

咀嚼運動のメカニズム

松本歯科大学 教授 (総合歯科医学研究所 顎口腔機能制御学部門)

ますだ 増田
ゆうじ 裕次

口から食事をとるときに、必ず口の中で食物を咀嚼するという行動が必要になってきます。咀嚼では、上下の歯で食物を噛んで小さくしていますが、咀嚼とは「噛む」だけでなく、顎や舌が巧みな運動を行い、唾液（あるいは水分）と小さくした食物を混ぜて飲み込める（嚥下できる）状態にすることです。このような咀嚼運動について解説します。



1. 咀嚼運動

摂食・嚥下のプロセスは5期モデルとして提唱され、認知期、準備期、口腔期、咽頭期、食道期に分けられています。この5期モデルのうち、口腔で行われる準備期と口腔期が広い意味での咀嚼と捉えることができます。咀嚼により、口腔内の食物が粉碎され、唾液などの水分と混和されて食塊が形成され、咽頭まで輸送されます。この食塊は嚥下できる状態のものである必要があります。咀嚼では食物の粉碎を効率よく行うことと、下顎が舌や頬粘膜と協調した運動を行い混和や移送が上手にできることが必要です。

A) 下顎運動

咀嚼運動をしているときの顎運動を前から見たときの軌跡を図1 Aに示します。下顎は開いたあとどちらか一方に側方運動しながら閉じてきて、その後、歯がかみ合うところに向かって正中に向かうような運動を行います。このように側方運動をするのは、歯の噛み合せの形態をうまく使ってすりつぶす運動をするためです。モルモットの咀嚼中の下顎運動の軌跡を図1 Bに示します。大きな側方運動を持って、毎回、運動する方向が左右交互に動いています。歯の噛み合せの部分が少し傾斜をもった平面のためにこのような運動ができ、効率よくすりつぶす運動をしています。一方で、ネコでは尖った歯で噛み切るような運動をするので、ヒトやモルモット

のような側方運動を行いません。ヒトの効率よい咀嚼のためには、このような側方運動が必要です。

B) 舌運動

咀嚼中に舌は非常に重要な役割を演じています。口腔内の食物を集めたり、歯の上に乗せたりを巧みに行っていきます。そのために咀嚼中の下顎の開閉口に合わせた運動を行っています(図2)。開口時には、準備相として舌上に食物が乗るような形態をと

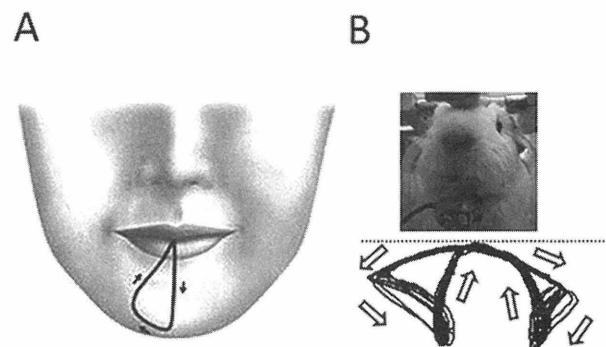


図1 ヒト (A) とモルモット (B) の咀嚼中の顎運動。前頭面で見た時の切歯点の軌跡。

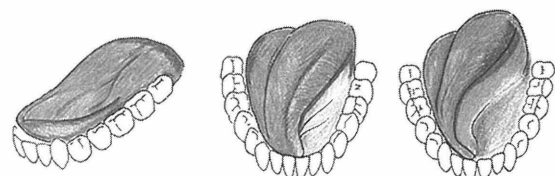


図2 咀嚼中の舌運動
A: 準備相、B: ねじれ相、C: 保持相

り、閉口時にねじれ相として食物を歯の上に運ぶような運動をし、上下の歯で食物を噛むときには保持相として食物が歯の上からこぼれないような形態をとります。このように形を変えながら、開口時には舌は前方に移動し、閉口時には後方に移動しています。舌運動を行うために、舌には骨から舌に付いている筋（外舌筋）と舌の中で走行している筋（内舌筋）があります。外舌筋は舌を移動させ、内舌筋は舌の形を変えることができます。

2. 咀嚼運動制御

咀嚼運動を行うためには、左右両側の咀嚼筋（閉口筋・開口筋）、舌筋（外舌筋・内舌筋）、表情筋がタイミングよく活動する必要があります。これらの筋に収縮命令を送る運動ニューロンは橋・延髄の運動核（咀嚼筋：三叉神経運動核、舌筋：舌下神経核、表情筋：顔面神経核）に存在し（図3）、空間的にも離れた場所に存在していますが、咀嚼運動を行うときには各筋に命令を送るこれらの運動ニューロンが連携して活動（活動量や活動タイミング）することが必要なため、そのためのネットワークが構築されていなければなりません。

咀嚼運動を制御する神経機構を考える時に、咀嚼運動の特徴として、A) リズミカルな運動であること、B) 左右の筋および異なる器官（下顎、舌、口唇など）の協調運動であること、C) 感覚入力により修飾されることが挙げられます。

A) リズミカルな運動

咀嚼中は意識しなくとも、下顎は一定のリズムを持って開口と閉口を繰り返しています。リズミカルな顎運動を制御しているのは、中枢のパターン形成機構（Central Pattern Generator: CPG）であると考えられています¹⁾。大脳皮質からの入力や延髄の網様体に投射し、CPGにより咀嚼に適したリズム性の活動が形成され、開閉口筋の運動ニューロンをリズミカルに活動させています。このようなリズムは神経ネットワークで形成されると考えられますが、シナプス入力無くともリズミカルな活動をするニューロンが三叉神経主知覚核で見つけられ¹⁾、リズム形成に関与している可能性が示唆されています。このことは歩行のリズム形成に、細胞膜の興奮特性によって歩行のリズムに一致して内在的にバースト活動をする介在ニューロンの存在に類似するか

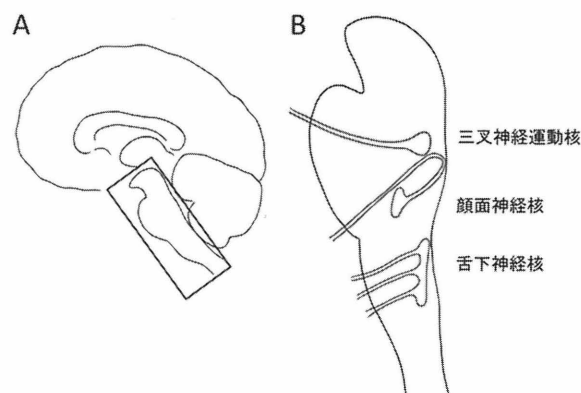


図3 脳幹に存在する運動核
脳(A)と脳幹の模式図を示す。図Aの四角で囲った部分が脳幹を示す。

もしれません。このように、リズミカルな運動である咀嚼運動を行うには、中枢性に形成されるリズムが必要であり、これらのリズム形成が適切に行われることが咀嚼運動にとって必須です。

B) 協調運動

ヒトは片側で咀嚼します（図1 A）。つまり、咀嚼中の下顎運動は側方成分を持ち、上下臼歯の機能咬頭を効率よく使うために閉口時に側方運動することが必要です。また、片側咀嚼のために舌もねじれるなどの運動をします（図2）。機能的な左右非対称の運動を行うためには、同名の筋であっても左右が協調して活動しなければなりません。その上、中枢性に形成されたリズムは同じです。このために注目されるのが、運動ニューロンに指令を送る前運動ニューロンの存在です。リズムを一致させるためには、左右の運動ニューロンの活動が一致する必要があります。解剖学的な研究から左右の咬筋を軸索側枝により同時に支配する前運動ニューロンの存在が認められています¹⁾。

さらに、形成されたリズムにより下顎とともに舌や顔面（口唇を含む）が運動しなければなりません。顎舌の協調運動は、閉口時（咬筋活動時）に舌を後退（茎突舌筋が活動）させ、開口時（顎二腹筋活動時）には舌を前突（オトガイ舌筋が活動）させます²⁾（図4）。この制御機構として、以前は下顎運動と舌運動にそれぞれのCPGが存在し、それらが連携していると考えられてきました。しかし、近年の解剖学的手法から閉口筋（咬筋）と舌後退筋（茎突舌筋）の両方に指令を出す前運動ニューロンの存在が見出され¹⁾、一つのCPGが形成するリズミカルな収縮

命令がこれらの前運動ニューロンを介して、同じタイミングで収縮する筋の活動を引き起こしていることが示唆されました。より単純な機構で顎舌の協調が行われていると考えられます。

C) 感覚入力により修飾

咀嚼中は無意識のうちにも、食品の物性に合わせて咀嚼力や下顎運動を調節しています³⁾。つまり、食品の物性から得られる感覚入力が筋活動を変化させています(図5)。咀嚼中に食べものの硬さに応じて、噛む力をコントロールするために、咀嚼中の歯根膜感覚や閉口筋感覚を利用しています(図6)。硬いと歯根膜のひずみが大きくなり歯根膜感覚の情報量が増します。また、硬いと歯が噛みこむことが出来ないので、筋伸張の感覚受容器である筋紡錘からの情報量が増します。これらの情報量の増加が閉口筋運動ニューロンの活動を高めて、噛む力を強くしています⁴⁾。このように、脳幹では口腔で得られる感覚情報をもとに自動的に運動調節を行っています。

3. よく噛んで食べるためのカムカムメニュー[®]

ここまで述べたような、咀嚼運動のメカニズムを考えると、中枢性に制御されていることがわかってと思います。そこで、私たちは咀嚼運動機能を衰えさせないように、よく噛んで食べることを提唱しており、そのためによく噛むことを自然に行えるような食事(カムカムメニュー[®])を薦めています。カムカムメニュー[®]とは、食べるだけで噛むことを意識するような食品のことです。普段食べている食事より、自然とよく噛むように、食材や調理法に工夫を加えた料理のことを総称しています。月に一度、松本歯科大学の学食でも提供しています。カムカムメニュー[®]は松本歯科大学の商標登録です。図7に一例を示す。また、いくつかのメニューを図8に挙げるので、カムカムメニュー[®]がイメージできると思います。

さて、食品を工夫することで、食べた人がよく噛

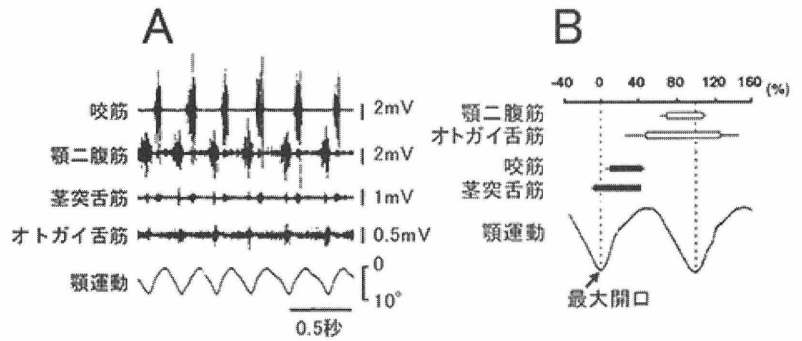


図4 咀嚼中の顎舌筋の活動タイミング (Liuら²⁾、1995より改変引用)

A: 咀嚼中の筋電図。
B: 咀嚼サイクルのうち筋が活動するタイミング。

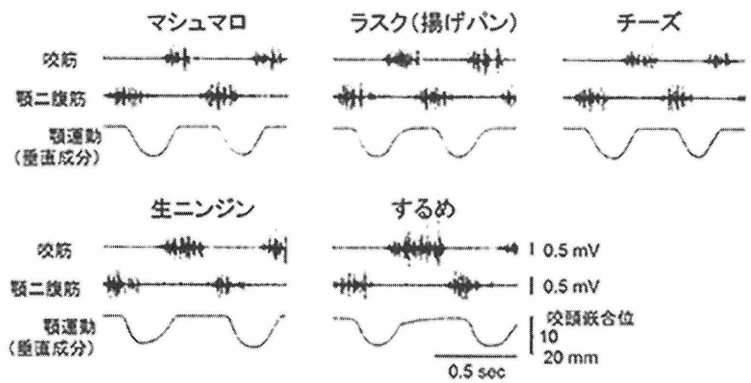


図5 様々な食品を咀嚼したときの筋活動 (Nakamuraら³⁾、1989より改変引用)

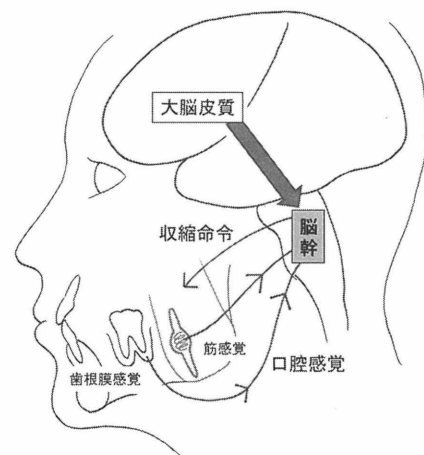


図6 脳幹の役割の模式図

むあるいは噛むことを意識できるだろうか? 松本歯科大学で、カムカムメニュー[®]を提供したある日にアンケート調査を行い、その結果をまとめました⁵⁾。松本歯科大学の学生食堂で、「カムカムメニュー」と題したメニューを選択した方々のうち、男性28名、女性26名(10歳代4名、20歳代15名、30歳代9名、40歳代14名、50歳代9名、60歳代

3名) から回収されたアンケートを検討しました。

アンケート項目は、「カムカムメニューに満足しましたか?」、「カムカムメニューを食べながら噛むことを意識しましたか?」、「カムカムメニューは普段の食事と比べて硬く感じましたか?」、「カムカムメニューの食材や食材の味を意識しましたか?」の4項目としました。スコア化された各項目の結果の関連を調べると、「満足度」はどの項目とも有意な相関を示しませんでした。「硬く感じた」と「噛むことを意識した」(相関係数;0.590)あるいは「食材を意識した」(相関係数;0.589)との回答とは中等度の相関が認められました。これらの結果から、食品を硬いと感ずることは、噛むことや食材への意識を高めることにつながったと考えられます。

硬いと感じたということは、歯根膜感覚や閉口筋筋感覚による感覚入力が多く中枢神経に伝えられた結果と考えられます。このような硬さを感じる感覚入力は、咀嚼力の調節に不可欠であることが示されており、無意識のうちにも閉口筋活動を高めています。一方で、高次中枢(大脳皮質)に伝えられたこのような情報は、硬さを意識させると同時に、噛むことや食材のことを意識させるという結果は非常に興味深いことです。意識して食品摂取量(摂取エネルギー量)を減少させることは肥満予防にもなると考えられます。

さらに、肥満(ウエストサイズ)に好影響を与える食事形態として、食物繊維を多く摂取し、脂質の摂取を抑えたものが奨められています。つまり、各個人がこのようなことを意識して、食生活を管理することが肥満予防につながると考えられます。また、同様に高血圧や糖尿病などの疾患に対する予防として、食生活を管理する必要があります。健康につながる食生活管理を行うためには日常的に食材を意識して食事をする必要がありますが、容易ではないことも否めません。食を意識するという事は、自身の健康管理にもつながるので、そのために食事を工夫することは有効であると考えられます。

咀嚼はひとつの動作ではなくて、嚥下するための食塊を形成するという目的を持った一連の行動であり、その行動と人が生きていることとの関係は非常

カリカリ豚のトマトソース(チーズガレット添え)

メニュー

- ・カリカリ豚のトマトソース(チーズガレット添え)
- ・ごぼうサラダ
- ・タケノコとコンニャクの煮物
- ・古代米



図7 カムカムメニューの紹介例(一例)

カムカムメニュー

- ・牛肉の八幡巻き
牛肉に巻かれたごぼうの歯ごえたえを楽しんで!
- ・れんこん入りハンバーグ
ハンバーグの中に大ぶりれんこんが・・・噛まない!
- ・若鶏とカシューナッツのオイスター炒め(沢庵チャーハン)
ナッツのカリカリ、沢庵のポリポリを感じて!
- ・ごぼうとひき肉のかき揚げ
ごぼうの繊維がランダムに・・・おもしろい噛み応え!
- ・発芽玄米フレート(かじきの天ぷら野菜あんかけ)
揚げることで身の引き締まったかじきが美味しい!

図8 カムカムメニューの例

に大きいものだととらえるべきだと考えます。この咀嚼という行動が、人が健康に、幸せに生きて行くために必要なことであると考えます。

参考文献

- 1) Morquette P, Lavoie R, Fhima MD, Lamoureux X, Verdier D, Kolta A. Generation of the masticatory central pattern and its modulation by sensory feedback. Prog Neurobiol. 96: 350-355, 2012.
- 2) Liu ZJ, Wang HY, Masuda Y, Morimoto T. Co-ordination of jaw, tongue and hyoid muscles during drinking and mastication in the awake rabbit. In Brain and Oral Functions, edited by T Morimoto, T Matsuya, K Takada., Elsevier Science, Amsterdam, 597-600, 1995.
- 3) Nakamura T, Inoue T, Ishigaki S, Morimoto T, Maruyama T. Differences in mandibular movements and muscle activities between natural and guided chewing cycles. Int J Prosthodont. 2(3): 249-253, 1989.
- 4) Morimoto T, Inoue T, Masuda Y and Nagashima T. Sensory components facilitating jaw-closing muscle activities in the rabbit. Exp. Brain Res. 76: 424-440, 1989
- 5) 増田裕次, 竹内由里, 安富和子. 食への意識と噛むことの関連性. 一噛むことを必要とするメニューを食した方へのアンケート. 日本咀嚼学会誌, 23(1): 24-29, 2013.