

家兎咀嚼筋の活動パターンおよび協調性

Activity Patterns and Coordination of Jaw Muscles during Natural Mastication in Rabbits

中村優也*, 藤本雅子**, 杉村忠敬***

Yuya NAKAMURA*, Masako FUJIMOTO**, Tadataka SUGIMURA***

The masseter muscle, one of the jaw closing muscle, has an important role in producing masticatory force. Although this muscle is known to be composed of the superficial, intermediate and deep parts, it still remains to clarify the difference in the functional role of those muscles during natural mastication. To end this, the electromyographic activity of the central area of superficial part, and the anterior and posterior areas of deep part of the masseter muscle as well as the temporal and digastric muscles were recorded during natural chewing of hard food, carrot, and grass in awake rabbits. Furthermore, the jaw movement trajectories were simultaneously recorded in vertical and horizontal axis. The following conclusions were obtained from these findings:

1. Mastication is smoothly performed by changing the masticatory path, the amount of and period of activity of each masticatory muscle, and the degree of cooperation among the masticatory muscles.
2. During mastication, the central area of the superficial part of the masseter muscle and the temporal muscle play a role relating to masticatory force, the anterior area of the deep part of the masseter muscle plays the role of guiding the mandible to the maximum mouth opening position during mouth opening movement, and the posterior area of the deep part of the masseter muscle plays the role of guiding the mandible deviated toward the masticatory side to the intercuspal position during mouth closing movement.

Keywords: deep masseter, correlation, EMG, jaw movement, rabbit

緒言

咀嚼筋は下顎骨に付着して直接下顎運動を司り、咀嚼筋自体、顎関節や歯根膜などからの情報により咀嚼運動を調節している¹⁾。したがって、咀嚼筋に障害が生じると咀嚼筋群間のバランスが崩れ、そのような状態で咀嚼を続けると、咀嚼筋群が起始あるいは停止している骨が変形あるいは変位し、その結果、それらが構成している頭蓋にまで悪影響がおよぶ。頭蓋の変位は頸椎、胸椎および腰椎の変位につながり、最終的には骨盤にまでその影響をおよぼすことがある²⁻⁵⁾。すなわち、顎口腔系の異常、とくに咀嚼の異常は全身的な不定愁訴の原因になる。したがって、このような症状が認められたとき、診断・治療法のひとつとして、咀嚼筋のバランスを如何に回復するかが重要である。

また、咀嚼運動は硬軟大小の食塊を粉砕する必要から、咀嚼筋群のきわめて微妙な調整が必要である。とくに閉口筋のなかで強い収縮力を発揮する咬筋は数層

に分かれているが、それらの層の筋線維は走行する方向がすべて異なっている⁶⁻⁸⁾。これは、各層の筋線維が走行する方向へ収縮することにより、多様な咀嚼運動をおこなうためである。実際に咬筋の深部筋の活動電位を記録すると、咬筋の表層部とは異なった活動パターンが認められる^{9,10)}。この異なったパターンは意義のある活動で、この活動が表層部や他の筋群と協調して目的の機能を果たしている。したがって、たとえ、咬筋の深部筋が咬筋の中で占める体積の割合が小さくても、咀嚼時における深部筋群の機能的特性を研究することはきわめて大切なことである。

そこで、本研究では硬食品、軟食品および繊維性食品を咀嚼したときにおける咬筋浅部中央部、咬筋深部前方部、咬筋深部後方部、側頭筋および顎二腹筋の活動パターン、活動量および協調性について検討した。

材料および方法

実験には家兎（雄、体重：2.0～2.5kg）を用いた。そして、筋電図記録用電極および咀嚼運動記録装置を家兎に埋め込むために外科手術をおこなった。

1. 筋電図用電極および咀嚼運動記録装置の装着方法

筋電図用電極は、皮下用注射針（22G×1¹/₂, TERUMO, 東京）にテフロン加工のワイヤー（ステンレス軟質、

原稿受付 2005 年 11 月 18 日, 受理 2006 年 7 月 21 日

*朝日大学歯学部口腔構造機能発育講座歯科矯正学

**朝日大学歯学部口腔病態医療学講座口腔外科学

***朝日大学歯学部口腔機能修復学講座口腔生理学

Dept of Orthodontics, *Dept of Oral Surgery, **Dept of Oral Physiology, School of Dentistry, Asahi Univ, Mizuho-city, Gifu, 501-0296 Japan

0.1φ、ニューロサイエンス、東京)を2本挿入した針電極を製作し用いた。

電極の埋め込みは、ペントバルビタール(ネンプターール, Dainabot 社, 30mg/kg)の耳介静脈投与による全身麻酔と下顎底部へのリドカイン(1%, キシロカイン, Astra Japan 社)投与による局所麻酔をおこなった。そして、家兎下顎底部を正中方向に切開し、そこから両側の咬筋浅部中央部, 咬筋深部前方部, 咬筋深部後方部, 側頭筋および顎二腹筋にむけて電極を挿入した(Fig. 1)。挿入した電極は皮下を通してあらかじめ背中に固定したコネクター(JL05, 日本航空電子, 東京)に接続した。

咀嚼運動記録装置の取り付けは Yamada ら¹¹⁾の方法に準じておこなった。家兎下顎切歯部を局所麻酔したあと、正中方向に切開して骨面を露出させ、その部位に強力磁石(Samarium magnet, 日立金属, 東京)をレジジン(Unifast, GC, 東京)で固定した。そして、計測時に家兎の鼻背に固定した磁気センサーより収録をおこなった。

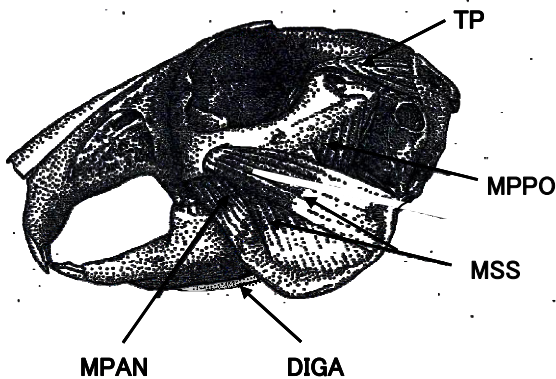


Fig.1 The masticatory muscles of the rabbit (Weijjs at al6)) Lateralview of the superficial masseter(MSS), the anterior deep masseter (MPAN), the posterior deep masseter (MPPO),the temporalis muscle(TP) and the digastric muscle(DIGA).

2. 実験方法

1) 咀嚼食品

咀嚼させた食品は比較的硬い食品として、家兎用の固形飼料ペレット(3×1×1mm), 軟らかい食品として5mm角に切ったニンジン, および, 繊維性の食品として適当量の牧草を用いた。

2) 筋電図および咀嚼運動の記録方法

筋電図は電極等を設定した翌日から数日間, ペレット, ニンジンおよび牧草を咀嚼したときの両側の咬筋浅部中央部, 咬筋深部前方部, 咬筋深部後方部, 側頭筋および顎二腹筋の筋活動を記録した。また, 同時に鼻背に固定した磁気センサーと下顎体切歯部に埋め込んだ磁石とによって咀嚼運動の軌跡を二次元的(水平および垂直方向)に記録した(Fig. 2)。なお, 筋電図は筋活動の信号を生体電気用入力箱(JB-640G, 日本光電, 東京)および生体電気用アンプ(AB-621G, 日本光電)を介して, また, 咀嚼運動の軌跡は信号処理装置を介してデータレコーダー(RD-145T, TEAC CORPORATION, 東京)に記録した。また, 筋電図記録用の電極が目標の筋に正確に刺入されているか否かを検索するために, 記録終了後, 家兎をホルマリン(40%, 片山化学工業, 大阪)で固定し, 解剖して各筋の電極の位置を確認した。

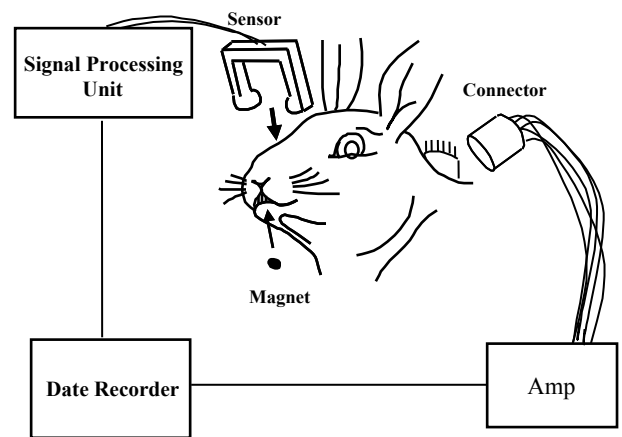


Fig.2 The recording system of EMG electrodes and jaw movement

3. 解析方法

収録した波形をデータレコーダーからコンピューター(PC-9821, 日本電気, 東京)に保存し, 分析ソフト(ジーワンシステム, 大阪)を用いて解析した。

各筋の波形をコンピューターの画面上に表示し, 咀嚼運動軌跡の波形(垂直方向)から, 最大開口位から次の最大開口位までを一咀嚼周期と設定し(Fig. 3), さらに, 一咀嚼周期の時間軸を20等分し(Fig. 4 上), それぞれの区間(Fig. 4 上, dt)の絶対値積分を各筋で算出した。これにより筋電図波形を20点の積分値で表した波形に変換することが可能となった(Fig. 4 下)。なお, 解析には咀嚼の開始時および終了時を除

き、咀嚼周期中の比較的安定した約 50 周期分を加算平均し、その波形を一咀嚼周期の各咀嚼筋の活動パターンとした。また、一咀嚼周期中における各筋の協調関係を調べる目的で、各咀嚼筋の 20 の積分値、すなわち、一咀嚼周期における筋電図の各積分値間の相関を算出した。

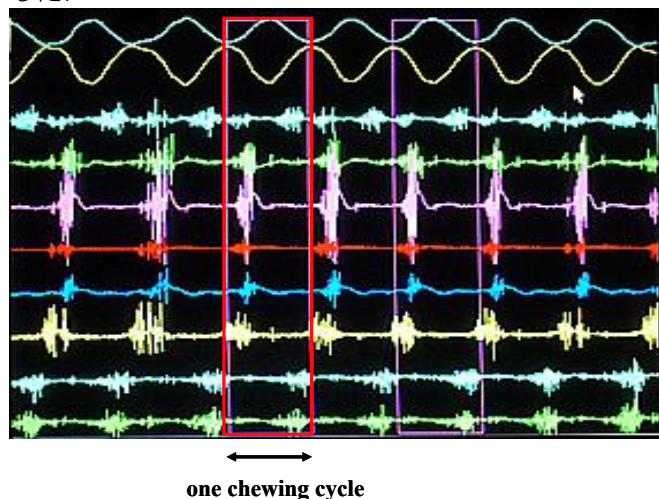


Fig.3 EMG activity patterns of masticatory muscles

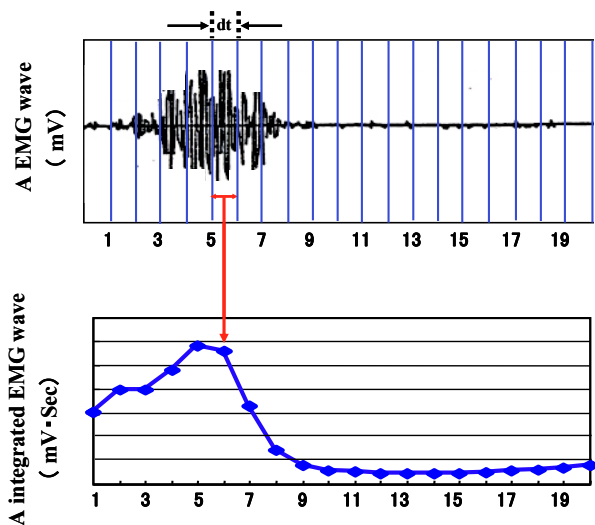


Fig.4 A EMG wave(upper side) converts to a integration wave(lower side), in order to investigate the cycle to cycle variation of the major components of the rabbit jaw musculature and the correlations between these activities

4. 解析項目

1) 咀嚼経路

咀嚼運動波形（垂直および水平方向）を 20 等分して平均化した積分値を、表計算ソフト (Excel, Microsoft, U. S. A) を用いて前頭面観に投影した図形を作成した。

2) 咀嚼筋の活動パターン

筋電図積分値波形から、各食品別に一咀嚼周期における咀嚼筋の活動パターン(20 points)を比較した。

3) 咀嚼筋の最大活動量

一咀嚼周期を 20 等分して、各咀嚼筋の活動量を積分して最大活動量を比較した。

4) 咀嚼筋の最大活動時期

一咀嚼周期において、それぞれの咀嚼筋が最大に活動する時期(point)について検討した。

5) 咀嚼筋の協調（相関）

20 等分した一咀嚼周期中の咀嚼筋群の積分値から、相関を検討した。

実験結果

1. 咀嚼経路

ペレット、ニンジンおよび 牧草を咀嚼したときの前頭面の咀嚼運動を記録した。

1) ペレット咀嚼時の咀嚼経路 (Fig. 5)

最大開口位である point 1 から咬頭嵌合位に相当する point 10 までが閉口相、point 10 から point 20 までが開口相であった。閉口経路は point 1 から point 3 までは最大開口位から咀嚼側方向へ偏位したが、point 3 を変曲点として、それ以降は非咀嚼側方向へ急激な切り返しが認められた。また、開口経路では咬頭嵌合位から point 17 付近までは開口運動よりもむしろ咀嚼側方向への移動が大きく、すなわち、開口よりも咀嚼側への側方運動が主体であったが、point 17 以降は徐々に開口量の増加が認められた。

全体として、ペレット咀嚼時の咀嚼経路は、垂直よりもむしろ側方へ偏位する成分の多いパターンが認められた。

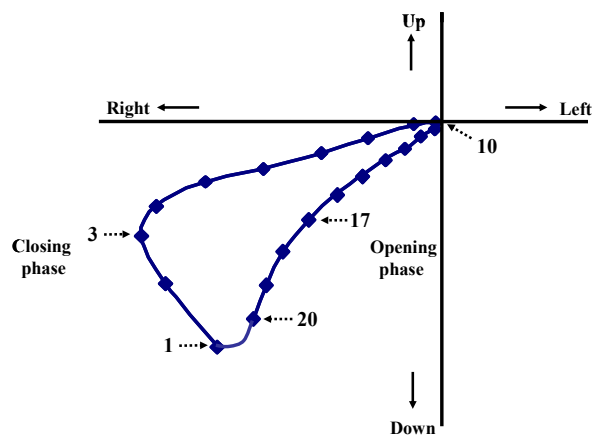


Fig.5 The jaw movement during pellet mastication

2) ニンジン咀嚼時の咀嚼経路 (Fig. 6)

閉口相は point 1 から point 11 までで、閉口相は point 11 から point 20 までであった。閉口経路では、point 1 から point 4 までは最大開口位から咀嚼側方向へ偏位したが、point 4 を変曲点として、それ以降は非咀嚼側方向へ移動した。なお、ニンジン咀嚼したときの閉口経路は、ペレットを咀嚼したときの閉口経路よりも、垂直成分の多いパターンが認められ、ペレットを咀嚼したときに認められた咀嚼側から非咀嚼側方向への急激な切り替えしは認められなかった。また、閉口経路では、咬頭嵌合位から最大開口位まで下方への開口運動が主体であった。

全体として、ニンジン咀嚼時の咀嚼経路は、垂直成分の多いパターンが認められた。

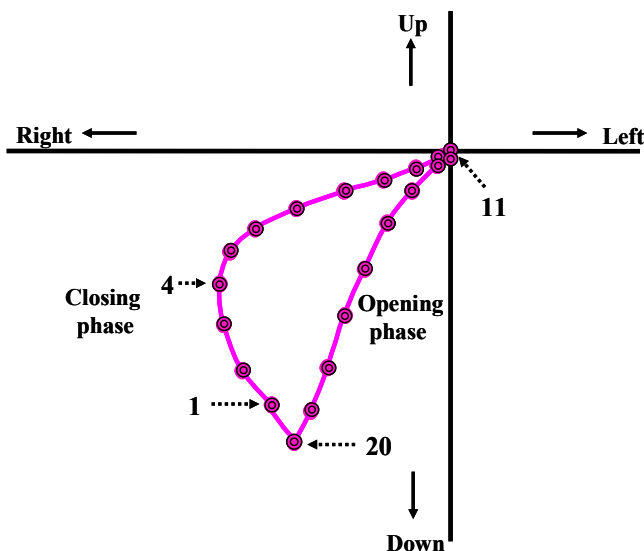


Fig.6 The jaw movement during carrot mastication

3) 牧草咀嚼時の咀嚼経路 (Fig. 7)

point 1 から point 11 までが閉口相、point 11 から point 20 までが開口相であった。咀嚼パターンは垂直および側方の成分がともに大きく、全体的には丸みを帯びたスムーズな咀嚼経路が認められた。とくに、閉口経路では point 3 が変曲点となったが、ペレット咀嚼時に認められた明確な切り替えしはなく、ニンジン咀嚼時と同様にゆるやかであった。そして、point 3 から咬頭嵌合位までは側方運動主体のパターンとなったが、側方偏位した距離はペレットを咀嚼したときよりもわずかに小さかった。また、閉口経路では、咬頭嵌合位から point 19 までは垂直成分が側方成分よりも大きく、したがって閉口主体であったが、point 19 か

ら point 20 までは開口よりも側方へ偏位する成分のほうが大きかった。

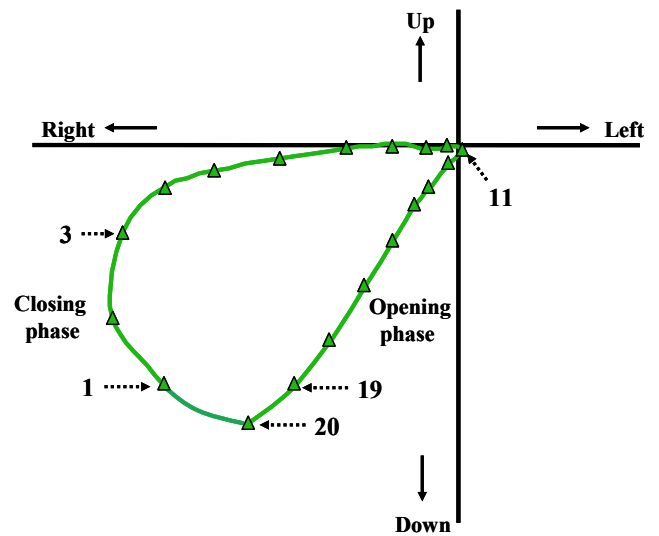


Fig.7 The jaw movement during grass mastication

4) 咀嚼経路の比較 (Fig. 8)

閉口経路では、ペレットを咀嚼したときは変曲点が咀嚼側へ大きく偏位したため明確な切り替えしが認められたが、ニンジンや牧草を咀嚼したときは、変曲点はペレットを咀嚼したときよりも最大開口位から変曲点までの側方成分が小さかったためペレットを咀嚼したときのような明らか切り替えしは認められなかった。また、閉口経路では、ペレットを咀嚼したときは咬頭嵌合位から最大開口位まで咀嚼側に大きく膨らむ経路が認められた。ニンジン咀嚼したときは、咬頭嵌合位から閉口相の中盤 (point 17) まではわずかに咀嚼側に膨らんだが、中盤からは閉口主体の運動が変わったため、全体的として、S字状の軌跡が認められた。また、牧草を咀嚼したときはニンジン咀嚼したときと類似の経路を示したが、特徴として、最大開口位の直前でわずかに咀嚼側へ移動する経路が認められた。

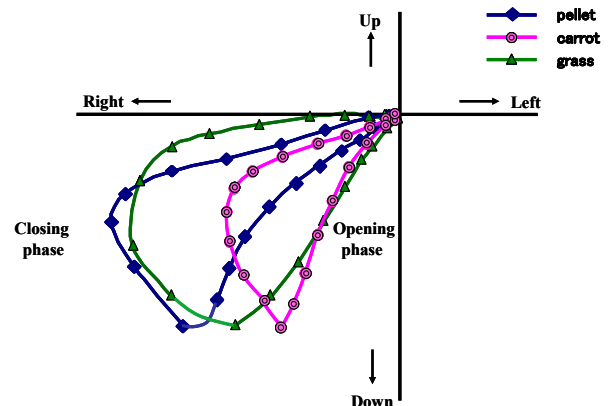


Fig.8 The comparison of each jaw movement

2. 咀嚼筋の活動パターン

ペレット、ニンジンおよび 牧草を咀嚼したときの一回咀嚼周期における各筋の活動パターンを検討した。

1) 咬筋浅部中央部

(1) 咀嚼側

ペレットを咀嚼したときは、閉口相の前半から大きく活動を始め、ほぼ中盤の point 5 で最大に活動した。その後、咬頭嵌合位に近づくにつれて活動量は減少し、開口相ではほとんど活動しないという閉口筋特有のパターンが認められた。これに対して、ニンジンや 牧草を咀嚼したとき、閉口相ではペレットを咀嚼したときのような活動量の急激な増加あるいは減少は認められず、活動量は全体的に小さかった。したがって、閉口相ではとくに特徴のある活動は認められず、スムーズに咬頭嵌合位へ移行した。なお、開口相ではほとんど活動は認められなかった (Fig. 9)。

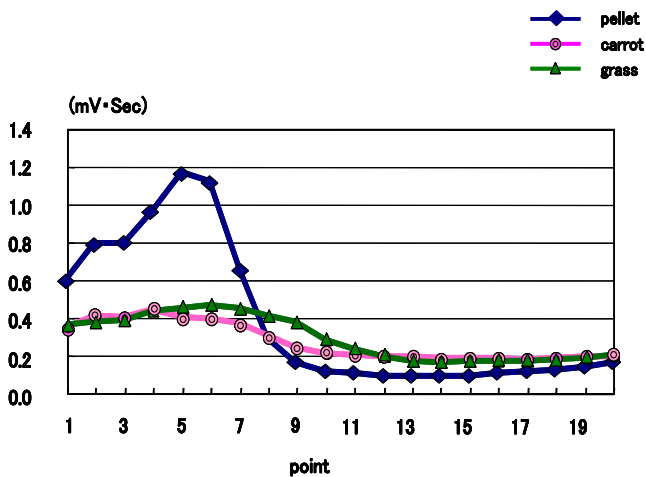


Fig.9 The integration waves of the superficial masseter (MSS) on the working side

(2) 非咀嚼側

ペレットを咀嚼したときは、咀嚼側と同様に閉口相の前半から大きく活動し、閉口相中盤の point 5 で最大の活動が認められた。また、ニンジンおよび 牧草を咀嚼したときは、閉口相の前半から緩やかに活動が増大し、ペレットを咀嚼したときに認められた最大活動時 (point 5) よりも少し遅れた時期 (ニンジン : point 7, 牧草 : point 8) で最大の活動が認められた。なお、開口相では、咀嚼物質にかかわらず活動は認められなかった (Fig. 10)。

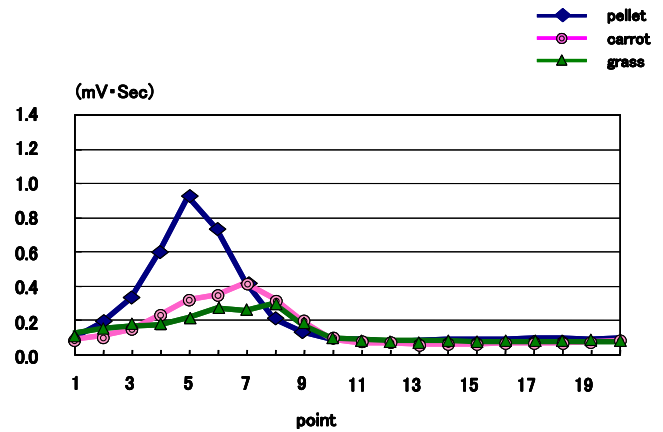


Fig.10 The integration waves of the superficial masseter (MSS) on the balancing side

2) 咬筋深部前方部

(1) 咀嚼側

ペレットを咀嚼したとき、閉口相の前半から活動量が急激に増大し、point 5 で最大の活動を示した。その後、咬頭嵌合位に近づくにつれて活動量は減少した。開口相に移ると徐々に活動を再度増加させ、point 17 で閉口相の約 77%の活動が認められた。

また、ニンジンや 牧草を咀嚼したときも、ペレットを咀嚼したときと同様のパターンが認められたが、閉口相では、ペレットを咀嚼したときよりも少し遅れた point 7 で最大の活動を示した。その後、咬頭嵌合位付近でいったん活動は減少したが、開口相で再び活動し、閉口相の最大活動量の 74~80%の活動を示した。このように、咀嚼側の咬筋深部前方部では咀嚼物質にかかわらず、閉口相と開口相とで活動が、すなわち一回咀嚼周期中に二峰性の活動が認められた (Fig. 11)。

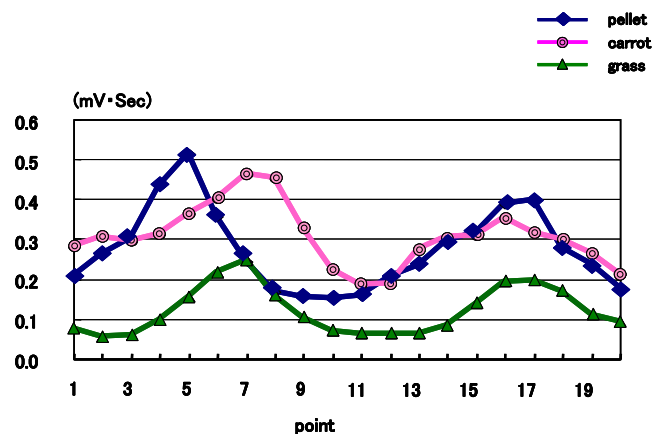


Fig.11 The integration waves of the anterior deep masseter (MPAN) on the working side

(2) 非咀嚼側

非咀嚼側では、どの食品を咀嚼しても、最大開口位ですでに活動が開始していて、最大活動量を示した point までは緩やかな増加パターンが認められた。したがって、最大の活動を示したのは咀嚼側よりも早い時期（ペレット：point 3，ニンジンおよび牧草：point 4）であった。なお、活動量はどの食品を咀嚼したときでも、咀嚼側よりも大きい値を示したのち、直線的に減少し、開口相ではまったく活動は認められなかった。すなわち、非咀嚼側の咬筋深部前方部は、咀嚼側の咬筋深部前方部とはまったく異なるパターンを示した (Fig. 12)。

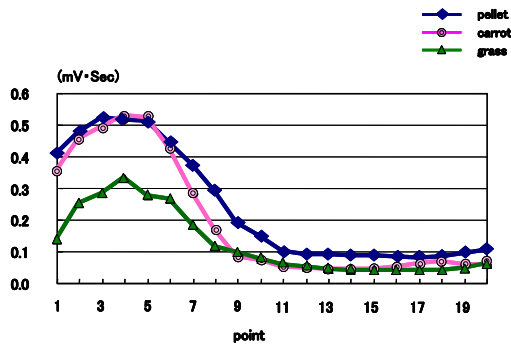


Fig.12 The integration waves of the anterior deep masseter (MPAN) on the balancing side

3) 咬筋深部後方部

(1) 咀嚼側

閉口相ではペレットおよび牧草を咀嚼したときは、活動量が徐々に増加したが、その後、急激に増加して、どの食品でも point 8 で最大の活動を示した。なお、最大の活動を示したときでも、その活動量は今回測定した咬筋の他の部位、すなわち中央部および深部前方部よりも小さかった。また、開口相では活動は認められなかった (Fig. 13)。

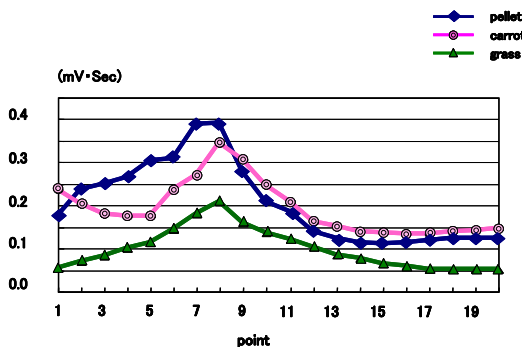


Fig.13 The integration waves of the posterior deep masseter (MPPO) on the working side

(2) 非咀嚼側

非咀嚼側では、どの食品を咀嚼したときでも咀嚼側よりも早い時期、point 3～5で最大の活動を示した。最大に活動したあとはなだらかな勾配を示しながら活動は停止し、開口相でも活動はまったく認められなかった。ただし、ペレットを咀嚼したときは最大開口位の、1 point 前から活動がはじまった (Fig. 14)。

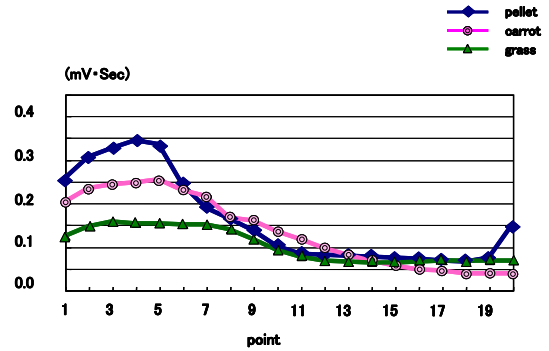


Fig.14 The integration waves of the posterior deep masseter (MPPO) on the balancing side

4) 側頭筋

(1) 咀嚼側

ペレットを咀嚼したときは閉口相の前半から活動を始め、point 5 で最大の活動量を示した。牧草やニンジンを咀嚼したときは、閉口相の前半から後半までとくに大きな活動を示すポイントはなく、比較的、緩やかな活動パターンが認められた。なお、咬頭嵌合位以降の開口相では活動は認められなかった (Fig. 15)。

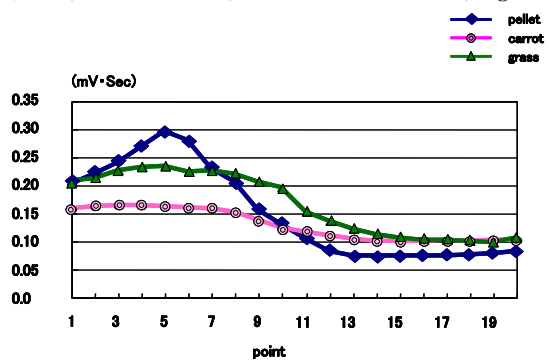


Fig.15 The integration waves of the temporalis (TP) muscle on the working side

(2) 非咀嚼側

非咀嚼側では、咀嚼物質の如何にかかわらず総体的に平坦であった。すなわち、非咀嚼側では、たとえ閉口相であっても活動量は他の閉口筋群に比べてきわめて小さかった (Fig. 16)。

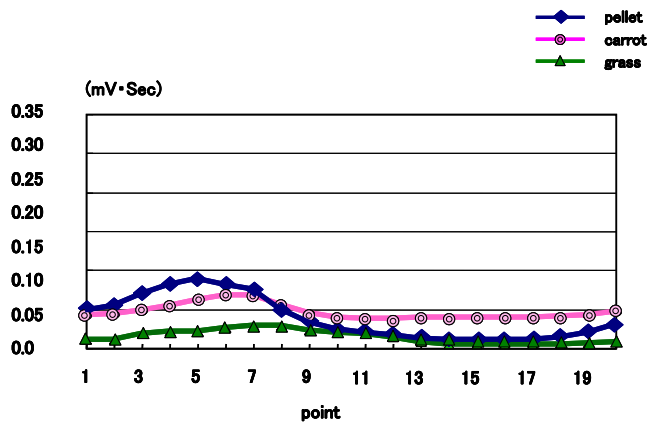


Fig.16 The integration waves of the temporalis (TP) muscle on the balancing side

5) 顎二腹筋

(1) 咀嚼側

咀嚼側では、咀嚼物質に関わらず、開口相の前半から徐々に活動が始まり、最大開口位寸前の point 17, 18 で最大に活動し、その後、急激に減少した。なお、ペレットを咀嚼したときに限っては、閉口相でも明らかな活動がみられ、咀嚼側の咬筋深部前方部と同様、二峰性の活動パターンが認められた (Fig. 17)。

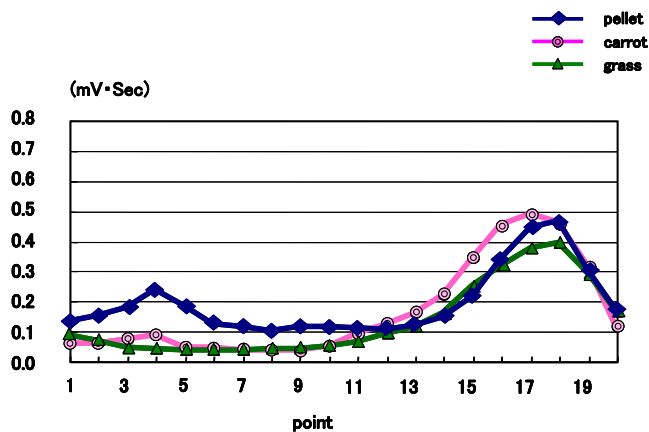


Fig.17 The integration waves of the digastric (DIGA) muscle on the working side

(2) 非咀嚼側

開口相の前半から活動が始まり、咀嚼側よりも最大開口位により近い point 19, 20 で最大の活動が認められた。なお、ペレットを咀嚼したとき、咀嚼側では閉口相でもわずかに活動したが、非咀嚼側では認められなかった (Fig. 18)。

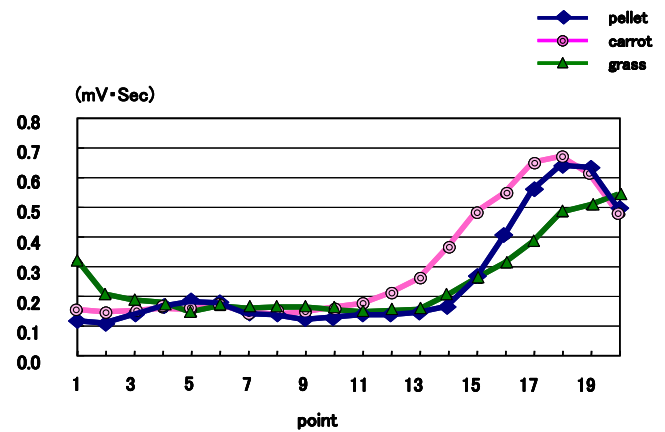


Fig.18 The integration waves of the digastric (DIGA) muscle on the balancing side

3. 咀嚼筋の最大活動量

一咀嚼周期を20等分した各期間中に活動した各咀嚼筋の活動量を積分し、最も大きかった積分値を最大活動量として咀嚼側と非咀嚼側とで比較した。

1) ペレットを咀嚼したとき

咀嚼側では、咬筋浅部中央部が最も大きな値を示し、以下、咬筋深部前方部、顎二腹筋、咬筋深部後方部および側頭筋の順であった。また、非咀嚼側でも咬筋浅部中央部の値が最も大きく、以下、顎二腹筋、咬筋深部前方部、咬筋深部後方部および側頭筋の順であった。全体的として、ペレットを咀嚼したときは各筋の最大活動量は大きかったが、そのなかでもとくに咬筋浅部中央部の最大活動量は著しく大きく、他の筋群の最大活動量よりも咀嚼側では約2~4倍、非咀嚼側では約1.5~7.0倍であった。

また、咀嚼側の最大活動量に対する非咀嚼側の最大活動量の割合は、咬筋浅部中央部は78.6%、咬筋深部前方部は101.9%、咬筋深部後方部は87.1%、側頭筋は46.7%、顎二腹筋は136.2%となり、咬筋深部前方部では咀嚼側と非咀嚼側との最大活動量にほとんど差は認められなかった。また、側頭筋の最大活動量では、非咀嚼側は咀嚼側の約1/2倍であった。なお、顎二腹筋では非咀嚼側のほうが咀嚼側よりも大きかった。

ペレットを咀嚼したとき、側頭筋、顎二腹筋および咬筋浅部中央部では咀嚼側と非咀嚼側とで明確な差が認められたが、咬筋深部後方部では咀嚼側と非咀嚼側との活動量の違いはわずかであり、咬筋深部前方部ではほとんど差は認められなかった (Table 1)。

	working side (mV·Sec)	balancing side (mV·Sec)	$\left(\frac{\text{balancing side}}{\text{working side}}\right) \times 100$ (%)
MSS	1.17	0.92	78.6
MPAN	0.51	0.52	101.9
MPPO	0.39	0.34	87.1
TP	0.30	0.14	46.7
.....			
DIGA	0.47	0.64	136.2

Table 1 The amount of maximum activity of masticatory muscle during pellet mastication

2) ニンジン咀嚼したとき

各咀嚼筋の最大活動量は、咀嚼側および非咀嚼側ともに顎二腹筋が最も大きく、以下、咬筋深部前方部、咬筋浅部中央部、咬筋深部後方部および側頭筋の順であった。全体的には、ペレットを咀嚼したときよりも、各筋の最大活動量は小さい値を示したが、とくに、咬筋浅部中央部の最大活動量は著しく小さく、咀嚼側で38%、非咀嚼側では46%であった。これに対して、咬筋深部前方部の最大活動量は、ペレットを咀嚼したときとほとんど変わらず、咀嚼側では90%、非咀嚼側では101%であった。また、咬筋深部後方部の最大活動量は、咀嚼側では87%、非咀嚼側では73%で、ペレットを咀嚼したときよりもわずかに小さかった。さらに、側頭筋の最大活動量は、咀嚼側では57%、非咀嚼側では86%であった。また、顎二腹筋の最大活動量は、咀嚼側および非咀嚼側ともに101%で、ペレットを咀嚼したときとほとんど変わらなかった。

咀嚼側の最大活動量に対する非咀嚼側の最大活動量の割合については、咬筋浅部中央部は95.5%、咬筋深部前方部は115.2%、咬筋深部後方部は73.5%、側頭筋は70.6%、顎二腹筋は136.7%で、ペレットを咀嚼したときよりも、咬筋浅部中央部や側頭筋では、咀嚼側と非咀嚼側との最大活動量の差は小さかった。

(Table 2) .

3) 牧草を咀嚼したとき

咀嚼側では咬筋浅部中央部が最も大きな値を示し、以下、顎二腹筋、咬筋深部前方部、側頭筋および咬筋

	working side (mV·Sec)	balancing side (mV·Sec)	$\left(\frac{\text{balancing side}}{\text{working side}}\right) \times 100$ (%)
MSS	0.44	0.42	95.5
MPAN	0.46	0.53	115.2
MPPO	0.34	0.25	73.5
TP	0.17	0.12	70.6
.....			
DIGA	0.49	0.67	136.7

Table 2 The amount of maximum activity of masticatory muscle during carrot mastication

	working side (mV·Sec)	balancing side (mV·Sec)	$\left(\frac{\text{balancing side}}{\text{working side}}\right) \times 100$ (%)
MSS	0.46	0.29	63.0
MPAN	0.25	0.33	132.0
MPPO	0.21	0.16	87.1
TP	0.23	0.08	69.6
.....			
DIGA	0.39	0.54	138.5

Table 3 The amount of maximum activity of masticatory muscle during grass mastication

深部後方部の順であった。また、非咀嚼側では顎二腹筋が最も大きく、以下、咬筋深部前方部、咬筋浅部中央部、咬筋深部後方部および側頭筋の順であった。全体的には、各筋の最大活動量はペレットを咀嚼したときよりも、著しく小さく、ニンジン咀嚼したときよりもわずかに小さかった。いま、ペレットを咀嚼したときと比較すると、咬筋浅部中央部の最大活動量は、咀嚼側では40%、非咀嚼側では31%で、咬筋深部前方部の最大活動量は、咀嚼側では49%、非咀嚼側では63%であった。また、咬筋深部後方部の最大活動量は、咀嚼側では54%、非咀嚼側では47%で、さらに側頭筋の最大活動量は、咀嚼側で73%、非咀嚼側で57%で、顎二腹筋の最大活動量は、咀嚼側で83%、非咀嚼側で84%であった。

また、咀嚼側の最大活動量に対する非咀嚼側の最大

活動量の割合は、咬筋浅部中央部では 63.0%，咬筋深部前方部では 132.0%，咬筋深部後方部では 87.1%，側頭筋では 69.6%，顎二腹筋では 138.5% で、咀嚼側と非咀嚼側との最大活動量に大きな差が認められた。しかし、顎二腹筋の最大活動量は、咀嚼物質にかかわらず咀嚼側と非咀嚼側との割合は一定であった (Table 3)。また、どの食品を咀嚼しても、咬筋浅部中央部、咬筋深部後方部および側頭筋の最大活動量は咀嚼側のほうが大きかったが、咬筋深部前方部および顎二腹筋の最大活動量は逆に、非咀嚼側のほうが大きかった。

4. 各咀嚼筋が最大に活動する時期

閉口相および開口相において、活動する筋群が最大に活動する時期 (point) について検討した。なお、咀嚼する食品によっては、開口筋である顎二腹筋の咀嚼側が閉口相でも活動することが認められた。また閉口筋である咬筋深部前方部が開口相でも咀嚼側に活動が認められたため、これらの筋については閉口相および開口相の双方で最大に活動する時期 (point) を示した。

1) ペレットを咀嚼したとき

閉口相において最初に最大の活動を示したのは非咀嚼側の咬筋深部前方部で、次に非咀嚼側の咬筋深部後方部および咀嚼側の顎二腹筋が同時に、つづいて両側の咬筋浅部中央部および両側の側頭筋ならびに咀嚼側の咬筋深部前方部が同時に、そして咬頭嵌合位の直前で閉口筋群の最後として咀嚼側の咬筋深部後方部が最大に活動した。開口相では、咀嚼側の咬筋深部前方部が大きく活動し、つづいて両側の顎二腹筋が最大に活動した (Table 4)。

		Point(working side)	Point(balancing side)
Closing phase	MSS	5	5
	MPAN	5	3
	MPPO	8	4
	TP	5	5
	DIGA	4	—
.....			
Opening phase	MPAN	17	—
	DIGA	18	18

Table 4 The moment of maximum activity of masticatory muscles in a chewing cycle during pellet mastication

2) ニンジン咀嚼したとき

閉口相において最初に最大活動を示したのは非咀嚼側の咬筋深部前方部、咀嚼側の咬筋浅部中央部および咀嚼側の側頭筋が同時期に、つづいて非咀嚼側の咬筋深部後方部、次に非咀嚼側の側頭筋、非咀嚼側の咬筋浅部中央部および咀嚼側の咬筋深部前方部がつづき、最後に咀嚼側の咬筋深部後方部が最大に活動した。また、開口相ではまず咬筋深部前方部が、つづいて顎二腹筋の咀嚼側、つづいて非咀嚼側が最大に活動した (Table 5)。

		Point(working side)	Point(balancing side)
Closing phase	MSS	4	7
	MPAN	7	4
	MPPO	8	5
	TP	4	6
.....			
Opening phase	MPAN	16	—
	DIGA	17	18

Table 5 The moment of maximum activity of masticatory muscles in achewing cycle during carrot mastication

3) 牧草を咀嚼したとき

閉口相において最初に最大活動を示すのは非咀嚼側の咬筋深部後方部で、つづいて非咀嚼側の咬筋深部前方部、咀嚼側の側頭筋、咀嚼側の咬筋浅部中央部が、次に咀嚼側の咬筋深部前方部および非咀嚼側の側頭筋がつづき、最後に咀嚼側の咬筋深部後方部および非咀嚼側の咬筋浅部中央部が最大に活動した。また、開口相では咬筋深部前方部、顎二腹筋の咀嚼側が、非咀嚼側の顎二腹筋の順であった (Table 6)。

		Point(working side)	Point(balancing side)
Closing phase	MSS	6	8
	MPAN	7	4
	MPPO	8	3
	TP	5	7
.....			
Opening phase	MPAN	17	—
	DIGA	18	20

Table 6 The moment of maximum activity of masticatory muscles in a chewing cycle during grass mastication

5. 咀嚼筋の協調

各咀嚼食品を咀嚼したとき、咀嚼側における筋群、咀嚼側と非咀嚼側とにおける筋群および非咀嚼側における筋群の相関について検討した。

1) ペレットを咀嚼したとき

(1) 咀嚼側の筋群の相関

側頭筋は、どの閉口筋とも強い相関が認められた。咬筋深部後方部と咬筋浅部中央部との相関は咬筋深部後方部と側頭筋との相関よりも弱く、咬筋深部前方部と咬筋浅部中央部との相関はそれよりもわずかに弱かった。咀嚼側の閉口筋群の相関において、咬筋深部前方部と咬筋深部後方部とがまったく相関しないことが特徴の一つとして認められた。なお、閉口筋の咬筋深部前方部と開口筋の顎二腹筋とに中程度の相関が認められた (Table 7)。

	working side			
	MSS	MPAN	MPPO	TP
working side MSS				
MPAN	0.54			
MPPO	0.64	0.02		
TP	0.94	0.78	0.83	
DIGA	-0.12	0.53	-0.43	-0.29

Table 7 The correlation table among the working side muscle during pellet mastication

(2) 咀嚼側の筋群と非咀嚼側の筋群との相関

咀嚼側の咬筋浅部中央部、咬筋深部後方部および側頭筋は非咀嚼側の閉口筋群とかなり高い相関を示した。しかし、咀嚼側の咬筋深部前方部は非咀嚼側の咬筋浅部中央部とは相関したが、咬筋深部前方部、咬筋深部後方部および側頭筋との相関は弱かった (Table 8)。

(3) 非咀嚼側の筋群の相関

非咀嚼側では咀嚼側の咬筋深部後方部と咬筋深部前方部とでみられたような現象はおきず、閉口筋群できわめて高い相関が認められた (Table 9)。

	working side				
	MSS	MPAN	MPPO	TP	DIGA
balancing side MSS	0.89	0.95	0.93	0.95	-0.38
MPAN	0.76	0.38	0.39	0.37	0.17
MPPO	0.74	0.71	0.61	0.81	-0.53
TP	0.84	0.97	0.92	0.98	-0.52
DIGA	-0.04	-0.24	-0.23	-0.26	0.84

Table 8 The correlation table among the working side muscle and the balancing side during pellet mastication

	balancing side			
	MSS	MPAN	MPPO	TP
balancing side MSS				
MPAN	0.76			
MPPO	0.73	0.98		
TP	0.88	0.94	0.91	
DIGA	-0.27	-0.49	-0.45	-0.43

Table 9 The correlation table among the balancing side muscle during pellet mastication

2) ニンジンを咀嚼したとき

(1) 咀嚼側の筋群の相関

側頭筋と咬筋浅部中央部とは高い相関を示したが、その他の筋群の相関はペレットを咀嚼したときよりも小さかった。ただし、ペレットを咀嚼したとき、咬筋深部前方部と咬筋深部後方部とはまったく相関しなかったが、ニンジン咀嚼したときには弱い相関が認められた (Table 10)。

	working side			
	MSS	MPAN	MPPO	TP
working side MSS				
MPAN	0.48			
MPPO	0.40	0.45		
TP	0.97	0.48	0.61	
DIGA	-0.62	-0.08	-0.68	-0.73

Table 10 The correlation table among the working side muscle during carrot mastication

(2) 咀嚼側の筋群と非咀嚼側の筋群との相関

総体的に閉口筋群は相関したが、ペレットを咀嚼したときよりも全体的に相関の程度は小さかった。ただし、ペレットを咀嚼したとき、咬筋深部前方部と側頭筋との相関は小さかったが、ニンジン咀嚼したときは高い相関を示した。また、咬筋深部後方部と咬筋深部前方部とは、ペレットを咀嚼したときは高い相関を示したがニンジン咀嚼したときはほとんど相関しなかった (Table 11)。

	working side					
	MSS	MPAN	MPPO	TP	DIGA	
balancing side	MSS	0.69	0.97	0.96	0.74	-0.67
	MPAN	0.59	0.38	0.41	0.74	-0.16
	MPPO	0.64	0.22	0.55	0.48	-0.69
	TP	0.73	0.91	0.98	0.73	-0.78
	DIGA	-0.54	-0.52	-0.76	-0.51	0.93

Table 11 The correlation table among the working side muscle and the balancing side during carrot mastication

(3) 非咀嚼側の筋群の相関

ペレットを咀嚼したときよりも相関の程度は低かったが、全体的にはすべての閉口筋群が相関していた (Table 12)。

	balancing side				
	MSS	MPAN	MPPO	TP	
balancing side	MSS				
	MPAN	0.58			
	MPPO	0.70	0.91		
	TP	0.97	0.66	0.69	
	DIGA	-0.54	-0.57	-0.83	-0.45

Table 12 The correlation table among the balancing side muscle during carrot mastication

3) 牧草を咀嚼したとき

(1) 咀嚼側の筋群の相関

側頭筋は他の閉口筋群と高い相関を示した。また、

咬筋深部後方部は咬筋浅部中央部と相関していた。しかし、咬筋深部前方部と咬筋浅部中央部とはほとんど相関しなかったし、咬筋深部前方部と咬筋深部後方部とはペレットを咀嚼したときと同様、相関しなかった (Table 13)。

	working side				
	MSS	MPAN	MPPO	TP	
working side	MSS				
	MPAN	0.20			
	MPPO	0.64	0.26		
	TP	0.97	0.78	0.75	
	DIGA	-0.75	0.30	-0.68	-0.84

Table 13 The correlation table among the working side muscle during grass mastication

(2) 咀嚼側の筋群と非咀嚼側の筋群との相関

咀嚼側の咬筋浅部中央部および側頭筋は、非咀嚼側の閉口筋群と高い相関を示した。しかし、咀嚼側の咬筋深部前方部は非咀嚼側の咬筋浅部中央部とは相関したが、咀嚼側の咬筋深部前方部は、ペレットを咀嚼したときと同様に、非咀嚼側の咬筋深部前方部、咬筋深部後方部および側頭筋とはほとんど相関しなかった。また、咀嚼側の咬筋深部後方部は、ニンジン咀嚼したときと同様に、非咀嚼側の咬筋深部前方部と相関しなかった (Table 14)。

	working side					
	MSS	MPAN	MPPO	TP	DIGA	
balancing side	MSS	0.90	0.86	0.98	0.85	-0.51
	MPAN	0.73	0.05	0.15	0.21	0.13
	MPPO	0.78	0.27	0.53	0.92	-0.68
	TP	0.83	0.84	0.95	0.85	-0.63
	DIGA	-0.64	-0.61	-0.71	-0.80	0.75

Table 14 The correlation table among the working side muscle and the balancing side during grass mastication

(3) 非咀嚼側の筋群の相関

ペレットやニンジン咀嚼したときと同様に、相関の程度の差は認められるが、全体的にはすべての閉口筋群は相関した (Table 15) .

	balancing side			
	MSS	MPAN	MPPO	TP
MSS				
MPAN	0.68			
MPPO	0.86	0.92		
TP	0.87	0.57	0.76	
DIGA	-0.50	-0.41	-0.49	-0.64

Table 15 The correlation table among the balancing side muscle during grass mastication

考 察

1. 実験目的に対する考察

咀嚼運動は左右の顎関節をとおして、各咀嚼筋が協調活動することによりはじめて達成される。そのため、たとえ一つの筋でも十分に機能しないと、咀嚼筋群の前後左右のバランスが崩れ、さらには筋が付着する骨または顎関節を変位・変形させ、顎変形症や顎関節症などの原因となる。また、左右の咀嚼筋群のバランスが崩れると、頭位を偏位させ、それに付随する頸椎のバランスも崩す可能性がある。すなわち、顎口腔系の異常、とくに咀嚼の異常は全身的な不定愁訴の原因になる。したがって、そのようなときには十分に機能していない筋を特定し、その筋をリハビリして、正常な咀嚼ができるように治療する必要がある。しかし、現在の歯科医学では、障害を受けている筋を特定することは難しく、筋電図を記録することはその解決法の一つではあるが、ある筋の活動量が他の筋群の活動量に比べて小さいからといって、この筋が障害を受けているとは言えない。それは、先に述べたようにバランスの問題であり、バランスをとるためには大きく活動しなければならない筋もあれば、それほど大きく活動する必要のない筋も存在するからである。そのため、咀嚼が正常におこなわれているかどうかを判定するには各咀嚼筋の活動パターンを十分に理解し、さらには左

右の筋群のバランス、すなわち、同側の筋群の協調関係ならびに咀嚼側と非咀嚼側との筋群の協調関係を把握することが必要である¹⁰⁾。

また、咀嚼筋の機能に関する研究では、咬筋浅部、側頭筋および内側翼突筋についての報告^{12~14)}はあるが、咬筋深部についての報告^{6~10)}は少なく、咀嚼運動との関係は十分に把握されていないのが現状である。とくに咬筋は大きさや走行方向の異なる各層により構成されていて、それぞれの層が特異な機能をもっている^{15~20)}。したがって、咀嚼時これらの筋群がどのような役割を果たしているのか、また、どのように相関するのかを明らかにすることは、咀嚼のメカニズムを解明するうえで重要である。

そこで、本研究では咀嚼時に他の咀嚼筋群に対する咬筋深部の前方部および後方部の機能特性に注目して分析した。

なお、本来であれば、ヒトを実験対象にするべきであったが、深部筋へ針電極を挿入する危険性から実験動物として家兎を用いた。

2. 実験方法に対する考察

咀嚼筋の筋活動および協調についての研究は数多く報告^{21~26)}されている。しかし、従来の筋電図の解析方法は、ある食品を咀嚼開始してから終了するまでの全期間の筋活動を積分して、それを比較したり、たとえ、一咀嚼周期の筋活動量(積分値)で相関を比較しても、時間的要素が加味されていなかった。例えば、一咀嚼周期における咬筋浅部中央部と顎二腹筋との活動量の相関を計算したとき、きわめて大きく相関することがわかって、これはあくまで活動量が相関するだけで、咬筋浅部中央部と顎二腹筋とが協調しているとは言えない。すなわち、咬筋浅部中央部は閉口相で活動し、開口相では活動しないため、これらの筋は決して同じ時間に協調して活動しているわけではない。したがって、咬筋浅部中央部と顎二腹筋との閉口時の相関はゼロに、また、開口時の相関もほぼゼロに等しくなる。したがって、同一時期に協調して機能する筋群の相関を検索するときは、時間的要素を加味した解析が必要になってくる。そのためには、一咀嚼周期を閉口相と開口相との2つの相に分けて相関を計算すれば良いが、なかには外側翼突筋や咬筋深部前方部のように開口相

と閉口相との二相で活動する筋も存在するため、一咀嚼周期を単に閉口相と開口相とに分けるだけでなく、さらに細かく分ける必要がある。

これに対して、Weijs ら⁷⁾は、最大開口位から次の最大開口位までを一咀嚼周期と設定し、その一咀嚼周期の時間を20等分して、各咀嚼筋の活動量を20区間の時系列で表している。また、Sugimura ら⁹⁾はこの解析方法を応用し、各咀嚼筋の20区間の活動量を積分して相関を計算することにより、時間的要素を考慮した協調関係を検討している。これらの方法は、一咀嚼周期中における各咀嚼筋の活動パターンおよび協調(相関)の程度を把握するのに非常に有用であると考えられる。

そこで、本研究では、これらの筋電図解析法を基本とし、さらに、咀嚼筋活動は咀嚼経路と密接な関係にある²⁶⁾ため、咀嚼運動を同時に記録し、咀嚼筋の活動時期と咀嚼経路とを比較することにした。

3. 実験結果に対する考察

1) 咀嚼経路について

家兎の咀嚼運動は、臼磨運動をおこなうことからヒトの咀嚼パターンに類似していると考えられている²⁷⁾。²⁸⁾家兎の臼磨運動時の側方成分は食物の硬さによって変わり、硬い食物を咀嚼したときは側方偏位量が大きくなる²⁹⁻³¹⁾。本研究でも、咀嚼物質によって、それぞれ異なる咀嚼パターンが認められ、硬い食品であるペレットを咀嚼したときは咀嚼経路の側方成分がペレットよりも軟らかいニンジンや牧草を咀嚼したときよりも著しく大きかった。このことから、食品の硬さが咀嚼経路の側方成分に影響を与えることは明らかであるが、さらに、今回の研究より、咀嚼物質によって閉口経路の変曲点が微妙に変わり、それによって閉口経路の側方成分が影響されることが明らかになった。すなわち、側方成分が最も大きかったペレット咀嚼時では、変曲点が最も咀嚼側に位置した(point3)が、側方成分よりも垂直成分が大きかったニンジン咀嚼時では、変曲点はペレットを咀嚼したときよりも正中より(point4)だった。したがって、ペレットのような硬い食品を咀嚼するときは、できるだけ下顎を咀嚼側へ偏位させおき、ペレットを把持してから一気に咬頭嵌合位に向かって下顎を切り返すことによって、大きな粉砕力が発揮されるが、ペレットより軟らかいニンジン

を咀嚼するときは、下顎を偏位させて大きな粉砕力を発揮する必要がなく、開口量や咀嚼スピードを増加させることによって咀嚼が効率的に行われると考えられる。また、牧草を咀嚼したときは、ペレットを咀嚼したときと同様に側方偏位の大きい閉口経路が認められた。このとき、変曲点は咀嚼側に大きく偏位した(point3)が、変曲点から咬頭嵌合位までの垂直成分は、ペレットを咀嚼したときよりも小さかった。そのため、ペレットを咀嚼したときのように明確な切り返しは認められず、ゆるやかな曲線の閉口経路が認められた。したがって、繊維性の食品である牧草を咀嚼するときは、ペレットやニンジンのように粉砕して咀嚼するよりもむしろ、臼磨を主体とした咀嚼運動が必要であることがわかる。すなわち、牧草を把持してできるだけ長い時間咬合面間で臼磨するためには、大きな側方偏位が必要であると考えられる。このように、性状の異なる食品を咀嚼したとき、それぞれの閉口経路は変曲点によってパターンを大きく変えることが明らかとなった。

また、咀嚼物質によって閉口経路が変わるとともに、開口経路も変わると考えられる^{7, 12, 30)}。本研究においてもこのことを裏付ける結果が得られたが、とくに、咀嚼物質の性状の違いが開口経路のパターンに影響を与えることが明らかになった。ペレットを咀嚼するときは、前述のとおり側方成分の大きな閉口経路が必要である。したがって、ペレットを咀嚼したときの開口経路は咬頭嵌合位から大きく咀嚼側方向に膨らみながら開口することにより、閉口相で必要な側方偏位量を獲得すると考えられる。これに対して、ニンジンを咀嚼するときは、ペレットを咀嚼するときのように大きな粉砕力はそれほど必要でないため、垂直成分主体の開口経路になった。また、牧草を咀嚼するときは、臼磨運動主体の咀嚼運動をおこなう必要から、下顎をわずかに非咀嚼側に膨らませて開口することにより、牧草を擦りつぶすのに必要な側方偏位量を獲得すると考えられる。

以上より、閉口相は上下歯牙間に食品を介在して粉砕、切断がおこなわれる相であるため、食品の性状に最も影響を受けやすい期間でもある³⁰⁾が、咀嚼を効果的に進めるためには開口経路の様相も食品の性状によ

って変わることが分かった。

2) 筋の最大活動量について

咀嚼物質の量および性状によって咀嚼経路が変わり、それと同時に、咀嚼筋の活動量も変わる^{32~36)}。本研究においても軟性の食品よりも硬性の食品を咀嚼したときのほうが各咀嚼筋の最大活動量は増加した。とくに、咬筋浅部中央部の最大活動量は食品の硬さに大きく影響され、ペレットを咀嚼したときの咬筋浅部中央部の最大活動量は、ニンジン咀嚼したときの約 2.4 倍、牧草を咀嚼したときの約 2.8 倍であった。また、側頭筋は、ペレットを咀嚼したときの側頭筋の最大活動量はニンジン咀嚼したときの約 1.5 倍、牧草を咀嚼したときの約 1.4 倍で、咬筋浅部中央部と同様に食品の硬さに応じて最大活動量が増加した。これに対して、ペレットを咀嚼したときの咬筋深部前方部の最大活動量はニンジン咀嚼したときの約 1.07 倍、牧草を咀嚼したときの約 1.8 倍であった。また、ペレットを咀嚼したときの咬筋深部後方部の最大活動量はニンジン咀嚼したときの約 1.2 倍、牧草を咀嚼したときの約 2 倍であった。すなわち、咬筋の深部筋の最大活動量は食品の硬さによってそれほど増減しなかったが、ペレットやニンジンとはまったく異なる性状の牧草には影響される結果となった。さらに顎二腹筋の最大活動量は、ペレットを咀嚼したときの最大活動量はニンジン咀嚼したときの約 0.9 倍、牧草を咀嚼したときの約 1.2 倍であったことから、顎二腹筋の最大活動量は咀嚼物質によってもあまり変わらなかった。咀嚼時、歯根膜や筋紡錘からの末梢感覚情報のフィードバックにより、閉口筋は食品をかみ砕くために食品負荷に打ち勝つだけの張力を発生させる³⁷⁾。したがって、ペレットのような硬い食品を咀嚼すると、咬筋浅部中央部や側頭筋の最大活動量は増加する。しかし、同じ咬筋でも、深部筋の最大活動量は食品の硬さにそれほど影響されなかったことから、咬筋の深部筋は食品を粉砕するというよりは何か他の機能を果たしているのではないかと考えられる。

また、咀嚼側に対する非咀嚼側の最大活動量の割合は、ペレットを咀嚼したとき、咬筋浅部中央部および側頭筋は、咀嚼側と非咀嚼側との最大活動量に差が認められたが、咬筋の深部筋では著明な差が認められな

かった。これに対して、ニンジン咀嚼したときは、咬筋浅部中央部および側頭筋は、ペレットを咀嚼したときより咀嚼側と非咀嚼側との最大活動量の差が小さかったが、咬筋の深部筋では、ペレットを咀嚼したときと差がほとんどなかった。さらに、牧草を咀嚼したときは、咀嚼側と非咀嚼側との最大活動量の差は各筋で大きかった。これらのことから、咬筋浅部中央部および側頭筋のように食品の粉砕に関与する筋群では、ペレットのような硬い食品を咀嚼するとき、咀嚼側が大きく活動し食品を粉砕する役割を果たすが、粉砕力がそれほど必要でないニンジン咀嚼したときは、咀嚼側がとくに大きく活動することはなく、非咀嚼側と同じ程度の活動量で十分であり、また、牧草のような繊維性食品を咀嚼するときは、咀嚼側と非咀嚼側との最大活動量の割合を巧妙に変えて、持続的な咀嚼力で臼磨運動をおこなっていると考えられる。

これに対して、咬筋の深部筋では、ペレット、ニンジンあるいは牧草を咀嚼したときに、咀嚼側と非咀嚼側との最大活動量の割合に一定の傾向が認められなかったが、咬筋深部前方部ではどの食品を咀嚼させても非咀嚼側の最大活動量が咀嚼側を上回り、また、この傾向は、顎二腹筋でも同様の結果が認められた。一般に食品を咀嚼するときは、咀嚼側の活動量が大きくなる¹⁵⁾ことから、咬筋深部前方部は顎二腹筋と協調して、咬合力および咀嚼力の発現にかかわるよりも、他の機能を果たしていると考えられる。

以上より、性状の異なる食品を咀嚼したとき、咬筋の最大活動量は各層で異なったが、咬筋の深部筋は咀嚼食品によっては、大きな活動を示すこともあった。このことは、咬筋の深部筋はたとえ咬筋全体の容量で占める割合が小さくても、何らかの重要な機能を果たしていることが示唆された。

3) 筋の活動パターンについて

Weijs ら²⁰⁾は咬筋各層の活動を主成分分析し、咬筋の深部筋の活動は他の閉口筋群の活動と異なる主成分を示したことから、咬筋の深部筋は特殊な機能を果たすのではないかと報告している。また、Hirakawa ら³⁸⁾はヒツジの咬筋の表層筋、中間層筋および深層筋の筋電図を記録し、咀嚼運動は非咀嚼側の咬筋深層の活動で始まり、咀嚼側の咬筋表層筋の活動で終わる様式を

示し、その間、咬筋各層の活動パターンや活動の時期には差が認められたと報告している。本研究でも、咬筋の浅部中央部、深部前方部および深部後方部の筋活動を記録したが、各層によって活動パターンに差が認められた。

(1) 一咀嚼周期における咬筋浅部中央部の役割

食品の種類にかかわらず閉口相では活動するが、開口相ではほとんど活動しないという閉口筋特有の活動パターンが認められた。活動量もペレットを咀嚼させたときにきわめて著明な増減がみられたが、ニンジンや牧草を咀嚼したときには活動量の急激な増減は認められなかった。

咬筋浅部中央部が最大に活動した時期と咀嚼経路とを比較すると、ペレットを咀嚼したときは咀嚼側でも非咀嚼側でも、閉口相で下顎の急激な切り返しが起こった直後(point 5)に最大の活動が認められた。すなわち、ペレットを把持して粉碎する時期に両側の咬筋浅部中央部が最大に活動した。また、ニンジンを咀嚼したとき、咀嚼側は閉口相の変曲点(point 4)で最大に活動し、非咀嚼側は下顎の切り返しがおきてから咬頭嵌合位に戻るまでの中間点(point 7)、すなわち、粉碎相に相当する時期で最大の活動が認められた。さらに、牧草を咀嚼したとき、咀嚼側では閉口経路の側方移動時の中間点(point 6)、すなわち、牧草を臼磨している時期に最大に活動し、非咀嚼側では咬頭嵌合位の直前(point 8)で最大に活動した。

以上のことから、咬筋浅部中央部は、ペレットのように硬い食品を咀嚼するときは変曲点付近で急激に活動量を増加させて大きな粉碎力を発揮するが、ペレットよりやわらかいニンジンを咀嚼するときは、変曲点付近から粉碎相の中間まで持続的な粉碎力を発揮する。また、繊維性食品の牧草を咀嚼するときは、咬頭嵌合位の直前まで持続的な力で牧草を臼磨することがわかった。

(2) 一咀嚼周期における咬筋深部前方部の役割

今回の実験で、咬筋深部前方部が最も特徴的な活動パターンを示した。すなわち、咀嚼側の咬筋深部前方部は閉口筋でありながら開口相でも活動が認められた。この開口相での活動量は咀嚼物質によって変わったが、閉口時の最大活動量の74~80%と、比較的大きかった。このことは、咀嚼側の咬筋深部前方部はただ単に食品

の粉碎に参与しているだけではなく、何らかの機能を併せ持っていることを示唆している。

また、非咀嚼側の咬筋深部前方部は閉口相では活動量の急激な増加あるいは減少が認められたが、開口相ではまったく活動が認められず、咀嚼側で認められたような二峰性のパターンは認められなかった。すなわち、咀嚼側の咬筋浅部中央部に類似した活動パターンが認められた。このように、咬筋深部前方部は、咀嚼側と非咀嚼側とで活動パターンはまったく異なっていた。

咬筋深部前方部が最大に活動する時期と咀嚼経路とを比較すると、ペレットを咀嚼したとき、咀嚼側では下顎の切り返しがおきた直後(point 5)に最初の最大活動が認められ、その後、開口経路の中間点(point 17)で再び最大に活動した。また、非咀嚼側では閉口経路の変曲点(point 3)で最大に活動した。ニンジンを咀嚼したときは、咀嚼側では粉碎相に相当する時期(point 7)で最初の最大活動が認められ、その後、開口経路の中間点(point 16)で再び最大に活動した。また、非咀嚼側では閉口経路の変曲点(point 4)で最大に活動した。牧草を咀嚼したときは、咀嚼側では牧草を最も臼磨しているであろう時期(point 7)で最初に最大し、その後、開口経路の中間点(point 17)で再び最大に活動した。また、非咀嚼側では変曲点を過ぎた直後(point 4)で最大に活動した。

以上のことから、咀嚼側の咬筋深部前方部は、閉口相の食品を咀嚼する時期に最初の最大活動が認められ、開口相では開口経路の中間点で再び最大に活動した。一般に開口相での活動の理由は、開口運動と側方運動とが挙げられる。そこで、顎二腹筋との活動パターンを比較すると、咬筋深部前方部の開口相での最大活動(ペレット :point 17, ニンジン :point 16, 牧草 :point 17)は顎二腹筋の最大活動(ペレット :point 18, ニンジン :point 17, 18, 牧草 :point 18~20)よりも常に先行し、顎二腹筋が最大に活動するころには、咬筋深部前方部の開口相での活動は減少した。このことから、咀嚼側の咬筋深部前方部の開口相での活動は、主に側方運動に深く関わっているのではないかと考えられる。したがって、咀嚼側の咬筋深部前方部は閉口相では食品を咀嚼し、開口相では側方運動に、

すなわち、下顎を最大開口位へ誘導するときのカジとりの役割を果たしていると考え。また、非咀嚼側の咬筋深部前方部は閉口相の変曲点付近でのみ活動したことから、食品の粉碎や臼磨にかかわっていると考えられる。

(3) 一咀嚼周期における咬筋深部後方部の役割

咬筋深部前方部と同じ咬筋の深部筋である咬筋深部後方部の活動パターンについて検討すると、咀嚼側は閉口相の前半から徐々に活動量が増加し、閉口相の終盤で最大に活動したが、開口相では一切、活動は認められなかった。これに対して、非咀嚼側では咀嚼側よりも早い時期で最大の活動を示し、開口相では活動はまったく認められなかった。このように、咬筋深部後方部は咀嚼側と非咀嚼側とで最大に活動する時期に大きな差が認められた。

咬筋深部後方部が最大に活動した時期と咀嚼経路とを比較すると、ペレットを咀嚼したとき、咀嚼側では咬頭嵌合位の直前、すなわち粉碎相をすぎた時期(point 8)で最大の活動が認められ、非咀嚼側では閉口相の変曲点の直後(point 4)で最大に活動した。また、ニンジン咀嚼したときは、咀嚼側では粉碎相の終盤の時期(point 8)で最大に活動し、非咀嚼側では閉口相の変曲点の直後(point 5)で最大に活動した。さらに、牧草を咀嚼したときは、咀嚼側では咬頭嵌合位の直前、すなわち粉碎相をすぎた時期(point 8)で最大の活動が認められ、非咀嚼側では変曲点(point 3)で最大に活動した。

以上より、咀嚼側の咬筋深部後方部はどの食品を咀嚼しても、咀嚼側は食品の粉碎相の終盤にあたる咬頭嵌合位の直前で最大に活動した。さらに特徴的なことは、最大に活動する時期が、どの食品を咀嚼したときでも咀嚼側よりも非咀嚼側が早いことである。このことは、ある運動をおこなうとき、非咀嚼側の咬筋深部後方部が何らかの動きをして、すなわち、何らかの動きのトリガーとして機能し、咀嚼側の咬筋深部後方部がそれに追従していることを示唆している。以上、咬筋深部後方部は咬頭嵌合位直前で最大に活動すること、咀嚼側よりも非咀嚼側のほうが早く最大に活動していることから、咬筋深部後方部は食品の咀嚼に関与するというよりは、咀嚼側に偏位した下顎を咬頭嵌合位へ

導く役割を果たしているのではないかと考える。

(4) 一咀嚼周期における側頭筋の役割

側頭筋の活動パターンはどの食品を咀嚼しても閉口相で活動し、開口相ではほとんど活動しないという閉口筋特有の活動パターンが認められた。そして、ペレットを咀嚼したときは、活動量の急激な増加あるいは減少が認められたが、ニンジンおよび牧草を咀嚼したときは、比較的ゆるやかなパターンが認められ、全体的には咬筋浅部中央部に類似した活動パターンを示した。

側頭筋が最大に活動する時期を咀嚼経路と比較すると、ペレットを咀嚼したとき、咀嚼側および非咀嚼側ともに閉口相で下顎の急激な切り返しがおきた直後(point 5)に最大に活動した。また、ニンジンを咀嚼したときは、咀嚼側は変曲点(point 4)で最大に活動し、非咀嚼側は粉碎相の中間点(point 6)で最大に活動した。さらに、牧草を咀嚼したときは、咀嚼側は牧草を把持して臼磨を開始した時期(point 5)に最大の活動が認められ、非咀嚼側は咬頭嵌合位の直前で最大に活動した。

以上より、側頭筋の活動パターンおよび最大に活動する時期が咬筋浅部中央部と類似していたことから、側頭筋は咬筋浅部中央部と協調して食品を咀嚼する役割を果たしていると考え。

(5) 一咀嚼周期における顎二腹筋の役割

最後に、開口筋である顎二腹筋は、開口相の前半から徐々に活動し、最大開口位の直前で急激に活動量の減少が認められた。しかし、ペレットを咀嚼したとき、咀嚼側では、閉口相でも明らかな活動が認められた。この閉口相で活動する時期を咀嚼経路と比較すると、閉口経路の変曲点をすぎた直後(point 4)で認められた。そして、この時期は咬筋および側頭筋が最大に活動する直前に相当した。山田ら^{39, 40)}は閉口相における顎二腹筋の筋活動について、歯根膜機械受容器からの求心性入力による顎二腹筋の一過性の反射であると報告している。しかし、このことについては、外側翼突筋あるいは舌骨下筋群との協調関係を検討しなければ、この活動意義を解明するには難しい。したがって、今後の課題として、より多くの開口筋群および閉口筋群との協調関係を検討する必要がある。

以上のことから、咀嚼時、各筋はそれぞれの目的に応じた機能を果しているが、とくに咬筋では各層で活

動パターンや最大に活動する時期を巧みに変えることによって、咀嚼を効果的におこなっていると考えられる。すなわち、咬筋浅部が主に食品を咀嚼する役割を果たすが、咬筋深部は咀嚼の補助的な役割である咀嚼時の下顎の側方偏位に深く関与しているのではないかと考える。

4) 咀嚼筋群の協調関係について

杉村¹⁰⁾は筋群の相関（協調）関係から、咬筋深部は咀嚼時の下顎の側方偏位に関与するのではないかと述べている。

咬筋の相関について検討すると、咬筋浅部中央部はどの閉口筋とも相関し、とくに側頭筋とは非常に強い相関が認められた。さらに、側頭筋との強い相関は咀嚼物質に関わらず認められたことから、咀嚼時に咬筋浅部中央部と側頭筋とは常に協調しながら活動すると考える。

咬筋の深部筋は、ペレットおよび牧草を咀嚼したとき、咀嚼側の咬筋の深部筋は咀嚼側の側頭筋および非咀嚼側の咬筋浅部中央部と比較的高い相関が認められ、なかでも、咀嚼側の咬筋深部前方部では咀嚼側の顎二腹筋とも相関が認められた。しかし、同じ咬筋深部である咀嚼側の咬筋深部後方部とはほとんど相関しなかった。これに対して、ニンジン咀嚼したとき、咀嚼側の咬筋の深部筋では咀嚼側の側頭筋および非咀嚼側の咬筋浅部中央部と相関したが、相関の程度はペレットおよび牧草を咀嚼したときよりも弱く、とくに、咀嚼側の前方部は咀嚼側の顎二腹筋と相関しなかった。Weijsら⁷⁾は咀嚼時の側方偏位について、咀嚼側の咬筋深部が咀嚼側の側頭筋、非咀嚼側の咬筋浅部中央部および非咀嚼側の内側翼突筋とともに活動し、下顎を咀嚼側へ偏位させると報告している。

以上のことから、咀嚼側の咬筋深部は側方偏位の役割を果たしているが、ペレットおよび牧草などの側方偏位の大きい咀嚼パターンでは、咀嚼側の咬筋の深部筋は咀嚼側の側頭筋や非咀嚼側の咬筋浅部中央部と協調を強めて、食品を咀嚼するのに必要な側方距離を獲得する。これに対して、ニンジンを咀嚼するときは、それほど大きな側方距離が必要でないため、協調の程度はペレットや牧草を咀嚼したときよりも弱くなると考えられる。さらに、咬筋深部の前方部および後方部

の機能については、前述の活動パターン、最大活動量および最大に活動する時期から、咀嚼側の咬筋深部前方部は咀嚼側の顎二腹筋と協調して閉口時の側方偏位量を決める役割を、咀嚼側の咬筋深部後方部は閉口時の顎偏位、すなわち、咀嚼側に偏位した下顎を咬頭嵌合位に導く役割を果たすと考える。また、非咀嚼側の咬筋深部の前方部および後方部は、咀嚼物質に関わらず非咀嚼側の閉口筋群と強い相関が認められ、咀嚼側の咬筋浅部中央部および側頭筋とも強い相関が認められたことから、非咀嚼側の咬筋深部の前方部および後方部は咬筋浅部中央部および側頭筋と協調して食品を咀嚼する役割を果たすが、それとは別に、非咀嚼側の咬筋深部後方部は下顎を咀嚼側から非咀嚼側へ導く先導的役割にも関与すると考える。

このように、家兎の咬筋は筋の量および走行も異なる7層から構成されている⁶⁾ため、各層の機能に違いがあることは当然予想できる。しかし、本研究でおこなったように、咬筋各層の活動パターンと咀嚼経路とを比較し、さらに時間的要素を考慮に入れた相関関係について検討すると、咬筋は必ずしも閉口相だけで活動するのではなく、咀嚼側の咬筋深部前方部のように開口相でも活動する閉口筋も存在することが明らかとなった。つまり、咬筋各層の活動にはそれぞれ役割があって、その目的を達成するためには多くの筋群が協調する必要がある。したがって、日常、臨床で筋電図を診断する際、各咀嚼筋の活動量ばかりにとらわれず、咀嚼時における各咀嚼筋の活動時期をも把握し、さらに、咀嚼筋群の協調関係に注目することが重要である。また、本研究では、顎二腹筋についても興味深い結果が得られた。すなわち、この筋は唯一、咀嚼物質によって、活動パターン、活動量および活動時期に差がほとんど認められず、また、食品の硬さにも影響されなかった^{41~43)}。しかし、ペレットを咀嚼したとき、咀嚼側の顎二腹筋では閉口相でも明らかな活動が認められた。

今後の研究の展望として、この顎二腹筋の閉口相での活動の意義を明らかにするため、記録する筋を増やし、その協調関係についてより深く検討することが重要である。また、本研究では咀嚼運動経路と筋電図とを同時に記録し、咀嚼時における各咀嚼筋の役割につ

いて検討したが、さらに、咀嚼運動を三次元的に記録することにより、前後方向からもみた各咀嚼筋活動を検討することが必要である。

結論

家兎がペレット、ニンジンおよび牧草を咀嚼したときの咬筋浅部中央部、咬筋深部前方部、咬筋深部後方部、側頭筋および顎二腹筋の筋電図ならびに咀嚼運動を記録し、以下の結論を得た。

1) 咀嚼経路では、硬い食品を咀嚼するときは側方成分が、軟らかい食品を咀嚼するときは垂直成分が、そして繊維性の食品を咀嚼するときは両成分が大きかったことから、最大開口時の側方偏位量は食品の性状に影響される。

2) 咬筋の浅部の活動は食品の硬さに影響されるが、深部の活動は食品の性状に影響されなかった。

3) 咬筋の浅部中央部、深部前方部および後方部が最大に活動する時期は異なっていたことから、たとえ1つの筋であっても走行の違いによって筋膜によって分けられた各部分は、それぞれの役割をもっていることが示唆された。

4) 咬筋深部の前方部は、開口相でも閉口相でも活動したが、開口相での活動は、下顎を最大開口位へ誘導する役割を果たしている。

5) 咬筋深部の後方部は、咬頭嵌合位直前で強く活動することおよび反対側の閉口筋群との相関が強いことから、下顎を咬頭嵌合位へ誘導する役割を果たしている。

6) 顎二腹筋の最大活動量は、咀嚼物質の性状に影響されなかった。

7) 顎二腹筋は硬い食品を咀嚼したとき、下顎を安定させるために閉口相でも活動する。

8) 時間的要素を分析の一要素に入れた筋電図波形の解析や筋群間の相関は、各咀嚼筋の機能を解明するためにはきわめて有用な方法である。

謝辞

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました新潟大学大学院医歯学総合研究科摂食・口腔生理学分野、山田好秋教授に対し深謝の意を

表すとともに、本研究の遂行に際し、ひとかたならぬご指導、ご教示を賜りました新潟大学大学院医歯学総合研究科摂食・嚥下障害学分野、井上誠先生に心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 中村嘉男：咀嚼運動の生理学。医歯薬出版 第1版 第2刷：1~3, 2003.
- 2) 高橋知敬：姿勢変化が咀嚼及び嚥下機能に及ぼす影響。歯基礎誌, 24: 133~145, 1982.
- 3) 大前泰三, 井上俊二, 西塔 治, 石井弘二, 石垣尚一, 奥田眞夫, 中林隆志, 赤西正 光, 丸山剛郎：頭立の変化が頭頸部の筋に及ぼす影響に関する筋電図学的研究。補綴誌, 33: 352~358, 1989.
- 4) 大前泰三, 田中孝一, 吉川健司, 石垣尚一, 奥田眞夫, 赤西正 光, 丸山剛郎：頭立の変化が頭頸部の筋の筋活生に及ぼす影響について。補綴誌, 34: 1008~1014, 1990.
- 5) 小澤美保子：咀嚼時の姿勢の相違が下顎運動ならびに頭頸部筋群の筋活動に及ぼす影響。補綴誌, 36: 727~740, 1992.
- 6) W. A. Wejis, P. Brugman, E. M. Klok : The Groth of the skull and jaw muscles and its functional consequences in the new zealand rabbit. Journal of morphology, 194: 143~161, 1987.
- 7) W. A. Wejis, R. Dantuma : Functional anatomy of the masticatory apparatus in the rabbit. Netherlands Journal of Zoology, 31: 99~147, 1981.
- 8) S. J. J. Turkawski, T. M. G. J. van Eijden : EMG power spectrum and motor unit characteristics in the masseter muscle of the rabbit. J. Dent. Res, 79: 950~956, 2000.
- 9) T. Sugimura, J. Inada, Y. Yoshida, W. A. Wejis : Coordination patterns in rabbit masticatory muscles. J. J. Oral Biol, 39: 263~267, 1997.
- 10) 杉村忠敬：顎顔面バイオメカニクス - 筋電図および骨のひずみによる検討-. 岐歯学誌, 25: 10~17, 1998.
- 11) Y. Yamada, N. Haraguchi, K. Oki, M. Sasaki : Two-dimensional jaw tracking and EMG recording system implanted in the freely moving rabbit. Journal of Neurosciences Methods, 23: 257~261, 1988.
- 12) 松本吉生：咀嚼運動と咀嚼筋活動の関連性に関する臨床的研究。阪大歯誌 42: 173~201, 1997.
- 13) 岡部良博, 藍 稔, 屋嘉智彦, 西山 暁, 佐藤雅之：内側翼突筋に関する筋電図学的検討。補綴誌, 43: 681~688, 1999.
- 14) 長谷川寛, 山本克之, 森谷良彦, 川村倉造, 織井康互, 竹内康司, 黒崎俊一, 飯沼利光, 斉藤嘉久, 中島康二郎, 永瀬光洋, 草間一兵, 山本昭一, 井上恵司：開口筋と閉口筋に関する筋電図学的および運動学的検討。補綴誌, 34: 793~800, 1990.
- 15) W. A. Wejis, R. Dantuma : Electromyography and mechanics of mastication in the albino rat. J. Morph, 146: 1~34, 1975.

- 16) C. G. Widmer, D. I. Carrasco, A. W. English : Differential activation of neuromuscular compartments in the rabbit masseter muscle during different oral behaviors. *Exp. Brain Res.*, 150:297~307, 2003.
- 17) N. G. Blanksma, T. M. G. J. van Eijden, W. A. Wejjs : Electromyographic heterogeneity in the human masseter muscle. *J. Dent. Res.* January, 71: 47~52, 1992.
- 18) U. C. Belser, A. G. Hannam : The contribution of the deep fibers of the masseter muscle to selected tooth-clenching and chewing tasks. *J. prosthetic dentistry*, 56:629~635, 1986.
- 19) A. J. Zwijnenburg, F. Lobbezoo, G. W. Kroom, M. Naeije : Mandibular movement in response to electrical stimulation of superficial and deep parts of the human masseter muscle at different jaw positions. *Archives of Oral Biology*, 44: 395~401, 1999.
- 20) W. A. Wejjs, T. Sugimura, L. J. van Ruijven : Motor coordination in a multi-muscle system as revealed by principal components analysis of electromyographic variation. *Exp. Brain Res.*, 127: 233~243, 1999.
- 21) 中村隆志 : 咀嚼筋調節機構の生理的特性に関する研究. *阪大歯誌*, 32:36~55, 1987.
- 22) 三田貢司, 小林義典 : 咀嚼機能の筋電図学的評価に関する臨床的研究. *歯学*, 76: 711~760, 1988.
- 23) 社浩太郎 : 咀嚼時のヒトのオトガイ舌筋の活動と咀嚼筋, 口輪筋活動ならびに顎運動との協調性について. *阪大歯誌*, 41:7~28, 1996.
- 24) 内田貴之 : 咀嚼側の違いが咀嚼筋活動の協調性に与える影響. *日口診誌*, 5: 287~298, 1992.
- 25) 多和伸浩 : 咀嚼時の閉口筋のEMG Co-ordination Patternについて. *補綴誌*, 15: 48~66, 1971.
- 26) 内田貴之 : 咀嚼側の違いが咀嚼筋活動の協調性に与える影響. *日口診誌*, 5: 287~298, 1992.
- 27) T. Inoue, T. Kato, Y. Masuda, T. Nakamura, Y. Kawamura, T. Morimoto : Modifications of masticatory behavior after trigeminal deafferentation in the rabbit. *Exp Brain Res.* 74 : 579~591, 1989.
- 28) 五十嵐雅子, 島田久八郎 : ウサギの下顎側方運動に関与する筋群への臼歯からの反射性制御. *新潟歯誌*, 21:19~30, 1991.
- 29) T. Morimoto, T. Inoue, T. Nakamura, Y. Kawamura : Characteristics of rhythmic jaw movements of the rabbit. *Archives of Oral Biology*, 30: 673~677, 1985.
- 30) 小濱裕人, 須永 亨, 斉藤孝親, 山野博司, 鈴木義久 : 咀嚼運動軌跡の諸相. *日大口腔科学*, 12: 173~180, 1986.
- 31) 志賀 博, 中島邦久, 小林義典 : 咀嚼運動の機能的分析, 第45報 各種食品咀嚼時における垂直的および側方的運動量. *顎機能*, 10: 7~12, 1992.
- 32) 田中康隆 : EMG Coordination Pattern からみた咀嚼運動の食品差について. *補綴誌*, 32 : 318~332, 1988.
- 33) 森 隆司 : 咀嚼運動経路の研究. *補綴誌*, 26 : 52~75, 1982
- 34) 中島邦久, 志賀博, 小林義典 : 咀嚼運動経路のパターンの違いからみた各種食品咀嚼時の咀嚼筋筋活動. *補綴誌*, 37:1246~1258, 1993.
- 35) G. D. Demetrio : 食品の大きさと硬さが開口量ならびに咀嚼筋活動量に及ぼす影響. *補綴誌*, 40 : 489~500, 1996.
- 36) 有住和浩 : 食品の硬さが咀嚼運動に及ぼす影響に関する実験的研究. *補綴誌*, 33 : 1301~1312, 1989.
- 37) 山田好秋, 山村健介 : 咀嚼時の咬合力調整機構. *新潟歯誌*, 25: 213~214, 1995.
- 38) T. Hirakawa, J. Ishimaru, Y. Handa, K. Kurita, N. Ogi, K. Miyamoto, A. N. Goss, O. Nakanishi : Electromyographic activity of masticatory muscle in sheep. *J. Kyushu Dent Soc*, 55: 123~136, 2001.
- 39) 山田好秋, 原口尚久 : 無拘束・無麻酔のウサギの咀嚼運動, 臼磨運動における歯根膜受容器の関与. *歯基礎誌*, 31:2, 1989.
- 40) Y. Yamada, N. Haraguti, K. Uchida, Y. Meng : Jaw Movement and EMG Activities of Limblicking Behavior During Grooming in Rabbits. *Physiol. Behavior*, 53: 301~307, 1993.
- 41) 原口尚久, 山田好秋, 佐藤俊英 : 無麻酔・無拘束ウサギの咀嚼運動中に観察された閉口時の一過性閉口筋活動について. *歯基礎誌*, 33 : 120, 1991.
- 42) Y. Meng, T. Sato, Y. Yamada : Effects of food consistency on chewing pattern in freely moving rabbits. *Jpn. Oral Biol*, 38: 49~56, 1996.
- 43) W. A. Wejjs, Z. F. Muhl : The effects of digastric muscle tenotomy on jaw opening in the rabbit. *Archs Oral Biol*, 32: 347~353, 1987.