特集記事

ヒト外側翼突筋上頭・下頭の関節頭並びに関節円板の 運動に対する機能的役割

Functional roles of the superior and inferior heads of the human lateral pterygoid muscle
in movements of the mandibular condyle and articular disk

平場 勝成

Katsunari Hiraba

愛知学院大学歯学部生理学講座

Department of Physiology, School of Dentistry, Aichi-Gakuin University

Key Word: EMG, Lateral pterygoid muscle, Condyle movement, Articular disk, Stretch reflex

Abstract: Electromyographic (EMG) activities of the superior (SUP) and inferior heads (INF) of the lateral pterygoid muscle (LPT) were recorded in humans during voluntary stepwise changes in biting force and jaw-position which were adopted to exclude the effects of acceleration and velocity of jaw movements on the muscle activity. The SUP behaved like a jaw closing muscle and showed characteristic activity in relation to the biting force. It showed considerable amount of background activity (5-32% of the maximum) even in the intercuspal position without teeth-clenching, and reached a nearly maximum activity at relatively lower biting force levels than the jaw closing muscles during increment of the biting force. Stretch reflexes were found in the SUP, the function of which could be to stabilize the condyle against the biting force that pulls the condyle posteriorly. This notion was verified by examining the biomechanics on the temporomandibular joint. The complex movements of the mandibular condyle in a sagittal plane was decomposed into displacement in the antero-posterior direction (Ac) and angle of rotation (RAc) around a kinesiological specific point on the condyle. In relation to Ac, each head of the LPT showed quite a similar behavior to each other in all types of jaw movements across all subjects. Working ranges of the muscle activities were almost constant (Ac < 3 mm for the SUP and Ac > 3 mm for the INF). The amount of EMG activity of the SUP changed in inverse proportion to Ac showing a hyperbola-like relation, whereas that of the INF changed rather linearly. The EMG amplitude of the SUP showed a quasi-linear inverse relation with RAc in the hinge movement during which the condyle rotated with no movement in antero-posterior direction. This finding suggests that the SUP controls the angular relationship between the articular disk and the condyle. On the other hand, the position of the disk in relation to the maxilla, not to the condyle, is controlled indirectly by the INF, because the disk is attached to the condyle by tendinous ligaments.

抄録 筋活動に運動の速度成分並びに加速度成分の影響が及ばないように配慮した、段階的な噛みしめ及び段階的の開閉口運動において、ヒト外側翼突筋上頭・下頭の筋電図を同時記録し機能的役割を検索した。上頭は咬筋・側頭筋と活動時期がほぼ同じで、閉口筋と極めて類似した活動を示した。上頭は比較的弱い咬合力レベルの時に急激に筋活動が上昇し、以後頭打ちとなって最大咬合力付近では飽和する傾向がみら

れたのに対し、咬筋・側頭筋は逆に最大咬合力付近で急激に筋活動が上昇する傾向にあり、全く異なる咬合力との関係を示した。また、噛みしめを行っていない咬頭嵌合位において、最大筋活動量の5-32%もの筋活動が上頭にはバックグラウンドとして存したが、下頭には咬合力と関連した筋活動は全く認められなかった。さらに上頭には、頤部のタップ機械刺激で伸張反射様の反射性筋電図応答が、歯のタップ機械刺激では歯根膜咬筋反射と同様な時間経過を示す反射応答が認められた。また、上頭は関節頭の前方移動が認められず、下顎が回転運動のみで開閉口している蝶番運動期間で上頭は筋活動量を直線的に変化させた。この事は、関節円板と関節頭の相対的位置関係の変化と上頭筋活動が密接な関係を保っていることが示唆された。一方下頭筋活動量は関節頭の前方移動距離と極めて高い相関を示して変化した。このような上頭の機能特性と関節円板の前方転移との関わりについて、特に上頭で認められた伸張反射様筋電図応答との関連で考察を加えた。

I. はじめに

関節頭とそれと協調運動をする関節円板の運動制御様式を解明することは、顎関節症発症メカニズムの解明のためにも重要課題である。外側翼突筋の構造から考えて、関節頭と円板の運動には外側翼突筋が深く関わっていることは明らかである。外側翼突筋は深部に位置するため筋電図導出が困難であり、このことが原因で外側翼突筋の上頭と下頭で機能的役割に相違があるのか否かについても議論の余地が多かった。近年、針電極、fine wire 電極を用いて筋電図記録が行えるようになり、上頭は閉口運動時並びに噛みしめ時に、一方下頭は開口運動時に活動を示すという報告¹⁻¹¹⁾がみられるようになってきた。しかし、これらの研究に於いては下顎運動特に関節頭の運動との解析はほとんど成されておらず、外側翼突筋の機能的役割を明らかにする詳細な検討を行った研究はみられなかった。また、これらの研究で報告されている筋活動を細部で検討すると、上頭には下頭の筋電図が、下頭には上頭の筋電図が漏洩していることを強く疑わせる所見も多くみられ、より正確な電極の刺入方法の確立²⁾と、関節頭の運動との関連についての解析が重要な課題として挙げられていた。これらの反省点をもとに、上田は¹²⁾6自由度のデジタル方式の顎運動記録装置を用いて、切歯点ならびに両側関節頭の運動と外側翼突筋下頭の筋活動を記録した。その結果、外側翼突筋下頭は関節頭前後の移動量と高い相関を示し、この関係は関節頭の運動速度の影響を強く受けることを明らかにした。また、吉田は¹³⁾切歯点ならびに関節頭の運動と外側翼突筋上頭・下頭の咀嚼運動中の筋活動を解析し、上頭は閉口相から咬合相で強い活動を示すことを明らかにした。この様に、最近特に日本の研究者を中心として、外側翼突筋の筋活動を関節頭の運動との関連から解析を行い、外側翼突筋の機能的特徴を明らかにする試みがなされてい

る。我々も、図1に示す様な fine wire 電極を口外法にて上頭と下頭に区別して確実に刺入できる方法を開発し、両頭の筋電図と同時に切歯点と関節頭の運動も記録してヒトにおける外側翼突筋上頭・下頭の関節頭並びに関節円板の運動に対する機能的役割を検索してきた¹⁴⁻²⁰⁾。以下にその概要を報告する。

図1 A: 電極刺入方法. fine wire 電極を注射針に挿入し、口外法にて刺入した。フェースボーを用いて刺入角度、刺入点を定量的定位的に規定した。上頭への刺入角度は上方に20度、下頭へは平行に刺入した。SUP・INFはそれぞれ上頭・下頭。
B: 解剖用死体にて色素を注入して確認した電極先端到達部位。
C: 顎運動記録法、切歯部と関節頭部の発光ダイオード(LED)の動きを検出した。

図2 ガム咀嚼運動時の上頭・下頭の筋活動記録は上段より切歯点の運動記録（垂直成分，側方成分）．関節頭の運動記録（前後成分，垂直成分）．上頭，下頭の筋電図．

II. 上頭・下頭の相反性筋活動

図2に，ガム咀嚼時の上頭・下頭の筋電図と切歯点・関節頭の運動を示す．上頭は閉口相から咬合相のみに，一方下頭は開口相のみに活動を示し，両頭が活動する時期は重複することなく明瞭な相反性活動を示した．また，開閉口，側方，並びに前後運動といった基本的な単純下顎運動時の活動も表1に示すように，上頭と下頭は全く相反する活動を示した．また，咬筋・側頭筋と上頭の筋活動の同時記録を行った結果，これら三筋は咀嚼運動時，噛みしめ時，開閉口運動時において絶えず時間的に活動時期が一致する同期した活動を示し，上頭と咬筋・側頭筋を鑑別できるような特徴的な筋活動の違いは認められなかった．以上のように定性的には非常によく似た筋活動を示す上頭と咬筋・側頭筋の筋活動を，咬合力との定量的関係において解析した．

III. 上頭筋活動と咬合力

噛みしめ時に上頭は閉口筋と同様に最大の筋活動を示したが，下頭では筋活動はみられなかった．そこで咬合力と上頭の筋活動量との定量的関係を咬筋・側頭筋のそれらと比較検討した．咬合力の記録は，上下顎にゴシックアーチ描記装置に似た金属プレートを装着し，咬合力による金属プレートの歪みをストレインゲージを用いて計測した^{14, 18)}．その結果，上頭は比較的弱い咬合力レベルの時に急激に筋活動が上昇し，以後頭打ちとなって最大

表 上頭・下頭の相反性活動

試験運動	上頭の活動時期	下頭の活動時期
開閉口運動	閉口相	開口相
側方運動	同側	反対側
前後運動	後方	前方
咀嚼運動	閉口相 咬合相	開口相

咬合力付近では飽和する傾向がみられたのに対し，咬筋，側頭筋は逆に最大咬合力付近で急激に筋活動が上昇する傾向にあり，全く異なる咬合力との関係を示した（図3）．また，上頭には，咬頭嵌合位で噛みしめを行っていない咬合力0の時にすでに，最大筋活動量の5～32%もの筋活動がバックグラウンドとして認められた（図3C）．

IV. 関節頭の移動運動と回転運動

咬頭嵌合位で存在した上頭のバックグラウンドの筋活動が下顎運動のどのような運動要素と関連するかを，段階的な開閉口運動において検討した．段階的な開閉口運動とは筋活動に下顎運動の速度成分の影響が及ばないように配慮した運動課題であり，具体的には被験者の前のオシロスコープ上に切歯点の垂直成分を提示し，オシロスコープの目盛りを基準に実験者が指定する開口量で約2秒間ビジュアルフィードバックを利用して下顎の位置を保持させた．指定する開口量を咬頭嵌合位の位置から順次増加，減少させることにより，咬頭嵌合位から最大開咬位に至る全域での上頭の筋電図の量的な変化を観察した．その結果，咬頭嵌合位で存在した上頭のバックグラウンドの筋活動は，開口運動時開口量の増加に伴い順次減少し，切歯点開口量約5mmで筋活動が消失した（図4上段，習慣的，▽印）．一方最大開口位から咬頭嵌合位に至る閉口運動時では，切歯点開口量約13mmで筋活動が出現し（図4上段，習慣的，▼印）た後，開口量の減少に伴い筋活動量は増加した．切歯点での開口量の変化の様相は，最大開咬位を挟んで開咬相と閉口相で同じになるように規定してあるにもかかわらず，上頭の筋活動が消失した開口位（OFFSET 点，図4▽印）と筋活動が出現した開口位（ONSET 点，図4▼印）とが大きく異なった．

この被験者にさらに2種類の異なる段階的な開閉口運動を行わせた記録が，図4の「意図の後方」と「意図の前

図3 段階的噛みしめ時の咬合力と上頭、咬筋・側頭筋筋活動量

A：段階的噛みしめ時の咬合力と上頭、咬筋の筋活動。

B：典型例1例。段階的噛みしめ時での各ステップでの咬合力、筋活動量の平均値を求め、両者の関係を示す。太線は咬合力の増大時、細線は減少時の記録。

C：6名の被験者の上頭のデータの重ね合わせ。咬頭嵌合位で噛みしめを行っていない時（開口量：0 mm）では、上頭には最大筋活動量の5～32%もの筋活動がバックグラウンドとして存在した。

D：6名の被験者の咬筋・側頭筋のデータの重ね合わせ。

前方」である。「意図的後方」とは意図的にできるだけ下顎を後方に引くような感じで行った場合、「意図的前方」は意図的にできるだけ下顎を前方に突出させるような感じで行った場合である。図4上段に示した関節頭の前方移動成分の記録からもわかるように関節頭の運動が、「習慣的」を含めた3タイプの運動間で大きく異なっている。このような関節頭の運動の違いに対応して、上頭並びに下頭の筋活動は「習慣的」でみられたものとは大きく異なり変化した（図4上段）。しかし、3タイプの運動間では切歯点での開口量の変化の様相はほぼ同一であるので、このような外側翼突筋の筋活動の変化は、切歯点の開口量では規定しきれない、関節頭の運動要素に強く依存した現象であることが明らかとなった。

図4下段に関節頭の矢状面内運動軌跡を示すが、3つのタイプの運動ではほとんど違いは無く、また関節頭の前方移動距離を横軸にとって観察した筋活動の変化もほぼ同様であった。すなわち上頭は関節頭前方移動距離約3 mmの範囲内で双曲線状の急激な変化を示し、下頭は関節頭前方移動距離約3 mm以上の範囲で関節頭前方移動距離とほぼ比例関係を保ちながら変化していた。このことは、図4上段に示した運動タイプに強く依存していた上頭・下頭の筋活動の変化の違いは、関節頭前方移動距離約3 mm以内の範囲あるいは3 mm以上の範囲で行われた下顎運動の違いを反映した結果であることを示していた。

「意図的後方」の図中下線で示した区間に、関節頭前

方移動距離約3 mm以内の範囲で認められた、特筆すべき下顎運動と上頭の筋活動が観察された。この区間では関節頭の前方向移動がほとんど全く認められず関節頭は最後方位すなわち関節窩の中にあり、下顎は回転運動のみで開口あるいは閉口している区間であった。この時起きていることは図5に示すごとく、関節頭と関節円板との相対的位置関係のズレのみであり、その様なときに上頭筋活動は開口量すなわち下顎回転角度と直線的な負の相関を示して変化していた。このことより上頭は関節頭と関節円板との相対的位置関係の調節に深く関与していることが伺えた。

一方下頭は、3タイプの運動のいずれにおいても関節頭の前方向移動距離の変化にきわめて相似的な活動の変化を示しており、従来よりいわれている通り下頭の機能は関節頭の前方向への牽引と考えられた。また、上頭との関係では、上頭・下頭の活動する時期はほとんど互いに重複せず、前述の咀嚼運動時やその他基本的下顎運動時で認められた相反性活動は、「習慣的」「意図的前方」「意図的前方」と大きく下顎運動様式を変化させても影響を受けず保たれていた。

以上のように、上頭は関節頭前方移動距離約3 mm以内の範囲での下顎の回転運動と、一方下頭は関節頭前方移動距離約3 mm以上の範囲での関節頭の前後移動と機能的に深く関わっていることが強く示唆されたので、段階的開閉口運動時の下顎運動を下顎の回転運動と関節頭の前後移動の2つの運動要素に分解して、これら2つの

段階的開閉口運動

図4 同一被験者での3タイプの段階的開閉口運動時の上頭・下頭の筋活動と関節頭の矢状面内運動経路。上段図中「意図の後方」の赤線で示す区間では、関節頭の前後の移動がほとんどみられず、下顎が回転運動のみで開閉口していた。図下段の関節頭の運動軌跡は、コンピューターに取り込んだ切歯点並びに関節頭の運動をもとに下顎運動をシミュレートして、河野²⁸⁾定義にしたがい関節頭の解析点の位置をコンピューター上で調整し、全運動軸点の運動軌跡として示してある¹⁹⁾。▽：上頭の筋活動消失点，▼：上頭の筋活動出現点，太線：閉口運動時，細線：開口運動時，Ac：関節頭前方移動距離。

運動要素と筋活動量との定量的関係をさらに検討した。その結果、図4でみられた同一個人における「習慣的」な段階的開閉口運動時の開口相と閉口相での OFFSET 点と ONSET 点の違いや、切歯点での開口量を基準として観察した上頭・下頭の筋活動の異なる被験者間での違いは、回転運動と前後の移動運動の2つの運動要素の比率の違いに起因していたことが明らかになった（詳細は参考文献^{16), 19)}を参照）。

V. 上頭への反射性影響

上頭は前述のように、自発的な下顎運動時には咬筋・側頭筋と定性的にきわめて類似した活動を示した。そこで、筋活動への反射性的影響を咬筋・側頭筋では古くからその存在が知られている、歯根膜咬筋反射^{21), 22)}と下

顎張反射²¹⁾について検討した。

歯根膜咬筋反射は中等度の咬みしめをしている被験者の上顎中切歯を唇側より機械的にタップ刺激すると誘発されるもので、潜時12~13msで筋活動の減少とそれに引き続く一過性の筋活動の増大が咬筋に出現した¹⁸⁾（図6）。咬筋に誘発された歯根膜咬筋反射とはほぼ同様の時間的経過で反射性筋電図応答が上頭には記録されたが、下頭では記録されなかった（図6）。

一方下顎張反射については、オトガイのタップ刺激で咬筋・側頭筋に誘発された伸張反射応答と同じ潜時で反射性の筋電図応答が上頭にも認められた（図7）。咬筋・側頭筋に誘発される伸張反射の筋電図応答の振幅は、開口量の増大に伴い減少し開口量と反比例の関係を示すことが明らかになっていた²³⁾ので、さらに開口量の変化と上頭に認められた伸張反射応答に類似した筋電

図5 関節頭の回転運動と移動運動
 回転運動主体の開閉口運動では、関節円板は関節頭に対して相対的な角度的位置関係が変化するのみであるが、移動運動主体では、関節頭・関節円板の前後移動と同時に両者の相対的な位置関係の変化も平行して起こる。関節円板の中間部（最も厚みの薄い部分）と咬頭嵌合位の時点で相対している関節頭の部分をそれぞれ図中赤色と緑色で示す。

図8の振幅の変化の関係を検討した。その結果図8に示すように開口量を順次増大した場合の咬筋・側頭筋の伸張反射応答の振幅と同様の振る舞いを示し、最大開口位では消失した。一方このような反射性応答は下頭では認められなかった。また、持続的に下顎を後方に進展した場合の関節頭の後方への受動的移動と、それに対応した上頭の筋活動の顕著な増加を認めることができた（図9）。関節頭の後方への変位は、上頭の筋腹を長軸方向に伸展する方向と一致する事、図7、8に示した咬筋・側頭筋の伸張反射と非常によく似た振る舞いをする事、さらには、文献的に外側翼突筋に筋紡錘が存在すると言った報告²⁴⁻²⁷⁾を総合的に考慮して、上頭のこのような筋活動は、伸張反射機構によってもたらされたものと考えるのがもっとも妥当だと考えている。

以上筋活動への2つの反射性の影響から、上頭は自発的な活動時のみならず反射性にも咬筋・側頭筋と極めて類似した反射性の制御を受けていることが明らかになった。そして、この反射性の制御様式においても、上頭と下頭は相反した振る舞いを示した。

歯根膜咬筋反射

図6 咬筋に誘発された歯根膜咬筋反射と上頭に認められた同様の時間経過を示す筋電図応答（上段）並びに下頭の記録（下段）
 筋電図は全波整流後、タップ刺激の立ち上がりを基準に50回の加算平均処理を行っている。

Ⅵ. 上頭・下頭の収縮張力が円板と関節頭の運動に及ぼす影響（解剖死体での検証）

上頭・下頭の収縮張力が、関節頭並びに関節円板の動きに対したどのように作用しうるかを解剖用死体で関節頭を上関節腔から下部の関節構造全体を切り出して検討した。図10に示すごとく、円板の後方肥厚部に指を引っかけて円板を後方に回転させると非常に容易にほとんど抵抗無く回転移動した。この円板の後方回転運動は図10右列に示すように下頭の筋腹を引っ張っているにもかかわらず非常に容易に起こることから、下頭はこのような円板の後方回転移動に対してほとんど影響を及ぼさないことが伺えた。一方、上頭の筋腹を図11右に示すように前方に引っ張った場合、円板の関節頭に対する相対的位置が図11-左に示すような位置からさらに前方に移動することはあり得なかった。円板は関節頭の外側極、内

伸張反射 (下顎張反射)

図7 オトガイ部タップ刺激により誘発される下顎張反射の反射弓(左)と、咬筋・側頭筋に誘発された下顎張反射筋電図応答と、上頭に認められた同様の時間経過を示す筋電図応答(右)。タップ刺激の立ち上がりを基準に30回の記録を加算平均した。

伸張反射 (下顎張反射)

図8 オトガイ部タップ刺激で誘発された筋電図応答の振幅と開口量の関係。タップ刺激の立ち上がりを基準に30回の記録を加算平均した。

図9 下顎骨の持続的後方伸展時の関節頭の変位と上頭・下頭の筋電図。下顎骨の受動的後方変位の区間を下線で示す。関節頭の受動的な後方への変位に一致して、上頭筋活動の著名な増加が認められる。

図10 上頭・下頭の張力が関節頭、関節円板の位置および運動に及ぼす影響(解剖死体での検証-1)。円板の後方肥厚部に指を引っかけて円板を後方に回転させると非常に容易にほとんど抵抗無く回転移動した(図右列、模式図を図左列下段に示す)。この円板の後方回転運動は下頭の筋腹を図右列に示すように引っ張っているにもかかわらず、非常に容易に起こることから、下頭はこのような円板の後方回転移動に対してほとんど影響を及ぼさないことが伺えた。関節窩の中から取り出したままの円板の位置を図中央列に示す。下段中央と右の拡大写真における黒実線と黒○はそれぞれ下顎骨関節頭の骨外形と関節円板が靭帯様結合する下顎骨関節頭外側極の位置を示す。

側極に靭帯様結合組織で強固に結合しており²⁹⁾、上頭の筋腹を引っ張った場合、円板は靭帯様結合組織を介して関節頭に強固に固定され、円板を含めた関節構造物全体が前方に牽引される様な力が作用することが判明した。一方、後方に回転移動した円板は、上頭を引っ張ることにより非常に容易に元の図11-左に示す位置に戻ることが解った。以上のように上頭の収縮張力は円板の関節頭に対する相対的位置関係に重大な影響を及ぼすが、下頭

図11 上頭・下頭の張力が関節頭、関節円板の位置および運動に及ぼす影響（解剖死体での検証_2）

上頭の筋腹を図右に示すように引っ張った場合、円板の関節頭に対する相対的位置が図左に示すような位置からさらに前方に移動することはあり得なかった。円板は関節頭の外側極、内側極に靱帯様結合組織で強固に結合しており²⁹⁾、上頭の筋腹を引っ張った場合、円板は靱帯様結合組織を介して関節頭に強固に固定され、円板を含めた関節構造物全体が前方に牽引される様な力が作用することが判明した。一方、後方に回転移動した円板は、上頭を引っ張ることにより非常に容易に元の図左に示す位置に戻ることが解った。

のそれは、ほとんど影響を及ぼさないことが明らかであった。

VII. 上頭・下頭の機能的役割のまとめ

下顎骨関節頭並びに関節円板の運動における上頭・下頭の機能的役割を図12に模式的にまとめて示す。上頭には中心咬合位付近ですでにかなりの量の筋活動が **background activity** として存在していた。この筋活動により、円板を含めた関節構造物全体が関節結節の後壁に向けて一定の張力で牽引されていることになる。そして咬合力を発揮する際には上頭は咬筋、側頭筋よりも早くその筋活動を急激に増加させ、さらに強い力で関節を前方に牽引する。この上頭の活動により、関節頭が側頭筋の張力により後方へ変位するのを防ぎ、いわゆる関節のスタビライザーのような役割を上頭が演じるのだと考える。

図12 噛みしめと開閉口運動における上頭・下頭の機能的役割を示す模式図

咬合力を発揮する際には上頭は咬筋、側頭筋よりも早くその筋活動を急激に増加させ、さらに強い力で関節を前方に牽引する。この上頭の活動により、関節頭が側頭筋の張力により後方へ変位するのを防ぎ、いわゆる関節のスタビライザーのような役割を上頭が演じるのだと考えられる。一方、開口運動時には、関節円板は関節頭に対して後方に回転移動しなければならず（図右下挿入図）、このような円板の運動は、関節頭と関節円板との相対的位置関係の調節を行っている上頭が弛緩する事により初めて可能となる運動である。従ってこの時期には上頭の筋活動量は開口量並びに関節頭前方移動距離と反比例の関係で変化する。そして下頭は関節頭を上顎骨に対して前方に移動させるために上頭の筋活動がほぼ消失した時点から活動を開始し以後、関節頭前方移動距離と正比例の関係で筋活動量は変化する。

一方、開口運動時には、関節円板は関節頭に対して後方に回転移動しなければならず、このような円板の運動は、関節頭と関節円板との相対的位置関係の調節を行っている上頭が弛緩する事により初めて可能となる運動である（図10, 11参照）。従って開口運動時には上頭の筋活動量は開口量並びに関節頭前方移動距離と反比例の関係で変化する。そして上頭の筋活動がほぼ消失した時点から下頭は関節頭を上顎骨に対して前方に移動させるために活動を開始し、以後関節頭前方移動距離と正比例の関係で筋活動量は変化する。

図13 上頭・下頭の側方運動における機能的役割を示す模式図

側方運動時、反対側の下頭・咬筋と、同側の上頭・側頭筋の活動が増加し、同側の関節頭が回転中心となって下顎骨の側方運動は営まれる。この時もし上頭の筋活動がないと仮定すると、側頭筋の筋力により同側の関節は、後外方に大きく変位すると思われる。また上頭で観察された伸張反射機構による筋活動量の増加は、側頭筋の筋力により後外方に変位しようとする関節の位置を反射的に最適の位置に保持するのに、非常に有効に働きうるものであると言える。

次に側方運動について考える。側方運動時、反対側の下頭・咬筋と、同側の上頭・側頭筋が同時に活動し、同側の関節頭が回転中心となって下顎骨の側方運動は営まれる（図13）。この時もし上頭の筋活動がないと仮定すると、側頭筋の筋力により同側の関節は、後外方に大きく変位すると思われる。したがって、上頭と側頭筋は活動する時期は同じであるが、機能的には拮抗関係にあるのではないと思われる。そして上頭で観察された伸張反射機構による筋活動量の増加は、側頭筋の筋力により後外方に変位しようとする関節の位置を反射的に最適の位置に保持するのに、非常に有効に働きうるものであると言える。

図14 関節円板の位置異常が認められた症例と正常な関節の比較

VIII. 円板前方転位の発生メカニズムに関する仮説

図14に円板の位置が比較的正常であると思われる関節と、前内方に変位している症例を示す。このような円板の位置異常は、本来円板を関節頭に固定している外側極、内側極の靱帯様結合組織が、慢性的に異常な力を受けて伸展した結果であろうということは容易に推測される。そのような力を円板を介して外側極、内側極の靱帯様結合組織に加える可能性の最も高いのは上頭であることは今回の結果より明らかである。上頭は、噛み締め時や咀嚼運動時の咬合相で最大の筋活動を示すが、それ以外でも最大筋活動量に匹敵する程の筋活動が、嚥下時にみられる（図15赤丸印）。また、下顎を後方に伸展した場合中心咬合位で存在する background activity は伸張反射機構により著しく増大する（図15黒丸印）。すなわち、咬合関係の不全等により咬頭嵌合位を本来の位置より後方にとらざるを得ない状況になった場合、同様の機序により中心咬合位での上頭の background activity は異常増加することになる。そして後方変位した位置での嚥下や咀嚼時にはさらに上頭筋張力は増加し、より強い力で円板を前方に引っ張ることになるわけである。

関節円板前方転位の発生メカニズムについて、関節頭の後方変位とそれによって引き起こされる上頭の伸張反射の両者が起こす悪循環をもとに考察してみる。図16に示すごとく関節頭の後方変位は重要な二つのことを引き起こす。

①関節頭の前方に円板肥厚部が滑り込んでくる物理的空

図15 下顎安静位，嚥下時，後方伸展時の上頭の特徴的筋活動。
上頭は咀嚼運動時の咬合相で最大の筋活動を示す（右列）が，嚥下時では最大筋活動量に匹敵するほどの大きな筋活動（赤丸印）が認められた。また，下顎を後方に伸展した場合安静位で存在する background activity は伸張反射機構により著しく増大する（黒丸印）。

間スペースを形成すること。

- ②上頭に伸張反射を引き起こし，上頭の収縮張力を反射性に増大させること。

そして，増大した上頭の張力によってより強い力で円板は前方に牽引される。その結果滑り込んできた円板肥厚部はさらに関節頭を物理的に後方に押しやる。このことは，このような循環の新たなスタートとなり，同様のことが繰り返される。以上のように，関節頭の後方変位とそれによって引き起こされる上頭の伸張反射の両者が起こす循環は，関節円板前方転位を悪化する方向に加速することになるわけである。

参考文献

- 1) Kamiyama, T.: An electromyographic study of the function of the external pterygoid muscle, Bull Tokyo Med Dent Univ, 8: 118, 1961.
- 2) Mcnamara, J. A., JR.: The independent functions of the heads of the lateral pterygoid muscle, Am J Anat, 138: 197-206, 1973.
- 3) Luschei, E.S. and Goodwin, G.M.: Patterns of Mandibular movement and jaw muscle activity during mastication in the monkey, J Neurophysiol, 37: 954-966, 1974.

関節頭後方変位と伸張反射による悪循環

図16 関節頭の位置の後方変位と上頭に誘発される伸張反射による悪循環を示す模式図

関節頭の位置が関節窩の中で正常な位置にあるときの関節頭，関節円板，関節結節など関節構造物の全体の相対的位置関係を図右に示す。関節頭の後方変位は重要な二つのことを引き起こす。①関節頭の前方に円板肥厚部が滑り込んでくる物理的空間スペースを形成すること。②上頭に伸張反射を引き起こし，上頭の収縮張力を反射性に増大させること。そして，増大した上頭の張力によってより強い力で円板は前方に牽引される。その結果滑り込んできた円板肥厚部はさらに関節頭を物理的に後方に押しやる。このことは，このような循環の新たなスタートとなり，同様のことが繰り返される。

- 4) Lehr, R. P. and Owens, S. E. JR.: An electromyographic study of the human lateral pterygoid muscles, Anat Rec, 196: 441-448, 1980.
- 5) Miller, A. J., Vargervik, K., Chierici, G.: Electromyographic analysis of the functional components of the lateral pterygoid muscle in the rhesus monkey (MACACA MURATTA), Archs Oral Biol, 27: 475-480, 1982.
- 6) Mahan, P. E., Wilkinson, T. M., Gibbs, C. H., et al.: Superior and inferior bellies of the lateral pterygoid muscle EMG activity at basic jaw positions, Journal of Prosthetic Dentistry, 50: 710-718, 1983.
- 7) Gibbs, C. H., Mahan, P. E., Wilkinson, T. M., et al.: EMG activity of the superior belly of the lateral pterygoid muscle in relation to other jaw muscles, J Prosthet Dent, 51: 691-702, 1984.

- 8) Wood, W. W., Takada, K., Hannam, A. G.: The electromyographic activity of the inferior part of the human lateral pterygoid muscle during clenching and chewing, *Archs Oral Biol*, 31: 245-253, 1986.
- 9) Widmalm, S. E., Lillie, J. H., Ash JR, M. M.: Anatomical and electromyographic studies of the lateral pterygoid muscle, *J Oral Rehabil*, 14: 429-446, 1987.
- 10) Phanachet, I., Whittle, T., Wanigaratne, K., et al.: Functional properties of single motor units in inferior head of human lateral pterygoid muscle: task relations and threshold, *J Neurophysiol*, 86, 2204-2218, 2001.
- 11) Phanachet, I., Whittle, T., Wanigaratne, K., et al.: Functional properties of single motor units in inferior head of human lateral pterygoid muscle: task firing rate, *J Neurophysiol*, 88, 751-760, 2002.
- 12) 上田龍太郎：外側翼突筋下頭の活動様式，補綴誌，36：94-107，1992.
- 13) 吉田和也：顎頭運動からみた咀嚼時の外側翼突筋上頭の筋電図学的研究，補綴誌，36：340-350，1992。
日比野和人：外側翼突筋上頭の基本特性並びに開口量・咬合力との関係，補綴誌，34：545-558，1990.
- 14) 日比野和人：外側翼突筋上頭の基本特性ならびに開口量・咬合力との関係，補綴誌，34：545-558，1990.
- 15) 日比野和人，平場勝成，平沼謙二：ヒト外側翼突筋上頭・下頭の機能的相違について 1. 各種基本運動時の活動様式並びに解剖学的考察，補綴誌，36：314-327，1992.
- 16) 平場勝成，日比野和人，平沼謙二：ヒト外側翼突筋上頭・下頭の機能的相違について 2. 関節頭運動要素と筋活動，補綴誌，36：328-339，1992.
- 17) Hiraba, K., Hibino, K., Hiranuma, K.: Reciprocal activities of the two heads of the human lateral pterygoid muscle, edited by Morimoto, T., Matsuya, T., Takada, K., *Brain and Oral Functions; Oral Motor Function and Dysfunction*, 499-505, Elsevier, Netherland, 1995.
- 18) 平場勝成：外側翼突筋上頭・下頭の関節頭ならびに円板の運動に対する相反的役割，補綴臨床，31：611-623，1998.
- 19) Hiraba, K., Hibino, K., Hiranuma, K. et al.: EMG activities of two heads of the human lateral pterygoid muscle in relation to mandibular condyle movement and biting force, *J Neurophysiol*, 83:2120-2137, 2000.
- 20) Hiraba, K.: EMG activities of the two heads of the human lateral pterygoid muscle in response to mechanical tap stimulation of the teeth, *Aichi-Gakuin Dent Sci*, 14:15-25, 2001.
- 21) Goldberg, L. J.: Masseter muscle excitation induced by stimulation of periodontal and gingival receptors in man, *Brain Res*, 32: 369-381, 1971.
- 22) Clark, G. T. and Goldberg, L. J.: Factors influencing the excitatory-masseteric reflex evoked by gingival electrical stimulation in man, *Archs Oral Biol*, 28: 1055-1058, 1983.
- 23) 吉田幸弘：開口量と下顎伸張反射との関係 咬筋 α 運動ニューロンの興奮レベル，補綴誌，35：636-645，1991.
- 24) Nozaki, S., Chandler, S., Goldberg, L. J.: Crossed and uncrossed central effects of muscle spindle afferents from the lateral pterygoid muscle of the guinea pig, *Brain Res*, 302: 339-345, 1984.
- 25) Nozaki, S., Iriki, A., Nakamura, Y.: Trigeminal mesencephalic neurons innervating functionally identified muscle spindles and involved in the monosynaptic stretch reflex of the lateral pterygoid muscle of the guinea pig, *J Comp Neurol*, 236: 106-120, 1985.
- 26) Honée, G. L. J. M.: An investigation on the presence of the muscle spindles in the human lateral pterygoid muscle, *Netherlands Tijdschr. Tandheelkd*, 73 (suppl 3) : 43-48, 1966.
- 27) Gill, H. L.: Neuromuscular spindles in human lateral pterygoid muscle, *J Anat*, 109: 157-167, 1971.
- 28) Kohno, S. and Ishiwara, T.: Analysis of movement of mandibular condyle in sagittal plane, *Bull Tokyo Med Dent Univ*, 18: 233-245, 1971.
- 29) Ress, L. A.: The structure and function of the mandibular joint, *Br Dent J*, 16: 125-133, 1954.