下では口峽あるいは喉頭蓋谷で食塊形成の行われることが通常であることが理解され、4期モデルの汎用に再考を促すこととなった。

我々は、咀嚼を伴う嚥下が日常行われる通常の食事行為であることから、その評価の重要性を考え、臨床的評価法として標準化するために、未だ明らかとなっていない以下の点を解明する目的で検討を行った。すなわち、1) プロセスモデルに特徴的な Stage II transport をもたらす要因として重要なのは、咀嚼に伴って起こる舌の動きか食物形態か、2) Stage II transport の発生頻度はどの程度で食物形態により変化するかどうか、3) 咽頭内での食塊形成の場の広がりとはどのようなもので食物形態により変化するかどうか、4) 咀嚼嚥下の場合、嚥下各期の位相時間の構成はどのようなものか。

健常者を対象に咀嚼嚥下の際の嚥下反射開始時の食塊先端の深達度および嚥下反射開始のタイミングを計測した。その際、固形物に加えて、液体および液体と固形物の混合物を被検物として用いた。

対象と方法

1. 対 象

神経疾患や咽頭・喉頭疾患の既往がなく、摂食・嚥下障害に関する愁訴のない健常成人10名 (男性6名、女性4名、年齢 29.2 ± 4.1 歳) を対象とした。被験者には実験の方法および使用する食品の説明のみ行い、Stage II transport に関する説明は行わなかった。透

視室で楽な姿勢で椅子に座らせてVFを行い、VF側面像をデジタルビデオに記録した。被験物として、(1) 50%バリウム水溶液 10 ml (液体)、(2) バリウム含有コンビーフ 8 g (コンビーフ)、(3) バリウム塗布クッキー 8 g (クッキー)、(4) 50%バリウム水溶液 5 ml とバリウム含有コンビーフ 4 g の混合物 (混合) を用いた。固形の被験物の量は Hiiemae らの Process model の研究⁵⁾ に準じて決定し、コンビーフは Process model で用いられた chicken spread の類似品として用いた。

2. 嚥下条件の定義

咀嚼嚥下では、各被験物について「味わうように嚙んで食べてください」と被験者に指示を与え、自由咀嚼させた後に生じる自由なタイミングでの嚥下を観察した (以下、各々、液体咀嚼、コンビーフ、クッキー、混合と表現)。液体においては命令嚥下を追加した (以下、液体命令)。命令嚥下の際には、液体を口腔前庭内にシリンジで注入した後、「飲んでください」という指示によって飲み込ませた。

3. 解析方法

各条件で2試行ずつ記録した計20試行のビデオデータをスローモーションで再生し解析した。用いたビデオタイマーは1/100秒、デジタルビデオテープは30フレーム/秒である。データ記録上の不備例を除外し、解析対象は、液体命令では19試行、混合では18試行となった。

嚥下に先だって舌骨が上前方への挙上を開始した時点嚥下反射開始時点と定義した。画像上における舌骨の急速な移動を嚥下反射開始と判定し、その直前の画像フレームにおける食塊先端の到達した部位を「嚥下反射開始時点の食塊先端位置 (以下、食塊先端位置)」とした。また、それぞれの領域における食塊の通過時間を計測した。

3.1 食塊先端位置

食塊先端位置は Palmer らの Process model⁵⁾ を一部改変し、以下のように分類した (図1)。すなわち、a) 口腔内 (Oral cavity area, OC)、b) 口腔咽頭上部領域 (Upper oropharynx area, UOP) : VF 側面像で硬口蓋と軟口蓋の境界を越え下顎下縁の線に達するまで、c) 喉頭蓋谷領域 (Valleculae area, VAL) : 下顎下縁を越え喉頭蓋谷底に達するまで、d) 下咽頭領域 (Hypopharynx area, HYP) : 喉頭蓋谷を越え食道入口部に達するまで、とした。また、咽頭への深達度を

図1 口腔・咽頭領域の区分

食塊先端位置を示すのに、図のように口腔・咽頭を区分した。( ) 内に領域に対応した位相時間の定義を示した。

OC: Oral cavity area (口腔内), UOP: Upper oropharynx area (口腔咽頭上部領域), VAL: Valleculae area (喉頭蓋谷領域), HYP: Hypopharynx area (下咽頭領域), Stage I + Process: (口腔内移送時間), PFAT: Postfaucal aggregation time (口腔咽頭上部領域通過時間), VAT: Valleculae aggregation time (喉頭蓋谷領域通過時間), HTT: Hypopharyngeal transit time (下咽頭領域通過時間)。

口腔咽頭上部領域以降: UOP+VAL+HYP (UOP or more, 以下 UOP-om), 喉頭蓋谷領域以降: VAL+HYP (VAL or more, 以下 VAL-om), HYP の3段階に分けて検討した。

3.2 位相時間

嚥下各位相は Palmer らに準拠し、食塊が OC を通過する時間 (口腔内移送時間) : Stage I + Process, UOP を通過する時間 (口腔咽頭上部領域通過時間) : Postfaucal aggregation time (PFAT), VAL を通過する時間 (喉頭蓋谷領域通過時間) : Valleculae aggregation time (VAT), HYP を通過する時間 (下咽頭領域通過時間) : Hypopharyngeal transit time (HTT) として、ビデオタイマーにより時間を計測し、各被験物における位相の差を検討した。

実験にあたって、被験者には文章および口頭で実験の主旨と内容を十分に説明し同意を得た。統計処理には食塊先端の各領域への到達率の検討に Fisher's exact test を用い、各被験物における嚥下位相時間の差の検討に ANOVA を用いた。

表1 嚥下反射開始時の食塊先端の位置

	液体 命令嚥下	液体 咀嚼嚥下	コンビーフ 咀嚼嚥下	クッキー 咀嚼嚥下	混合 咀嚼嚥下
総数	19	20	20	20	18
OC	12 (63.2)	9 (45.0)	3 (15.0)	2 (10.0)	0 (0.0)
UOP	5 (26.3)	2 (10.0)	6 (30.0)	5 (25.0)	0 (0.0)
VAL	2 (10.5)	4 (20.0)	11 (55.0)	10 (50.0)	5 (27.8)
HYP	0 (0.0)	5 (25.0)	0 (0.0)	3 (15.0)	13 (72.2)
UOP or more	7 (38.6)	11 (55.0)	17 (85.0)	18 (90.0)	18 (100.0)
VAL or more	2 (10.5)	9 (45.0)	11 (55.0)	13 (65.0)	18 (100.0)

ケース数 (%). 液体命令では嚥下開始前にはほとんどの例で食塊が口腔に保持されている (63.2%) が, 液体咀嚼では中-下咽頭に食塊が達する率が高い (VAL or more: 45.0%). 特に混合では全例で VAL or more に達していた. 下咽頭到達率は液体咀嚼で 25.0%, 混合で 72.2%と, 液体を含む食品の咀嚼条件下で高率であった. OC: Oral cavity area (口腔内), UOP: Upper oropharynx area (口腔咽頭上部領域), VAL: Valleculae area (喉頭蓋谷領域), HYP: Hypopharynx area (下咽頭領域), UOP or more: UOP+VAL+HYP (口腔咽頭上部領域以降), VAL or more: VAL+HYP (喉頭蓋谷領域以降).

表2 食塊先端の深達度の検討 (Fisher's exact test)

食塊先端位置	液体命令 液体咀嚼	液体命令 コンビーフ	液体命令 クッキー	液体命令 混合
UOP or more	0.208	0.003	0.001	<0.001
VAL or more	0.019	0.004	0.001	<0.001
HYP	0.027	1.000	0.125	<0.001

食塊先端位置	液体咀嚼 コンビーフ	液体咀嚼 クッキー	液体咀嚼 混合	コンビーフ クッキー	コンビーフ 混合	クッキー 混合
UOP or more	0.041	0.016	0.001	0.500	0.135	0.270
VAL or more	0.376	0.170	<0.001	0.374	0.001	0.006
HYP	0.024	0.347	0.004	0.115	<0.001	0.001

被験物の違い, 咀嚼の有無と各領域における嚥下反射開始直前の食塊到達率の差を検定した. 表中は Fisher's exact test による p 値を記した. 液体では咀嚼の有無により VAL or more, HYP で食塊到達率に差を認めた. 混合咀嚼は他被験物と比べ, すべての領域で食塊到達率に差を認めた ($p<0.05$).

結 果

1. 食塊先端位置の深達度の検討 (表1, 表2)

液体命令では, 嚥下反射開始前に食塊先端位置は口腔内に存在する率が高く, OC 63.2%, UOP 26.3%, VAL 10.5%, HYP 0%で, 嚥下反射開始前に食塊が下咽頭に達する例は1例も認めなかった.

液体咀嚼では, OC 45.0%, UOP 10.0%, VAL 20%, HYP 25%であり, 約半数で嚥下反射開始前に食塊先端が喉頭蓋谷に達し, さらに1/4例で下咽頭に達していた.

固形物における VAL, HYP への深達率は, コンビーフで 55%, 0%, クッキーで 50%, 15%であった.

混合では, VAL 27.8%, HYP 72.2%であり, 全例で嚥下反射開始前に食塊が喉頭蓋谷以降に達し, 特に下咽頭に到達している率が高かった. 図2に代表例を示す. ビデオから各条件における嚥下反射開始直前の画像を切り出して, 食塊先端位置を同定した. 液体咀嚼および混合では嚥下反射開始以前に食塊が下咽頭に達しているのが明らかである.

表2に深達度の比較を示す. UOP-omについては, 液体命令とコンビーフ, クッキー, 混合との間に有意差を認めた. 液体咀嚼とその他の咀嚼条件の間にも有意差を認めた. コンビーフ, クッキー, 混合との間には有意差を認めなかった. なお, コンビーフとクッキーの間には, すべての条件で深達度に有意差を認めなかった.

1. 液体命令:OCA

2. 液体咀嚼:HYP

3. コンビーフ:VAL

4. 混合:HYP

図2 嚥下反射開始直前の食塊先端位置 (31歳, 女性)

嚥下反射開始を舌骨の上前方移動開始時と定義し, ビデオ画像で舌骨が上前方に急速に移動を開始する直前のフレームから食塊先端の位置を同定した。液体咀嚼, 混合咀嚼で食塊先端が下咽頭に達している。OC: Oral cavity area (口腔内), VAL: Valleculae area (喉頭蓋谷領域), HYP: Hypopharynx area (下咽頭領域)

表3 嚥下位相時間

	液体命令	液体咀嚼	コンビーフ	クッキー	混合
Stage I + Process	3.35 (3.01)	4.86 (2.76)	7.53 (3.65)	13.78 (7.40)	4.59 (3.80)
PFAT	0.33 (0.24)	1.72 (2.34)	3.34 (3.49)	2.62 (2.65)	1.37 (1.69)
VAT	0.15 (0.35)	1.17 (1.81)	0.63 (0.70)	1.62 (1.67)	1.01 (0.30)
HTT	0.47 (0.11)	0.83 (0.79)	0.48 (0.10)	0.62 (0.46)	1.58 (1.57)
咀嚼時間	—	7.79 (3.86)	11.19 (4.52)	17.91 (7.19)	7.97 (4.82)
咀嚼停止から舌骨挙上 開始までの時間	—	0.13 (0.25)	0.03 (0.25)	0.06 (0.20)	-0.06 (0.18)

Mean (SD). 各条件下の嚥下位相時間の平均値とSDを示した。混合咀嚼以外では嚥下反射開始より先に咀嚼停止が起こったが, 混合咀嚼でのみ嚥下反射開始が咀嚼停止に先行した。

Stage I + Process: (口腔内移送時間), PFAT: Postfaucal aggregation time (口腔咽頭上部領域通過時間), VAT: Valleculae aggregation time (喉頭蓋谷領域通過時間), HTT: Hypopharyngeal transit time (下咽頭領域通過時間)

VAL-om については, 液体命令とすべての咀嚼条件 (液体咀嚼を含む) との間に有意差を認めた。咀嚼条件内では, 混合とその他の咀嚼条件とで有意差を認めた。

HYP では, 液体命令と液体咀嚼, 混合との間で有意差を認めた。また, 混合はその他の全条件との間に有意差を認めた。

2. 嚥下反射開始を基準とした各嚥下位相時間の比較 (表3, 図3, 図4)

舌骨挙上開始をゼロとして各条件の嚥下位相の平均時間を図3に示した。以下に主な所見を列挙する。

咀嚼運動が停止してから舌骨挙上開始までの時間は, 液体, コンビーフ, クッキーでは0.03から0.13秒で有意差を認めなかったが, 混合では舌骨挙上開始が咀嚼停止より0.06秒早く生じていた。命令嚥下に比べ咀嚼4条件下では, 口腔から中咽頭までの各嚥下

咀嚼が食塊の咽頭進入に及ぼす影響

図3 嚥下位相時間

嚥下反射開始時点 (=舌骨挙上開始時点) をゼロとして各条件の嚥下位相の平均値を示した。咀嚼停止時点をグラフ中の黒丸で示した。液体咀嚼と混合咀嚼で嚥下反射開始前に食塊が下咽頭に到達しており、とくに混合咀嚼で食塊が下咽頭に達してから嚥下反射が始まるまでの時間が長い。

A: 咀嚼時間

B: 中咽頭通過時間 (PFAT+VAT)

C: 下咽頭通過時間 (HTT)

図4 咀嚼時間と嚥下位相時間

A: 咀嚼時間, B: 中咽頭通過時間 (PFAT+VAT), C: 下咽頭通過時間 (HTT). a: 液体命令, b 液体咀嚼, c: コンビーフ, d: クッキー, e: 混合。食塊の性状によって咀嚼時間と中咽頭通過時間は同様の傾向の変化を呈し、2 者間で有意な相関を認めた ($r=0.439$)。HTT は液体咀嚼と混合において著しく長かった (ANOVA <0.01)。HTT と咀嚼時間との相関は認めなかった。

位相時間 (Stage I + Process, PFAT, VAT) が長かった (ANOVA, $p<0.01$)。液体および混合物の咀嚼負荷条件では HTT が他の条件に比べて有意に長かった (ANOVA, $p<0.01$)。

咀嚼時間と各位相時間を図4に示す。咀嚼時間 (図4A) はクッキーが最も長く17.9秒で、コンビーフ

11.2秒、混合8.0秒、液体7.8秒であり、食物の物性、つまり、固さに関連していた。

食塊の中咽頭通過時間 (PFAT+VAT) (図4B) はクッキーで最も長く、コンビーフ、液体咀嚼、混合と続き、ほぼ咀嚼時間の順と同様の傾向を示し、咀嚼時間と中咽頭通過時間 (PFAT+VAT) との間には有意

な相関を認めた ($r=0.439$)。HTT (図 4 C) は、混合 1.58 秒、液体咀嚼 0.83 秒、クッキー 0.62 秒、コンビーフ 0.48 秒で、咀嚼時間との関連は認めず、液体咀嚼および混合でのみ液体命令に比して長かった。

考 察

Palmer らは、固形物の咀嚼嚥下を説明するプロセスモデルを提案した⁵⁾。このモデルの特徴は、嚥下反射前に咀嚼に伴って食塊が口峽から咽頭に送り込まれる現象 (Stage II transport) にある^{4,5)}。しかし、その際、Stage II transport を生み出す鍵となるのが、固形物の嚥下という食塊の物性によるものなのか、あるいは咀嚼という運動なのかという点は明らかでなかった。今回の我々の検討 (表 1) により、液体命令に比して、液体咀嚼を含むすべての咀嚼嚥下条件で VAL-om が有意に高率であったことから、咀嚼運動の存在が Stage II transport を生み出し、食塊の咽頭進入の程度に食塊の物性が関与することが示唆された。

1. 食塊先端位置による検討

Stage II transport の発生頻度には、食物の形態により差が見られた。発生頻度は、Palmer らの実験では明示されなかった点である。すなわち、ここで仮に UOP-om あるいは VAL-om をもって Stage II transport の発生と定義すると、それぞれ、液体咀嚼 55.0%、45.0%、コンビーフ 85.0%、55.0%、クッキー 90.0%、65.0%、混合 100%、100%と咀嚼嚥下条件下でもばらつきがあり、特に、混合を除く均一な食物では 100%に生じるわけではなかった。このことは、Stage II transport がヒトの咀嚼嚥下で常に生じる、すなわち、hardwired な現象ではなく、変動性を有する現象であることを示唆した。また、詳細な検討は後日の報告で行うが、この発生頻度は明らかな個人差のある現象と思われた。以上は、咀嚼嚥下様式の多様性を意味すると思われ、臨床的には、嚥下障害者において Stage II transport を起こさない咀嚼様式の考案など訓練への適用という観点からみて重要と考えた。一方、Stage II transport を評価する方法として咀嚼嚥下を考えた場合、混合で Stage II transport が 100%出現したという結果から、咀嚼負荷を検査法として使用する際の信頼性を確保するために混合咀嚼負荷が有用と思われた。ちなみに Stage II transport は基本的には能動的過程と定義されているため、厳密に

は漏れなどの受動的な食塊進行と区別する必要がある。しかし、今回の検討は主に位置情報という結果からの解析のため、そこまでの区別はできなかった。

さらに、液体咀嚼、混合では、食塊が嚥下反射開始前に下咽頭にまで達する現象が、その他の条件に比して高率に見られた (液体咀嚼 25%、混合 72%)。この嚥下反射前に食塊が口峽、喉頭蓋谷を越えて下咽頭に存在するという現象が健常者で高率に認められたという結果は、誤嚥防止という観点から見た場合重要な意味を持つ。つまり、健常者の場合、嚥下反射前に食塊が下咽頭まで達する例があっても誤嚥を生じることはまれであり (本検討では、1 例にのみ誤嚥を認めた)、喉頭周囲の感覚を含む気道防御機構が誤嚥を防いでいると考えられる。すなわち嚥下障害患者における誤嚥のメカニズムとしては、反射遅延という概念に加えて、喉頭閉鎖機能不全や呼吸と嚥下の協調不全の影響が重要であると推測できた。従って、従来からいわれている誤嚥防止のために「咽頭に食塊が進行すれば即座に嚥下反射が生じることが重要」という考え方には一定の修正が必要と思われた。この食塊の HYP への進行は、Palmer の実験では専ら固形物や半固形物を用いていたため見落とされていた所見である。

また、HYP への進行が液体を含む食物の咀嚼負荷で高率であったことから、嚥下反射前の喉頭蓋谷から下咽頭 (vertical portion) にかけての食塊の進行には、重力による流れ込みが関与している可能性が高いと考えた。すなわち、固形物咀嚼嚥下において食塊の UOP (horizontal portion) や VAL (horizontal portion と vertical portion の移行部) への進行には舌運動の能動的過程が重要であることが、すでに Palmer により、重力の影響を取り除いた系である「四つ這い位を用いた実験」で示されたが⁷⁾、水分を含む食物の場合、さらにこれに加えて、重力による受動的過程が vertical portion である下咽頭への食塊進行を生み出していると思われた。この発生機序については、現在、さらに、四つ這い位実験による検討を予定している。

咀嚼嚥下における 4 条件において UOP-om と VAL-om の深達率は、混合、固形物 (コンビーフ、クッキー)、液体咀嚼の順となっていた。咀嚼中の舌には、食塊を舌上に保持する動き、歯と歯の間に食塊を保持する動き、食塊を口腔前方から舌根部へ送り込むための squeeze back や食塊を咽頭に落とし込む

tongue retract などの3次元的な動きが観察される⁸⁻¹⁰⁾。このような能動的な舌の動きと関連して食塊の硬度、付着性、凝集性などの物的特性と重力が食塊の咽頭深達度に影響を与えていると思われる。また、下咽頭到達率は液体咀嚼で25%、混合咀嚼で72.2%であり、液体を含む食塊の咀嚼であっても、液体が一律に下咽頭(HYP)へ到達する訳ではないことを意味する。この点について、我々は2つの可能性を考えている。1つは、液体の咀嚼嚥下が不自然な課題であり、咀嚼が十分に行われていないため食塊が十分送り込まれなかった可能性である。もう1つは、混合では食塊が均一ではないために、咀嚼時に口峽部での舌と口蓋とによる oropharyngeal seal が不完全になるため口腔からの漏れが生じたという考え方である。

2. 嚥下位相時間からの検討

時間経過から見た場合、HTT が、液体咀嚼および混合で長かった点も重要な所見である。咀嚼嚥下では、咽頭に食塊が進入してもすぐには嚥下反射が起こらず、食塊がある程度まとめられた後に嚥下反射運動が生じていた。これは液体の命令嚥下で用いられてきた「嚥下反射開始前に食塊が口峽を越えて咽頭に達する例は嚥下反射遅延という異常所見」とする考え方⁶⁾をそのまま咀嚼嚥下へは適用できないことを意味し、特有な口腔・喉頭・咽頭構造をもつヒトでは、その嚥下動態を命令嚥下と咀嚼嚥下とで分けて考える必要性を示唆するものである。

2.1 嚥下反射開始時点の定義

また、嚥下動態の位相時間の解析における基準点(嚥下反射開始時点)の定義は、VF 側面像で「食塊が口峽を越えた時点」あるいは「食塊が下顎下縁を越えた時点」など解剖学的指標に対する食塊の位置で決められることが多く、プロセスモデルでも食塊が下咽頭を通過する時間(HTT)が嚥下反射の時間を反映するとされた。しかし我々の結果で咀嚼条件によりHTTが変動を示したことから、さらに、食物の物性、つまり、固さに関連してPFAT、VATが大きく変化していたことから解剖学的指標に対する食塊の位置から求める時間(時刻)にはばらつきが大きく、計測の基準点として適切ではないと思われた。一方、舌骨運動時間にはばらつきが少なく、舌骨運動開始時点を計測の基準点として用いる方が合理的と考えた。

2.2 咀嚼から嚥下への移行のタイミング

さらに、咀嚼嚥下では、咀嚼停止-舌骨運動開始時

間は「咀嚼運動から嚥下運動へと運動が切り替わる過程」を反映するといわれており^{11,12)}、その変動の観察により咀嚼嚥下について一定の洞察が得られると思われる。通常は咀嚼-嚥下連関は安定した構造を有し、咀嚼が停止してから嚥下反射が開始される。今回の混合物を除いた条件での結果もそれを支持するものであった。しかし、混合物の嚥下では、それが逆転し舌骨挙上開始が咀嚼停止より0.06秒早かった。つまりこれは、口腔内に固形物を主とする食塊があり咀嚼が続いている間に下咽頭へ液体を主とする食塊が大量に流入した場合に、誤嚥を防ぐために緊急的な脳幹の嚥下中枢を介する反射機構が発現し、嚥下反射が惹起されたものと考えた。この嚥下反射発現様式には、咽頭の静的感覚入力以外にも、Poudroux らの述べる食塊の咽頭進入速度の影響や喉頭蓋谷の容量の影響を考慮する必要がある¹³⁾。

3. 咀嚼負荷嚥下法の有用性と今後の展望

以上みてきたように、咀嚼嚥下は命令嚥下と大きく異なっており、咀嚼は嚥下前の食塊の咽頭深達度と嚥下反射開始の両方に影響を与えていると考えた。咀嚼に伴って舌が能動的に食塊を咽頭に送り込む Stage II transport の時期には気道と食物経路が同時に開存する。嚥下障害者に当てはめた場合、論理的には誤嚥の危険性が極めて大きい。また、水分を含んだ食物の咀嚼負荷の場合、下咽頭まで食塊が進行する例が高率に存在し、食物形態の差によって咀嚼負荷時の誤嚥の危険性が大きく異なる可能性が考えられる。我々が臨床において用いている摂食・嚥下障害の重症度分類は、重症度の高い順に、1) 唾液誤嚥、2) 食物誤嚥、3) 水分誤嚥、4) 機会誤嚥、5) 口腔問題、6) 軽度問題、7) 問題なし、の7段階からなる¹⁴⁾。このうち、「機会誤嚥」に該当する症例では、液体またはペーストで評価する通常のVFでは誤嚥が検出されないが、実際の食事場面でのむせや食後の喀痰の増加などの誤嚥徴候を認める場合が含まれる。そして、このような例の咀嚼嚥下で誤嚥を認める症例が存在することを予備的検討で確認しており、今後、嚥下障害軽症例における負荷テストとして、咀嚼嚥下負荷法の有用性を検証する予定である。また咀嚼に伴う食物の物性変化が、食塊の咽頭進入や嚥下反射惹起に影響を与えることが予測され、今後の検討課題と考える。

振り返って「食事」という行為を考えると、飲むこと(drink)と食べること(eat)という2つの区別さ

れる行動が存在する。我々の日常において、咀嚼嚥下は決してまれな行動ではないのである。ここで「drink」にはヒト独特の4期連続モデルが適用でき、「eat」にはプロセスモデルが適用されると整理できる。こうして見ると、従来の嚥下評価は「drink」中心の評価であり、今後、これまで以上に「eat」を意識した評価を加える必要性を感じた。また、咀嚼と嚥下の研究は歴史的にはそれぞれ歯科領域と耳鼻咽喉科領域において別々に行われてきたといえるが、ヒトにおける咀嚼と嚥下の関連をその神経機構を含めて統合的に再検討する必要がある。

ま と め

咀嚼嚥下の評価法を確立するために、咀嚼嚥下の際の嚥下反射開始時の食塊先端の深達度および嚥下反射開始のタイミングを検討した。被験物に液体、コンビーフ、クッキー、コンビーフと液体の混合物を用い、健康成人10名において、自由咀嚼させた後に生じる自由なタイミングでの嚥下、すなわち、咀嚼嚥下を観察した。また、液体の命令嚥下も記録した。舌骨運動開始時点の食塊の到達位置を求め、口腔内(OC)、口腔咽頭上部領域以降(UOP-om)、喉頭蓋谷領域以降(VAL-om)、下咽頭領域(HYP)に区別し、各嚥下条件で比較した。さらに、各嚥下位相の時間経過を求め、各嚥下条件で比較した。結果と考察は以下のよう

にまとめられた。すなわち、

- 1) 液体命令に比して、全咀嚼条件でVAL-omが有意に高率であり、stage II発生には咀嚼が一義的条件と思われた。

- 2) 咀嚼嚥下時のstage IIの発生率は、食物条件で異なり、単一食物条件下では必ず認められるhard-wiredな現象ではなく、変動性を有すると思われた。一方、混合条件では、100%発生し、負荷法として適切と思われた。

- 3) 液体を含む咀嚼(液体咀嚼、混合)では、その他の条件に比してHYPが高率であり、下咽頭通過時間(HTT)が長かった。嚥下運動前に下咽頭にまで食塊が進行するという結果は、誤嚥防止機構を考える上で極めて重要な所見と思われた。

- 4) 各嚥下位相時間は食物条件で異なり、特に、咀嚼時間と中咽頭通過時間(PFAT+VAT)に相関が見られた。一方、舌骨運動時間は食物条件によるばらつきが少なく、舌骨運動開始時点を計測の基点として

用いることが合理的と考えられた。また、咀嚼停止から舌骨挙上開始までの時間の変動性も少なかった。

5) 咀嚼と嚥下の関連性を統合的に理解することが更なる課題と考えた。

本研究の一部は、平成12、13年度厚生科学研究補助金「摂食・嚥下障害の治療・対応に関する統合的研究」によった。

文 献

- 1) 才藤栄一, 木村彰男, 矢守 茂, 森ひろみ, 出江紳一, 千野直一: 嚥下障害のリハビリテーションにおけるvideofluorographyの応用. リハ医学1986; **23**: 121-124
- 2) Palmer JB, Kuhlemeier KV, Tippet DC, Lynch C: A protocol for the videofluorographic swallowing study. Dysphagia 1993; **8**: 209-214
- 3) Ekberg O: Is it good to be spontaneous? Dysphagia 1999; **14**: 43
- 4) Palmer JB: Integration of oral and pharyngeal bolus propulsion: a new model for the physiology of swallowing. Jpn J Dysphagia Rehabil 1997; **1**: 15-30
- 5) Hiimeae KM, Palmer JB: Food transport and bolus formation during complete feeding sequences on foods of different initial consistency. Dysphagia 1999; **14**: 31-42
- 6) Logemann JA: Evaluation and Treatment of Swallowing Disorders. College-Hill Press, San Diego, 1998
- 7) Palmer JB: Bolus aggregation in the oropharynx does not depend on gravity. Arch Phys Med Rehabil 1998; **79**: 691-696
- 8) Abd-el-Malek S: The part played by the tongue in mastication and deglutition. J Anat 1955; **89**: 250-254
- 9) Shawker T, Sonies B, Hall TE, Baum BF: Ultrasound analysis of tongue, hyoid and larynx during swallowing. Invest Radiol 1984; **19**: 82-86
- 10) Palmer JB, Hiimeae KM, Liu J: Tongue-jaw linkages in human feeding: a preliminary videofluorographic study. Arch Oral Biol 1997; **42**: 429-441
- 11) Miller AJ: The Neuroscientific Principles of Swallowing and Dysphagia. Singular Pub. Group, San Diego, 1999
- 12) Lamkadem M, Zougrana OR, Amri M, Car A, Roman C: Stimulation of the chewing area of the cerebral cortex induces inhibitory effects upon swallowing in sheep. Brain Res 1999; **832**: 97-111
- 13) Poudereux P, Logemann JA, Kahrilas PJ: Pharyngeal swallowing elicited by fluid infusion: role of volition and valescular containment. Am J Phys 1996; **270**: G 347-354
- 14) 馬場 尊, 才藤栄一: 摂食・嚥下障害に対するリハビリテーションの適応. 臨床リハ2000; **9**: 857-863