

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：33902

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24593114

研究課題名(和文)ウサギ咀嚼様運動時の咀嚼部位による下顎頭運動の変化と咀嚼筋活動の調節機構

研究課題名(英文)Changes in condylar movements and adaptive mechanism of masticatory muscle by occlusal contact position during fictive mastication in rabbits

研究代表者

森田 匠 (Morita, Takumi)

愛知学院大学・歯学部・講師

研究者番号：60367612

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：咀嚼運動中、咬合接触部位の変化が下顎頭や関節円板の運動、咀嚼筋活動にどのような影響を与えるか、ウサギを用いて実験を行った。咬合接触部位が最後方臼歯になる場合と最前方臼歯になる場合とでは下顎頭運動は大きく異なり、何れの場合も関節結節、関節円板、下顎頭の3者の協調を阻害する可能性があるという結果が得られた。特に最後方臼歯で咬合接触する場合は左右咬筋の筋活動量が異常な運動を起こすか否かに大きく関わっていた。

研究成果の概要(英文)：We investigated that effect on the condylar and the articular disk movements and the masticatory muscle activity by change the occlusal contact point during fictive mastication in rabbits. Condylar movements was remarkably different between restricts the occluding point to the posterior most end of the teeth row and restricts the occluding point to the anterior most end of the teeth row. In each case, there is possibility that coordination between the condyle, the articular disc and the eminence was disrupted. Especially, in restricts the occluding point to the posterior most end of the teeth row case, the ratio of the working-side muscle activities to the balancing-side muscle activities were related to whether appear postero-inferior unusual condylar movements or not.

研究分野：口腔生理学

キーワード：顎関節症 顎関節 下顎頭運動 関節円板 咀嚼筋活動 低閾値開口反射

1. 研究開始当初の背景

ヒトやウサギなどの動物では、咀嚼運動時に下顎骨は作業側に偏位し作業側臼歯で咬合するが、平衡側の臼歯では咬合接触が起こらない。従って、咬合力は作業側臼歯列と左右の下顎頭の3か所で負担される。この様な3か所で支持された平面を、咬合力の主体である咬筋筋力ベクトルが通過する点は、左右の咬筋起始部付近にあり、左右咬筋筋力の合成ベクトルがこの平面上に立つ位置は、左右の咬筋ベクトルが通過する点を結んだ線上にある。そして、咀嚼運動中、合成ベクトルの立つ位置は左右咬筋活動量の比率により、この線上を左右に移動する。咀嚼運動中、咬筋筋力の合成ベクトルの通過する点が、両側下顎頭と作業側臼歯の3点を結んでできる三角形の内側を通過する場合には、3か所に圧縮力が発生し、三角形の外側を通過する場合には、平衡側下顎頭と作業側臼歯部を結んだ線を軸とした下顎骨の回転運動が生じ、作業側下顎頭は後下方(関節結節から遠ざかる方向)へと移動する(図1)。

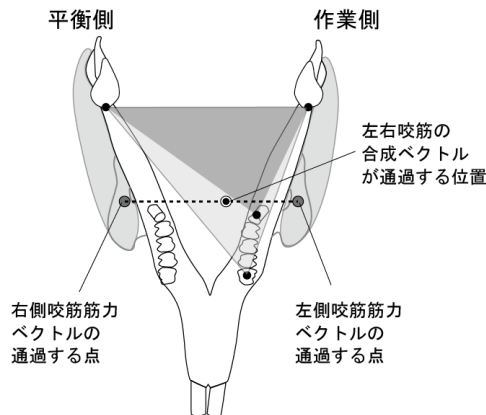


図1 咬合接触部の違いによる咬合力を支持する三角形の大きさと咬合力の合成ベクトルの関係

合成ベクトルが三角形の内側を通過するかどうかを決定する要因としては、1) 左右の咬筋のバランス(合成ベクトルの通過する位置)、2) 作業側臼歯のどの部分で咬むかが考えられる。咀嚼運動中、下顎頭が関節結節から大きく離れることは関節円板が転位し得る空間ができることになるので望ましくない現象と考えられる。

一方で、顎関節に過度な力が加わることでより関節円板が押し潰されるような状況も問題が大きいと考えられる。咀嚼運動中の咬合力の調節には歯根膜、咀嚼筋の筋紡錘、顎関節の機械受容器などからの入力が必要な役割を果たしていると考えられるが、咀嚼運動中食物と臼歯の接触部位や食物の固さは絶えず変化することを考えると、関節窩、関節円板、下顎頭の協調を維持するには極めて精緻な調節機構が存在する必要があると考えられる。

本研究では、咀嚼運動中の下顎頭や関節円板の動きを直接撮影するものでこれまでに

ない試みである。また、これら下顎頭や関節円板の動きと咀嚼筋活動の関係を検討し、咬合接触部位による違いも比較する本研究は関節円板の位置異常が発生するメカニズムを解明する上でも重要であり、歯科矯正や歯科補綴に対しても極めて有用な知見をもたらすものとする。

2. 研究の目的

咀嚼運動中、顎関節への過剰な負荷や下顎頭の異常運動が生じないためには、単なる咬合力の強弱だけではなく、左右咀嚼筋の活動の比率を変化させるなどの精緻な制御が必要であると考えられる。本研究ではウサギ大脳皮質咀嚼野の電気刺激により誘発される咀嚼様運動を利用して、咀嚼を行う部位と、咀嚼する素材の硬さを変化させた時に、左右咬筋活動の比率がどのように変化し、それにより下顎頭の運動あるいは顎関節への負荷がどのように変化し、この時どのような神経筋機構により運動が調節されているのか検討することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 大脳皮質咀嚼野電気刺激による咀嚼様下顎運動の誘発

ウサギの頭部を lambda が bregma より 1.5mm 低くなる位置で脳定位固定装置に固定する。大脳皮質咀嚼野電気刺激のために、bregma より前方に 6mm、側方に 8mm の範囲の骨を削除し、左右の皮質を露出させる。タングステン電極をマイクロコンピュータにて刺入し、電気刺激を与えることで咀嚼様運動を誘発する。この時、右側の脳を刺激すると左咀嚼を、左側の脳を刺激すると右咀嚼を誘発することができる。

(2) 咀嚼筋活動の記録

咬筋、および顎二腹筋はテフロンコートされたステンレス線にて作製したワイヤー電極を咬筋および顎二腹筋の中央部に縫合する。外側翼突筋は深部に位置する為、直視下で電極を刺入することはできない。そこで、記録電極先端の位置を確認する為にワイヤー電極を刺激装置に接続し、間欠的電気刺激を行いながら、電気刺激により誘発される下顎頭の前下方への移動量が最大となる位置に眼窩より電極を刺入する。

(3) 下顎切歯点および下顎頭の運動記録

切歯点の運動記録は、オトガイ部に磁石を歯科用接着性レジンセメントで接着し、この磁石の動きを検出する為の磁気センサーを鼻骨に取り付けて行う。左右顎関節の運動記録は、まず下顎頭および関節円板の運動を直視できる様にする為、顎関節を覆う皮膚を切開し、頬骨の後縁を約 5mm 削除して左側下顎頭の一部を露出させ、下顎頭に + 印のシールを貼付する。また、頬骨には下顎頭および関節円板の移動量を定量する際の基準とす

るため 1 mm 刻みの目盛のついたメジャー約 6 mm を張り付ける。これらが全て収まる倍率で + 印と円板上の評点の動きを高速 CCD カメラにて 5ms の時間分解能で撮影する。

(4) 顎関節に加わる圧縮力の可視化

本実験では、顎関節加わる圧縮力を直接「力」として計測するのではなく、顎関節に加わっているであろう力を下顎頭の関節結節方向への「運動」として記録する。関節結節の、下顎頭（及び関節円板）のガイドとしての機能を確保しつつ圧縮力が加わった際にはある程度しなる様にするために、側頭骨と頬骨の連続性を断つように側頭骨頬骨突起の一部を削除する。最適な削除量については検討の必要があるが、これまでの実験から完全に削除してしまうとその時点で下顎頭は変位してしまい、関節円板の外側半分が露出する程度削除した場合、作業側咬合相において関節結節を側除していないときよりもわずかな突出運動が観察され、関節円板の運動記録も同時に可能であることが分かっている。

(5) 低閾値開口反射の誘発

開口反射は、左側下歯槽神経の電気刺激 (1.03-1.10T, duration 0.3ms, interval 2ms, 2 発刺激) により誘発した。顎運動信号を刺激装置にフィードバックし、閉口相中期 (hal-CL), 閉口相終末期 (end-CL), 咬合相中期 (mid-OC), 最大開口位 (max-OP) の 4 つの下顎位で開口反射を誘発した。咀嚼運動中の開口反射応答は、安静時に記録した開口反射の振幅 (peak-to-peak) に対する百分比 (% of control) として計測した。

(6) 咬合挙上

非磁性であるアルミニウムを用いた自家製の可撤式咬合挙上装置を作成し、咀嚼運動中、上下臼歯部の間に安定的に介在させた。

(7) データ分析

CCD カメラで撮影した下顎頭のビデオ画像は、動画計測解析ソフト (DIPP-MotionPro Ver.2.24, ディテクト, 東京) を用いて、下顎頭に貼付した + 印を自動追尾し、運動軌跡を描記させる。その後、5ms 毎の平均的な位置を連ねた線を平均的な軌跡とし切歯点運動と時間に対応をさせる。EMG、切歯点の運動軌跡などのアナログデータと下顎頭の運動画像記録の間の時間的同期は、CCD カメラの駆動に用いたトリガー信号を、アナログ信号として筋電図や切歯点の運動軌跡と同時にコンピュータに取り込み、これを時間的基準とすることでアナログデータとビデオ画像記録の同期を行う。これを基に筋電図、切歯点運動記録と対応したビデオ画像の抽出や再生を行う。これらのデータ処理は、全て計測制御汎用ソフト (LabVIEW ver.8.6, National Instrument, USA) をベースにした

自作ソフトを用いて行った。

4. 研究成果

(1) 咬合接触部位による顎運動と咀嚼筋筋活動の変化

臼歯列後方で咬合接触させた場合咀嚼運動中、作業側下顎頭は閉口相で後上方に、咬合相で前下方に、開口相で前方に移動した。下顎頭の運動を追尾する標点の位置が下顎頭のやや後方に貼付されており、咀嚼運動中、下顎頭は移動だけでなく回転運動もしていることから、標点の運動からみた下顎頭運動の軌跡には厚みがあるが、実際には関節円板を挟む形で結節に沿った運動をしている。臼歯列の後方に咬合接触点を付与した場合、2 つのパターンの下顎頭運動が見られた。1 つ目は下顎頭運動に顕著な変化は見られないパターン (図 2) で、もう 1 つは咬合相において下顎頭が大きく後下方へと移動するパターン (図 3) であった。

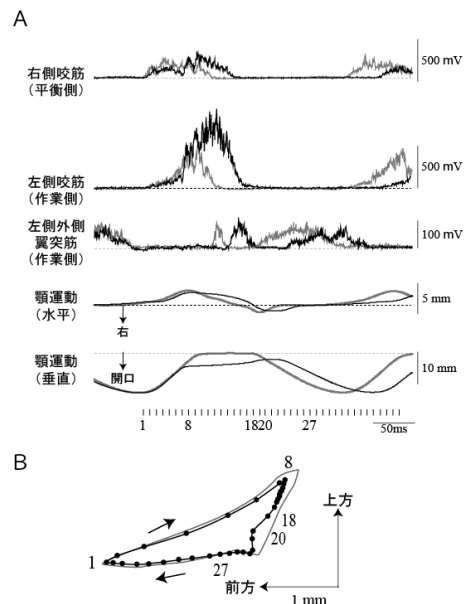


図 2 後方部臼歯のみで咬合接触させても下顎頭の運動に変化が生じなかった時の筋電図活動と顎運動

A: 筋電図活動と切歯点の運動
B: 下顎頭の運動軌跡
グレーの線: 咬合挙上前, 黒線: 咬合挙上装置装着時

下顎頭が後下方へ動く場合、少し遅れたタイミングで関節円板後下方に移動しており、関節円板と下顎頭の運動の協調の乱れが同われた。下顎頭が後下方へ動く場合、筋電図活動の大きさには顕著な変化は見られなかったが、下顎頭運動に顕著な変化が見られなかった場合には、作業側咬筋活動の著しい増加が認められた。作業側咬筋筋電図活動の増加は咬筋筋力の合成ベクトルの位置を作業側よりに変化させる。これにより、咬合接触点が後方にずれたことで左右顎関節と咬合接触点を結んだ三角形が小さくなったにもかかわらず、咬合力の合成ベクトルは三角形の内側を通過することになり下顎頭の安定

が維持されたと考えられる。一方、後下方への下顎頭の移動が生じた場合は、三角形が小さくなるものの咬合力の合成ベクトルの位置は変わらないため、三角形の外側を通ることになり、下顎骨の回転により作業側下顎頭が後下方へ移動したと推察される。

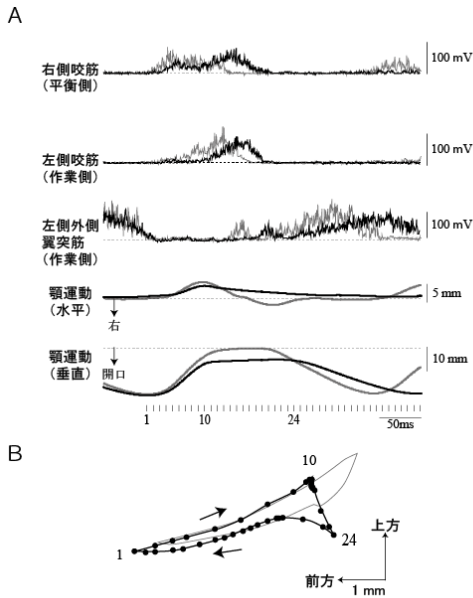


図3 後方部臼歯のみで咬合接触させて下顎頭が後下方へ動く運動が生じた時の筋電図活動と顎運動

A: 筋電図活動と切歯点の運動

B: 下顎頭の運動軌跡

グレーの線: 咬合挙上前, 黒線: 咬合挙上装置装着時

臼歯列後方で咬合接触させた場合

臼歯列前方部に咬合接触点を設けた場合、下顎頭の運動に変化は見られなかった。しかし、関節結節方向に加わる力が増加していたとしても、運動に変化は生じないため下顎頭運動の観察から顎関節に加わる力を知ることはできない。そこで、関節結節を削除し関節結節方向にも下顎頭が移動可能な状態にして記録を行った。その結果、関節結節を削除すると特に咬合接触部位を変更しなくても閉口筋の静止張力により下顎頭の運動軌跡が前上方にシフトした。さらに咬合相において下顎頭の前上方への突出が認められ、この運動は作業側咬筋の活動するタイミングと一致していた。さらに、臼歯列前方部で咬合接触させた場合、咬合相における前上方への突出運動の大きさは著しく増加した(図4)。

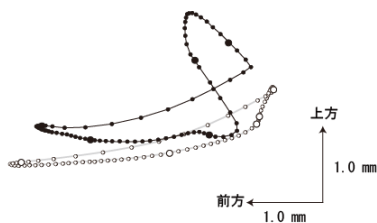


図4 通常の下顎頭運動と前方部臼歯のみで咬合接触させて下顎頭削除した時の下顎頭運動の比較

グレーの線: 咬合挙上前, 黒線: 咬合挙上装置装着+関節結節削除

これは、咬合相において関節円板および関節結節に対し、下顎頭から加わる圧縮力が増加していることを示していると考えられる。

咬合接触部位の変化がもたらした下顎頭運動と咀嚼筋筋電図活動の変調に関する結果の意義

咬合接触が点状もしくは非常に限られた面でしか起こらない場合、下顎頭は異常な運動を起こすことがあることが明らかとなった。また、異常な運動の方向も臼歯列の前方で咬合接触するのか、後方で接触するのかわり異なっていた。このような限局された咬合接触というのは、不良な補綴物、不正咬合、矯正治療中の一時的な早期接触、臼歯部の欠損といった状況だけでなく、簡単に粉碎できない固いものを咬むというような特に口腔内に異常がないような場合にも生じるものである。

下顎頭の後下方への移動は通常関節結節と下顎頭に挟まれている関節円板が両者の間を通過し得るような空間を生じることを示しており、下顎頭を関節円板に付着している外側翼突筋に伸張反射を引き起こす可能性がある動きである。関節結節と下顎頭の間には円板が通過し得る隙間がある状態で伸張反射により外側翼突筋の上頭が収縮した場合、関節円板を前方転位させるような力となる可能性がある。一方、咬合相における下顎頭の前上方への圧縮力の増加は関節円板を強く圧縮し、続く開口相での下顎の回転は関節円板を前方に絞り出すような力となる可能性が考えられる。

以上のように咬合接触部位の変化は下顎頭運動に大きな影響を与えることが明らかとなり、さらに下顎頭運動の変化はいずれも関節円板の位置異常を引き起こす可能性が示唆された。本研究で得られた結果は関節円板前方転位の発症メカニズムを究明する上で極めて有用である。

(2) 顎関節の協調運動を維持するための神経筋機構の解明について

臼歯部での点状の咬合接触は顎関節を構成する関節結節、関節円板、下顎頭の協調を乱すような異常運動を生じさせることが本研究で明らかとなったが、同じように臼歯列後方に構造接触部位を設置しても作業側咬筋の筋活動量を増加し異常運動が生じない場合も認められた。即ち、咬合の変化に対し関節結節、関節円板、下顎頭の協調を維持させるための調節が働く場合もあるということを示している。このような咀嚼運動中に状況に応じて咬合力を調節しているメカニズムについて検討するため、低閾値開口反射に着目して実験を行った。低閾値開口反射の生理学的意義については不明な点もあるが、咀嚼運動中では閉口相と咬合相で特に強く抑制されることが知られており、咀嚼運動中に強い咬合力を発揮するための仕

組みであると考えられている。まず、この低閾値開口反射の咀嚼運動中の変調の詳細について検討を行った。

咀嚼様運動中に誘発した低閾値開口反射の変調

低閾値開口反射の咀嚼運動中の変調が強い咬合力を発生させるためのメカニズムであるとすれば、1) 作業側の方が平衡側よりも強く開口反射が抑制され、2) 食物を粉碎する閉口相終末期に最も強く抑制されることが合目的である。そこで、咀嚼サイクル中の、閉口相中期 (hal-CL)、閉口相終末期 (end-CL)、咬合相中期 (mid-OC)、最大開口位 (max-OP) の4つの時点における咀嚼運動中の低閾値開口反射の変調について調べた。4つの時点での開口反射の変調を比較したところ、作業側時において end-CL は他の3つの時点よりも優位に強く開口暗射が抑制されていた。平衡側時は、end-CL において最も開口暗射が抑制される傾向はあったものの有意差は認められなかった。また、作業側時と平衡側時で比較した場合、end-CL において作業側時の方が有意に強く開口反射が抑制された。以上の結果から低閾値開口反射は咀嚼運動中の咬合力の調節に深く関与していることが示唆された。

咬合高径の変化と開口反射変調の調節

低閾値開口反射が咀嚼運動中の咬合力に関与していることが確認されたので、咬合を変化させた時、低閾値開口反射の変調はどのように調節を受けるのか検討を行った。可撤式咬合挙上装置を用いて、開口量が咬合挙上前の hal-CL と同じ位置が end-CL に相当するように咬合挙上を行い、低閾値開口暗射の変調を調べた。咬合挙上装置を装着した時の end-CL における低閾値開口反射の抑制は、咬合挙上前の end-CL には及ばなかったものの、垂直方向には同じ下顎位であるにもかかわらず咬合挙上前の hal-CL よりも強く抑制された。これは、開口反射の抑制が単なる絶対的な開口量により調整されているわけではなく、咀嚼サイクル中のどの時点であるかということ基準に調整されていることを示唆している。さらに、咬合高径が変化しても、その時の end-CL において開口反射が強く抑制されるように調節されていることを示している。

咀嚼運動中の低閾値開口反射変調の意義

咀嚼運動パターンは脳幹で作られ、歯根膜や筋紡錘などの末梢からの入力により変調・調節されることが知られている。本実験で得られた、低閾値開口反射の強い抑制が閉口相終末期という咬合接触が生じる前の時点から生じたという結果は、咬合力の調節が末梢からの調節だけでなく咬合の変化に適応してより中枢からも調節されている可能性を示しているものであり興味深い。今後は筋電図だけでなく運動ニューロンの活動記

録を行い中枢からの制御を受けているかどうかという点を明確にし、さらに中枢のどの部位が変調を制御しているのかという点について研究を進める予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5件)

Takumi Morita, Katsunari Hiraba, Tomoko Matsunaga, Yu Ito, Hisanobu Maruo, Kenichi Kurita : Unusual postero-inferior condylar movements that depend on the position of occlusal contact during fictive mastication in rabbits. Arch Oral Biol, 査読有, 2015; 60(3):370-384.

平場勝成, 森田 匠, 松永知子: 顎関節の運動に対する外側翼突筋の役割 - 咬合様式と関節円板前方転位に関する考察(後編). 日本歯科評論, 査読無, 2015; 75(4): 131-136.

平場勝成, 森田 匠, 松永知子: 顎関節の運動に対する外側翼突筋の役割 - 咬合様式と関節円板前方転位に関する考察(前編). 日本歯科評論, 査読無, 2015; 75(3): 143-148.

伊東 優, 森田 匠, 松永知子, 丸尾尚伸, 平場勝成, 栗田賢一: 作業側関節結節削除によるウサギ咀嚼様運動中の下顎頭運動の変化. 日本口腔外科学会雑誌, 査読有, 2013; 59(8): 506-516.

丸尾尚伸, 森田 匠, 伊東 優, 松永知子, 平場勝成, 栗田賢一: ウサギ大脳皮質咀嚼野電気刺激により誘発された咀嚼様運動時の作業側顎関節における下顎頭と関節円板の協調運動. 日顎誌, 査読有, 2012; 24: 157-167.

[学会発表](計 4件)

Tomoko Matsunaga, Takumi Morita, Katsunari Hiraba : Jaw-position dependent suppression of the jaw opening-reflex during fictive mastication in rabbits. 第92回日本生理学会大会(神戸), 2015.3. 21-23.

松永知子, 森田 匠, 平場勝成: ウサギ咀嚼様運動中に誘発した低閾値開口反射は作業側で強く抑制される. 第84回学術大会愛知学院大学歯学会(名古屋), 2014.6.8

Tomoko Matsunaga, Takumi Morita, Katsunari Hiraba : Difference in modulation of jaw-opening reflex between working and balancing side during fictive mastication in rabbits. 第91回日本生理学会大会(鹿児島), 2014.3. 16-18.

松永知子, 森田 匠, 伊東 優, 平場勝
成: 作業側と平衡側では咀嚼様運動中に
誘発した開口反射応答の受ける変調に違
いがある. 第 54 回歯科基礎医学会学術大
会・総会(郡山), 2012.9. 14-16.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森田 匠 (MORITA Takumi)

愛知学院大学・歯学部生理学講座・講師

研究者番号: 60367612