

咀嚼運動時に観察されるウサギ頸筋の活動

五十嵐直子, 山村健介*, 山田好秋*, 河野正司

新潟大学歯学部歯科補綴学第一講座

*新潟大学歯学部口腔生理学講座

[受付: 平成9年10月4日]

Coactivated rhythmical activity in the neck muscles during masticatory movements in the rabbit

Naoko Igarashi, Kensuke Yamamura*, Yoshiaki Yamada*, Shoji Kohno

*Department of Removable Prosthodontics and *Department of Oral Physiology*

Niigata University School of Dentistry

[Received: October 4, 1997.]

Key words: head movement, neck muscles, mastication, jaw movement

Abstract: It has been shown in humans that during mastication the head moves rhythmically and coordinately with jaw movements. A neurophysiological explanation for the mechanism of this finding has not been given so far, matter which became the objective of this study. Head movement and EMG of neck (sternomastoid and splenius capitis) muscles were recorded simultaneously in awake unrestrained rabbits during bread and raw rice chewing. Also, EMG activity was recorded in anesthetized rabbits from the sternomastoid and semispinalis capitis muscles during cortically evoked fictive mastication.

In voluntary mastication, the rabbits moved their heads rhythmically in a cycle similar to their chewing cycle and in an opposite direction to the jaw movement. Rhythmical EMG activity was observed in the sternomastoid, which showed biphasic activity in the jaw closing and opening movements during bread chewing; however, during raw rice chewing it was active only in the jaw closing movements. The splenius muscle showed tonic activity and no rhythmic activity was observed regardless of the test food used.

In cortically evoked fictive mastication the sternomastoid was activated only in the jaw closing movements. This activity increased when biting on wooden sticks between opposing molars took place. In the semispinalis capitis tonic activity was observed in both events.

Rhythmical head movement coordinated with jaw movement was observed during mastication not only in humans but also in rabbits; this observation indicates that rabbits are appropriate animal models to study head movement during mastication. From the results of this experiment we suggest that the sternomastoid may be reflexly coactivated with masticatory muscles by peripheral inputs such as periodontal afferents and afferents from proprioceptors regulating sense of position during jaw opening and closing movements.

抄録 ヒトにおいて、咀嚼時には頭部は下顎運動と協調してリズムカルに動いていることが報告されている。この咀嚼時の頭部運動のメカニズムを調べる目的で、覚醒無拘束のウサギを用いて、性状の異なる2種の試料（パン、生米）を咀嚼している際の頭部運動と頸筋（胸骨乳突筋、頭板状筋）のEMGを記録した。また、ウレタン麻酔を施したウサギを用いて、皮質誘発性咀嚼様運動時に頸筋（胸骨乳突筋、頭半棘筋）のEMGを記録した。

覚醒咀嚼時には、頭部が下顎運動と同じ周期でリズムカルに動いており、その垂直的な運動方向は下顎運動と反対であった。同時に、胸骨乳突筋には試料に応じて異なるリズムカルな活動が観察された。パン咀嚼時には開口時と閉口時の二相性に活動し、生米咀嚼時には閉口時のみに活動した。頭板状筋は持続的に活動しており、活動に明瞭なリズム性は認められなかった。

麻酔下の皮質誘発性咀嚼様運動時には、胸骨乳突筋は閉口時のみ活動を示し、臼歯で木片を咬合させると活動が増強した。頭半棘筋は持続的に活動しており、活動にリズム性は見られなかった。

覚醒咀嚼時に観察されたリズムカルな頭部運動が、ヒトと同様な様相を呈したことから、ウサギは咀嚼時頭部運動の実験モデルとして有用であることが示された。また、咀嚼リズムに同期してリズムカルに活動した胸骨乳突筋は、咀嚼筋や頸部の固有感覚受容器あるいは歯根膜などからの末梢性入力によって活動が増強され、反射的に活動することが示唆された。一方、頭板状筋、頭半棘筋活動の咀嚼運動時におけるリズム性は明瞭でなく、頭部運動との関連は明らかでなかった。

I. 緒 言

ヒトの咀嚼やタッピングに際して、頭部には下顎運動と同期するリズムカルな運動が記録され¹⁻³⁾、また顎機能異常者ではこの頭部運動のリズムが乱れることが報告されている⁴⁾。このことから、正常な顎口腔機能には、顎顔面と頸部をはじめとする全身との調和が必要であることが示唆される。この頭部運動のメカニズムを明らかにすることは、顎口腔機能が身体に与える影響や顎口腔機能異常の病因を解明する上で重要である。

咀嚼時に見られるこのリズムカルな頭部運動の神経機構を明らかにするためには、動物モデルを作成する必要がある。そこで、ウサギを用いて咀嚼時の頭部運動と頸筋の活動を解析し、被験動物としての妥当性を検討した。

II. 研究方法

1. 慢性実験

実験には体重2.0~2.5 kgの雄ウサギを用いた。記録前に全身麻酔下で、下顎運動および頭部運動記録装置を取り付けた。頭部運動として、鼻骨に取り付けた加速度センサーを用いて上下方向の加速度を導出した。下顎運動は、鼻骨に取り付けた左右一対の磁気センサーと下顎骨に取り付けた直径3 mm厚さ2 mmの磁石で二次元的（開閉・左右方向）に記録した。また、筋電図を記録す

るために、一対のテフロンコーティングステンレス線電極を右側の咀嚼筋（咬筋・顎二腹筋）と頸筋（胸骨乳突筋・頭板状筋）（図1）に刺入した。筋電図用電極と各センサーの出力は、皮下を通して頭頂部のコネクタに接続した。4日の回復期間をおいた後、無麻酔・無拘束の状態で行った。咀嚼試料には、特性の異なる2種の食品として食パンと生米を用いた。

2. 急性実験

ウレタン（1.0 g/kg i.v.）麻酔下で、ウサギを脳定位固定装置に固定し、下顎運動と頸筋（胸骨乳突筋・頭半棘筋）（図1）および咀嚼筋（咬筋・顎二腹筋）筋活動の記録を慢性実験と同様に行った。顎運動は、大脳皮質咀嚼野の連続電気刺激（単極刺激、2 mA以下、duration 100 or 200 μ sec, 30 Hz）によって誘発した。皮質の刺激部位は、Morimotoら⁵⁾の報告を参考に、顎運動が三ヶ月状の経路を描く部位とした。誘発された顎運動中に、上下臼歯間に厚さ1 mmの木片を挿入して、筋活動に対する効果を検討した。

III. 結 果

1. 慢性実験

1) 頭部の運動

同一のウサギから得られた咀嚼運動時の頭部運動と頸筋活動の記録例を、図2、3に示す。各々の記録のうち、目視により姿勢が安定していると判断された連続20ストロークについて、それぞれの項目について最大開口時を

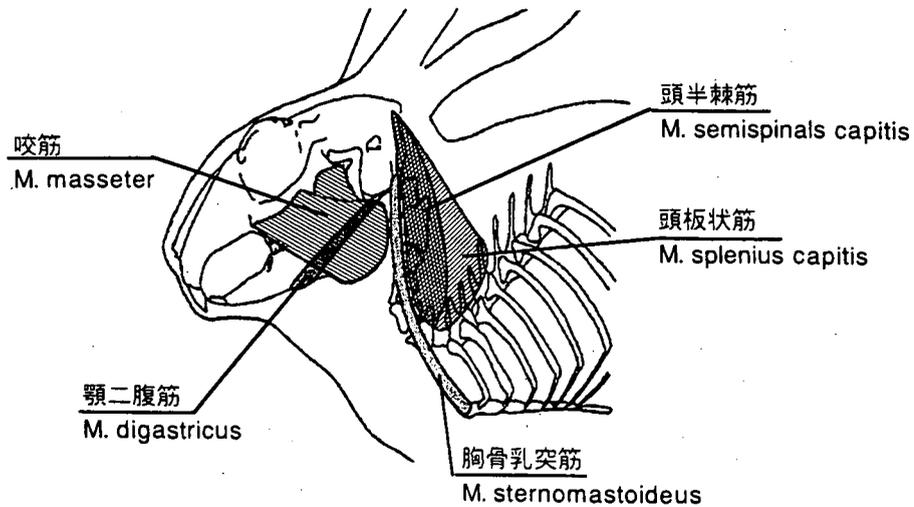


図1 頸筋および咀嚼筋の走行
Fig. 1 Schematic representation of neck and masticatory muscles in the rabbit.

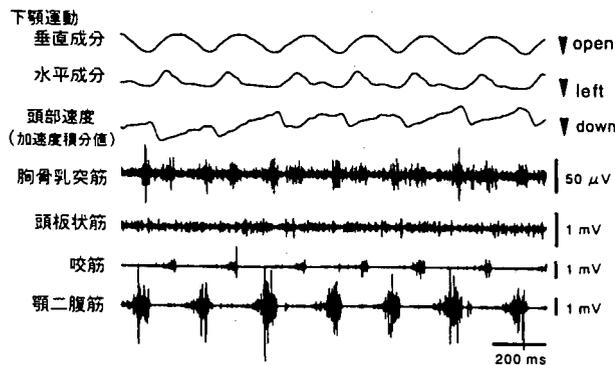


図2 覚醒パン咀嚼時の頸筋活動例
Fig. 2 Head movement and neck muscle activity during bread chewing in the awake unrestrained rabbit.

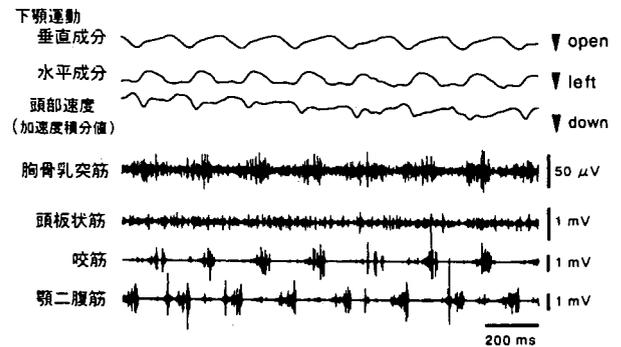


図3 覚醒生米咀嚼時の頸筋活動例
Fig. 3 Head movement and neck muscle activity during raw rice chewing in the awake unrestrained rabbit.

トリガーとして加算平均した結果を図4に示す。各咀嚼ストロークは変動するため、加算平均に先立ち時間軸を規格化した。したがって、横軸の幅は1ストロークを示している。図4の頭部運動量は、頭部の加速度を2回積分した値で、頭部の位置を表している。

頭部加速度積分値は、リズムカルな軌跡を描いた(図2, 3)。頭部は最大開口時に最上方位にあり、徐々に下垂して、最小開口時には最下方に達し、開口に伴って再び上昇した(図4)。生米咀嚼時には、このパターンはやや不規則ではあったが、パン咀嚼と同様に頭部運動

のリズム性が認められた。

2) 頸筋活動

胸骨乳突筋には、咀嚼運動に同期して、リズムカルな活動が観察された。この活動パターンは咀嚼する食物によって異なった。パン咀嚼時には、2つのピークが見られ、このピークは閉口相と最大開口時付近に一致した。一方、生米咀嚼時には閉口相でピークが見られたが、最大開口時には、明瞭な活動は認められなかった。

頭板状筋は持続的に活動しており、原波形には明瞭なリズム性は認められなかった(図3)。しかし、加算平

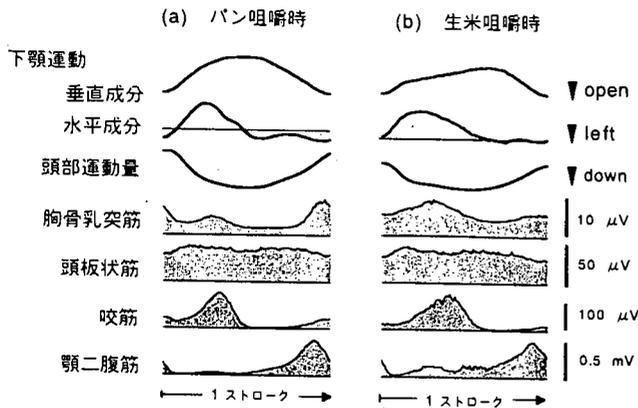


図4 覚醒咀嚼時記録の20ストローク加算平均：筋活動は整流後移動平均を行った。
 Fig. 4 Relationship among jaw movement, head movement and EMG activity. Traces show averages of 20 chewing cycles. (a) bread chewing, (b) raw rice chewing: EMG activity were rectified and smoothed.

均を行ったところ、いずれの試料においても、最大開口時にわずかながら活動量の減少が認められた(図4)。

2. 急性実験

図5に、皮質誘発性咀嚼様運動時の記録例を示す。皮質咀嚼野刺激によって誘発された咀嚼様運動においても、胸骨乳突筋には、咀嚼運動に同期してリズムカルな活動が観察された。胸骨乳突筋は、咬筋と同様に閉口時に活動した。特に臼歯で木片を咬合させると、胸骨乳突筋の活動は増強し、活動の開始は早まり、持続時間は長くなった(図5-b)。

頭半棘筋は、持続的に活動しており、咀嚼様運動時には活動量が増加する傾向にあったが、その活動にリズム性は見られなかった。

IV. 考 察

1. 咀嚼時に見られる頭部の運動

ヒトでは、咀嚼時には下顎運動と同じ周期で頭部が運動し、開口時に頭部は上昇し、閉口時には下垂する¹⁻³⁾。ウサギにおいても咀嚼運動時には頭部が下顎運動と同じ周期で運動しており、その運動方向はヒトと同様であった。

このように咀嚼時の頭部運動は動物にも共通して見られる現象であり、その研究モデルとしてウサギを用い得ることが示された。

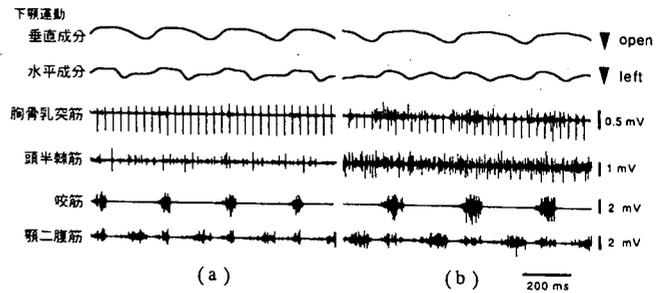


図5 皮質誘発性咀嚼様運動時の頸筋活動
 (a) 咬合なし, (b) 木片咬合時
 Fig. 5 Neck muscle activity during cortically evoked fictive mastication. (a) no tooth contact (b) biting on a wooden stick.

2. 頸筋の活動

咀嚼運動時にはリズムカルな頭部運動とともに頸筋にもリズムカルな筋活動が観察され、特に胸骨乳突筋では活動が明瞭であった。

1) 胸骨乳突筋

(1)閉口時の活動

胸骨乳突筋は頸部の腹外側を走行しているの、両側が働いた場合には頭部を下垂すると考えられる。この筋は、閉口相では覚醒時においても皮質誘発性咀嚼様運動時においてもリズムカルな筋活動が観察された。これは、河野ら⁶⁾による、ヒトの咀嚼時には胸鎖乳突筋にリズムカルなバーストが見られ、そのタイミングが咬合相に一致していたという記述と合致する。この活動のタイミングは、閉口時に下垂(前屈)するという頭部の動態を説明することができる。

また、生米咀嚼時あるいは木片を咬合している際には活動が増強した。この事実は、咀嚼時に見られる胸骨乳突筋の閉口相の活動が、歯根膜や咀嚼筋筋紡錘など顎顔面領域からの入力によって反射的に増強されることを示唆している。過去の研究においても、三叉神経系からの入力が頸筋に反射性の活動を誘発することが報告されている。Nishimuraら⁷⁾は、除小脳ネコにおいて、眼窩下神経の電気刺激によって副神経核の胸鎖乳突筋・僧帽筋運動ニューロンにIPSPが記録され、背側頸筋運動ニューロンには同側及び対側にEPSPが記録されたと述べている。この反射は、頭部を後上方へ引いて、顔面の刺激から頭部を遠ざける方向に作用すると解釈することができる。また、Abrahamら⁸⁾は、覚醒ネコにおいて鼻部の触刺激によって、種々の背側頸筋に活動が見られたこと、また麻酔ネコにおいて、眼窩下神経に電気刺激を与える

と背側頸筋運動ニューロンにEPSPが観察されたことを報告している。このことは、触刺激という非侵害性の刺激によっても頭部を刺激から遠ざける反射が誘発されることを示している。また、Suminoら⁹⁾によれば、ネコの舌神経や下歯槽神経に電気刺激を加えると、背側頸筋を支配するC2前根に誘発電位が見られたという。これは口腔内の刺激によっても背側頸筋に反射性活動が誘発される可能性を示唆している。

これらの三又一頸反射は通常、刺激に対する逃避反射として位置づけられている。しかし、本実験の結果より、歯根膜や咀嚼筋紡錘などの三又神経系からの入力によって増強する活動が咀嚼時にも観察されることから、三又一頸反射は逃避反応ではなく、円滑な咀嚼運動の遂行に関与している可能性があると考えられる。

(2) 開口時の活動

胸骨乳突筋は、パン咀嚼時には開口時にも活動していたが、生米咀嚼時では開口時には活動しなかった。パン咀嚼開口時のこの活動は、開口時に上昇(背屈)するという頭部の運動方向とは矛盾する。

生米とパンでは硬さが異なるが、開口時にその影響は考えられない。一方、パン咀嚼では、開口量が大きく(米咀嚼時の 1.37 ± 0.16 倍 ($n=3$)), 大開口によって頭部は大きく背屈している。また、開口時にリズムカルな活動が見られない皮質刺激の場合には、頭部は固定されており、背屈は起こっていない。このことを考慮すると、開口時に胸骨乳突筋に観察された筋活動は、頭部背屈量と関係があり、頭部の背屈に拮抗する反射性活動であり、頭部の安定に寄与していると考えられる。

これらのことから、胸骨乳突筋は、開口時には食物の咬合(歯根膜・筋紡錘)に起因する入力を受け、また開口時には頭頸部の背屈に起因する入力(前庭・位置感受容器)を受けて反射的に活動していると推測される。

2) 背側頸筋

背側頸筋の作用は通常頭部の背屈とされている。背側頸筋である頭板状筋や頭半棘筋活動の咀嚼時のリズム性は不明瞭で、加算平均によってわずかに観察される程度であった。

咀嚼時の頭部運動は、姿勢維持機構のように力学的に生じた外乱に対して反射性に起こるか、あるいは咀嚼のように中枢でプログラミングされていて何らかの入力によって開始し、修飾されると考えられる。いずれにしろ、頭部に観察されたリズムカルな運動が、いずれかの筋の活動を反映していることは明らかである。しかし、胸骨乳突筋には前述のようにリズムカルな活動が見られたにもかかわらず活動のタイミングは頭部の運動方向と完全

には対応せず、またこの筋自身が細く薄いことから、この筋が頭部運動の主動筋であるとは言い難い。四つ足動物では背側の筋が強大なので、頭部運動にはむしろ背側頸筋の方が主に作用しているのであろう。しかしこの実験では明瞭なリズム性活動は観察されず、咀嚼時の頭部運動に実際どのような筋が関与しているのか明らかにできなかった。

頭部は可動性が高く、頭部運動の定義には複雑な条件が必要であり、また、脊椎に対して背側に位置する筋同士であっても、運動によって協同的にも拮抗的にも作用する^{8, 10)}。したがって、咀嚼時の頭部運動に関与している頸筋を同定するには、さらに頭部の動態を正確に捉え、筋活動を詳細に検索する必要がある。

V. 結 論

咀嚼運動に伴う頭部運動のメカニズムを探ることを目的とし、ウサギを用いて、覚醒時の咀嚼運動と皮質誘発性咀嚼様運動時に、頭部運動と頸筋の活動を観察した。その結果、

1. 覚醒時の咀嚼運動の際には、ウサギにおいても、下顎運動と同期したリズムカルな頭部運動が観察され、咀嚼時頭部運動の実験モデルとして有用であることが示された。
2. 覚醒時、麻酔下いずれの場合も、胸骨乳突筋には、咀嚼運動に同期して、リズムカルな活動が見られた。この活動は歯根膜、筋紡錘などの末梢から入力を受け、増強されることが示唆された。

文 献

- 1) 荒井良明, 松山剛士, 河野正司ほか: 咀嚼時に観察される上顎の協調運動記録の試み, 顎機能誌, 1: 183-188, 1994.
- 2) 松山剛士, 河野正司, 荒井良明ほか: 咀嚼時に観察される下顎運動と協調した頭部運動, 顎機能誌, 2: 159-165, 1996.
- 3) 松山剛士: タッピング運動時に観察される頭部の協調運動, 補綴誌, 40: 535-543, 1996.
- 4) 大竹博之, 河野正司, 松山剛士ほか: 顎機能障害症例に見られるタッピング運動時の頭部運動, 顎機能誌, 3: 131-138, 1997.
- 5) Morimoto, T., Inoue, T., Masuda, Y. et al.: Sensory components facilitating jaw-closing muscle activities in the rabbit, *Exp Brain Res*, 76: 424-440, 1989.

- 6) 河野正司, 吉田恵一, 小林 博ほか: 咬合機能時に見られる胸鎖乳突筋の活動様相, 補綴誌, 31 : 764-769, 1987.
- 7) Nishimura, Y., Asahara, T., Higuchi, K. et al.: Synaptic inhibition of accessory motoneurons evoked by the trigeminal nerve in the cat, *Brain Res*, 585 : 291-294, 1992.
- 8) Abrahams, V.C., Kori, A.A., Loeb, G.E. et al. : Facial input to neck motoneuron: trigemino-cervical reflexes in the conscious and anaesthetized cat, *Exp Brain Res*, 97 : 23-30, 1993.
- 9) Sumino, R. and Nozaki, S. : Trigemino-Neck Reflex: its peripheral and central organization, edited by Anderson, D.S. and Matthews, B., *Pain in the trigeminal region*, 365-374, Elsevier, Amsterdam, 1977.
- 10) Richmond, F.J.R. and Vidal, P.P. : *The Motor system: joints and muscles of the neck*, edited by Peterson, B.W. and Richmond, F.J.R., *Control of head movements*, 1-21, Oxford Univ. Press, New York, 1988.