原 著

咀嚼筋 (ウサギ) の機能分析

木 村 忠 文

大阪大学歯学部 口腔生理学教室*

〔受付：昭和48年1月29日〕

抄録：咀嚼に際しての各咀嚼筋の生理的役割を明らかにするため、家兎を用い、特定の咀嚼筋を切除することによって生ずる顎運動パターンの変化・咬合圧の変化および嚥下までの咀嚼動作・咀嚼能率の変化を測定分析した。

咬筋両側切除により咬合圧は著しく減少し、かたい試料に対する咀嚼回数・咀嚼時間が延長し粉砕度が低下した。延長した咀嚼回数・時間や低下した咀嚼能率は日と共に回復した。顎二腹筋の両側切除により下顎の開閉運動範囲の縮小・顎の前方への突き出しがみられ、大きな食物に対して嚥下までの咀嚼回数・時間が著しく延長した。側頭筋側頭部の両側切除では咀嚼機能にほとんど変化が生じなかった。また咀嚼リズムそのものは各咀嚼筋切除によっては大きな影響を受けなかった。

緒 言

顎運動は多くの咀嚼筋の巧妙な協同作用により行なわれている¹⁻³⁾。しかしこれら顎筋の形態あるいは各筋の筋線維走行、あるいは起始部・付着部の位置などそれぞれ相違しているため、顎運動に際して協同的に働く筋についても、あるいは拮抗的に働く顎筋についても、その働き方にそれぞれ特異性が考えられる。

しかるに、各顎筋あるいは各顎筋群が咀嚼運動に際してそれぞれいかなる役割を果しているか、また各顎筋間の有機的な相互協調がいかに行なわれているかの詳細は今日なお十分に明らかにされていない。

本研究は、家兎を用い特定の咀嚼筋を切除することによって生ずる顎運動の変化・咬合圧の変化ならびに嚥下までの咀嚼動作・咀嚼能率の変化を測定分析したものである。

このような切除法 (ablation technique) によっ

て得た結果から、切除された筋が顎運動に際して本来いかなる働きをしているかを推察するとともに、咬合圧・咀嚼動作あるいは咀嚼能率など重要な咀嚼機能に各咀嚼筋の占める生理的役割を考察した。

実験方法

実験には、閉口筋に属する咬筋および側頭筋側頭部と、開口筋に属する顎二腹筋を選び、それぞれに侵襲を加えた (図1)。

A. 顎運動パターンおよび咬合圧

体重約2.0kgの成熟雌雄家兎64羽を使用し、ウレタン麻酔下 (25%溶液4 ml/kg 静注) で実験を行なった。動物の頭部を上顎と左右の外耳道との3点で顎運動を妨げないように固定し、前頭部を開頭して左側大脳皮質顎運動領を十分露出させた。刺激には電子管刺激装置を用い、刺激電極には先端を除き完全に絶縁した直径約150 μ のステンレススチール製の針電極を使用し、不関電極と

Analysis of chewing muscle function in rabbits.

Tadafumi KIMURA (Department of Oral Physiology, Osaka University Dental School, Joanchō, Kitaku, Osaka)

* 大阪市北区常安町 32 (〒530)

Jap. J. oral Biol., 15 : 89-99, 1973.

図 1 咬筋・側頭筋・顎二腹筋の切除部位
(黒く塗った部分)

して $\frac{1}{3}$ 皮下針を残留頭蓋骨中に挿入固定した。持続1.0msec, 頻度 50c/sec の矩型波刺激を用いて大脳皮質顎運動領を刺激し, 咀嚼様顎運動を誘発させた。刺激電圧はすべて閾値の1.5倍とした。

下顎運動パターンの記録には光点軌跡法を用いた。上顎切歯唇側歯冠部に2個の微小光源を垂直にとりつけ, また下顎切歯唇側歯冠部の中央には1個の微小光源をとりつけた。上顎の光点を基準とし, 咀嚼様顎運動時の下顎の光点の軌跡を, 家兎の前方と左側にとりつけた35mm カメラ(焦点距離50mm のレンズ, 絞り5.6, 露出時間0.5 sec, 1.0sec, ベロスコップ付)を用いて暗室にて撮影記録した。

咬合圧の測定のためには, 上下顎第1臼歯から第3臼歯までを咬合面より約1.5mm 水平に削除してトランスジューサー(厚さ4mm, 幅10mm, ストレイン・ゲージ式)を挿入し圧力指示計(日本光電製 SR-4)および増幅器を介して, 上記咀嚼様顎運動時の咬合圧をペン書きレコーダーに記録した(図2)。顎運動パターンおよび咬合圧は, 咀嚼様顎運動の開始より3秒後から約5秒間, 各例につき5回測定し, その平均値を求めた。

咬筋の切除は次の順序によった。剃毛したのち下顎角部から前方に向かって下顎下縁にほぼ平行に約20mm 皮膚を切開し, 次に下顎角部から外耳道の前部に向かって約15mm 切開した。皮膚と筋膜を反転して咬筋と周囲組織を露出したのち, 下顎下

縁に沿って咬筋を離断し, 咬筋窩における咬筋の付着を骨表面より剥離し咬筋をできるだけ広範囲に摘除した。頬骨弓・耳下腺・顔面神経を傷つけないよう注意した。そののち皮膚を縫合した。

側頭筋側頭部の切除は次の順序によった。側頭部皮膚を剃毛したのち, 側頭窩部の皮膚を側頭筋の走行に平行に約12mm 切開し筋を露出した。側頭溝より後方の側頭窩部, および頭頂骨の後外側の付着部より筋を剥離し, 側頭筋側頭部を摘除したのち皮膚を縫合した。

図 2 咬合圧測定法

図には, 顎の開閉運動をストレイン・ゲージを介して記録する方法をも付記した。咬合ゾンドは第1臼歯—第3臼歯部に位置させた。

St: 刺激部位 T: トランスジューサー

顎二腹筋摘除には, 顎下部を剃毛し正中部に切開を行なったのち顎二腹筋を露出し, 筋前半部を摘除した。顎二腹筋前半部の摘除に際しては, 特に顎舌骨筋・内側翼突筋および顎下腺・外頸動脈・舌下神経を傷つけないよう注意した。手術後, 表面皮膚を縫合した。

B. 咀嚼動作および粉砕度

咀嚼動作の分析には体重約2.0kg の雌雄成熟家兎24羽を用いた。動物は1週間以上固型試料(オリエンタル酵母製)および実験試料で飼育し, 人間の手から家兎が試料を摂取するよう慣れさせたのち, 実験を開始した。

咀嚼試料として5種の試料を用いた。試料粉砕に要する咀嚼圧の分析には, かたさの異なる3種の球形の豆菓子を使用した。あらかじめアムスラー型小型材料圧縮試験機によって, 各試料を破砕するのに要する圧を測定した。表1に示すように3種の試料の間には1%以下の危険率で, 破砕に要する圧に有意差があることが認められた。すなわちA試料では1.8kg, B試料では7.4kg, C試料で

表 1 咀嚼試料の破砕圧および大きさ

	crushing force (Kg)
Food A: Bean Cake	1.8±0.5
Food B: Bean Cake	7.4±2.1
Food C: Bean Cake	10.3±3.0

Food A・B・C: 豆菓子の破砕圧

	diameter (mm)	thickness (mm)
Food D: Carrot	8.5	3.0
Food E: Carrot	12.0	6.5

Food D・E: 人参の大きさ

は10.3kg であった。

次に試料の大きさによって咀嚼機能がいかに変化するかをみるために、大きさの異なる2個の円筒形の人参を使用した。すなわちD試料は直径8.5 mm 厚さ3.0mm, E試料は直径12.0mm 厚さ6.5 mm である。人参では試料の性状均一を期するため髄質を除き皮質部のみを使用した。

対照および咀嚼筋切除後約1ヵ月間の咀嚼動作を、各試料に対して1日に5~10回測定した。なお食物摂取を生じやすくするため、実験には測定前約15時間家兎を絶食させた。測定場所と時刻の影響を排除するため、測定は常に同一の場所で正午前後に行なった。咀嚼回数・咀嚼時間は肉眼的観察による計測、または片側咬筋・顎二腹筋の筋電図により求めた。筋電図測定には電極としてエナメル線を用いた。すなわち長さ約1mmの間絶縁を剝離した直径0.3mmのエナメル銅線を、絶縁剝離部が筋中に埋没するよう、その銅線自身で筋の一部を縫合し電極を固定し、増幅器を介してペン書き記録した。観察による測定結果は、筋電図により測定した咀嚼回数・時間とほぼ一致することが確認できた。咀嚼回数・咀嚼時間・咀嚼リズムの算定に用いた咬筋および顎二腹筋筋電図の1例を図3に示した。

長期飼育した慢性実験での動物の筋切除は、ネンブタール麻酔下(25mg/kg 静注)で急性実験の場合と同様の方法を用いた。それぞれ切開部皮膚には術後ヨードチンキを塗布し感染を防ぎ、さらにブドウ糖(5%, 10 ml 第一製薬製)および結晶ペニシリンG(10万単位, 万有製薬製)を筋注

図 3 咀嚼中の咬筋・顎二腹筋筋電図の1例, 咀嚼回数・咀嚼時間・咀嚼リズムはこの筋電図により求めた。

図 4 粉砕度測定のための試料採集法
カニューレを介し、嚥下した試験試料を食道より回収し、粉砕度を測定した。

して感染防止に努めた。なお、侵襲を加えた各筋が残部あるいは骨と再付着していないことを、測定終了後に確認した。

試料の粉砕能力の測定実験には家兎43羽を用いた。ネンブタール麻酔下(25 mg/kg 静注)で家兎の胸部食道に食道瘻を作製し、図4のような内径5 mmのビニール製カニューレを挿入した。麻酔中止後6時間以上経過して咀嚼回数が術前とほぼ同じレベルに回復したことを確認したのち、前記A・C・D・Eの4種の試料を3個ずつ与え、動物が咀嚼嚥下した試料をカニューレを介し回収した。試料回収後はさらに注射筒にて家兎に水を与えて口腔内および咽頭・食道内の洗浄を行ない、その洗浄水中に含まれた試料の細片をも回収した。

回収した試料は石原の方法⁹⁾に準じて篩分した。すなわち、ピーカーに入れた10mesh篩・20 mesh篩上に砕料を注ぎ、篩が浸るまで水道水を流入し、上下に十分振って攪拌したのち篩分けを行ない、10mesh篩・20mesh篩に残留する試料を求めた。各篩残留粒子は恒温乾燥器内で100°C 3時間乾燥し、0.1mgまで天秤で秤量し、試料原量の乾燥重量に対する百分率に換算して篩上%とした。そして100%から篩上%をさしひいた篩

通過%を粉碎度とした。

粉碎度の測定は、対照・咀嚼筋切除後約2日目、咀嚼筋切除後25日目に行ない、それぞれ数匹の平均値および標準偏差を求め比較検討した。

実験結果

A. 1. 顎運動パターン

家兔の左側大脳皮質顎運動領電気刺激により生じた典型的な顎運動パターンを図5に示した。すべての家兔において前額平面では右側にふくらんだ凸レンズ状の軌跡を描き、大きく開口運動・閉口運動・側方滑走運動の3運動成分に分けられた。すなわち、前額平面ではわずかに右側に彎曲した弧を描いて下降し（開口運動）、次に開口経路よりさらに外側で強い彎曲を描きながら上昇し（閉口運動）、上顎歯牙と接触し側方に滑走する（側方滑走運動）。最大開閉運動範囲は平均9.8mm (7.8~12.1mm)，最大側方運動範囲は平均3.8mm (2.5~5.8mm)，であった。

図5 左側大脳皮質顎運動領を電気刺激することにより生じた典型的な顎運動パターン

St: 刺激部位 L: 微小光源

(左)前額平面 (右)矢状平面

前額平面では刺激と反対側にふくらんだ凸レンズ状の顎運動軌跡を描き、開口運動、閉口運動・側方滑走運動の3成分が認められた。矢状平面では直線に近いなめらかな曲線を描いた。

矢状平面では切歯路は直線に近いなめらかな曲線を描き、開口時と閉口時の経路がわずかに異なることもあった。咀嚼筋切除後の顎運動パターンの変化は、それぞれの家兔について術前の開閉運動範囲・側方運動範囲の値を100%としたときの百分率変化で示し、平均値および標準偏差を求めた。

顎運動パターンは、咬筋片側切除の場合も両側

図6 咬筋切除による顎運動パターンおよび咬合圧の変化

(上)切除部位 (中)顎運動パターン (下)咬合圧 r: 右側 l: 左側 LM: 左側咬筋切除 RM: 右側咬筋切除

切除の場合も、術前とほとんど変化しなかった(図6)。

側頭筋側頭部切除では、左側切除の場合のみ側方運動範囲が平均9.5%縮小したが、右側切除・両側切除ではほとんど変化がみられなかった(図7)。

図7 側頭筋側頭部切除による顎運動パターンおよび咬合圧の変化

(上)切除部位 (中)顎運動パターン (下)咬合圧 r: 右側 l: 左側 LT: 左側側頭筋側頭部切除 RT: 右側側頭筋側頭部切除

図8 顎二腹筋切除による顎運動パターンおよび咬合圧の変化

(上)切除部位 (中)顎運動パターン (下)咬合圧 r: 右側 l: 左側 LD: 左側顎二腹筋切除 RD: 右側顎二腹筋切除

顎二腹筋切除によって顎運動パターンは大きく影響を受け、片側切除で図8に示したごとく、開口した場合に顎が健側にひばられた。左側顎二腹筋の切除では開閉運動範囲が開口位で平均1.2mmすなわち約12%縮小し、右側筋の切除では平均1.4mmすなわち約14%縮小した。また両側顎二腹筋の切除によって開閉運動範囲が平均3.6mmすなわち約37%縮小し、複雑な8字型パターンを示した。同時に最大開口位において平均2.5mmの下顎の著しい突き出しがみられた。すなわち下顎が後方に振れる度合が約24%に減少した。

2. 咬合圧

左側大脳皮質顎運動領電気刺激によって誘発させた対照動物の上下顎咬合時の咬合圧は、左右で有意の差はなく共に平均6.9kgであった。個々の家兎の左側・右側における術前の値をそれぞれ100%とし、筋切除後の咬合圧を百分率であらわした。

図6に示したように、咬筋切除によって咬合圧は著明に減少した。左側咬筋のみの片側切除で、咬合圧は右側で平均64%に減少し、左側で平均62%に減少した。また右側咬筋のみの片側切除では、右側で対照の平均35%に、左側で平均49%に減少した。片側咬筋切除の場合でもこのように切除側のみでなく、健全側の咬合圧も共に減少した。両側切除では右側で平均1.6kgすなわち対照の約23%に、また左側で平均2.1kgすなわち約31%にまで減少した。

側頭筋側頭部切除・顎二腹筋切除では、図7、図8で示すように咬合圧にはほとんど変化がみられなかった。

B. 1. 咀嚼動作

咀嚼筋切除後の咀嚼回数・時間は、術前の回数・時間をそれぞれ100%としたときの百分率変化であらわし、咀嚼リズムは測定後算出した。

咬筋両側切除により生じた試験試料を嚥下するまでの咀嚼回数・咀嚼時間・咀嚼リズムの変化は、実験動物6羽についてほぼ同様の傾向が認められた。すなわち、やわらかい豆Aでは咀嚼回数・時間には術後もほとんど変化が生じなかった。これに対し、中等度のかたさの豆Bでは、いずれの動物についても術後第1日目は咀嚼するこ

とが不可能で術後2日目より咀嚼可能となり、術後10日間は咀嚼回数と時間が延長し、各実験ごとの値の動揺が著明に認められた。

かたい試料Cについては、いずれの動物においても術後試料を嚥下するまでの咀嚼回数・時間が著明に延長した。ただし術後咀嚼しうようになるまでの日数には個体差が認められ、術後2日目より咀嚼したもの3羽、4日目のもの2羽、5日目のもの1羽であった。このように、咀嚼しうようになる日数にはかたい試料Cについてのみ個体差があったが、6羽のうちいずれも咀嚼回数・時間の著明な延長を認めたので、その1例を図9に示した。本例については術後4日目より試料C

図9 咬筋両側切除による咀嚼回数および咀嚼リズムの変化

(左)縦軸: 切除前の咀嚼回数を100としたときの切除後の百分率変化

横軸: 切除後の日数

(右)縦軸: 切除後の咀嚼リズムの変化

横軸: 切除後の日数

A・B・C: 豆菓子 D・E: 人参

を咀嚼するようになったが、咀嚼回数・時間が対照の3～5倍に著しく延長し、またその値には大きな動揺がみられた。爾後、日を追って次第に回復し術後11日で術前の値に戻った。

試料Dではいずれの動物についても術後1日目に咀嚼回数・時間の延長を示したが、その後はほとんど変化せず各実験毎の値もほぼ同じで動揺も小さかった。

大きな人参Eでは術後2日間咀嚼回数・時間がともに延長したが、それ以後は術前の値にもどった。

また、咀嚼リズムは咬筋両側切除後どの試料についてもほとんど影響を受けなかった。

咬筋片側切除によっては咀嚼回数・咀嚼時間・

咀嚼リズムともにいずれの動物についてもほとんど変化が生じなかった。切除後1日目は切除と反対側のみで試料を咀嚼したが、2日目からは両側で咀嚼できるように回復した。

側頭筋側頭部両側切除の家兎4羽について、咀嚼回数・時間・リズムはA・B・C・D・Eのいずれの試料についてもほとんど術前と変化がみられなかった(図10)。

図10 側頭筋側頭部両側切除による咀嚼回数および咀嚼リズムの変化

(左)縦軸: 切除前の咀嚼回数を100としたときの切除後の百分率変化

横軸: 切除後の日数

(右)縦軸: 切除後の咀嚼リズムの変化
横軸: 切除後の日数

A・B・C: 豆菓子 D・E: 人参

図11 顎二腹筋両側切除による咀嚼回数および咀嚼リズムの変化

(左)縦軸: 切除前の咀嚼回数を100としたときの切除後の百分率変化

横軸: 切除後の日数

(右)縦軸: 切除後の咀嚼リズムの変化
横軸: 切除後の日数

A・B・C: 豆菓子 D・E: 人参

顎二腹筋両側切除の家兎5羽について、試料A・B・C・Dについて咀嚼回数・咀嚼時間・咀嚼リズムともにほとんど変化がみられなかった(図11)。大きな人参Eについては顎二腹筋両側切除により、術後3日間は咀嚼不可能で4日目より咀嚼

可能となり、5～8倍の著しい咀嚼回数・時間の延長と動揺がみられた。爾後、経日的に次第に回復傾向を示したが、術後2カ月を経過しても依然として術前の約2倍の咀嚼回数・時間を必要とした。咀嚼リズムは試料A・B・C・Dについてはほとんど術前と変化が認められなかったが、大きな人参Eでは術前よりわずかにリズムが遅くなる傾向がみられた。咀嚼時、顎の開閉運動範囲の縮小がみられ、大きな人参では試料の捕捉および臼磨運動が少し困難に思われ、切歯部での咬断をたびたび繰り返す場合が認められた。

顎二腹筋両側切除後2カ月の家兎について麻醉下にて大脳皮質顎運動領を刺激し誘発させた顎運動のパターンは、急性実験の場合に顎二腹筋両側切除でみられたのと類似の顎運動パターンを示した。すなわち、顎運動パターンは対照動物に比べ、開閉運動範囲の縮小・顎の突き出しなど大きく影響を受けた。

なお手術侵襲そのものの影響を検討するため偽手術(sham operation)をほどこした家兎につき前記と同様の実験を行なった。すなわち、咬筋・側頭筋側頭部・顎二腹筋をすべて露出させ筋表面

図12 sham operation による咀嚼回数および咀嚼リズムの変化

(左)縦軸: 切除前の咀嚼回数を100としたときの切除後の百分率変化

横軸: 切除後の日数

(右)縦軸: 切除後の咀嚼リズムの変化
横軸: 切除後の日数

A・B・C: 豆菓子 D・E: 人参

にわずかの切創を2・3カ所加え再び皮膚を縫合した。図12に示したように咀嚼回数・咀嚼時間・咀嚼リズムには何ら認めるべき変化は生じなかった。

2. 粉砕度

食道カニューレを介して動物が咀嚼した試料の

約97%が回収できた。食道カニューレを挿入したままで動物を長期間健康に保たせることは不可能であったので、咀嚼筋の切除前後につきそれぞれ別の家兔を用い数匹の平均値と標準偏差を求めて粉砕度を比較した。

図13は両側咬筋切除動物の3例について、回収した試料をふるい分けした時、ふるいに残留した粒子の量を示す。A・Cの豆菓子では20meshの篩が、D・Eの人参では10meshの篩が、それぞれの試料が最初にひっかかる最も大きな網目の篩であった。ゆえに、これら篩に残留した試料の量をそれぞれとり上げ、粉砕度比較の指標とした。対照・咬筋両側切除後2日目、および術後25日目のそれぞれの家兔を比較すると、かたい豆Cにおいてのみ切除後2日目には対照に比べ多くの粒子が篩に残留した。しかし25日後には術前に近い残留量を示した。他のA・D・Eの試料では、術後2日後も25日後も術前に比べ嚥下試料の粉砕度に著しい変化は認められなかった。

図 13 食道カニューレより回収した試料の篩上残留粒子
(左)切除前 (中)咬筋両側切除後2日目
(右)咬筋両側切除後25日目
A・C: 豆菓子 D・E: 人参

咬筋・側頭筋側頭部・顎二腹筋のそれぞれ両側切除前後における粉砕度を図14に示した。かたい豆Cにおいて咬筋両側切除の際の家兔では20 mesh 篩による粉砕度は術前96.3%であったが、咀嚼が可能となった切除後約2日目(2~5日目)では88.6%であった。術前の値との間に1%以下の危険率で有意差が認められた。しかし術後25日目の動物では95.2%と、術前の値とほとんど変化ないまでに回復した。側頭筋側頭部両側切除および顎二腹筋両側切除の動物では、かたい豆におい

図 14 粉砕度の変化
M: 咬筋両側切除 T: 側頭筋側頭部両側切除 D: 顎二腹筋両側切除
■ 切除前 ▨ 切除後約2日目 □ 切除後25日目
(A) (C): 豆菓子 (D) (E): 人参

図 15 咬筋両側切除前後の咀嚼回数と粉砕度の関係 縦軸: 咀嚼回数 横軸: 粉砕度
● 切除前 ○ 切除後約2日目 ○ 切除後25日目
丸印1個が1羽の値を示す。

ても咬筋両側切除でみられたような粉砕度の変化は認められなかった。また他の試料A・D・Eにおいて咬筋・側頭筋側頭部・顎二腹筋のいずれの筋を切除しても、術前と比べ術後2日目、術後25日目の値の間に著しい相違はみられなかったが、

対照に比べ個体差が大きく動揺が大きかった。

咬筋両側切除の場合の咀嚼回数と粉砕度の関係を図15で示した。図により咬筋切除直後には咀嚼回数が延長しているが同時に咀嚼能率も低下していることがわかる。咀嚼回数の回復した術後25日目には能率も回復している。

考 察

本研究においては、人と同様に咀嚼に際し臼磨様の顎運動が通常認められ、また慢性実験が比較的行ないやすく、しかも大脳皮質を容易に刺激して顎運動を誘発させる家兎を用いた。

また咀嚼運動に重要であると考えられ、しかも切除による動物への侵襲をできるだけ少なくする必要があることから、咬筋・側頭筋側頭部・顎二腹筋を選んだ。側頭筋の切除部分は、Hanai ら⁵⁾、Schumacher and Rehmer⁶⁾ による分類を用い、側頭筋側頭部とした。

家兎の大脳皮質電気刺激により顎運動を誘発した部位は Kawamura and Tsukamoto⁷⁾ らによって示された、area insularis の吻側で area post-centralis の外側に囲まれた部位に局在した。50c/sec の刺激ではリズムある咀嚼様顎運動が生じ、麻酔の深度および刺激条件を一定にしておけばほとんど一定の顎運動パターンが得られた。かつ自然の状態における咀嚼運動パターンに類似した顎運動が得られ、咬合圧もほとんど一定であった。したがって大脳皮質刺激による顎運動によって、咀嚼筋切除による顎運動パターン・咬合圧に対する影響を明確に把握することができた。

咀嚼能率の測定のためカニューレを胸部食道に挿入した方法では、動物が比較的自然の状態で食物を咀嚼嚥下でき、しかも97%という確実な試料の回収結果を得た。

咀嚼試料として試料のかたさの影響を見るために用いた豆菓子には、保存しやすく性質が変化しにくくて、含水量が少なくかつ一定であり⁸⁾、また大きさもほぼ一定で被破砕性に富んでいた。また試料の大きさが顎運動にいかに関与するかを分析するためには人參の皮質部を使用した。いずれの試料もかみ砕かれて細かく粒子や細片になり、また篩にかけやすく、咀嚼能率の判定試料として適

当であった。

また豆菓子で20meshの篩を、人參で10meshの篩を利用したのは、これらの篩がそれぞれの試料が最初にひっかかる最も大きな網目の篩であったため、人の場合の Manly and Braley⁹⁾、石原⁴⁾、橋本⁸⁾の研究と同様、最も敏感に検出でき収量の点ですぐれていた。

筋電図を用いた従来の研究¹⁰⁻¹⁷⁾によれば、咬筋は閉口運動・下顎の前方移動に関与し、また咀嚼時・咬合時に特に活動して作業側咬筋が平衡側より著しい放電を示している。本実験結果では、咬筋切除により顎運動パターンには変化がみられなかったが、咬合圧は著明に減少した。片側咬筋切除の場合でも、切除側のみでなく健側も含めて両側とも減少するのが認められた。右側の咬筋切除では咬合圧が右側で35%、左側で49%に減少し、左側の切除により右側64%、左側62%となったのは、誘発された運動パターンから右側が作業側であると考えられ、そのために右側切除が左側切除の場合より咬合圧の減少度が著しかったのであろう。咬筋両側切除では右側で平均23%に、左側で平均31%に減少した。このことから、内側翼突筋・側頭筋眼窩部などの他の閉口筋群が働いているとはいえ、咬合圧の力源は咬筋に負うところが非常に大きいことが推測できる。したがって咬筋は顎運動パターンそのものよりはむしろ、咬合圧・咀嚼圧の力源として食物の粉砕に重要な役割を果していると考えられる。両側咬筋切除によって咀嚼機能の低下した状態で生じる咀嚼回数・咀嚼時間の延長は、嚥下できるよう試料を一定の粉砕度にするための生理的代償作用と推察できる。

そもそも人について咀嚼機能の低下を代償するには色々な機構が考えられる²⁾。嚥下までの咀嚼回数・咀嚼時間を延長し一定の粉砕度にまで食物を整えてから嚥下するように調整されること¹⁸⁻²¹⁾、咀嚼不十分のものでも嚥下する習慣が形成されること²²⁻²⁶⁾、あるいは摂取食物の性質・量を選択し、舌運動を活発にすることなどが考えられる。Gelman¹⁸⁾は口腔状態不良の人は咀嚼能力の低下を補うため咀嚼時間を増加させると述べた。また河村・塚本¹⁹⁾は歯牙削去や片側咬筋切除など咀嚼能力を突然低下させた場合、動物は平素

の咀嚼習慣を変化させ咀嚼回数・時間を延長させて能力低下を補い、嚥下食物を平素の粉碎度と同一レベルにせんとする代償性変化を行なうことを示し、口腔・咽頭部の食物粉碎度判別の感覚によって咀嚼動作から嚥下に切り換えていると考察している。また Kawamura and Nobuhara²⁰⁾ も不正咬合者は正常咬合者に比し嚥下までの咀嚼回数や時間が長く、また各実験の変動も大であったと述べている。また Vinton and Manly²¹⁾ らは、上下総義歯患者で、回数に関係せず一定度に粉碎されると食物は嚥下されると述べた。

これら代償作用的見解に対して、Yurkstas^{22,23)} は咀嚼能力の低下した者は咀嚼回数を増加させて機能を補うのではなく粗大粒子の嚥下に慣れることを強調し、Sognaes²⁴⁾ や Kapur and Okubo²⁵⁾ も臼歯を抜去したラットが餌を大きいままで嚥下することを述べた。また Dahlberg²⁶⁾ は食物の粉碎度にかかわらず一定咀嚼回数で嚥下する咀嚼習慣成立を暗示した。

以上のごとく咀嚼習慣の形成に大きく2つの見解があるが、いずれの適応行動が生じるかは主として、咀嚼機能低下が生じてからの日数に大きく関係しているものと考えられる。本実験において、咬筋を切除した直後やわらかい試料に対する粉碎度は術前と比べほとんど変化がなかったが、かたい試料に対する粉碎度は低下し、この咬筋両側切除による機能低下を動物は咀嚼回数・時間の延長によって調整しようとしていることが明らかになった。しかし、かたい試料の場合は十分に粉碎することができず、粗大な粒子のまま嚥下した。この事実は食物のかたさがこのような調整行動の背後に影響していることを物語っている。

さらに本実験で、咬筋の両側切除後にかたい食物に対して著しく延長した咀嚼回数・時間が経日的に次第に回復し、約10日で術前の値にもどり、また低下した粉碎度も切除後25日目には回復したことは、内側翼突筋をはじめ他の残存筋の代償的活動が日時の経過と共に有効に働き出すことが考えられる。

強くかむことを続けていると次第に咬合力が増加することがすでに知られており^{27,28)}、また一側咀嚼の習慣のある人では多くの場合作業側が平衡

側の2倍以上の咬合圧を示す²⁹⁾。Hettinger and Müller²⁹⁾ は骨格筋の訓練により筋の断面積が増大し筋力が増強すると述べている。本実験においては内側翼突筋・側頭筋眼窩部が次第に咀嚼力を惹起するよう訓練されてきたため、咀嚼回数・時間の延長が次第に回復してきたのであろう。

側頭筋は人において下顎の挙上・咬合・顎の後方移動・外側移動などに関与するといわれてきた¹⁰⁻¹⁷⁾。しかし家兎においては本実験の示すごとく側頭筋側頭部は食物粉碎そのものにはあまり重要な役割を果たしていないことが推察される。家兎の側頭筋側頭部が人の側頭筋と形態的に異なった付着をしていることも考慮する必要がある。

次に顎二腹筋は家兎においても強力な開口筋であることが確認できた。片側切除により顎の開口運動が約12~14%縮小され、また両側切除で約37%制約され、下顎が複雑な運動パターンを描き著しい突き出しを示し、これに伴って咀嚼機能が低下したことは、両側切除後2カ月を経過しても大きな人参に対して咀嚼回数が術前の約2倍に延長したままであることから理解できる。従来の筋電図法の結果も、顎二腹筋が開口運動や顎の引っ込めに関与していることを示している^{10,12,14-17)}。顎二腹筋切除により顎の突き出しが見られたのは、下顎の突き出し時に活動する外側翼突筋の働きが顎二腹筋の切除により著明にあらわれたためであろう。

Moyers¹⁰⁾、河村^{2,12)}、Ramfjord and Ash¹⁷⁾によれば、顎二腹筋は他の舌骨上筋群や外側翼突筋とともに顎の下制運動に関与しているが、特に外側翼突筋は開口運動を開始させ、顎二腹筋はある程度以上の開口に関与してこの運動を完成させる。本実験で両側顎二腹筋切除によって特に大きな食物に対する咀嚼回数・時間が延長したことは、通常大きな食物を咀嚼する際に顎二腹筋が強く働いて口を開けさせていることを示している。しかし、顎二腹筋切除によっても小さな食物に対して咀嚼動作に変化がなかったことは、顎舌骨筋・オトガイ舌骨筋など顎二腹筋以外の舌骨上筋群や、外側翼突筋のみでも、生理的に調節しながらある程度までは咀嚼できることを示している。

咀嚼運動に際して、開口筋・閉口筋間の相反性

神経支配によってリズムある顎の運動が行なわれていることはすでに明らかであるが^{2,3,17)}、本実験結果によっても、閉口時には開口筋の弛緩のみによって閉口や咀嚼力の発現が行なわれるのではなく、咬筋の能動的な収縮によって食物を粉碎することがわかり、また開口に際しては閉口筋の弛緩のみによってなされるのではなく顎二腹筋が積極的に収縮して顎を巧妙に誘導していることが明らかになった。このように各咀嚼筋はそれぞれ働き方に特異性をもち合目的に咀嚼運動に関与している。

咬筋のみ切除しても、側頭筋側頭部のみ切除しても、また顎二腹筋の切除によっても咀嚼リズムはほとんど影響されなかった。

咀嚼筋群のうちいずれかが損傷されても、残存筋や歯根膜・口腔粘膜それに顎関節からの求心性インパルスによるフィードバックにより、残った筋が代償的に働き、口腔内の食塊の大きさ、かたさなどに応じて生理的に顎運動を調整しながら咀嚼機能を営んでいると考えられる。

総 括

家兔を用い、大脳皮質顎運動領を電気刺激して咀嚼様顎運動あるいは咬合運動を誘発させ、咬筋・側頭筋側頭部・顎二腹筋をそれぞれ切除することによって生ずる顎運動パターンの変化・咬合圧の変化を測定した。次に慢性動物について嚥下までの咀嚼動作・咀嚼能率の変化をも測定分析し、次の結果を得た。

1) 顎運動パターンは両側咬筋切除によってもほとんど影響を受けなかった。しかし咬合圧は両側咬筋切除により著しく減少し、術前の約27%に減少した。やわらかい試料を嚥下するまでの咀嚼動作は両側咬筋切除によってもほとんど変化しなかったが、かたい試料では嚥下までの咀嚼回数・咀嚼時間が著しく延長・動揺し、嚥下された試料の粉砕度も対照に比べて劣った。咀嚼リズムは咬筋切除によってもほとんど変化を受けなかった。両側咬筋切除によって延長した咀嚼回数・時間は日とともに次第に回復し約11日で術前とほぼ同じ値になり、また粉砕度も回復した。

2) 両側の側頭筋側頭部の切除によっても、顎

運動パターン・咬合圧・咀嚼動作・粉砕度のいずれにも特記すべき変化を認めなかった。

3) 顎二腹筋の切除により、咬合圧にはほとんど変化が生じなかったが、顎運動パターンに大きな変化がみられた。両側切除により下顎の開閉運動範囲が約37%縮小し、複雑な運動パターンを示すようになり同時に開口位での下顎の前方への突き出しがみられた。大きな試料に対しては嚥下までの咀嚼回数・咀嚼時間の著しい延長・動揺がみられ、2カ月後も延長が続いた。咬合圧・咀嚼リズム・粉砕度はほとんど変化しなかった。

4) 咀嚼リズムそのものは、咬筋のみ、側頭筋側頭部のみ、あるいは顎二腹筋のみの切除によっては大きな影響を受けなかった。

稿を終るに臨み、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜った河村洋二郎教授に対し衷心より感謝の意を表します。また種々御教示を戴いた岐阜歯科大学口腔生理学教室、船越正也教授に厚くお礼申し上げます。併せて本実験を行なうにあたり種々御協力を戴いた口腔生理学教室諸兄に厚く感謝します。

本論文の要旨は、第12回歯科基礎医学会総会（1970年11月、横須賀）、第18回IADR日本支部会（1970年11月、東京）および第46回近畿生理学談話会（1972年10月、大阪）において発表した。

文 献

- 1) KAWAMURA, Y.: *Recent Advances in the Physiology of Mastication, Oral Physiology* (edited by N. Emmelin and Y. Zotterman), 163-204, Pergamon Press, Oxford and New York, 1972.
- 2) 河村洋二郎：口腔生理学，158-232頁，永末書店，京都，1972.
- 3) KAWAMURA, Y., FUNAKOSHI, M. and TAKATA, M.: Reciprocal relationships in the brain-stem among afferent impulses from each jaw muscle on the cat. *Jap. J. Physiol.*, 10 : 585-593, 1960.
- 4) 石原寿郎：篩分法による咀嚼能率の研究。口腔病会誌，22 : 207-255, 1955.
- 5) HANAI, H., OHTANI, Y., SAWA, H. and FUJIWARA, I.: On relations between M. temporalis and the superior head of M. pterygoideus lateralis in rabbit. *Okajimas Folia Anat. Jap.*, 34 : 299-321, 1961.
- 6) SCHUMACHER, G. H. und REHMER, H.: Über einige Unterschiede am Kauapparat bei Lagomorphen und Rodentia. *Anat. Anz.*,

- 111 : 103-122, 1962.
- 7) KAWAMURA, Y. and TSUKAMOTO, S.: Analysis of jaw movements from the cortical jaw motor area and amygdala. *Jap. J. Physiol.*, **10** : 471-488, 1960.
- 8) 橋本 謙 : 篩分法による各種咀嚼粉碎試験用食品の比較について. 口腔病会誌, **26** : 648-676, 1959.
- 9) MANLY, R. S. and BRALEY, L. C.: Masticatory performance and efficiency. *J. Dent. Res.*, **29** : 448-462, 1950.
- 10) MOYERS, R. E.: An electromyographic analysis of certain muscles involved in temporomandibular movement. *Am. J. Orthod.*, **36** : 481-515, 1950.
- 11) CARLSÖÖ, S.: Nervous coordination and mechanical function of the mandibular elevators. *Acta Odontol. Scand.*, **10**, Suppl. **11** : 1-132, 1952.
- 12) 河村洋二郎 : 咀嚼筋の筋電図, 最近の筋電図学 (吉井直三郎, 堀浩編), 121-141頁, 永井書店, 大阪, 1956.
- 13) GREENFIELD, B. E. and WYKE, B. D.: Electromyographic studies of some of the muscles of mastication. I. Temporal and masseter activity in various jaw movements in normal subjects. *Br. Dent. J.*, **100** : 129-143, 1956.
- 14) 三浦不二夫 : 筋電図法による咀嚼筋の活動様式に関する研究 (特に咬筋, 側頭筋, 顎二腹筋について). 口腔病会誌, **23** : 291-320, 1956.
- 15) HICKEY, J. C., STACY, R. W. and RINEAR, L. L.: Electromyographic studies of mandibular muscles in basic jaw movements. *J. Prosthet. Dent.*, **7** : 565-570, 1957.
- 16) MØLLER, E.: The chewing apparatus. An electromyographic study of the action of the muscles of mastication and its correlation to facial morphology. *Acta Physiol. Scand.*, **69**, Suppl. **280** : 1-214, 1966.
- 17) RAMFJORD, S. P. and ASH, M. M.: Occlusion, Press of W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1966.
- 18) GELMAN, S. E.: Die Bedeutung des Kauaktes für die Verdauung. *Z. Stomat.*, **30** : 957-970, 1932.
- 19) 河村洋二郎, 塚本周作 : 咀嚼習慣形成機序に関する実験的研究, I. 食物粉粒度と嚥下閾. 歯界展望, **16** : 1039-1046, 1959.
- 20) KAWAMURA, Y. and NOBUHARA, M.: Studies on masticatory function. II. The swallowing threshold of persons with normal occlusion and malocclusion. *Med. J. Osaka Univ.*, **8** : 241-246, 1957.
- 21) VINTON, P. and MANLY, R. S.: Masticatory efficiency during the period of adjustment to dentures. *J. Prosthet. Dent.*, **5** : 477-480, 1955.
- 22) YURKSTAS, A.: Compensation for inadequate mastication. *Br. Dent. J.*, **91** : 261-262, 1951.
- 23) YURKSTAS, A. A.: The masticatory act. *J. Prosthet. Dent.*, **15** : 248-260, 1965.
- 24) SOGNAES, R. F.: Studies on masticatory efficiency. II. Masticatory efficiency of rats. *Am. J. Orthod.*, **27** : 383-388, 1941.
- 25) KAPUR, K. K. and OKUBO, J.: Effect of impaired mastication on the health of rats. *J. Dent. Res.*, **49** : 61-68, 1970.
- 26) DAHLBERG, B.: The masticatory habits. *J. Dent. Res.*, **25** : 67-72, 1946.
- 27) BREKHUS, P. J., ARMSTRONG, W. D. and SIMON, W. J.: Stimulation of the muscles of mastication. *J. Dent. Res.*, **20** : 87-92, 1941.
- 28) YURKSTAS, A.: The effect of masticatory exercise on the maximum force tolerance of individual teeth. *J. Dent. Res.*, **32** : 322-327, 1953.
- 29) HETTINGER, TH. and MÜLLER, E. A.: Muskelleistung und Muskeltraining *Arbeitsphysiologie*, **15** : 111-126, 1953.