原 著

ネコ片側舌下神経切断に伴う咀嚼筋および舌筋の活動変化

平 場 久 雄* 佐 藤 貴 子** 真 鍋 公 子* 堀 稔**
井 村 修 子* 田 中 博**

* 日本大学歯学部生理学教室

** 日本大学歯学部口腔外科学教室第一講座

〔受付：平成 13 年 10 月 15 日，受理：平成 13 年 12 月 8 日〕

Changes in Activities of the Jaw and Tongue Muscles Following Severance of the Unilateral Hypoglossal Nerve (Medial Branch) in Awake Cats

Hisao Hiraba*, Takako Sato**, Koko Manabe*, Minoru Hori**, Syuuko Imura* and Hiroshi Tanaka**

* *Department of Physiology, Nihon University School of Dentistry*

** *Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Nihon University School of Dentistry*

*** *1-8-13 Kanda-surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8310, Japan*

〔Received on October 15, 2001 ; Accepted on December 8, 2001〕

Key words : severance of the unilateral hypoglossal nerve (medial branch) / bilateral EMG activities of the masticatory and genioglossus muscles / mastication / awake cats

Abstract : The purpose of this study was to determine the time course of masticatory recovery after severance of the unilateral medial branch of the hypoglossal nerve (HN). In severed-nerve cats, food intake rate recovered up to 80% in 2 weeks with tongue deviation during mastication. Each genioglossus EMG (30% in the cutting side and 150% in the intact side) stabilized after 25 days. Masseter muscle EMGs in both sides stabilized at an almost normal level in 25 days. Although digastric muscle EMGs in the HN cutting side stabilized at an almost normal level after 25 days, those on the HN intact side were at 50%. The extent of jaw opening decreased by up to 70–80% and the masticatory period increased 1.5 times for 25 days.

The balance of co-operative mastication after severance persisted for one month.

抄録：片側舌下神経内側枝を切断したネコにおいて，一定量の食物摂取・咀嚼時の食物摂取率，咀嚼期間，両側オトガイ舌筋および咀嚼筋（咬筋と顎二腹筋前腹）の活動量および顎運動を約 1 カ月間記録し，咀嚼機能の安定までの期間を検索した。

食物摂取率は神経切断後，舌偏位の状態を保ったまま約 2 週で切断前の約 80% で安定した。咀嚼期間および最大開口量は 25 日程度でそれぞれ約 1.5 倍，約 80% となり，安定傾向を示した。咀嚼時の左右側筋活動は神経切断後約 25 日で，オトガイ舌筋では切断側約 30%，非切断側約 150%，咬筋では両側ともほぼ切断前の値，顎二腹筋前腹では切断側はほぼ切断前の値，そして非切断側は約 50% で安定傾向を示した。

以上の結果から，片側舌下神経内側枝切断後円滑な咀嚼運動が回復し，安定するまでには約 1 カ月を要することが判明した。

緒 言

咀嚼運動は、咀嚼筋、顔面筋と舌筋の協調により、食物を粉砕、臼磨し、唾液を混ぜ合わせ、嚥下に適した食塊を形成することである¹⁻³⁾。このことは、円滑な咀嚼運動のためには、顔面筋の緊張とともに舌運動と顎運動との間に、時間的に調和のとれた周期的活動が必要であると考えられる⁴⁻⁷⁾。

一方、口腔外科領域の疾病や外傷による機能障害、また手術などの治療に伴い生じる運動障害⁸⁻¹²⁾は、多くが末梢神経損傷を主体としている。その機能回復には損傷した神経が再生することは稀であり、ほとんどが残された部位による代償が主体であると考えられる。

これら、末梢神経損傷による咀嚼運動障害の代償機能は、動物実験により以前より調べられている。運動神経障害として、舌下神経を切断した動物を用いた原¹³⁾や佐藤¹⁴⁾の報告がある。彼らはいずれも神経再生がないにもかかわらず、機能的食物摂取の回復を報告している。また、感覚神経障害として、Miller¹⁵⁾、加藤¹⁶⁾や井上¹⁷⁾らは、三叉神経知覚枝をそれぞれ切断した動物を調べ、感覚神経切断によっても咀嚼運動パターンが正常時とは大きく変化することを述べている。

そこで、われわれは片側舌下神経切断ネコを用い、咀嚼運動障害がどのように回復していくのかを、咀嚼筋および舌筋の左右側の筋電図活動変化より経日的に検索した。

材料および方法

実験には、体重 2.5—3.5 kg の成ネコ 5 匹を用いた。実験に供する前に、ネコを実験室および実験者に慣れさせるため実験室で飼い、著者らが毎日餌と水を与えた。また、動物実験に際しては、日本大学歯学部「動物実験に関する指針」に従い行った。

1. 頭部固定装置の装着

手術は麻酔下 (ketamine 16 mg/kg, i. m. と pentobarbital sodium 30 mg/kg, i. p. の混合麻酔) で行った。頭部の毛を刈り、頭部正中部の皮膚を前頭部から後頭部まで切開し、両側の側頭筋の起始部を頭蓋骨より剝離し、頭蓋骨を露出した。露出した頭蓋骨表層に 20 本のスクリュー (直径 1 mm, 長さ 2 mm) を骨内にねじ込み、頭部固定用の 2 本のボルト (直径 3 mm, 長さ 50 mm) とともに歯科用レジンで埋め込んだ。感染を防ぐた

めに抗菌薬 (ペニシリン G カリウム, 萬有製薬, 10 万単位/1 ml/day, i. m.) を 1 週間連続投与した。

2. 実験動物の訓練

Fig. 1 A に示すように、実験動物を箱に入れ、動物の頭部を頭部固定用の 2 本のボルトを介して自家製の head holder に固定した。ネコの口の高さから木製スプーン (18 mm×12 mm) で魚のすり身約 1.8 g を与えた。スプーン上のすり身が口唇部の毛に接触したとき、舌出しによりスプーン上の餌を摂取し、口腔内へ取り入れ、咀嚼運動を開始するように、そしてこぼさないですべて食べるように約 1 カ月間訓練した。また、摂食・咀嚼の訓練後に、ミルクを含ませたペイントブラシで上唇の正中部、左側部および右側部にミルクを塗布し、その塗布部位の方向に舌を出しミルクをなめるように訓練した。

3. 筋電図用電極と固定用スクリューの装着

麻酔下に、両側のオトガイ舌筋、咬筋および顎二腹筋前腹に、先端部を 10 mm 露出した 2 本のテフロン被覆スチール線 (直径 100 μ m) を 10 mm の電極間距離を保って、おのおのの筋の筋腹中に挿入した。被覆スチール線は顔面皮下を通し、後頭部のコネクタに接続した後、head holder に歯科用レジンにて固定した。また、顎運動軌跡記録用ダイオード取り付け用のスクリュー (直径 2 mm, 長さ 13 mm) を下顎骨正中骨体に沿って左側遠心 10 mm の部位に埋め込んだ。

4. データの記録方法

食物摂取時の両側のオトガイ舌筋、咬筋および顎二腹筋前腹の筋電図および顎運動軌跡は、Power Lab/16 s (BRC) および顎運動記録装置 (Saphon visi-trine, 東京歯材) を介してコンピュータで処理すると同時にデータレコーダー (A-49, Sony) にも記録した。ネコは咀嚼時、垂直方向の顎運動が主体であり、ほとんど側方運動が認められない^{18,19)}ため、本研究では垂直方向の顎運動軌跡のみを記録した。神経切断前後の筋活動量の変化は、Power Lab で積分値 (μ V $\cdot$ sec) を解析し、神経切断直前を 100% とし、切断後の変化はそれぞれの相対値として示した。

また、顎運動軌跡から咀嚼時の開口量および咀嚼サイクル数ならびに 1 サイクルの咀嚼時間を計測した。

5. 左側舌下神経内側枝の切断

すべての訓練終了後、片側舌下神経内側枝切断を行った。まず、切断前に食物摂取時の各種筋の筋活動および

Fig. 1 Schematic drawings showing experimental procedure (A) and measurement of the degree of tongue deviation (B).
DVTR indicates a digital video-tape-recorder.

顎運動軌跡をデータレコーダーに、また、顔面口腔行動をデジタルビデオにそれぞれ記録した。次に、麻酔下にて、下顎底部の正中皮膚を切開し、正中部の組織を剝離しつつ深部へ進み、左側舌下神経内側枝を周囲組織とともに分離した。左側舌下神経内側枝を損傷させないように露出し、約 5 mm 離して末梢側と中枢側を塗蠟絹糸で結紮し、その中心部を切断した。

また、コントロールとして、下顎底部の皮膚切開手術のみを行い、縫合を行ったネコも作製した。

6. データの解析方法

1 日に 10 回、一定量の魚のすり身 (約 1.8 g) を木製スプーンにとり、口唇部の毛に接触させ、咀嚼運動を誘発させた。また、ミルクの塗布はペイントブラシを用い、上唇の正中部、左側部および右側部へ各 2 度ずつ行い、塗布部位への舌突出を導いた。

食物摂取率は、与えた量に対する摂取量を計測し、10 回の試行の平均値を経日的に計測した。神経切断前にはスプーン上の餌は、こぼさないため食物摂取率は常に 100% を示した。各ネコでわずかな相違はあるが、神経切断後約 1 週間は、食物摂取を途中で中止したので、この期間の摂取量は、与えた量からこぼした量とスプーン上に残した量を除いた値とした。その後は食物摂取を完遂したので、摂取量はこぼした量を除いた値とした。

食物摂取時の顔面口腔行動は、正面の上方 30 度よりデジタルカメラ (DCR-VX 1000, Sony) を用いて記録し、食物摂取・咀嚼時の口ヒゲの状態、舌偏位度などの顔面口腔行動を解析した。

舌の偏位度の計測は、ネコが食物摂取時に舌を突出したときの舌の偏位角度を計測した。10 回の試行での舌突

出時の静止画像をできるだけ多く記録し、それをプリントアウトして計測した。舌偏位の大きさは、舌先端部と鼻粘膜正中最下部とを結ぶ線が、正中線と作る角度を舌偏位度 (α) として表した (Fig. 1 B)。

片側舌下神経内側枝の切断が両側の筋活動に及ぼす影響については、咀嚼期間内の筋活動の総積分値をバースト活動数で割った筋活動平均積分値を求め、それを神経切断前後で比較し、パーセント (%) 表示した。

7. 神経切断部位と筋電図記録電極の位置の確認

実験終了後、実験動物をペントバルビタールで深麻酔し、0.9% 生理的食塩水 (2,000 ml) で灌流後、10% ホルマリン (2,000 ml) で灌流固定した。切断した舌下神経の状態およびオトガイ舌筋、咬筋および顎二腹筋前腹における筋電図電極の位置を確認した。

結 果

1. 正常ネコと片側舌下神経切断ネコにおける食物摂取行動と咀嚼運動

実験の開始にあたり、舌下神経切断手術は行わず、下顎底部の皮膚切開手術のみを行ったコントロールネコにおいて、術前と術後の計測項目を比較した結果、手術侵襲の影響は無視できる程度であることを確認した。

Fig. 2 は、片側舌下神経内側枝切断前 (A) と、神経切断後 (B) の食物の摂取・咀嚼時の筋電図活動と顎運動軌跡を示す。神経切断前のネコの食物摂取動作は、スプーン上の餌が正中付近の口周囲部の毛に接触したときに下顎を下げ、舌を前下方へ突き出し、食物を捕捉する。そのとき舌は、口裂正中部前にあるスプーン上の餌に向

かって真直ぐ突出し、舌尖で餌を舌背上へすくい上げ口腔内へ運んだ。そして、スプーン上の餌をなめ終えるまで、この動作は繰り返された。ネコからスプーンがみえないために、最後に空のスプーンを1—2度なめ、食物摂取・咀嚼の運動は終了した (Fig. 2 A-a)。この一連の間を咀嚼期間 (Fig. 2 A-b に示した masticatory period) とした。また、実際に食物を摂取している期間を、食物摂取期間 (food intake period, Fig. 2 A-b) とした。

咀嚼期間における顎運動は、小さく速いリズムカルなストロークが連続して認められた (Fig. 2 A-b の JM-V, the vertical jaw movement, で示されている)。咀嚼期間終了後、顎運動 (JM-V) は大きくゆっくりとした不規則な運動に変化した。一方、各筋の左右側の筋電図活動には、咀嚼期間で持続時間の短いリズムカルなバースト活動が認められた。咀嚼期間のバースト活動は、咬筋と顎二腹筋の間では互いに相反的に、反面、顎二腹筋とオトガイ舌筋の間では同期して出現した。咀嚼期間終了後、顎の開閉や舌なめずりが起こると、各筋の左右側は、咀嚼期間の場合と比較し大きなバースト活動を発射した。

Fig. 2 B に、神経切断後 10 日目の典型的な例を示す。食物摂取のために突き出された舌は、切断側へ大きく偏位し、スプーン上の餌は常に非切断側の舌縁部で摂取されるようにみえた。食物摂取後、舌なめずり時も舌は切断側へ偏位し、非切断側の上唇部をなめることができなかった。図に示していないが、非切断側の上唇部に塗付されたミルクも常になめることができなかった。

神経切断直後の食物摂取時、非切断側の舌縁部ではうまく餌を摂取することができなかったが、切断後 2 週目頃より非切断側の舌縁部が、あたかも切断前の舌尖部のような動きをし、餌を非常にうまくすくいあげるようになった。このように非切断側の舌縁部が切断前の舌尖端部の働きを代償するようになると、食物をこぼす率は激的に低下し、食物摂取率は飛躍的に向上した。しかし、食物摂取率の飛躍的な向上にもかかわらず、咀嚼期間は切断前と比較して著しく延長した。

2. 食物摂取率、舌偏位およびオトガイ舌筋活動

Fig. 3 A-a および B-a に、2 匹の典型的なネコにおける片側舌下神経内側枝切断後の食物摂取率の経日的変化を示す。ネコ A は 6 日目と早くに、ネコ B は 12 日目と遅くにそれぞれ回復した例を示す。両図中のクロス (×) 印は、食物摂取を途中で止めてしまった日、すなわちスプーン上の餌を残して食物の摂取を止めてしまった試行日を示す。黒丸 (●) 印はスプーン上の餌がなくなるまで食物摂取行動が続けられた試行日を示す。図に示して

いない他の 2 例では、Table 1 に示すように、完全に食べきようになるまでの期日はそれぞれ 9 日目と 8 日目であった。

Fig. 3 A-b および B-b は、2 匹の典型的なネコにおいて食物摂取のために突き出された舌偏位を神経切断後経日的に検索した結果である。神経切断前は、口裂の正中部に接触したスプーン上の魚のすり身を摂取するとき、舌は真直ぐに、正中線に沿って突き出された。しかし、神経切断後突き出された舌の先端部は切断側へ大きく偏位した。

舌偏位度は個体により相違していたが、調べた 4 例では神経切断直後は 30—45 度まで切断側へ大きく屈曲した。その後、上下動を繰り返しつつ減少し、切断後 20—30 日で 20—30 度で安定傾向を示した。

Fig. 3 A-c および B-c は、2 匹の典型的なネコの神経切断後の両側オトガイ舌筋の筋活動平均積分値を切断前の積分値で割ったものである。神経切断側の筋活動 (●) は、A の例では切断後 8 日目で約 25% に、他方、B の例では 25 日目で約 40% になり、どちらも安定傾向を示した。しかし、非切断側の筋活動 (○) は A の例では切断後 25 日で切断前の約 130% で、B の例でも切断後 25 日で切断前の約 150% で安定傾向を示した。オトガイ舌筋の筋電図活動が安定傾向を示すのは、他の 2 例でも 20 日前後であった (Table 1)。両側オトガイ舌筋の活動は、各ネコとも共通して切断側では切断前のものより小さいのに反して、非切断側では切断前のものより大きく、また、安定傾向を示すまでにより多くの日数を要した。

3. 咀嚼期間、咬筋・顎二腹筋前腹の筋活動および最大開口量

ネコは単純な蝶番関節をもち、両側対称性の顎運動がみられるにもかかわらず、正常なネコであっても左右非対称性咀嚼運動が認められる¹⁸⁾。そこで神経切断後に閉口筋である咬筋と、開口筋である顎二腹筋前腹の筋活動が、咀嚼期間でどのように変化するかを経日的に検索した。

Fig. 4 A-a および B-a に示したように、途中で食物摂取を止めることなく摂取するようになってからも、食物の咀嚼期間は経日的に変化した。この図に示した 2 例でも咀嚼期間は、25 日目頃から切断前の約 1.5 倍となり、安定傾向を示した。Table 2 A から明らかなように、ほかの例でも少なくとも 30 日位で安定傾向を認めた。さらに、Fig. 4 A-b および A-c, B-b および B-c に示したように、片側舌下神経切断後の両側咬筋の活動は、両例ともに切断後 25 日程度で、切断前の近似値で安定傾向を示

Fig. 2 Sequences of food ingestion behavior in normal (A) and severed-nerve cats (B).

- A :** Ingestion behavior, masticatory process and EMGs in a normal cat. A-a : Ingestion behavior based on digital videotape analysis. The cat started masticatory movements for ingestion when a spoon (food container) contacted the perioral region (contact) with a latency of about 0.3 s. Food intake period is defined as the period during which the animal actually took food from the spoon. The jaw movements were quick and regular as shown in a record of jaw movement trajectory (A-b). Whiskers remained erect during the food intake period. The masticatory period was defined as the period in which rhythmical jaw movements and sustained whisker erection were seen. After the masticatory period, jaw openings became slower and wider without tongue protrusion and whiskers moved up and down. The cat finally licked its upper lip and nose. In the record of jaw movement trajectory, two swallows (Sw 1 and Sw 2) were noticed as pauses in or prolongation of jaw closure (McFarland and Lund, 1993). A-c : L. Mass, L. Dig, L. GG, R. Mass, R. Dig and R. GG indicate the left and right sides of masseter, digastric and genioglossus muscle EMGs. Each EMG activity showed rhythmical bursts during the masticatory period and wider bursts after the masticatory period as well as the pattern of jaw movement.
- B :** An example of ingestion behavior, masticatory process and EMGs in a cat 10 days after severance of the medial branch of the hypoglossal nerve. B-a : The cat frequently dropped food from the tongue dorsum during the food intake period. Masticatory movements started with a latency of 0.3 s. Whiskers remained erect during the food intake period. B-b : The masticatory period and food intake period were prolonged. The number of swallows increased. B-c : Each EMG activity during mastication consisted of rhythmical and wider bursts as well as normal activity.

Fig. 3 A one month long course of changes in physiological measures during mastication after nerve severance.

A and B : Two typical types in severed-nerve cats. A-a and B-a : The food intake rate (crosses and solid squares) decreased to 10–20% right after the severance, and then gradually recovered to 80–90% in 6–10 days. The cross indicates stopped eating halfway. The solid circle shows completely eating of fish paste from a spoon. A-b and B-b : Tongue deviation during protrusion (solid diamonds) increased to about 40 degrees immediately after the severance, and then gradually decreased up to 30–20 degrees in 20–25 days. A-c and B-c : Changes in bilateral genioglossus EMG activities in the severance and non-severance sides after unilateral severance. The fastest recovery was 8 days (A-c) and the slowest was 26 days (B-c). In both examples, the severance side showed a stable activity level of about 30% compared to the normal level, and the non-severance side had a stable level of about 150%.

Table 1 Food intake and tongue movements after severance of the unilateral hypoglossal nerve (medial branch)

	food intake rate			tongue deviation				activity of genioglossus muscles			
	complete eating (days)	stable day (days)	stable rate (%)	max. deviation		stable day (days)	stable rate (degree)	severance side		non-severance side	
				day (days)	rate (degree)			stable day (days)	stable rate (×100%)	stable day (days)	stable rate (×100%)
CAT-A	5	6	80±5	3	40±4	17	30±3	8	0.3±0.01	25	1.3±0.03
CAT-B	9	12	90±5	2	45±11	29	20±10	24	0.4±0.01	27	1.5±0.04
CAT-C	9	11	90±8	2	40±6	29	30±7	16	0.7±0.02	25	1.4±0.03
CAT-D	8	10	90±9	7	30±4	24	25±5	20	0.5±0.01	24	1.3±0.04

Since severed-nerve cats stopped eating halfway for some days after the operation, “completely eating” indicates the day when they could finish taking fish paste from a spoon. “Stable day” indicates the day when the values of food intake rate, tongue deviation and activity of genioglossus muscles had little change. “Stable rate” indicates the value of the stable day.

Fig. 4 A one month long course of changes in physiological measures during mastication after nerve severance. A-a : The masticatory period (crosses and solid circles) after severance fluctuated in prolongation and then stabilized. The cross indicates stopped eating halfway. The solid circle shows completely eating of fish paste from a spoon. B-a : The masticatory period (crosses and solid circles) after severance gradually increased and then stabilized. A-b : This type decreased left and right masseter muscle activities during the masticatory period after unilateral severance of the hypoglossal nerve. The solid circle indicates the severance side of the hypoglossal nerve and the open circle the non-severance side. B-b : This type increased left and right masseter muscle activities during the masticatory period after unilateral severance of the hypoglossal nerve. Note that in both types, masseter activities in the severance side stabilized at 100%, and those on the other side were about 120%. A-c : This type decreased left and right anterior digastric muscle activities during the masticatory period after unilateral severance of the hypoglossal nerve. B-c : This type increased left and right anterior digastric muscle activities during the masticatory period after unilateral severance of the hypoglossal nerve. The solid circle indicates the severance side of the hypoglossal nerve and the open circle the non-severance side. Note that in the former type, digastric muscle activities during the masticatory period in the severance side were about 100%, and those on the other side were about 30%. A-d and B-d : Changes in the extent of jaw opening (solid circles) after unilateral severance of the hypoglossal nerve. The extent of jaw opening fluctuated under 100% after severance, and stabilized at about 80%.

した。また、Fig. 2 B から明らかなように、ほかの例でもほぼ同様な時期に安定傾向を示した。一方、顎二腹筋前腹の場合は、両例ともに 25 日程度で安定傾向を示し、Table 2 C に示すように、ほかの例でもほぼ 25 日で安定傾向を示した。咀嚼期間は両側咬筋および顎二腹筋前腹の活動の安定に伴い、安定傾向を示すようであった。

Fig. 4 A-d および B-d は、2 匹の典型的なネコについ

て、咀嚼期間における最大開口量を経日的に示したものである。A の例では神経切断後、咀嚼時の開口量は減少し、切断後 17 日目に最小の開口量（約 40%）を示した。その後増減をくり返し、24 日目から切断前の約 80% で安定傾向を示した。B の例でも、神経切断後減少した開口量は、増減を繰り返しながら、切断後 24 日目から切断前の開口量の約 70% で安定傾向を示した。Table 2 D に、各

Table 2 The masticatory period, the masseter and digastric EMGs, and the maximum extent of jaw opening during mastication after severance of the unilateral hypoglossal nerve

	(A)masticatory period				(B)activity of masseter muscles			
	max. prolongation		stable day (×100%)	stable rate (×100%)	h. n. severance side		h. n. severance side	
	day (days)	rate (×100%)			stable day (days)	stable rate (×100%)	stable day (days)	stable rate (×100%)
CAT-A	4	2.4±0.07**	24	1.5±0.04	24	0.8±0.01	24	1.1±0.01
CAT-B	24	3.5±0.07**	31	1.8±0.02	25	0.5±0.01	26	2.5±0.06
CAT-C	25	2.0±0.03*	28	1.5±0.02	28	0.7±0.02	28	1.4±0.04
CAT-D	23	3.0±1.00**	32	1.7±0.01	27	0.7±0.01	28	1.3±0.03

	(C)activity of digastric muscles (anterior part)				(D)the size of jaw opening			
	h. n. severance side		h. n. non-severance side		min. size of jaw opening		stable day (days)	stable rate (×100%)
	stable day (days)	stable rate (×100%)	stable day (days)	stable rate (×100%)	day (×100%)	rate (days)		
CAT-A	26	1.3±0.01	26	0.3±0.01	17	0.3±0.03**	28	0.8±0.07
CAT-B	25	1.0±0.02	25	0.5±0.05	15	0.6±0.04**	30	0.7±0.07
CAT-C	25	1.2±0.02	25	0.4±0.04	20	0.7±0.03*	28	0.8±0.05
CAT-D	26	1.1±0.02	impossible	measurement	23	0.5±0.02*	30	0.7±0.07

** p>0.001, * p>0.05

A : “Max. prolongation” indicates the day and rate that the masticatory period achieved maximum prolongation. B and C : The “H. N. severance side” indicates the same masseter and digastric muscle side of the severance side of the unilateral hypoglossal nerve. Two asterisks (**) and one asterisk (*) indicate p>0.001 and p>0.05. D : The maximum extent of jaw opening during the masticatory period after the unilateral hypoglossal nerve (medial branch).

“Min. extent of jaw opening” indicates the day and rate that the extent of jaw opening achieved the minimum extent.

動物の最小の開口量とそれを示した日、および安定傾向を示した日と安定率を記した。いずれも神経切断後15—23日の間で最小の開口量を示し、切断後28—30日で切断前の70—80%で安定傾向を示した。

4. 咀嚼リズム

Fig. 5 A および B は、2匹の典型的なネコについて、咀嚼期間の長さとして1咀嚼サイクルの長さの平均値との関係を示したもので、両ネコとも1咀嚼サイクルの長さは、咀嚼期間の延長にかかわらずほとんど変化していない。この傾向は、図示していないほかの2匹でも同様であった。これらの結果は、片側舌下神経内側枝切断後の咀嚼期間の延長は、咀嚼サイクル数の増加に起因することを示唆している。

考 察

ネコの食物摂取行動は、まず臭いで餌の場所を確認し、餌に口を近づけ、口周囲部の毛に食物が接触すると、口を開くとともに舌を突出し食物を捕える。しかし、ネコの頭部を固定した本実験条件下では、食物摂取時の特に頸筋の活動に、自然の状態とは相違がみられるかもしれない。

片側舌下神経内側枝を切断したネコの咀嚼運動は、Fig. 2 B-a に示したように、舌は突出時切断側へ屈曲し、切断直後では舌で摂取した餌がこぼれ落ちた。しかし、この餌の落下は、口腔へ取り入れたものが落下したのではなく、舌背上の餌が口腔内へ移動している間に落下したものであった。これは、Hiraba ら^{6,7)}の報告のように、上唇の弛緩により口腔内の食物が落下したものではない。また Fig. 2 A-a に示したように、神経切断前の正常

Fig. 5 The relationship between the duration of a chewing cycle and the masticatory period after unilateral severance of the hypoglossal nerve. Note that prolongation of the masticatory period is not due to the duration of the chewing cycle. Note that masticatory rhythm remained normal.

ネコでは、咀嚼期間中両側口ヒゲは持続的に上方にあがっていた。同様に、神経切断後のネコでも、咀嚼期間中両側口ヒゲは上に向いていた。このことは、Hirabaら^{6,7)}が述べているように、咀嚼期間中の口ヒゲの上向は、上唇部および上顎部の筋の緊張状態を示すものであって、舌下神経切断後も顔面筋の収縮は維持されていることがわかる。そして、舌下神経内側枝が舌突出筋であるオトガイ舌筋および舌の形を変える内舌筋を支配しているという報告からも推察できる^{20,21)}。

片側舌下神経内側枝切断後、舌は切断側へ偏位したままであったが、食物摂取率は1—2週間で切断前の80%前後まで回復した。舌の偏位は経日的に徐々に小さくなったが、真直ぐに戻ることはなかった。

舌下神経切断前の正常なネコでは、食物摂取時突き出された舌の先端は魚のすり身をすくいあげるように上方へ曲がった。一方、片側舌下神経を切断したネコでは、食物摂取時、突き出された舌は切断側へ屈曲し、それに伴い非切断側の側縁部が餌に触れた。そのため、切断直後はうまく食物をすくいあげて舌背上で餌を運ぶことができなかった。しかし、2週間ほど経つと、毎回餌に接触する非切断側の舌の側縁部が正常ネコの舌尖部のように上方へ曲がり、餌を捕え摂取するようになった。このような舌の代償機能が生じると、食物摂取率はほぼ80%に回復し、安定した。なお、食物をすくい取るときに働く舌突出筋のオトガイ舌筋について、切断側と非切断側の筋活動の安定傾向を示す日と舌の偏位度の安定傾向を示す日とを比較したところ、比較的良好に一致していた。

また神経切断側のオトガイ舌筋のEMGsは、切断後も認められる。このことは、舌が左右側一体であるため、非切断側のEMGs活動がリークした可能性は否定できない。

片側舌下神経の内側枝を切断したネコの咀嚼期間は、Fig. 4 A-a および B-a に示したように、食物摂取率が安定した切断後10—20日においても顕著に延長していた。このことは、神経切断により障害された舌運動を補償するために、意識的に口腔内への捕食量を減らして舌運動の制御を容易にしたためと考えられる。その結果として、咀嚼期間は延長したが、食物摂取率は飛躍的に向上したと推測される。舌下神経切断により障害された舌運動は、口腔粘膜、頬粘膜や口蓋粘膜に及ぼす感覚情報をも変化させ、形成される食塊の大きさや口腔内での位置なども変化させたと考えられる。障害に対する咀嚼諸器官の協調運動の模索時期が、加藤¹⁶⁾や井上¹⁷⁾らが指摘した、口腔内の感覚の変化による咀嚼運動変化の時期に相当するのかもしれない。

片側舌下神経内側枝切断に伴う口腔内の感覚入力の変化が、咀嚼運動に対して影響を及ぼしたと考えられる反面、咀嚼リズムに対しては、ほとんど影響を与えなかったようである (Fig. 5 参照)。咀嚼リズムは、中村らが提唱する^{3,22-24)}ように、脳幹のパターンジェネレーターで形成されるために、末梢からの感覚情報の変化に影響されなかった結果かもしれない。

咀嚼期間における最大開口量の平均は、舌下神経切断後やや減少した。この開口量の減少は、前述のように、神経切断後の捕食量の減少によるものと思われる。

結 論

片側舌下神経内側枝を切断したネコが、咀嚼筋、舌筋および顔面筋の運動が協調した円滑な咀嚼機能を回復するには、両側の咀嚼筋および舌筋活動の安定傾向から、約1カ月かかることが判明した。

本論文の要旨は、第42回歯科基礎医学会学術大会(2000年9月30日, 10月1日)において発表した。

なお、この研究は平成11年日本大学上村安男・治子研究費および平成11年度科学研究費(基盤研究C2, 課題番号11672019)の一部によりなされた。

文 献

- 1) 中村嘉男：咀嚼運動の神経・筋メカニズム—顎運動を中心に—(1) 序論. 歯界展望 **63** : 123—137, 1984.
- 2) 中村嘉男：咀嚼運動の神経・筋メカニズム—顎運動を中心に—(2) 顎運動に反射性ならび大脳皮質性コントロール. 歯界展望 **63** : 297—316, 1984.
- 3) 中村嘉男：咀嚼運動の神経・筋メカニズム—顎運動を中心に—(3) 咀嚼運動のリズム形成とコントロール. 歯界展望 **63** : 477—492, 1984.
- 4) Gerstner, G. E. and Goldberg, L. J. : Genioglossus EMG activity during rhythmic jaw movements in the anesthetized guinea pig. Brain Res. **562** : 79—84, 1991.
- 5) 社 浩太郎：咀嚼時のヒトのオトガイ舌筋の活動と咀嚼筋, 口輪筋活動ならび顎運動との協調性について. 阪大歯学誌 **41** : 7—28, 1996.
- 6) Hiraba, H., Yamaguchi, Y. and Iwamura, Y. : Mastication-related neurons in the orofacial first somatosensory cortex of awake cats. Somatosens. Mot. Res. **14** : 126—137, 1997.
- 7) Hiraba, H., Yamaguchi, Y., Sato, H., Ishibashi, Y. and Iwamura, Y. : Deficits of masticatory movements caused by lesions in the orofacial somatosensory cortex of the awake cat. Somatosens. Mot. Res. **17** : 295—307, 2000.
- 8) 佐々木研一：顔面神経損傷後における神経・筋単位の再生過程に関する実験的研究. 歯科学報 **83** : 249—277, 1983.
- 9) 正木日立, 野間弘康：歯源性腫瘍および顎骨骨病変の治療・歯源性腫瘍の治療—神経移植術—. 歯科ジャーナル **37** : 865—873, 1993.
- 10) 堀内譲治：モデル動物における舌下神経—顔面神経吻合術と副神経—顔面神経吻合術の比較検討. 日耳鼻会報 **100** : 299—306, 1997.
- 11) 河野 亨：交叉神経縫合および遊離後根移植による馬尾神経損傷の修復に関する実験的研究. 慶應医学 **74** : 261—270, 1997.
- 12) 北見武広, 野間弘康, 柿澤 卓, 山根源之, 佐々木研一, 柴原孝彦, 高木多加志, 畑田憲一, 高崎義人, 宮尾 孝, 山口晋一：下歯槽神経修復手術の臨床的検討—特に神経移植症例について—. 歯科学報 **97** : 1139—1147, 1997.
- 13) 原 巖：ラット舌神経, 舌下神経切断後の咬筋活動の変化. 九州歯会誌 **45** : 57—75, 1991.
- 14) 佐藤宏憲：ネコ片側舌下神経内側枝の切除が咀嚼過程に及ぼす影響について. 日大歯学 **74** : 446—455, 2000.
- 15) Miller, G. M. : Trigeminal deafferentation and ingestive behavior in rats. J. Com. Physiol. **95** : 252—269, 1981.
- 16) 加藤卓也：咀嚼運動に対する三叉神経求心性情報の役割. 阪大歯学誌 **29** : 129—137, 1984.
- 17) 井上富雄：三叉神経求心性情報の顎運動調節に果たす役割. 阪大歯学誌 **32** : 70—90, 1987.
- 18) 中村嘉男：顎運動の両側性協調：顎運動のメカニズム. (林 都志夫, 窪田金次郎, 中村嘉男, 市川正道, 三浦不二夫, 埜口五十雄 編), 第1版, pp. 214—223, 日本歯科評論社, 東京, 1976.
- 19) Hiimae, K. M. : Mammalian mastication : a review of the activity of the jaw muscles and the movements they produce in chewing. In : Function and Evolution of Teeth. (edited by Butler, P. M. and Joysey, K. A.), pp. 359—398, Academic Press, London, 1978.
- 20) 藤島一郎：脳卒中の摂食・嚥下障害. 第1版, pp. 18—42, 医歯薬出版, 東京, 1993.
- 21) 植村正憲：ネコ舌筋支配運動神経細胞の局在配列 HRP 法による研究. 広大歯誌 **12** : 92—117, 1980.
- 22) 中村嘉男, 野崎修一, 入来篤史：下位脳幹に内在する咀嚼リズム形成機構. 口病誌 **50** : 656, 1983.
- 23) 中村嘉男：咀嚼運動のパタン形成の中樞ニューロン機構. 口病誌 **52** : 1—15, 1985.
- 24) Nakamura, Y. and Katakura, N. : Generation of masticatory rhythm in the brainstem. Neurosci. Res. **23** : 1—19, 1995.