

咽喉頭の嚥下誘発神経に関する研究

北川 純一, 真貝 富夫, 高橋 義弘, 山田 好秋

新潟大学歯学部口腔生理学講座

[受付: 平成12年10月3日]

Sensory nerves for initiation of reflex swallowing from the pharynx and larynx

Jun-ichi Kitagawa, Tomio Shingai, Yoshihiro Takahashi and Yoshiaki Yamada

Department of Oral Physiology, Niigata University Faculty of Dentistry

[Received: October 3, 2000.]

Key Words: reflex swallowing, glossopharyngeal nerve, pharyngeal branch of the GPN, superior laryngeal nerve

Abstract: It is well known that mechanical stimulation of the pharyngeal areas innervated by the glossopharyngeal nerve (GPN) or the laryngeal areas innervated by the superior laryngeal nerve (SLN) readily elicits reflex swallowing. However, electrical stimulation of the SLN elicits reflex swallowing more readily than does stimulation of the GPN. This paradox remains unexplained; hence, the purpose of this study was to solve it.

Mechanical stimulation with light pressure easily elicited reflex swallowing from the pharynx in the rat. The most effective reflexogenic regions were the palatopharyngeal arch, the edge of the pharyngeal surface of the epiglottis, the soft palate (extending region of the palatopharyngeal arch) and the aryepiglottic fold. Sectioning the pharyngeal branch of the GPN (GPN-ph) abolished the reflex swallowing from the palatopharyngeal arch and the soft palate out of these regions. The relationship between the frequency of electrical stimulation and the latency of swallowing for the GPN-ph was quite similar to that for the SLN. Electrical stimulation of the lingual branch of the GPN (GPN-li) was not effective in elicitation of swallowing. When electrical stimulation was applied simultaneously to both the GPN-ph and SLN, the latency of swallowing became shorter as compared with those for stimulation of each nerve. On the contrary, when electrical stimulation of the GPN-li was applied in addition to the stimulation of the SLN, reflex swallowing was delayed or inhibited.

These results indicate that the GPN-ph plays a major role in initiation of reflex swallowing from the pharynx and that the electrophysiological properties of the GPN-ph for initiating swallowing are almost the same as those of the SLN, whereas the GPN-li plays a minor role and contains the inhibitory fibers for initiation of swallowing. Our findings provide a solution for the paradox regarding the initiation of swallowing.

抄録 咽頭・喉頭領域の機械刺激および喉頭領域を神経支配している上喉頭神経の電気刺激は、嚥下誘発に有効である。しかしながら咽頭領域を神経支配している舌咽神経の電気刺激は、上喉頭神経に比べ嚥下誘発が困難であるといわれている。このことは嚥下に関するパラドックスと呼ばれており、未だに解決していない。今回の研究の目的は、このパラドックスを解明することである。咽頭・喉頭領域の嚥下誘発部位および神経支配を調べたところ、機械刺激による嚥下誘発の高感受性部位は、口蓋咽頭弓、軟口蓋の後

縁, 喉頭蓋の咽頭側外縁, 披裂喉頭蓋ヒダなどであり, これらの部位のうち, 口蓋咽頭弓, 軟口蓋の後縁は, 舌咽神経咽頭枝の切断の後, 嚥下誘発がなくなることから, 舌咽神経咽頭枝支配であることが判った. 電気生理学的実験の結果は, 舌咽神経咽頭枝の電気刺激は, 上喉頭神経の電気刺激と同程度の嚥下誘発効果であったが, 舌咽神経舌枝の電気刺激は嚥下誘発に効果がなかった. また, 舌咽神経咽頭枝と上喉頭神経の同時刺激は嚥下誘発の促進を生じ, 舌咽神経舌枝と上喉頭神経の同時電気刺激は嚥下誘発を抑制した. これらの結果より, 舌咽神経のうち咽頭枝が嚥下誘発に重要な役割を果たしており, 舌枝は嚥下誘発に重要でないことが判った. パラドックスが生じた理由として, 過去の研究では舌咽神経舌枝のみ, あるいは舌咽神経舌枝と咽頭枝を同時に刺激していたのではないかと考えられる.

I. 緒言

咽頭および喉頭領域が嚥下誘発に関与していることはよく知られているが, 咽頭領域の嚥下誘発部位^{1,2)}や嚥下誘発神経については, 現在においても不明な点が残されている. 舌咽神経支配である咽頭および上喉頭神経支配である喉頭領域の触圧刺激は, 反射性嚥下の誘発に効果的であるが, 舌咽神経の求心性電気刺激は, 上喉頭神経の求心性電気刺激に比べ嚥下誘発が非常に困難であるという「嚥下に関するパラドックス」が解決されないままである³⁾.

本研究は, 「嚥下に関するパラドックス」を解明するために, 咽頭領域における嚥下誘発部位とその支配神経の同定を行った. そして, 舌咽神経を構成している舌咽神経咽頭枝と舌枝の嚥下誘発に関する特性を明らかにしたうえで, 舌咽神経咽頭枝または舌枝と上喉頭神経の嚥下誘発における協調関係を調べた.

II. 研究方法

実験には体重200~400 gのWistar系雄ラットを用いた. ウレタン麻酔(1.0 g/kg, i. p.)を投与した後, 実験台に背位に固定し自発呼吸の維持のため気管カニューレを挿入し, 以下の実験を行った.

1. 咽頭領域における嚥下誘発部位の検索

ラットの咽頭および喉頭を腹側から剖出し正中で切開した. 咽頭領域内部を露出し, 直視下で von-Frey 刺激毛(直径 0.2 mm, 刺激圧 0.1~1.0 gf)による触刺激ができるようにした. von-Frey 刺激毛の触圧刺激によって反射性嚥下が誘発される部位を検索しその閾値を求めた. 検索終了後, 咽頭領域を図1のように走行している上喉頭神経, 舌咽神経舌枝, 咽頭枝の順番に切断することによって嚥下誘発部位の支配神経を同定した.

2. 電気刺激による嚥下誘発実験

ラットの咽頭領域を支配している舌咽神経および上

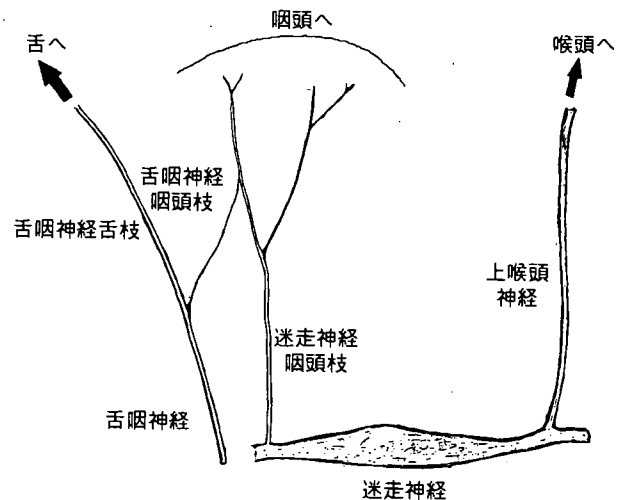


図1 咽頭領域を支配している神経

Fig. 1 Diagram showing the pharyngeal branches of the GPN and vagus nerve

喉頭神経を周囲組織から剖出した. さらに舌咽神経の舌枝と咽頭枝を明確に分離した. 舌咽神経舌枝, 咽頭枝および上喉頭神経を切断し, それぞれの神経の中枢端に双極ステンレス電極を取り付けて電気刺激(10~100 μ A, 1 ms, 10~100 Hz)を与えることにより嚥下誘発を試み, その潜時と電気刺激頻度の関係を分析した.

3. 嚥下誘発における舌咽神経と上喉頭神経の協調関係

舌咽神経と上喉頭神経における嚥下誘発の協調関係を調べるために, 舌咽神経舌枝と上喉頭神経, または舌咽神経咽頭枝と上喉頭神経の中枢側を同時に電気刺激(10~100 μ A, 1 ms, 10~100 Hz)し, 嚥下誘発を試み, その潜時を分析した.

4. 嚥下の確認

本研究において, 嚥下は直視による喉頭の挙上の観察および顎舌骨筋からエナメル線を用いて双極性に導出した筋電図によって確認された.

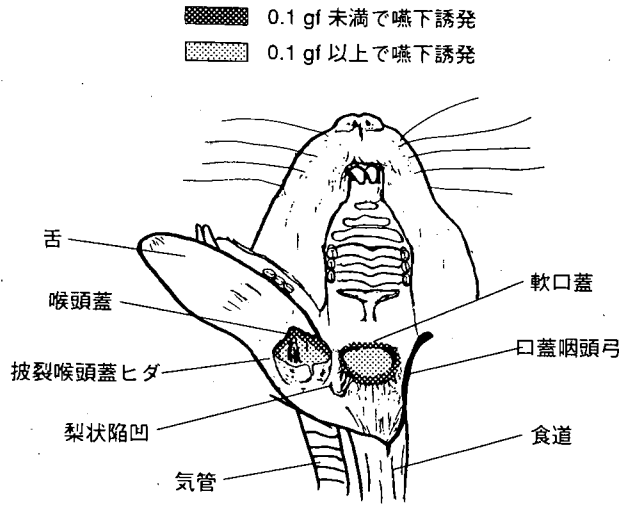


図2 ラット咽喉頭領域における触圧刺激による嚥下誘発部位
 Fig. 2 Regions of the pharynx and larynx from which swallowing was initiated by mechanical stimulation with von Frey hair

III. 結果

1. 咽喉頭領域における嚥下誘発部位

図2は咽喉頭領域における von-Frey 刺激毛（直径 0.2mm, 刺激圧 0.1~1.0 gf）の触刺激によって嚥下が誘発された部位を示す。

触刺激による嚥下誘発の高感受性部位は、口蓋咽頭弓、軟口蓋の鼻腔側後縁、喉頭蓋の咽頭側外縁、披裂喉頭蓋ヒダであった。舌咽神経咽頭枝を切断すると口蓋咽頭弓、軟口蓋の鼻腔側後縁の触刺激による嚥下誘発が消失したことから、これらの部位は舌咽神経咽頭枝による神経支配であることが判った。

2. 舌咽神経舌枝、咽頭枝、上喉頭神経の電気刺激による嚥下誘発特性

図3は舌咽神経舌枝、咽頭枝および上喉頭神経にそれぞれ電気刺激を与えて嚥下誘発を試みたときの顎舌骨筋電図の記録例である。舌咽神経咽頭枝の電気刺激により嚥下が連続して誘発された。舌咽神経舌枝の電気刺激では、嚥下とは明らかに異なる拒絶様の反応が観察され、筋電図においても他の神経の電気刺激時にみられる嚥下の筋電図とは異なる様相を示した。図4は舌咽神経咽頭

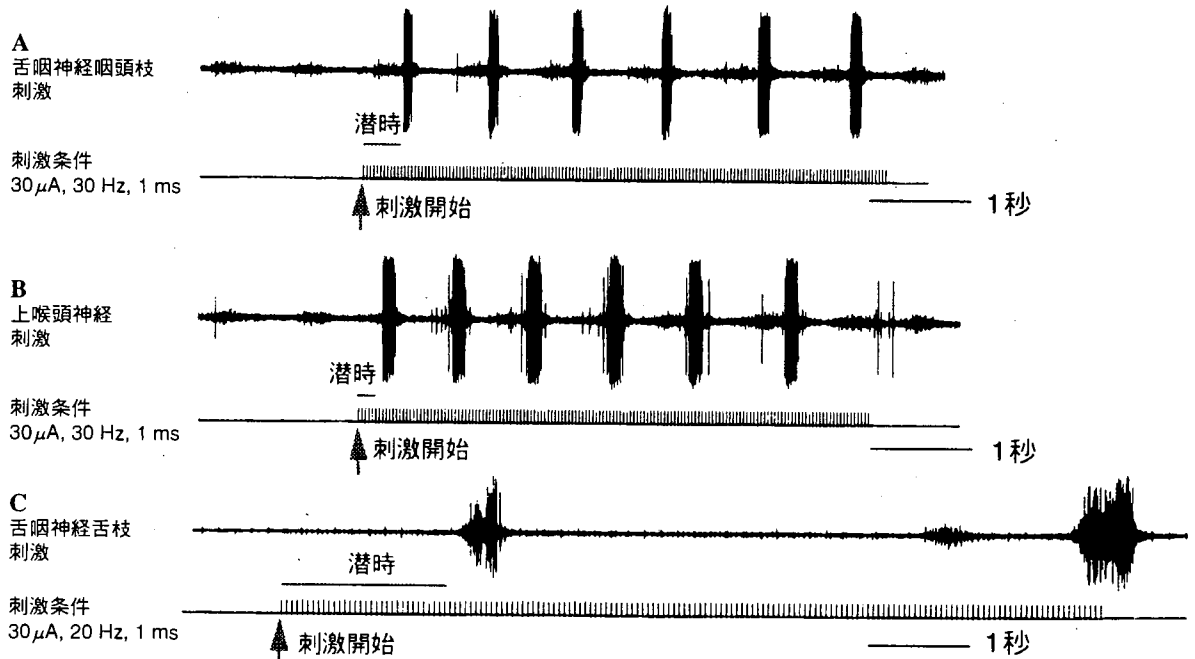


図3 舌咽神経咽頭枝、上喉頭神経、舌咽神経舌枝をそれぞれ電気刺激したときの筋電図
 Fig. 3 EMG activities of the mylohyoid muscle during swallowing induced by electrical stimulation of the GPN-ph, SLN and GPN-li
 A: GPN-ph stimulation B: SLN stimulation C: GPN-li stimulation

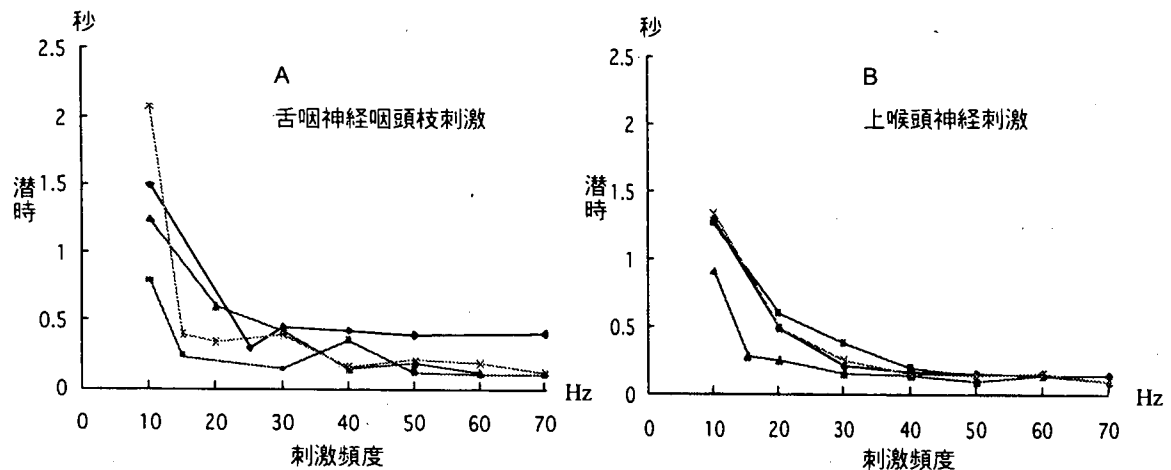


図4 舌咽神経咽頭枝, 上喉頭神経における刺激頻度-潜時曲線

A, Bともに17例中, 典型的な4例を示す. 刺激条件: $30\mu\text{A}$, 1.0 ms

Fig. 4 Relationship between the frequency of electrical stimulation and the latency of the first swallow for the GPN-ph (A) and for the SLN (B). The data shown are 4 typical samples out of 17 animals. Electrical stimulation was applied to GPN-ph and SLN at $30\mu\text{A}$ and 1.0 ms

枝および上喉頭神経の嚥下誘発潜時と刺激頻度の関係について, A図, B図とも17例中, 典型的な4例の結果を示したものである。舌咽神経咽頭枝の電気刺激では, 20Hz以下の電気刺激時に嚥下誘発の潜時に変動がみられるが, 30Hz以上の刺激頻度においては上喉頭神経の電気刺激による嚥下誘発とはほぼ同様の結果を得た。

3. 嚥下誘発における舌咽神経と上喉頭神経の協調関係

舌咽神経舌枝と上喉頭神経の単独電気刺激と両神経の同時電気刺激による嚥下誘発の記録例を図5に示す。上喉頭神経の単独刺激により誘発された嚥下に比べ, 舌咽神経舌枝と上喉頭神経の同時刺激では, 明らかな嚥下の潜時の延長と嚥下頻度の減少を示した。

図6は舌咽神経咽頭枝と上喉頭神経の単独電気刺激と同時電気刺激により誘発された嚥下の筋電図である。舌咽神経咽頭枝と上喉頭神経の同時刺激においては, 明らかな嚥下の潜時の減少と嚥下頻度の増大を示した。

IV. 考察および結論

本研究により, 咽頭領域からの嚥下反射の誘発に重要な役割を担っている神経は舌咽神経咽頭枝であることが判った。そしてその嚥下誘発に関する特性は, 従来から嚥下誘発神経として認められている上喉頭神経の嚥下誘発の効果⁴⁾とほぼ同程度であった。

舌咽神経咽頭枝と上喉頭神経の同時電気刺激が嚥下の

誘発を促進させるという結果は, 実際の摂食行為における嚥下中枢での空間的加重を示唆している。すなわち, 嚥下する直前に食塊は咽頭と喉頭の両方の領域を化学的および機械的に刺激し, 咽頭および喉頭からの感覚入力 が嚥下中枢において加算され, 嚥下誘発の促進が生じているのであろう。

嚥下を引き起こす末梢感覚の要因の主なものは, 唾液や飲食物の味などの化学的刺激や食塊による咽喉頭領域の機械的刺激である⁵⁻⁹⁾。味覚刺激が嚥下誘発を促進させるという報告¹⁰⁻¹²⁾がある。本研究において, 代表的な味神経であり舌の体性感覚も含む舌咽神経舌枝の電気刺激実験では, 嚥下は誘発されなかった。さらに上喉頭神経との同時電気刺激では, 嚥下の誘発を抑制した。三叉神経の枝である舌神経と上喉頭神経の同時電気刺激が, 嚥下誘発を抑制するという報告¹³⁾もある。この報告および本研究は, 末梢神経の電気刺激実験のため刺激されている神経線維の種類については判らないが, 通常の摂食行為のなかで飲み込んではいけな味やその他の好ましくない感覚を舌または口腔で感じたとき, この情報が嚥下誘発を抑制するように働くのではないかと考えられる。本研究は, 舌咽神経を構成する舌咽神経咽頭枝は電気刺激により嚥下を誘発するが, 舌枝は嚥下誘発に関与しないかまたは嚥下誘発を抑制する働きを持つことを明らかにした。舌咽神経の電気刺激による嚥下誘発が, 上喉頭神経の電気刺激に比べて困難であるというパラド

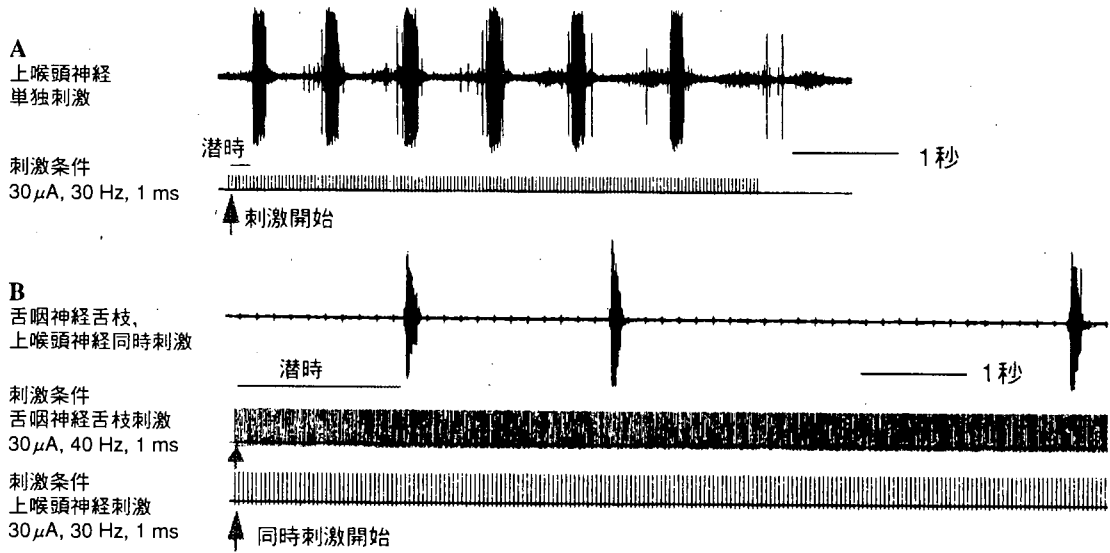


図 5 上喉頭神経を単独電気刺激, 舌咽神経舌枝と上喉頭神経を同時電気刺激したときの筋電図
Fig. 5 Effect of the simultaneous electrical stimulation of the GPN-li and SLN on the EMG activities of the mylohyoid muscle during swallowing initiated by electrical stimulation of the SLN, and simultaneous stimulation of the GPN-li and SLN
A: SLN stimulation B: Simultaneous stimulation of GPN-li and SLN

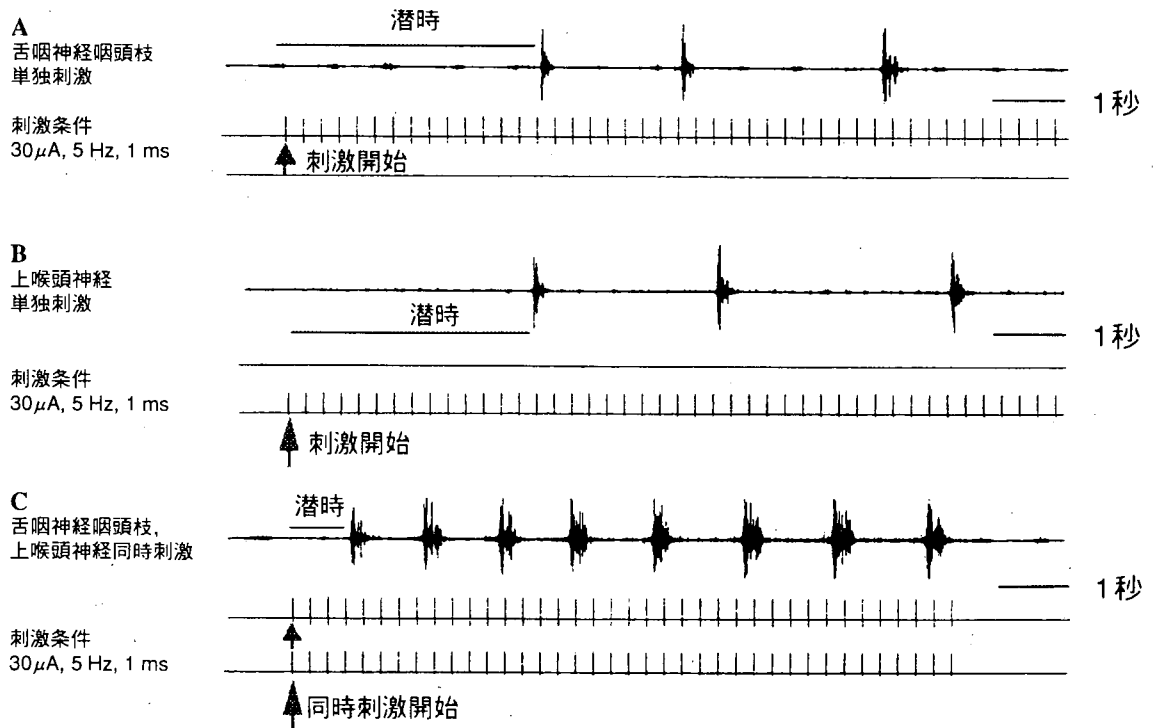


図 6 舌咽神経咽頭枝, 上喉頭神経を単独電気刺激, 舌咽神経咽頭枝と上喉頭神経を同時電気刺激したときの筋電図
Fig. 6 EMG activities of the mylohyoid muscle during swallowing initiated by electrical stimulation of the GPN-ph, SLN, and simultaneous stimulation of the GPN-ph and SLN
A: GPN-ph stimulation B: SLN stimulation C: Simultaneous stimulation of GPN-ph and SLN

ックスがこれまで解明していなかった理由として、舌咽神経舌枝のみ、あるいは舌咽神経舌枝と咽頭枝が分岐する部位より中枢側の神経束を刺激していたのではないかと考えられる。

文 献

- 1) Doty, R. W.: Neural organization of deglutition. In: Handbook of physiology, Alimentary Canal. Washington, D. C. Am. Physiol. Soc. sect. 6, vol. 4, chap. 92 : 1861-1902, 1968.
- 2) Pommerenke, W. T.: A study of the sensory areas eliciting the swallowing reflex, Am. J. physiol. 84 : 36-41, 1928.
- 3) Sinclair, W. J.: Initiation of reflex swallowing from the naso- and oropharynx, Am. J. Physiol. 218 : 956-960, 1970.
- 4) Sinclair, W. J.: Role of the pharyngeal plexus in initiation of swallowing, Am. J. Physiol. 221 : 1260-1263, 1971.
- 5) Davis, J. D.: The effectiveness of some sugars in stimulating licking behavior in the rat, Physiol. Behav. 11 : 39-45, 1973.
- 6) Ymamoto, T., Matsuo, R., Fushiwara, T. et al.: EMG activities of masticatory muscles during licking in rats, Physiol. Behav. 29 : 905-913, 1982.
- 7) Doty, R. W., and Bosma, J. F.: An electromyographic analysis of reflex deglutition, J. Neurophysiol. 19 : 44-60, 1956.
- 8) Travers, J. B., and Norgren, R.: Electromyographic analysis of the ingestion and rejection of sapid stimuli in the rat, Behav. Neurosci. 100 : 544-555, 1986.
- 9) Shingai, T., and Shimada, K.: Reflex swallowing elicited by water and chemical substances applied in the oral cavity, pharynx and larynx of the rabbit, Jap. J. Physiol. 26 : 455-469, 1976.
- 10) Kagel, M., & Leopold, N. A.: Dysphasia in huntigton's disease: A 16 year retrospective. Dysphasia, 7 : 106-114, 1992.
- 11) Logemann, J. A., Pauloski, B. R., Colangelo, L. et al.: Effects of a sour bolus on oropharyngeal swallowing measures in patients with neurogenic dysphasia, J. Speech. Hear. Res. 38 : 556-563, 1995.
- 12) Shingai, T., Miyaoka, Y., Ikarashi, R., and Shimada, K.: Swallowing reflex elicited by water and taste solutions in humans, Am. J. physiol. 256 : 822-826, 1989.
- 13) Lmkaden, M., Zoungrana, O. R., Amri, M. et al.: Stimulation of the chewing area of the cerebral induces inhibitory effects upon swallowing in sheep, Brain res. 832 : 97-111, 1999.