

## —原著—

## 嚥下反射誘発時の呼吸関連筋活動の変調

吉津和憲, 井上 誠

新潟大学大学院医歯学総合研究科 摂食・嚥下リハビリテーション学分野

## Modulation of respiration-related muscle activity during reflex swallowing

Kazunori Kitsu, Makoto Inoue

*Division of Dysphagia Rehabilitation, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences*

平成 21 年 4 月 26 日受付 6 月 9 日受理

Key words : 呼吸(Respiration), 嚥下(Swallowing), 筋電図 (Electromyography), 気管内圧 (Tracheal pressure)

**Abstract :** Coordination of respiration-related muscle activity and tracheal pressure during reflex swallowing was investigated in animals.

The experiments were carried out in ten anesthetized male rabbits. Reflex swallowing was evoked by injection of distilled water into oropharyngeal region. Swallowing events recorded were divided into three types, depending on when the reflex was evoked : Early I type was defined as the one evoked before the peak of diaphragmatic burst, Late I type evoked after the peak of the diaphragmatic burst and Before I type evoked before the onset of diaphragmatic burst. About 90% of swallowing in the present study was evoked in the inspiratory phase. Respiration-related muscle activity was modulated during swallowing as well as the tracheal pressure and the modulatory pattern of them was different among the swallowing types. Particularly, the duration of positive-tracheal pressure was significantly shorter during Before I swallowing than Early I or Late I. The duration of diaphragmatic burst and tracheal positive pressure tended to be expanded during Early I and Late I swallowing as compared to before or after swallowing. Furthermore, the respiratory rate was decreased before the onset of Early I swallowing while that was not the case during Late I and Before I swallowing.

The present study suggested that the peripheral inputs to the respiratory center resulted in the early modulation of respiratory-related muscle activity. However, the results that the modulation of respiratory pattern lead to the occurrence of swallowing may also suggest that the neuronal activity responsible for the initiation of swallowing changes that of the respiratory center before the onset of swallowing.

抄録：麻酔下の動物を用いて、末梢性に誘発された嚥下反射時の関連筋活動および気管内圧・食道内圧が呼吸運動とどのような協調を見せるかを検索した。

実験には、全身麻酔下のウサギ 10 羽を使用し、蒸留水を口腔咽頭に注入することにより嚥下反射を引き起こした。嚥下タイプを、嚥下開始が横隔膜筋電図活動のピーク前に来る Early I 型、後に来る Late I 型、さらに横隔膜筋電図の活動開始前に嚥下が始まる Before I 型に分けた。今回記録した全嚥下の約 9 割は吸気相において嚥下反射が誘発される結果が得られた。平常時に呼吸関連活動を示す横隔膜筋電図や気管内圧は、嚥下タイプによって持続時間に差がみられ、Before I 型嚥下時の内圧発生持続時間は有意に短かった。横隔膜活動持続時間および気管内圧発生時間について、Early I 型ならびに Late I 型では、嚥下前後に比べて嚥下時には延長する結果が得られた。さらに Early I 型では、呼吸頻度は嚥下が誘発される前から減少する傾向がみられたのに対して Late I 型や Before I 型においては、嚥下時以外には呼吸頻度の変調は認められなかった。

末梢刺激による感覚信号は、先に呼吸中枢へと作用しているように思われるが、呼吸リズムの変化は直後の嚥下反

射の誘発を伴っていることから、嚥下運動への引き金となる起動神経群の活動が、嚥下運動発現前に呼吸中枢に作用したものであることが示唆された。

## 緒 言

口腔内に取り込まれた食物は、上下の臼歯間もしくは舌と口蓋で圧縮されることにより粉碎され、さらに唾液と混じりあうことによって食塊が形成される。この一連の過程は摂食運動の準備期もしくは咀嚼期と呼ばれ、同時に食塊は舌の蠕動様運動によって順次口腔から咽頭へと移送される。これらの食塊や唾液による咽頭への刺激により嚥下反射が誘発され、多くの筋の協調運動を伴って食塊は咽頭から食道に送られる。嚥下運動は、随意性のみならず反射性にも引き起こされる<sup>(1,2)</sup>。ことに、食塊が咽頭を通過する嚥下の咽頭相は1秒足らずの時間で起きることが知られており、生体で制御される最も複雑な反射応答であるといわれている。また、一旦嚥下反射が開始されると、その間呼吸は止められる。これは嚥下性無呼吸と呼ばれており、末梢では、声門閉鎖、喉頭口閉鎖が起きて食塊が喉頭や気道に落ち込むのを防ぐだけでなく、中枢性にも呼吸が止められ気道の防御に寄与する<sup>(1,3)</sup>。

呼吸運動と嚥下運動の協調の中で、ヒトでは呼吸相において嚥下反射が優位に誘発されることが知られている<sup>(4,5)</sup>。このことは、嚥下時に食塊や唾液を誤嚥しないためには有効であるという点で合理的であると考えられるのに対して、イヌ、サルなどでは吸気相において優位に誘発されることが報告されている<sup>(3)</sup>。呼吸運動と嚥下運動は胎生期には独立して発現し始め、その協調に関しては生後獲得されることから、ヒトとそれ以外の動物における形態学的または外的な環境因子の相違がこのような違いを生むことが予想されるが、その詳細については明らかにされていない。

そこで今回我々は、麻酔下の動物を用いて、末梢性に誘発された嚥下反射時の関連筋活動および食道内圧、気管内圧が呼吸運動とどのような協調を見せるかを検索した。

## 方 法

実験には、ウサギ10羽(日本白色種, 雄, 体重 2.5-3.5 kg)を使用し、全身麻酔下にて行った。全身麻酔にあたり耳静脈より Propofol (4 mg/kg, iv) を投与し、実験中は顔面や前肢、後肢へのピンチ刺激にて応答しない麻酔深度を維持するために、Propofol を注入ポンプにて持続的に投与 (4 mg/kg/h, iv) した。

全身麻酔後ウサギを仰臥位に固定し、筋電図記録のために、舌骨上筋群、輪状咽頭筋、横隔膜へ双極性ワイヤー

電極を挿入した。電極間距離はそれぞれ 20 mm とした。食道内圧と気管内圧記録のために頸部切開の後、圧トランスデューサに連結した 16 G サフロ針を気管および食道に直接刺入した後にこれらを固定した。

次に、持続的注入ポンプを用いて蒸留水を一定速度で口腔咽頭内に注入することにより嚥下反射を引き起こした。嚥下反射の同定には、舌骨上筋群、輪状咽頭筋に見られる群発活動を用いた (図1)。

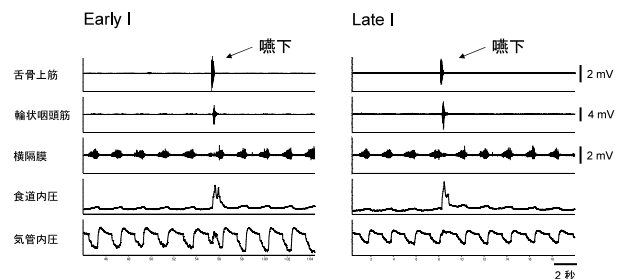


図1 嚥下反射誘発時の同時記録

横隔膜活動に対する嚥下誘発のタイミングにより、本実験において観察された嚥下を Early I 型, Late I 型, Before I 型に分けた。

筋電図および内圧記録は、増幅後 AD コンバータ (PowerLab, ADInstruments, USA) を介してパーソナルコンピュータに取り込まれた。解析はオフラインにて、データ解析ソフト (Chart 5 for windows, ADInstruments, USA) を用いて行った。舌骨上筋群に関しては嚥下に伴う一過性の活動を抽出し、活動開始・停止時刻と活動持続時間を求めた。輪状咽頭筋は平常時に持続的な活動を示し、嚥下時には一度抑制を受けた後に一過性の大きな活動を示す<sup>(3,6)</sup>。今回は、嚥下に伴う抑制開始、一過性の活動開始・停止時刻と活動持続時間を求めた。横隔膜活動は平常時には吸気に伴う紡錘状の活動を示す (図1)。はじめに嚥下とは関連のないこれらの平常時の吸気関連活動持続時間を求めた。さらに嚥下開始時には一過性の活動低下を示すことから、活動低下の開始および停止時刻と嚥下時の横隔膜活動全体の活動持続時間を求めた。

食道内圧は、嚥下時に食道括約筋の活動に伴い一過性の上昇を示すことから、内圧発生開始および停止時刻ならびに持続時間を求めた。気管内圧に関しては平常時には呼気に伴う活動を示す。はじめに嚥下とは関連のないこれらの呼気関連内圧発生持続時間を求めた。さらに嚥下開始時には一時的な活動の低下を示すことから、嚥下時の気管内圧低下の開始および終了時刻と気管内圧発生