ラット舌神経, 舌下神経切断後の咀嚼時の 咬筋活動の変化

原 巖

九州歯科大学大学院歯学研究科口腔外科学第1専攻 (指導: 山田長敬教授)
九州歯科大学生理学講座 (指導: 中原 敏教授)

平成2年12月26日受理

Changes of EMG Activities of both the Masseter Muscles during Feeding after Severance of the Lingual or Hypoglossal Nerve in the Rat

Iwao Hara

First Department of Oral Surgery (Director: Prof. Nagayoshi Yamada)
Department of Physiology (Director: Prof. Satoshi Nakahara)
Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

In order to study how deafferentation or deafferentation of the tongue affects chewing, this experiment was carried out. Male Wistar rats weighing 400 ~ 600 g were used. The connector pedestal was fixed by dental cement on the center of the cranial bone under anesthesia. Monopolar EMG electrodes were sewed on the left and right masseter muscle and the wires coated with Teflon from the EMG electrodes were led to the connector pedestal under the skin. The connector pedestal and the input box of amplifier were connected with the fine spiral cords.

One week after setting the connector pedestal, EMG activities of both masseter muscles during feeding were recorded and displayed by the oscilloscope and recorder, and integrated by minipolygraph, and these EMG records were used as control. Rats could move freely in the cage during recording EMG.

After a week from recording control EMG, bilateral lingual nerves (LN), unilateral hypoglossal nerve (UHN), bilateral medial branches (MB) and bilateral lateral branches (LB) of hypoglossal nerves were severed under anesthesia.

EMG activities of both masseter muscles in feeding were recorded once a week from 3 days after severance of the nerves or nerve branches of the tongue and these records were compared with control EMG.

The main findings were summarized as follows.

1. When LN, UHN and LB were severed, feeding behavior and food intake in most rats did not change. But, all rats with severed MB could not take the pellets just after severance of one.

2. After severance of LN, duration of discharge during chewing was slightly prolonged. Amplitude, EMG activities, cycle, and interval of the both masseter muscles during chewing however did not change.

3. After severance of UHN, amplitude and EMG activities on severed side were reduced obviously, and duration of discharge on the intact side was shortened. Others however did not change.

4. After severance of MB, cycle and interval were disturbed and amplitude, EMG activities, and duration were reduced, but these changes were recovered with lapse of time. After severance of LB, EMG activities were slightly reduced. Others however did not change.

Key words : EMG / Lingual nerve / Hypoglossal nerve / Mastication / Rat

緒 言

咀嚼とは、食物を摂取しこれを食塊にして、嚥下するまでの口腔内で行われる一連の動作であり、口腔の最も重要な機能の一つである。

咀嚼運動は、閉口筋と開口筋の交互の収縮によって起こるリズムカルな運動で、咀嚼筋、舌骨上筋、舌骨下筋などの顎筋や顔面筋の協調活動によって行われる¹⁾。このようなリズムカルな咀嚼筋の活動は脳幹に内在するリズム発生器によって形成されることが明らかになっている²⁾。一方、食物の咀嚼に際しては、このリズム発生器は、舌、頬、顎筋、顎関節などに存在する機械受容器から送られる食物の固さや形状についての情報に対して、柔軟に対応していると考えられる。この中でも、舌は口腔諸組織の中で敏感な味覚や粘膜感覚を持ち、また、咀嚼に際しては食物を咬合面に押し進める働きや唾液と混ぜ合わせる働きを持つとともに、嚥下の第一相では、食塊を咽頭に押し進める中心的役割を担っている。このようなことから、咀嚼における舌の役割は非常に重要なものである。舌の感覚機能については、特に、味覚や触覚を司る舌神経に関して多くの報告がある³⁻⁵⁾。しかし、舌の味覚や触覚と咀嚼筋活動との関係を論じた報告は少ないようである⁶⁾。一方、舌の運動を支配する舌下神経については、舌下神経の分枝を電気刺激し、舌筋の動きについて述べたものや^{7,8)}、舌下神経の中に高閾値の求心性神経が含まれることが報告されているが⁹⁾、咀嚼運動との関係について述べたものは少ないようである^{10,11)}。このように、咀嚼と舌運動との関係が比較的研究されていないのは舌が口腔内に存在するため、舌運動の記録が困難なことや、舌運動が非常に複雑であることなどが考えられる。

本実験は、ラットについて咀嚼運動と舌機能との関連を知る目的で、舌の感覚神経である舌神経と運動神経である舌下神経をそれぞれ切断し、舌の感覚および運動を制限した時、咀嚼中の筋活動の指標としての咬筋筋電図がどのように変化するかを調べた。

実験材料ならびに方法

実験には、体重 400 ～ 600 g の雄ウイスター系ラットを使用した。最初に、平川ら¹²⁾の方法に準じて電極の装着を行った。先ず、6% 抱水クロラール水溶液を腹腔内に注射 (8 mg/kg) し、さらに、エチルエーテルで吸入麻酔を行った後、頭蓋骨正中部に皮切を加え、骨膜の剝離を行い、この部の頭蓋骨に自家製の電極固定装置を歯科用セメントで接着した (Fig. 1)。

次に、頬部の咬筋上に皮切を加えた後、あらかじめ電極固定装置に固定してあるテフロン被覆 50 μ ステンレス撚り線を、両側浅部咬筋中央部まで皮下を通して導き、その断端を筋膜上に固定し、記録電極とした。記録電極の固定の位置は、先に皮切を行った咬筋中央部で、口角と耳介の下端を結ぶ直線上に眼球中央部より垂線を下ろし、その交点とした。

電極固定後、約 1 週間の回復期間を置いた後、筋電図を記録し、コントロールとした。筋電図の記録は、縦 20 cm、横 35 cm、高さ 30 cm のプラスチック製ケージの中にラットを移し、無麻酔、無拘束下で動物が自由に行動できる状態で行った。なお、ケージの中には、飼育に使用している固形飼料 (CE-2, クレア社) と給水瓶を置いて自由に摂取させた。記録は、ラットが夜行性であることを考慮し、18 時より同日の 22 時まで消灯下で行った。摂食行動時の咬筋筋電図は、オシロスコープ (VC-9, 日本光電社) で増幅した後、データレコーダ

Fig. 1 Schematic drawing of electrodes and connector pedestal.

Figure A shows fixation of a connector pedestal on the head. a : connector pedestal. b : electrode. c : wire coated with Teflon. d : masseter muscle.

Figure B shows a connector pedestal. a and b : a side and superior view respectively. c : terminals for connecting to the spiral cord. d : an indifferent electrode. e : wire coated with Teflon.

(NFR-3000, ソニー社) に収録した。記録したデータは、咀嚼時の筋電図のみをデータレコーダに編集した後、サーマルアレイレコーダ (WS-641 G, 日本光電社) を用いて再生した。

コントロールの摂食行動時の筋電図を記録した後、神経の切断を行った。神経の切断部位により、I 群 (舌神経両側切断群), II 群 (舌下神経片側切断群), III 群 (舌下神経内側枝両側切断群), IV 群 (舌下神経外側枝両側切断群) に分けた (Fig. 2)。

Fig. 2 Schematic drawing of anatomy of the submandibular region and the innervation of the tongue in the rat.

a : tongue. b : lingual nerve. c, d, and e : the trunk, medial and lateral branch of the hypoglossal nerve respectively. f : digastric muscle.

なお、舌下神経を両側切断した時には、舌運動ができず、摂食が困難となったため、本実験では舌下神経本幹の切断は片側のみとした。また、予備実験において舌下神経の内側枝の電気刺激では、舌は突出し、外側枝の刺激では、舌は口腔内に引き込まれることを確認した。

I 群：舌神経両側切断群（4 匹）

麻酔後、動物を仰臥位に固定し、顎下部に皮切を加

え、咬筋と顎二腹筋の間を鈍的に剥離し、可及的に筋肉への損傷を防ぎながら舌神経を露出し、鼓索神経と吻合する部の末梢側で切断した。

II群：舌下神経片側切断群（3匹）

麻酔後、I群と同様に仰臥位にし、顎下部に皮切を加え、顎二腹筋の中間腱部とオトガイ舌骨筋の間で、舌下神経を露出し、舌下神経が内側枝と外側枝に分岐する部位より中枢側で切断した。

III群：舌下神経内側枝両側切断群（4匹）およびIV群：舌下神経外側枝両側切断群（3匹）

II群と同様に舌下神経の内側枝と外側枝の分岐部を明示し、この部でIII群は内側枝、IV群は外側枝をそれぞれ両側性に切断した。

なお、各群とも神経の切断は、再生を防ぐために神経を約5mm切除した。

神経切断後の筋電図は、コントロールの筋電図と同様

A

B

Fig. 3 Analysis of activities of the masseter muscles.

In A, upper trace is EMG of the masseter muscle during chewing and lower trace, integrated curve of EMG. In B, a trace is EMG swept rapidly during chewing. a, b, c, and d indicated amplitude, cycle, duration, and interval respectively.

な方法で、切断後3日目以降、1週間ごとに記録した。

このような記録の後、次のような方法で筋電図の計測を行った。ラットは1回の実験中、平均3～4回の摂食を行う。この3～4回の摂食を行っている部分の記録から3箇所を選び、この中の約40秒間をミニポリグラフ（RM 6100 日本光電社）で積分し、その積分値を咬筋活動量とした（Fig. 3-A）。更に、この摂食行動部分の40ストロークについて、振幅（amplitude）、持続時間（duration）、サイクル（cycle）、次の筋電図開始までのインターバル（interval）を検討した（Fig. 3-B）。なお、これらの測定値は、各個体の神経切断前に記録したコントロールの測定値を100として相対値で示した。

神経切断前3日から切断後36日まで、各ケージの飼料箱の残存飼料の重量を毎日計測し、その減少量を摂食量とした。また、摂食量は日々の変動が大きいため、3日間の摂食量の総量の平均を1日の摂食量とした。神経切断後の摂食量は切断前を100とし、相対値で示した。本来、ラットは飼料箱から直接飼料を摂取し、床にはほとんどこぼさない。I、II、IV群は神経切断後も同様であったが、III群では、神経切断後、床にこぼす量が多くなった。このため、III群については、摂食量がすべて摂取されたものではない。

結 果

1. 神経切断による摂食行動および状態の変化

電極固定直後には、摂食行動の低下が認められた。しかし、術後3日目には、電極固定前とほぼ同じ程度の摂食行動が認められた。

神経切断後2日間は、いずれの群にも積極的な摂食行動を認めなかったが、I、II、IV群は切断後3日目には、切断前とほとんど同じ様な摂食行動が認められた。III群は、切断直後には半開口状態を呈し、舌の動きが少なく音や人影に過敏であった。切断後3日目には、摂食行動は認められず、この状態は、術後1週間以上続き、2週目頃より回復傾向が認められ、その後、経日的に切断前と同様の摂食行動に戻った。

2. 摂食量

Fig. 4は、神経切断前後の摂食量の変動を示したものである。切断前の1日の摂食量は、 21.6 ± 2.5 gであった。

I群では、切断後3日目に56.9で、大きく低下した。この後、経日的に回復し、切断後27日目に切断前の値まで回復した。II群とIV群は、切断後3日目にそれぞれ87.1、73.9に低下したが、両群とも切断後9日目には切

断前の値に回復した。

Ⅲ群では、切断後3日目には26.1で切断前の約 $\frac{1}{4}$ の摂食量に低下したが、6日目には、86.3まで回復し、9日目には、切断前とほとんど同程度まで回復した。この後、摂食量は15日目172.0、18日目189.5と切断前の約2倍になった。なお、この群では神経切断後、飼料が床

Fig. 4 Changes of food intake after severance of the nerve.

(I), (II), (III) and (IV) indicate case of severance of bilateral lingual nerves (LN), unilateral hypoglossal nerve (UHN), bilateral medial branches (MB) and bilateral lateral branches (LB) of the hypoglossal nerves respectively. Food intake is the mean value of that in 3 days. The ordinate is relative value of the intake before severance of the nerves (control). the abscissa is days after severance of the nerves. c: control, before severance of the nerves.

にこぼれるものも多くなった。その後、摂食量は100よりわずかに大きい値で変動した。

3. 筋電図

a. 筋電図の観察

Fig. 5のコントロールの筋電図は摂食行動時の典型的なパターンである。最初に比較的振幅の小さい放電が1~2回認められる (Fig. 5 図中 (a)). この筋電図のパターンは、摂食行動の観察や、食物をかじる時の音から、切歯によって固い飼料を咬断することによって生じることが分かった。この放電に続いて、リズムカルに連続する振幅の大きい安定した放電 (c) が発生したが、これは頬部の皮膚のリズムカルな動きから、臼歯部で咀嚼していることが分かった。この放電は、短いもので数回、時には約50回以上連続することもあった。なお、このリズムカルな放電は、切歯の咬断時の放電より短かった。最初の1~2回の咬断時の放電とこの放電との間には、数個の振幅の小さい放電 (b) が認められた。

神経切断後の筋電図のパターンは実験群によって異なっていた。Fig. 5-Aに示したI群では、切断後3日目には、切歯の咬断による振幅の小さい放電に続いて臼歯の咀嚼によるリズムカルに連続する放電が認められた。また、左側と右側の筋電図には大きな差異は認められなかった。

Fig. 5-Bに示したII群では、臼歯部で咀嚼を行うときのリズムカルな放電の振幅は切断側が低下した。この傾向は、実験終了まで続いた。

Fig. 5-Cに示したIII群は、切断後3日目では、ほとんど摂食行動が認められず、筋電図記録中の18時から22時の間、1度も咀嚼をしないものもあった。切断後3日目に咀嚼を行ったものでも、切歯の咬断と臼歯による咀嚼の筋電図が明確でなく、しかも、リズムカルな咀嚼の放電は、一定しておらず典型的なものは認められなかった。また、振幅は、切断前に比べて大きく低下した。切断後7日目にも、咀嚼リズムの乱れが認められ、放電振幅は低下していた。また、切歯での咬断による放電の終了から臼歯の咀嚼によるリズムカルな放電の発生までの時間が延長していた。切断後21日目では、切断直後に比べて、咀嚼時の筋電図パターンはある程度回復したが、切歯での咬断と臼歯部の咀嚼の両方に咀嚼リズムの乱れが認められ、放電振幅も低下していた。また、切歯の咬断による放電の終了から臼歯の咀嚼によるリズムカルな放電が開始するまでの時間は、依然延長していた。この傾向は、全例に認められたが回復傾向には個体差があった。なお、左側と右側には大きな差異は認めら

control (before severance)

left

right

3 days after severance

28 days after severance

(Fig. 5 - A)

れなかった。

Fig. 5-D に示したIV群は、切断後3日目には摂食行動による放電が認められたが、変化は少なく左右側でも大きな差異は認められなかった。

b. 振幅

Fig. 6 は、振幅の平均値を群別にまとめたものである。I 群では、切断後3日目 94.4 ± 28.4 、7日目 82.3 ± 23.8 と低下したが、その後、計測日によって若干の

control (before severance)

(intact side)

(severance side)

3days after severance

intact side

severance side

28days after severance

intact side

severance side

(Fig. 5 -B)

control (before severance)

left

right

3days after severance

28days after severance

(Fig. 5 - C)

Fig. 5 EMG patterns of masseter muscles during chewing before and after severance of the nerves.

A, B, C and D in Fig. 5 are EMG records before and after severance of LB, UHN, MB and LB respectively.

Left and right : left and right masseter muscle. control : before severance of the nerves. days : days : after severance of the nerves. In record B of severance of UHN, upper and lower trace show EMG of intact and severance side respectively. In record A, prior one or two EMG bursts (a) and posterior continuous rhythmical bursts (c) indicated by arrows are generated during biting by incisors and chewing by molars respectively. Small discharges (b) between (a) and (c) generated by transportation of food from incisors to molars.

control (before severance)

left

right

3days after severance

28days after severance

1mV
1sec

(Fig. 5 -D)

(Fig. 6 - A)

(Fig. 6 - B₁) (Fig. 6 - B₂)

変動があるものの、全体的に回復傾向が認められた (Fig. 6-A).

Ⅱ群では、切断側と健常側の両側について計測を行った。切断側では、切断後3日目 51.6 ± 13.7 、7日目

59.4 ± 20.4 と40～50%低下した。この傾向は、切断後28日目まで続いた。なお、切断後3日目より28日目まで危険率1%で有意であった (Fig. 6-B₁).

健常側では、切断後3日目 114.1 ± 31.6 と増大した。

Fig. 6 Changes of amplitude of EMG of masseter muscles after severance of the nerves.

Figures A, B, C and D show amplitude of EMG records before and after severance of BL, UHN, MB and LB respectively.

The ordinate is relative value of amplitude of EMG before severance of the nerves (control). The abscissa is days after severance of the nerves. In the cases of severance of UHN, B₁ and B₂ show severance and intact side of the nerve respectively. c: control. **p<0.01 and *p<0.5: significant difference between before and after severance of the nerves. Others are same as in Fig. 5.

その後、計測日によって若干の変動があったが、切断前と比べてわずかに増大した (Fig. 6-B₂).

Ⅲ群では、切断後7日目 66.9 ± 25.4 , 切断後14日目 78.4 ± 29.6 と低下したが、その後、回復傾向を示し、切断後7日目では危険率1%で、切断後14日目には5%で有意であった。(Fig. 6-C).

Ⅳ群では、切断後3日目より切断後14日目まで約90%まで低下した (Fig. 6-D).

c. 咬筋活動量

Fig. 7 は、咬筋活動量の平均値を群別にまとめたものである。

I 群では、切断後3日目には、左側 89.7 ± 4.0 , 右側 92.0 ± 12.4 , 切断後7日目では、左側 77.6 ± 14.0 , 右側 84.4 ± 25.8 で筋活動量の低下を認めた。なお、左側

は、切断後3日目には危険率1%, 7日目には5%の有意差を示した。この後、筋活動量は、計測日によって増減があったが、徐々に回復する傾向が認められた (Fig. 7-A).

Ⅱ群では、切断後3日目に、健常側 101.6 ± 18.1 に対して、切断側 65.8 ± 10.2 , 7日目、健常側 96.0 ± 10.0 , 切断側 69.9 ± 10.0 で、切断後28日目でも健常側 85.4 ± 9.7 , 切断側 61.6 ± 11.8 であった (Fig. 7-B). このように、切断側の咬筋活動量は、約35~40%の大きな低下を示した。この傾向は、切断後28日目までほとんど変わらず、切断後3日目、7日目、21日目、28日目では危険率1%で有意差を示し、14日目には危険率5%で有意差を示した。一方、健常側の低下は軽度であった。また、Ⅱ群の切断後3日目の健常側に対する切断側

の咬筋活動量は64.8%で切断側の筋活動量は、健常側に比べて35%低下しており、この傾向は切断後28日目まで続いた。

Ⅲ群では、切断後3日目で左側 45.6 ± 12.7 、右側 44.4 ± 21.2 で極端な低下を示し、切断後7日目にも左側 53.2 ± 10.3 、右側 53.6 ± 17.4 と顕著な低下を示した。また、切断後3日目より7日目まで危険率1%、14日目には左側は1%、右側は5%で有意であった。この後、経日的に回復傾向を示したが、切断後28日目でも、切断前の値にまで回復しなかった (Fig. 7-C)。

Ⅳ群は、切断後3日目で、左側 78.2 ± 8.8 、右側 80.2 ± 5.1 で低下が認められたが、切断後14日目には、左側 88.3 ± 13.2 、右側 105.3 ± 1.1 で回復傾向が認められた (Fig. 7-D)。

d. サイクル、持続時間、インターバル

Fig. 8は、サイクル、持続時間、インターバルを、各群別に平均値で示したものである。神経切断前の全例のサイクル、持続時間、インターバルの平均は、それぞれ 0.2 ± 0.01 sec, 0.09 ± 0.006 sec, 0.14 ± 0.008 secであった。

I群のサイクルは、神経切断後もほとんど変化は認められなかった (Fig. 8-A)。全例の持続時間の平均は、切断後3日目 109.7 ± 7.1 、7日目 118.3 ± 9.3 で約10~20%延長しており、3日目は危険率5%、7日目は危険率1%で有意であった。この後、次第に短縮したが、切断後28日目でも 107.3 ± 2.8 であった (Fig. 8-A)。インターバルは、切断後3日目 96.9 ± 4.0 、切断後7日目 88.5 ± 9.6 で、切断後わずかに短縮した。この傾向は実験終了まで続いた (Fig. 8-A)。

Ⅱ群では、切断側 (Fig. 8-B₁) と健常側 (Fig. 8-B₂) の両側について計測を行った。切断側のサイクルは、切断後3日目 93.4 ± 4.8 、7日目 94.9 ± 4.2 で約5~6%の短縮が実験終了まで続いた。切断側の持続時間は、切断後3日目 87.9 ± 3.4 、7日目 93.1 ± 3.6 で、以後実験終了まで短縮が続いた。切断後3日目と21日目は危険率1%、7日目と14日目は危険率5%で有意差を示した。切断側のインターバルは、切断後3日目 94.3 ± 5.9 、7日目 95.0 ± 6.8 で、5~6%の短縮を認めたが、この後、徐々に回復した。

健常側のサイクルは、切断後3日目 90.1 ± 5.1 、7日目 91.5 ± 3.8 で、5%の危険率で有意差が認められ、この後、徐々に回復した。健常側の持続時間は、切断後3日目 74.9 ± 10.7 、7日目 75.1 ± 6.9 、また、28日目 79.4 ± 9.7 で約15%の大きな短縮が認められ、切断後7

日目、14日目、21日目に危険率1%、切断後3日目と切断後28日目では危険率5%で有意であった。健常側のインターバルは、切断後3日目 97.4 ± 6.7 、7日目 99.4 ± 5.4 でほとんど変化がなかった。

Ⅲ群は、切断後3日目では、切歯の咬断と臼歯部の咀嚼が明確に区別できず計測が不可能であったが、切断後7日目には計測が可能となった (Fig. 8-C)。しかし、切断後7日目以降でも飼料を摂取をしないことが多く、筋電図の記録が出来ないこともあった。サイクルは、切断後7日目 171.7 ± 49.2 、14日目 138.5 ± 53.1 で延長したが、21日目には、 90.8 ± 2.5 で逆に短縮した。また、切断後7日目では危険率5%であったが、21日目でも危険率1%と有意差を示した。持続時間は、切断後7日目 72.9 ± 7.1 、14日目 73.0 ± 8.3 で約30%短縮し、危険率1%で有意差が認められた。その後、21日目、28日目と回復したが、21日目も危険率1%で有意であった。また、インターバルは、切断後7日目 215.7 ± 61.7 、14日目 153.7 ± 42.5 と大きく延長したが、切断後21日目は、 93.6 ± 2.1 と逆に短縮した。また、危険率は切断後7日目、14日目には5%、21日目には1%で有意であった。

Ⅳ群 (Fig. 8-D) のサイクルでは、切断後3日目 94.9 ± 1.6 、7日目 91.2 ± 2.1 とわずかに短縮し、14日目 96.2 ± 0.1 で軽度の回復傾向が認められた。危険率は、切断後3日目、7日目は5%、14日目は1%で有意であった。持続時間は、切断後3日目 96.4 ± 2.1 、7日目 99.1 ± 5.7 、14日目 102.6 ± 6.1 と経日的に回復傾向が認められ、切断後3日目には危険率5%で有意差が認められた。インターバルは、切断後3日目 94.7 ± 1.5 、7日目 87.6 ± 1.3 、14日目 93.3 ± 2.8 で短縮が認められた。また、切断後3日目と14日目は危険率5%、7日目は1%で有意差を示した。

考 察

1. 神経切断後の摂食行動の変化

I群 (舌神経両側切断群) では、神経切断後3日目に摂食量が神経切断前の約60%に減少したが、行動の観察ではリズムカルな咀嚼が認められ、神経切断による摂食行動の変化は認められなかった。Jacquin ら (1983)¹³⁾ は、舌神経を含む三叉神経の口腔からの感覚枝を両側切断したラットは十分な摂食ができず餓死してしまうのに対し、これらの感覚神経のうち舌神経を残したラットでは、術後、摂食量、摂水量とも減少するが、経日的に回復すると報告している。この報告と本実験の結果か

Fig. 7 Changes of muscle activities of masseter muscles after severance of the nerves.

Figures A, B, C and D show muscle activities before and after severance of BL, UHN, MB and LB respectively.

The ordinate is relative value of the integrated value before severance of the nerves (control). Others are same as in Fig. 6.

ら、摂食には三叉神経支配の触覚などの口腔感覚が必要であるが、舌または舌以外の口腔の感覚のいずれかがあれば、摂食は行われることが分かる。

Ⅱ群（舌下神経片側切断群）とⅣ群（舌下神経外側枝両側切断群）では、神経切断後、摂食量がわずかに減少したが、両群とも術後9日目には切断前まで回復した。また、この間、咀嚼障害などは認められなかった。一方、Ⅲ群（舌下神経内側枝両側切断群）では、切断直後より摂食量が減少し、切断前の $\frac{1}{4}$ にまで低下した。

Jacquin ら (1983)¹³⁾ は、舌下神経を両側切断した

ラットは、口を開けたり、咬んだり、咀嚼することは出来るが、食物を口に入れることが出来ず、餌をケージの床にこぼしてしまい、水を飲むことも難しいと述べている。予備実験でも舌下神経両側切断を試みたが、Jacquin らと同様の結果を得たため、本実験では、舌下神経切断は、内側枝または外側枝の両側切断とし、神経幹の場合は片側のみとした。

以上のことより、本実験のⅡ群は、片側切断のため影響が少なかったと考えられる。また、Ⅲ、Ⅳ群のように分枝の両側切断の場合には、Ⅲ群の内側枝の切断が影響

(Fig. 8 - A)

Fig. 8 Changes of cycle, duration and interval of EMG during chewing after severance of the nerves.

Figures A, B, C and D show cycle, duration, and interval before and after severance of BL, UHN, MB and LB respectively.

The ordinates are relative values of these times before severance of the nerves respectively. In the cases of severance of UHN, B₁ and B₂ show severance and intact side of the nerve respectively. Others are same as in Fig. 7.

が大きく、Jacquin らが述べているような食物をこぼしたり、水が飲めない状態が観察され、摂食量が大きく低下した。その後、Ⅲ群においては、摂食量が増加したが、ケージの床にこぼす飼料の量も多かった。これは、舌による捕食が困難となったためと考えられる。

2. 神経切断後の筋電図

咀嚼機構解明のために、動物を用いて口腔内の感覚や運動を制限し、その影響を観察した報告¹⁴⁻¹⁶⁾がある。本実験では、舌の感覚や運動を遮断し、咀嚼の変化を経日的に観察し分析を行った。特に、神経切断後の筋電図の変化を多角的に調べるために、筋電図パターン、咬筋活動量、咀嚼時の筋電図の振幅、サイクル、持続時間、インターバルについて調べた。

a. I 群 (舌神経両側切断群)

I 群の神経切断後の摂食時の筋電図パターンには大きな差異は認められず、両側の筋電図の振幅にも差異は認められなかった。一方、咬筋活動量は、切断前の約 80% で有意の低下を示した。このことは、舌の感覚障害のた

め、飼料が十分に歯列間に運搬されないためではないかと考えられる。

咀嚼リズムの発生器が脳幹に存在することは、中村ら (1983)¹⁷⁾ によって明らかにされている。また、このリズム発生器からの出力は、主に末梢からの入力によって調整されていると考えられている¹⁸⁻²²⁾。本実験では、舌神経の両側切断は、サイクルには大きな変化はなかったが、インターバルがわずかに短縮し、持続時間は、有意に延長した。このことは、咀嚼リズムそのものは舌神経からの情報が消失しても大きな影響は受けないが、咬みしめる時間などの細部の調節に影響を与えたと考えられる。

加藤 (1984)¹⁵⁾ は、ウサギの三叉神経を種々の部位で切断し、咀嚼に対する影響を調べ、口蓋神経と舌神経を片側性に切断した時には、咀嚼リズムが遅くなったが、2 週間後には回復したと述べている。本実験の場合には、サイクルすなわち咀嚼リズムそのものには変化はなかったので、この点は加藤の報告とは異なっている。こ

(Fig. 8 - B₁) (Fig. 8 - B₂)

れは、動物が異なること、口蓋神経を切断したものではないものなど実験方法の差異も原因であると考えられる。また、本実験では、神経切断後のインターバルと持続時間の変化は時間の経過と共に回復した。加藤は咀嚼リズムが回復するのは神経切断によって喪失した顎運動調節機能を他の口腔感覚、特に反対側の代償作用が経時的に形成されるためであると述べている。本実験の場合のインターバルと持続時間の回復も他の健全な部位の代

償作用によるものと考えられる。

b. II群 (舌下神経片側切断群)

本実験では、神経切断側は、咀嚼時のリズムカルな放電の振幅が大きく低下し、筋活動量も約45%まで有意に低下した。また、サイクル、インターバルがわずかに短縮し、持続時間は有意に短縮した。一方、健常側では、切断後も、振幅の低下はほとんど認められなかった。また、筋活動量は切断直後はあまり変化はなかった

(Fig. 8 - C)

(Fig. 8 - D)

が、時間の経過と共に減少した。また、サイクルは短縮し、インターバルは切断直後ごくわずかに短縮し、その後逆にわずかに延長した。一方、持続時間は切断直後から著明に短縮した。以上のように、切断側も健常側も共に持続時間は短縮しているので、切断側の筋活動量の低下は放電振幅の低下が大きく関係しているものと考えら

れる。

Luschei ら (1974)²³⁾ は、サルの三叉神経中脳路核を片側性に破壊したところ、咀嚼がほとんど非破壊側で行われるようになったと報告している。この報告と前述の Jacquin ら (1983)¹³⁾ の報告や本実験の結果から、舌下神経片側切断の場合、切断側の筋活動量が低下するの

は、切断側の歯列に飼料が入らないために、筋紡錘や歯根膜の感覚受容器に対する刺激が減少したためと考えられる。また、切断側の咬筋活動量が実験終了時までほとんど回復しなかったのは、口腔内での食物の移送を舌以外の他の部が代償することが困難であるためと考えられる。

また、舌下神経の片側切断を行っても、サイクルがわずかに短縮しただけで、咀嚼リズムに乱れは認められず、中枢性のリズムの発生は、片側の運動神経の切断ではあまり大きな影響を受けないことが分かった。

c. Ⅲ群（舌下神経内側枝両側切断群）およびⅣ群（外側枝両側切断群）

Ⅲ群では、内側枝切断後、摂食行動が著明に低下し、切断後3日目では、明確な咀嚼時の筋電図の記録が困難であったが、術後7日目には、咀嚼時の筋電図が確認されるものがあった。一方、Ⅳ群では、外側枝切断後3日目には積極的な摂食行動が認められた。咬筋活動量もⅢ群では、切断後、両側共に約45%に低下し、その後、徐々に回復したが、28日目でも約80%であった。一方、Ⅳ群では、切断後3日目に約80%に低下したが、切断後14日目にはかなり回復した。このように、咀嚼時の筋電図には、Ⅲ、Ⅳ群間で顕著な差が見られた。

小宮山 (1981)¹⁰⁾ はウサギの舌運動をX線映画法を用いて調べ、咀嚼時には、頭頂方向から見ると、舌は最初、最前方に達した後、咀嚼側に側方運動を行い、側方方向から見ると、最下方に達した後、後上方に上昇運動を行っており、これは、食塊を口腔底より拾い上げて咀嚼側の臼歯部咬合面上に運搬するためであると説明している。また、Weijs (1975)¹¹⁾ もラットについて、X線映画法で調べ、下顎切歯の咬みしめによって、固形飼料を小さく咬み砕いた時、切歯に付着した食物片は開口時に舌によって取り上げ、次の咬みしめ時に舌によって後上方に送られると述べている。本実験でも咀嚼時の筋電図の最初の1～2回の切歯の咬断による放電と臼歯での咀嚼によるリズムカルな放電との間に発生した数個の振幅の小さい放電は、咬断した食片を臼歯まで移送しているものと考えられる。

伊藤 (1989)²⁴⁾ は、解剖学的観察から、舌下神経の内側枝は舌突出筋であるオトガイ舌筋、オトガイ舌骨筋、内舌筋を支配しており、外側枝は、舌牽引筋である茎突舌骨筋、舌骨舌筋、内舌筋を支配していると述べている。Lewisら (1971)⁷⁾、Odutola (1976)⁸⁾ は、舌の突き出しは、舌下神経の内側枝によって行われ、舌の引き込みは外側枝によると述べている。本実験でも、これら

2つの分枝の電気刺激を行って舌の動きを調べたが、内側枝の刺激で舌は突出し、外側枝の刺激で舌は口腔内に引き込まれた。以上のような点から考えると、咀嚼における舌の働きの最初の段階である食物取り込みのための舌の突き出しは内側枝が関与し、その後の臼歯部への食物の移送は外側枝が関与していると思われる。

本実験の結果では、舌下神経内側枝切断の方が外側枝切断よりも、摂食に対する影響は大きかった。このことは、切歯で咬断した食片を舌を突き出して口腔内へ取り込むための内側枝の働きは、食片を口腔内から咽頭の方へ運搬する外側枝の働きより重要であるためと考えられる。一方、外側枝の切断は内側枝ほど大きな影響はなかったが、分岐部より中枢側で両側の神経幹を切断すると、摂食は全く出来なくなるので、外側枝はある程度内側枝を助けているものと考えられる。

Ⅲ群では切断後にサイクルが大きく延長し、標準偏差は大きくなり、咀嚼リズムが大きく乱れた。また、持続時間は短縮し、インターバルは延長した。このことは、内側枝切断で舌の突き出しができないこと、飼料が十分に口腔内に取り入れられないこと、歯列間に飼料がうまく乗らないことが、このような変化を生じさせたものと考えられる。

サイクルについては、Ⅲ群の分枝の切断の方が、Ⅱ群の舌下神経片側切断より影響が大きかったことから、舌の健全な側が障害側をかなり補償できると考えられる。

3. 咀嚼機構の再形成

Ⅲ群では、内側枝切断後に咬筋活動量の低下、咀嚼リズムの変調など、咀嚼機能の低下が認められたが、経日的に回復傾向が認められた。本実験では、神経の切断は再生・連絡を防ぐために、約5mm切除した。また、神経切断後63日目に筋電図の回復を確認した後、切断部位を再切開し、神経を調べたが、再生は認められなかった。

戸川ら (1972)²⁵⁾ は成熟ウサギの顔面神経の再生および変性について調べた結果、神経修復後、組織学的には9週で回復したが、肉眼的な動きは10週の時点でもほとんど現われなかったと述べている。また、町田 (1977)²⁶⁾ は成熟ウサギの下歯槽神経を下顎管内で切断した後、下歯槽神経の活動電位が切断後3週まで出現せず、4週前後で出現し、9週で正常なパターンに回復したと述べている。以上のことから、神経切断では、電気生理学的、また、組織学的な回復は9～10週後と考えるのが妥当と思われる。

井上 (1987)¹⁴⁾ は、ウサギの上顎神経と下歯槽神経を

それぞれ切断した時、術後2週で咀嚼回数および最大開口度は回復したが、この時点で、神経の再生は認められなかったと述べている。加藤(1984)¹⁵⁾は、ウサギの口蓋神経、舌神経、下歯槽神経、上歯槽神経(眼窩下神経を含む)の切断を行った時、2週間後には左右均等に咀嚼し、切断前の咀嚼に回復したと述べている。このように、神経の再支配と咀嚼機能の回復との間には、時間的差異が存在することは明らかである。

以上のことから、舌神経切断により舌の感覚を遮断した場合では、舌以外の口腔感覚による代償作用が働くため、神経切断後も咀嚼運動に大きな変化がなかったと考えられる。これに対して、舌の運動を司る舌下神経を切断した場合には、咀嚼運動に種々の影響を及ぼした。しかし、その後、筋電図上では、ある程度の回復が認められたことから、舌の運動障害は咀嚼に対して大きな影響を与えること、また、他の口腔諸器官による代償がある程度行われることが分かった。

結 論

舌神経を切断し、舌の触覚および味覚を遮断した時と舌下神経を切断し、舌の運動を制限した時、咀嚼にどのような影響を与えるかを調べるために、以下の実験を行った。

成熟ラットの頭頂部に電極固定装置を接着し、導出電極を頬部皮下を通し、咬筋上に固定した。術後、回復期間において、舌神経両側、舌下神経片側、舌下神経内側枝両側、舌下神経外側枝両側をそれぞれ切断し、切断後3日目以降、7日ごとに筋電図を記録した。その結果の要約は以下のようである。

1. 舌神経両側切断、舌下神経片側切断、舌下神経外側枝両側切断の各群は、切断後も積極的な摂食行動を行い、摂食量にも大きな変化は認められなかった。舌下神経内側枝両側切断群では、切断直後には摂食行動はほとんど認められなかった。時には摂食行動を行うものもあったが、咀嚼がうまく行えなかった。

2. 舌神経両側切断では、切断後、咀嚼リズムに大きな変化は認められなかったが、咬筋の放電持続時間に軽度の延長を認めた。また、筋電図の振幅は切断後わずかに低下した。咬筋活動量では、切断後も大きな変化は見られなかった。

3. 舌下神経片側切断では、切断後3日目に健常側の放電持続時間の短縮を認めた。また、切断側では、咬筋活動量と振幅に低下を認めた。

4. 舌下神経内側枝両側切断では、切断後3日目より

咀嚼リズムの乱れ、振幅および咬筋活動量の低下などが著明に認められた。その後、経日的に咀嚼機能の回復が認められた。舌下神経外側枝両側切断では、咀嚼機能の低下は軽度であった。

以上のことから、舌神経切断では、口腔諸器官の代償作用により咀嚼の維持が可能であると思われる。舌下神経切断では、舌下神経内側枝両側切断で最も影響が大きかった。これは、舌の突出が不可能なため食物の摂取が困難となり、咀嚼機能が低下したと考えられる。しかし、経日的には回復傾向を認めた。これは、舌運動の機能低下を他の口腔諸器官が補い、咀嚼機構の再形成を行ったためと考えられる。

本稿を終るに臨み、始終御懇篤なる御指導と御校閲を賜った恩師九州歯科大学口腔外科学第1講座山田長敬教授に深甚の謝意を捧げるとともに、御懇篤なる御指導と御校閲を賜った九州歯科大学生理学講座中原敏教授に対し、衷心より感謝致します。また、実験の段階で種々の御助言を戴いた、生理学講座平川輝行博士に謝意を表わします。あわせて本研究に種々御協力を戴きました口腔外科学第1講座ならびに生理学講座教室員諸兄に深く感謝いたします。

なお、本論文の要旨は、第49回(平成1年)九州歯科学会総会ならびに第50回九州歯科学会総会(平成2年)、第31回(平成1年)歯科基礎医学会、第40回(平成1年)西日本生理学会において発表した。

引用文献

- 1) 中村嘉男:咀嚼運動の神経・筋メカニズム, 一顎運動を中心に—(1). 歯界展望 63(1):123-137, 1984.
- 2) 中村嘉男:咀嚼運動の神経・筋メカニズム, 一顎運動を中心に—(3). 歯界展望 63(3):477-492, 1984.
- 3) 問田直幹, 内藺耕二:新生理学, 上巻, 医学書院, 東京, 1975, 759-772.
- 4) Beidler, L. M.: Properties of chemoreceptors of tongue of rat. J. Neurophysiol. 16:595-607. 1953.
- 5) Yamamoto, T., Yuyama, N., Kato, T. and Kawamura, Y.: Gustatory response of cortical neurons in rats. II. Information processing of taste quality. J. Neurophysiol. 53:1356-1369, 1985.
- 6) 天野仁一郎, 安東俊介, 松岡弘毅, 橋本元伸, 山内六男, 久保牧巳, 川野襄二:成人の咀嚼リズムの経時的変化および味覚刺激による影響について. 補綴誌 33:270-282, 1989.
- 7) Lewis, P. R., Flumerfelt, B. A. and Shute, C. C. D.: The use of cholinesterase technique to study topographical localization in the hypoglossal nucleus

- of the rat. *J. Anat.* 110 (2): 203-213, 1971.
- 8) Odutola, A. B.: Cell grouping and Golgi architecture of the hypoglossal nucleus of the rat. *Exp. Neurol.* 52: 356-371, 1976.
 - 9) Green, J. D. and Negisi, K.: Membrane potentials in hypoglossal motoneurons. *J. Neurophysiol.* 26: 835-856, 1963.
 - 10) 小宮山能康: X線映画法によるカイウサギにおける咀嚼運動と顔面神経切除後の変化. *歯科学報* 81 (9): 57-82, 1981.
 - 11) Weijs, W. A.: Mandibular movement of the albino rat during feeding. *J. Morph.* 145: 107-124, 1975.
 - 12) 平川輝行, 本田栄子, 原 巖, 中村修一, 中原 敏: ラットの顎運動を伴う日常行動の筋電図学的研究. *九州歯会誌* 44 (5): 788-804, 1990.
 - 13) Jacquin, M. F. and Zeigler, H. P.: Trigeminal orosensation and ingestive behavior in the rat. *Behav. Neurosci.* 97: 62-97, 1983.
 - 14) 井上富雄: 三叉神経求心性情報の顎運動調節に果す役割. *阪大歯誌* 32 (1): 70-90, 1987.
 - 15) 加藤卓也: 咀嚼運動に対する三叉神経求心性情報の役割. *阪大歯誌* 29 (1): 129-137, 1984.
 - 16) Weijs, W. A. and Muhl, Z. F.: The effect of digastric muscle tenotomy on jaw opening in the rabbit. *Arch. oral Biol.* 32 (5): 347-353, 1987.
 - 17) 中村嘉男, 野崎修一, 入来篤史: 下位脳幹部に内在する咀嚼リズム形成機構. *口病誌* 50: 656, 1983.
 - 18) 阿部勝也: 顎関節よりの求心性神経情報に関する研究. *歯基礎誌* 16: 117-128, 1974.
 - 19) Lavigne, G., Kim, J. S., Valquette, C. and Lund, J. P.: Evidence that periodontal pressoreceptors provide positive feedback to jaw closing during mastication. *J. Neurophysiol.* 58 (2): 342-358, 1987.
 - 20) Jüch, P. J. W., van Willigen, J. D., Brokehuijsen, M. L. and Ballintijn, C. M.: Masseter digastric and omohyoid response from weak mechanical oral stimuli in the chewing rat. *Brain Behav. Evol.* 25: 166-174, 1984.
 - 21) Appenteng, K., Lund, J. P. and Séguin, J. J.: Behavior of cutaneous mechanoreceptors recorded in mandibular division of Gasserian ganglion of the rabbit during movements of lower jaw. *J. Neurophysiol.* 47 (2): 151-166, 1982.
 - 22) Goodwin, G. M. and Luschei, E. S.: Effect of destroying spindle afferents from jaw muscles on mastication in monkeys. *J. Neurophysiol.* 37: 967-981, 1974.
 - 23) Luschei, E. S. and Goodwin, G. M.: Patterns of mandibular movement and jaw muscles activity during mastication in the monkey. *J. Neurophysiol.* 37: 954-966, 1974.
 - 24) 伊藤道一郎: 舌筋を支配する運動神経細胞の局在配列に関する比較解剖学的研究. —ジャコウネズミ (*Suncus murinus*) を中心として—. *口科誌* 38 (4): 940-959, 1989.
 - 25) 戸川 清, 塚本嘉一, 北村 武: 神経再生と機能の回復. *災害医学* 15 (6): 395-402, 1972.
 - 26) 町田和之: 下歯槽神経切断後における変性と再生に関する実験的研究. *歯科学報* 77 (12): 11-32, 1977.