

依 頼 論 文

◆特集：日本補綴歯科学会第 121 回学術大会／シンポジウム 3
「咬合面形態の機能的意義を考える」

咬合の形態と口腔機能の調和

服部 佳功

Occlusal Morphology as a Reflection of Oral Function

Yoshinori Hattori, DDS, PhD

抄 録

口腔機能を適切に維持回復する補綴装置やその咬合面形態を設計するには、咬合面形態と口腔機能との調和，なかんづく咬合面の特定の領域とそれを場として営まれる個別の口腔機能との具体的な関連に関して，十分な知識が必要である。本稿では，口腔機能がどのように咬合の形態に反映されるかを議論する目的で，下顎における主機能部位（硬固物の咀嚼粉碎に好んで用いられる咬合面上の部位の謂い）の座である第 1 大臼歯遠心頬側咬頭および遠心咬頭内斜面に注目し，咬合力負担能力，被圧変位，咬合感覚などの特徴を文献的に検索した。またこの部位が，これまで咀嚼と咬合面形態の調和を図るうえで重視された A，C 接触ではなく B 接触であることに着目し，咀嚼における咬合接触の時期や接触のあり方を，口腔における食品加工との関連において議論した。

和文キーワード

咬合面，咀嚼，咬合力，咬合接触，咬合感覚

I. はじめに

咬合と口腔機能の調和は歯科補綴学積年の重要課題であり，その際に想定されたのは咀嚼，嚥下や発語などに伴う下顎運動，なかんづく咀嚼運動であった。咬合と機能の調和とは，その実，咬合と咀嚼運動の調和にほかならなかった。このことを念頭におくとき，加藤の主機能部位咬合理論¹⁾の新規性は誰の目にも明らかである。なにしろ加藤は咬合と咀嚼の調和を語りながら咀嚼運動との調和を一向に論じようとしないのである。

口に入れた硬い食品（それを模した試験食品としてストッピングの小片を用いる）を初めて噛み砕く際，ヒトはこの作業に相応しい歯列上の部位に食品を移送し，そこを粉碎の場と定める。その位置は個々人においてほぼ一定であり（つまり位置に再現性がある），それにちなんで主機能部位（硬固物の粉碎に好んで用いられる歯列咬合面上の部位の謂いである）と呼ばれる。上顎第 1 大臼歯の近心舌側咬頭内斜面と下顎第 1 大臼歯の頬側

遠心咬頭および遠心咬頭の内斜面の間に位置を占めることが多く，その部が（形態や咬合など）何らかの事由で咀嚼粉碎に適さなければ次善の部位に位置を移す。しかし（ヒトは余程この部位での咀嚼粉碎に執心らしい），そこに緊密な咬合を付与することで他に移動した主機能部位を即時にこの部へと呼び戻すことができるし，反対に第 1 大臼歯の咬合力負担を減じたい場合には，この部の咬合を弱めることで主機能部位を他歯に移すこともできる。主機能部位が歯間部に位置する患者では，それを固有咬合面内に移すよう咬合を改変することで，食片圧入の悩みを解消できるともいう。上述に明らかな実学的性質は，本理論の特筆すべき美質である。

ではなぜ第 1 大臼歯のその部なのか。第 1 大臼歯は久しい系統発生のおかげで咀嚼粉碎に適した形態を獲得した。加えて個体発生においては永久臼歯中もっとも早く萌出して咬合に至るから，この歯での咀嚼粉碎に慣熟する機会他歯より多い。第 1 大臼歯への偏好にはそれだけの事情があるというのが加藤の所論である。しかし第 1 大臼歯が他歯との比較を待たずに主機

能部位に選ばれる場合、何がその条件であるかはいまのところ不明である。同様に第1大臼歯がその条件を備えないにもかかわらず、他歯との比較を経て主機能部位に選ばれることがあるか、あるとすれば何が新たな条件かも未解明である。

本稿では、下顎における主機能部位の座として最優先の資格を具える第1大臼歯遠心頬側咬頭および遠心咬頭内斜面の咬合の特徴を、咀嚼粉碎という機能への適性の観点から論じる。次いで、本理論が咬合と咀嚼の調和を目標としながら、下顎運動との関連を少なくとも表面的には重視しないことに鑑み、咀嚼における運動と咬合の調和のあり方を考えたい。

II. 主機能部位の座

1 生体力学的特徴

主機能部位の予約席は、上顎は第1大臼歯の近心舌側咬頭内斜面であり、下顎は第1大臼歯の頬側遠心咬頭と遠心咬頭の内斜面である。そこを咀嚼粉碎の場に択ぶことに、どのような機能的妥当性があるのだろうか。

噛みしめ時の咬合力は、歯列上の多数の咬合接触面に分布する咬合力の総体であり、個々の咬合力は上下顎咬合面間の静的な圧縮力だから、歯列全体を覆う薄い感圧フィルムを用いて実測できる。また感圧フィルムに現れる咬合力作用部位の形状や分布を、咬頭嵌合位で記録したチェックバイトに現れる咬合接触部位（チェックバイトの光透過部位として認識できる）と照合することで、個々の咬合力が歯列咬合面のどの部位に働くかを同定できる。一方、咬合力の作用方向は咬合接触面と垂直と想定できるから、歯列模型の3次元形状を測定し、咬合接触面の位置と傾き（面の法線方向）を計測すれば、咬合力の着点と作用方向が求まる。こうして歯列上の各咬合接触面にはたらく咬合力を3次元的に記録すれば、個々の歯や歯列全体が負担する咬合力の合力を求めることも可能である。

咬合力の着点と作用方向は歯列上に散在する。剛体の異なる点に働く複数の力を合成するには、着点を1点に揃えなければならない。着点を移動するには、それによって生じる剛体を回転させるはたらきの変化を打ち消すよう、モーメントを追加することになる。合成された力は着点の位置が変わっても同じだが、モーメントは位置によって変化し、ある特定の条件では力の作用線とモーメントの軸が一致する。ちょうど木ねじを木にねじ込むときのように、力と回転の軸が一致するから、これをレンチと呼ぶ。各歯であれ歯列全体であれ、咬合力の合力はレンチの形式で表現できる^{2, 3)}。

正常咬合を具える健康有歯顎者に最大噛みしめを行わせて咬合力を記録すると、下顎第1大臼歯の咬合力のレンチ軸（咬合力の作用線に相当する）が咬合面を貫く点は遠心頬側ないし遠心咬頭の内斜面を中心に分布し⁴⁾、一般的な主機能部位の座とおおむね重なる。咬合面間に介在する食片をこの部でまさに破碎しようとするときも、破碎した食片が咬合面から零れ落ちて上下の歯同士がじかに咬合するときも、咬合力作用線はこの部を通る。このことは、咀嚼中の歯の動揺を最小限に抑えるうえで有利に働くであろう。

噛みしめ時に各歯に働く咬合力のレンチ軸が咬合面を貫く点は、第2大臼歯以外の下顎臼歯ではいずれも固有咬合面の遠心部分を中心に分布する⁴⁾から、これらの歯は咬合力の作用によって遠心に傾斜しつつ根尖側方向に沈下する。一方、開口⁵⁾のみならず噛みしめ時にも下顎骨は変形し、歯列幅径を減じる^{6, 7)}ことから、個々の歯の遠心移動にもかかわらず隣接歯間の圧縮力はむしろ強まり、食片圧入の防止に役立つと推察される。臼歯は隣接歯間を取り結ぶ歯間水平線維のはたらきにより近心方向に移動する性質を具え、歯冠隣接面の磨耗による歯間離開の補償に寄与すると報じられている^{8, 9)}。歯がおのずと近心に移動するこの仕組みは、咬合力によって遠心に変位しようとする臼歯を本来の位置に維持するのにも有効と思われる。

歯は対合歯や食品などとの接触に際して摩耗し、摩耗は酸による表層の脱灰により加速される。歯表面を覆うエナメル質は人体でもっとも高硬度だが、萌出に先立って生体活性を失うので、摩耗に対する修復の機転ははたらかない。咀嚼粉碎の場には、したがってより厚いエナメル質が準備されて然るべきである。ヒト下顎第1大臼歯固有咬合面のエナメル質は遠心頬側咬頭ないし遠心咬頭内斜面部においてもっとも厚いと報じられ¹⁰⁾、この部が主機能部位に択ばれることの蓋然性が伺われる。

しかし、以上は主機能部位が下顎第1大臼歯内にある場合に、固有咬合面遠心頬側部分が択ばれることの妥当性を示唆するに過ぎず、他の臼歯をさしおいて第1大臼歯が優先的に選ばれる理由には及んでいない。主機能部位にかぎらず、咬合や咬合形態と機能との関連を探るには現代のヒトの顎口腔のみを眺めていたのでは不十分であって、本シンポジウムで佐々木が人類学の成果に着目したものも故なしとしない。なかでも計算力学の手法を比較解剖学に応用してヒト顎口腔系の生体力学的特徴を検討した Wroe らの研究¹¹⁾は、臼歯列における第1大臼歯の優越を考えるうえで示唆に富む。ヒトの咀嚼力はヒト上科の他種（ゴリラ、チンパンジー、オランウータンなど類人猿）に比べて小さいものの、顎骨表面積で

標準化するとむしろ大きいというシミュレーション結果に対し、エナメル質や頑強な歯根などを備えた歯が大きな咬合力負担に適すること、下顔面高が小さいため多様な方向への筋力の発揮が難しいことなどを指摘したうえで、硬い食品の粉碎は得意だが強靱な食品を長時間にわたり咀嚼するには向かないとの考察が導かれる。

一定の筋力に対する咬合力が大きいのは、ヒトの下顔面（歯列と言い換えてもよい）が後退したからで、筋力の合力の作用線と顎関節（顎関節負荷の着力点）との距離に対して同じ作用線から歯列（咬合力合力の着力点）までの距離が減少すれば、筋力はより多く歯列によって負担される。しかし同時に、一定長の筋収縮によって生じる下顎歯の移動距離も減少する。ヒト咀嚼系が硬固物の粉碎には適しても、高靱性の食品の臼磨に適さない所以である。そしてこの不都合は歯列後方歯において一層顕著である。だとすれば、ヒト臼歯列において、咬合力の効率的発揮と臼磨の便という相反する要求をふたつながら満たす場に位置するのが第 1 大臼歯であるという推察が成り立つのではあるまいか。類人猿では後方大臼歯ほど大きさを増し、ヒトのみ第 1 大臼歯が最大（これは第 2、第 3 大臼歯の退化傾向を意味する）という事実¹²⁾は、この際きわめて示唆的と思われる。

2. 咬合感覚の関与

咬合に伴う歯の被圧変位を歯周組織の変形として捉えるのが歯根膜の咬合感覚である。歯の被圧変位特性は咬合力の着力点や作用方向、歯根の形態や歯周組織の硬さなどの影響を受けて変化し、別けても歯根と歯槽骨の機械的接触の影響が著しい¹³⁾。してみるとヒトの咬合感覚を議論するにはヒトでの研究を参照するほかない。その代表的な成果に、伝達麻酔時と同様の手技で下歯槽神経にタングステン微小電極を刺入し、歯根膜感覚受容器一次求心性線維の活動電位を記録した Trulsson らの一連の研究がある。下顎両小臼歯、第 1 大臼歯の 3 歯の咬合面に小さな立方体を貼付し、その各面に力を負荷することで、咬合力の着力点や作用方向の違いの影響を検索した比較的近年の報告¹⁴⁾は、歯種間の咬合感覚の相違を明瞭に示すものとして、とりわけ注目に値する。小臼歯の歯根膜受容器は根尖側方向への垂直力と幅広い方向の側方力の両方に応答するが、第 1 大臼歯では垂直力には応答せず、ほぼ舌側および遠心側方向の側方力にのみ応答し、それ以外では頬側方向の側方力に若干の応答を示すにとどまる。また咬合面の近遠心 2 箇所立方体を貼付した第 1 大臼歯では、2 箇所の着力点に同一方向の力を与え、ほぼ同じ応答を記録している。この結果は下顎第 1 大臼歯の被圧変位特性に照らして妥

当である。ならばその遠心部に向けられた咀嚼粉碎部位の選好は、いかなる感覚に由来するのであろうか。

ひとつの可能性は上顎臼歯の咬合感覚である。小掠らは、咬合面に数カ所の着力点を設けてそれぞれに垂直力として負荷したとき、下顎第 1 大臼歯ではどこを押されたかの識別が難しいが、上顎第 1 大臼歯では比較的高い精度で識別できること、また上顎では舌側、下顎は頬側に咬合力の着力点を設けた場合に、噛みしめ時の不快感を生じにくいことを報じている^{15, 16)}。後者¹⁶⁾は随意的最大噛みしめ時の咬合感を VAS（左端が咬頭嵌合位における噛みしめと同様に快適、右端が想像できる最大の不快とする）で評価した結果である。試みに被験者各個について全着力点の VAS 値の平均と標準偏差を求め、VAS 値が被験者個人の平均値よりも標準偏差分を超えて小さい場合は快、大きい場合は不快、それ以外はどちらでもないと区分したうえで、全被験者の評価が快もしくはどちらでもないの場合は肯定的評価、不快もしくはどちらでもない場合は否定的評価、快と不快が混在する場合はいずれでもないの 3 分類を行ったところ、肯定的評価は下顎の咬合面中央のみで上顎にはなく、否定的評価は上顎の頬側すべてと遠心口蓋側ならびに下顎の遠心舌側であった。以上は咬合部位間での咬合感覚の良否の別が、上顎歯においてより明瞭なことを示している。上顎第 1 大臼歯は着力点が頬側の場合には近心頬側方向、舌側の場合は舌側もしくは舌側根尖側方向に変位するのに対し、下顎第 1 大臼歯は着力点によらず舌側根尖側方向に沈み込む。この被圧変位特性の相違が咬合感覚の相違をもたらす可能性は小掠らが論文中に指摘するとおりである。

この研究では咬合感覚（VAS 値）と随意的最大咬合力の関係をも検索し、上顎大臼歯では両者に有意な相関を見出している。歯の咬合力負担能力は最大咬合力の主要な規定要因であり¹⁷⁾、組織損傷への不安が噛みしめ強度を制限する¹⁸⁻²⁰⁾。被験者が感じた不快感は、組織損傷を警告する侵害受容性感覚が惹起した不快情動かもしれない。硬固物を安全に咀嚼粉碎するには、破壊する側（歯や歯周組織）の破壊強度が破壊される側（食品）より十分に大きくなければならない。咬合力負担能力が主機能部位選択の一要因である可能性にも一考の余地があるだろう。

III. 咀嚼における食品加工とそれが行われる場

臼歯列の咬合接触は、前頭面内の接触面の位置に基づいて上顎頬側咬頭内斜面と下顎頬側咬頭外斜面の接触、上顎口蓋側咬頭内斜面と下顎頬側咬頭内斜面の接触、な

らびに上顎口蓋側咬頭外斜面と下顎舌側咬頭内斜面の接触の3種、すなわちA接触、B接触、C接触到分類される。咀嚼中に咬頭嵌合位以外でこれら咬合接触を生じるとすれば、中澤²¹⁾の第IV相および第V相においてである。第IV相は閉口相の末期、咀嚼側偏心位（中澤は咬頭対咬頭の位置とする）から咬頭嵌合位に至る範囲で、経路がもっとも上方を通れば咬頭嵌合位に至る手前でA、C接触が生じうる。続く第V相は咬頭嵌合位を超えてさらに非咀嚼側に向かう経路で、咬合接触が生じるとすればB接触である。咀嚼における食品加工にもっとも重要なのは、どの相のどの接触だろうか。

咀嚼周期のうち閉口筋活動が亢進し強い咀嚼力が発揮される期間をpower strokeという。KayとHiimaeはpower strokeを咬頭嵌合位に噛み込むまでの第1相とそれ以降の第2相に区別し、後者の寄与がより大きいとした²²⁾。一方、閉口筋活動が最大に達する時点は下顎位が咬頭嵌合位に至る時点に先立つこと50 ms（筋の電氣的活動から力が発揮されるまでの時間差）以上であり、したがって咬合力の大きい第1相における食物粉碎こそが咀嚼における主たる食品加工と主張したのがWallらである²³⁾（ただしこれはアヌビスヒヒの話である）。ヒトでは第2相にあたる咀嚼第V相がまれにしか現れず、閉口筋活動のピークも咬頭嵌合位に大きく先行することから、咀嚼における食品加工はやはり第1相が主体と考えられる。第1相ではAおよびC接触が臼磨（剪断）、B接触が粉碎に関与しうる。しかしプリッツ咀嚼時の臼歯の被圧変位特性¹⁾を見る限りではA、C接触面間に強い圧縮力が働くとは思えない。それは主機能部位における硬固物の粉碎に限らず、咀嚼を通してB接触における粉碎が食品加工の主体をなすことを意味するのであろうか。

このことを、歯列形状の3次元計測とガム咀嚼動作の6自由度計測の結果から、下顎大臼歯の各種咬合面（この研究ではA、B、C接触到を近遠心方向の傾斜によってそれぞれM、Dの2種に区別し、都合6種に分類する）と対合歯との距離の変化を検討した三好の研究結果²⁴⁾に基づいて検証したい。咬頭嵌合位の3 mm手前から咬頭嵌合位に至る範囲の閉口相ではいずれの咬合小面も単調に対合歯との距離を減じる。しかし咬頭嵌合位までの距離に対して直線的に距離を減じるB接触到に対し、A、C接触到は比較的早期に距離を減じ、その傾向は総じてC接触到に比べてA接触到で顕著である。なかでもAMと対合歯の距離がもっとも小さい。注目すべきはAM面ですら咬合接触面の傾斜角と咀嚼運動路の間に、角度にして10度ほどの開きのあることである。咀嚼第IV相では、AM面はもとより、いかなるA、C接

触も接触滑走してはいない。面に近接しながら、わずかに内側を通過するのである。三好は咀嚼運動の誘導に関して下顎機能咬頭AM面の関与がもっとも大きいと結論するが、それを誘導というならば、ガードレールのような役割（自動車の運転手はガードレールやセンターラインを視認し、それを頼りにステアリングを操作する）なのだろうか。鉄道のレールは台車の向きを物理的に規定することで、列車の運動方向を誘導する。誘導と聞いて思い描くのはこの様式だが、下顎を誘導する咬合接触は生じてはいない。

咀嚼経路の変動を仔細に分析すると、少数の独立した変動が重畳していると分かる^{25, 26)}。各個人の経路変動はその90%以上がわずかに4~6個の変動により説明でき、経路の大きさ（経路形態はほとんど変化せず、開口量の変化に伴い経路が相似的に変化する）、開閉口路の幅径、前頭面内の開口方向、矢状面内の開口方向の4種の変動は多くの個人に共通に認められる。幅径が増大すればいわゆるグライディング型、縮小すればチョッピング型、さらには開閉口路が交差するクロスオーバー型となる。同一人の咀嚼経路が実に多様なのは数種の要素を独立に変えているからであり、変動範囲を規定する役割を担うのが咬合である。まさにガードレール式の誘導というべきであろう。ちなみに圧搾空間²⁷⁾（咀嚼時に上下顎臼歯咬合面間に生じる空間で、食品の圧搾、口蓋側方向への排出に適した形態を備える）は、咀嚼経路が著しくグライディング型に偏る際にのみ形成される。

咀嚼中、臼歯部は咬頭嵌合位以外ではほとんど咬合接触しないとすれば、ヒトは咀嚼動作の変動幅をどのようにして知るのだろうか。そのヒントを咬耗に探ってみた。咬耗面は一般に滑沢で、歯同士の直接接触により生じたことを伺わせる。そして咬耗が下顎運動に伴い生じるならば、咬耗面の向き（法線方向）からその成立に関与した運動が分かる。Occlusal fingerprint analysisと名付けられたこの方法により、咬耗面の形成には実に多様な運動が関与することが示された²⁸⁾。多くの動作を通じてヒトは限界運動範囲の上面（咬頭嵌合位とその近傍の偏心咬合位と言い換えてもよい）を認識し、咀嚼などの機能運動で活用できる運動範囲を繰り返し学習しているのであろう。

IV. おわりに

Digital Dentistryが発展し、多様な材料を自在に賦形して任意の咬合面形態を具える補綴装置を調製できるまでになったが、咬合面形状の設計指針は不詳、不明の

連続である。咬合面形態の機能的意義を明らかにし、咬合面の具体的な設計指針を確立するには、補綴歯科学が蓄えた知見はもちろんのこと、それ以外の領域の研究成果をも広く渉猟する努力が望まれる。

文 献

- 1) 加藤 均. 主機能部位に基づく実践的咬合論. 東京: デンタルダイヤモンド社; 2010.
- 2) 國枝武靖. レンチを応用した歯列上3次元咬合力の解析. 東北大歯誌 2005; 24: T41-T54.
- 3) Hattori Y, Satoh C, Kunieda T, Endoh R, Hisamatsu H, Watanabe M. Bite forces and their resultants during forceful intercuspal clenching in humans. *J Biomech* 2009; 42: 1533-1538.
- 4) 小倉隆一. 歯列上三次元咬合力の正常者像に関する研究. 東北大歯誌 2006; 25: T69-T79.
- 5) Regli CP, Kelly EK. The phenomenon of decreased mandibular arch width in opening movements. *J Prosthet Dent* 1967; 17: 49-53.
- 6) Koriath TWP, Hannam AG. Deformation of the human mandible during simulated tooth clenching. *J Dent Res* 1994; 73: 56-66.
- 7) 田中恭恵, 服部佳功, 佐藤智昭, 猪狩洋平, 蒲原 敬, 渡邊 誠. 噛みしめに伴う歯列変形の計測. 顎機能誌 2011; 17: 60-61.
- 8) Picton DCA, Moss JP. The part played by the trans-septal fibre system in experimental approximal drift of the cheek teeth of monkeys (*Macaca irus*). *Arch Oral Biol* 1973; 18: 669-680.
- 9) Nanci A. Ten Cate's oral histology: development, structure, and function. St Louis: Mosby Elsevier; 2008, 275.
- 10) Kono RT, Suwa G, Tanijiri T. A three-dimensional analysis of enamel distribution patterns in human permanent first molars. *Arch Oral Biol* 2002; 47: 867-875.
- 11) Wroe S, Ferrara TL, McHenry CR, Curnoe D, Chamoli U. The craniomandibular mechanics of being human. *Proc Biol Sci* 2010; 277: 3579-3586.
- 12) 藤田恒太郎, 桐野忠大, 山下靖雄. 歯の解剖学, 第22版. 東京: 金原出版; 1995, 215.
- 13) Naveh GR, Lev-Tov Chattah N, Zaslansky P, Shahar R, Weiner S. Tooth-PDL-bone complex: Response to compressive loads encountered during mastication-A review. *Arch Oral Biol* 2012; 57: 1575-1584.
- 14) Johnsen SE, Trulsson M. Receptive field properties of human periodontal afferents responding to loading of premolar and molar tooth. *J Neurophysiol* 2003; 89: 1478-1487.
- 15) 小椋麗子, 三浦宏之, 加藤 均, 岡田大蔵, 川島久美子. 咬合面上の荷重部位が歯根膜感覚に及ぼす影響. 顎機能誌 2011; 17: 164-165.
- 16) Ogura R, Kato H, Okada D, Foxton RM, Ikeda M, Miura H. The relationship between bite force and oral sensation during biting in molars. *Aust Dent J* 2012; 57: 292-299.
- 17) Hattori Y, Satoh C, Seki S, Watanabe Y, Ogino Y, Watanabe M. Occlusal and TMJ loads in subjects with experimentally shortened dental arches. *J Dent Res* 2003; 82: 532-536.
- 18) van Steenberghe D, De Vries JH. The influence of local anaesthesia and occlusal surface area on the forces developed during repetitive maximal clenching efforts. *J Periodontol Res* 1978; 13: 270-274.
- 19) Orchardson R, Sheena H, MacFarlane H. The effect of local periodontal anaesthesia on the maximum biting force achieved by human subjects. *Arch Oral Biol* 1980; 25: 799-804.
- 20) Trulsson M. Sensory-motor function of human periodontal mechanoreceptors. *J Oral Rehabil* 2006; 33: 262-273.
- 21) 中澤 勇. 下顎運動の補綴学的研究, 有歯顎の運動. 口病誌 1939; 13: 81-98.
- 22) Kay RF, Hiiemae KM. Jaw movement and tooth use in recent and fossil primates. *Am J Phys Anthropol* 1974; 40: 227-256.
- 23) Wall CE, Vinyard CJ, Johnson KR, Williams SH, Hylander WL. Phase II jaw movements and masseter muscle activity during chewing in *Papio anubis*. *Am J Phys Anthropol* 2006; 129: 215-224.
- 24) 三好礼子. 内外および近遠心方向から6分類した臼歯部咬合小面の咀嚼運動時の咬合接触. 補綴誌 2002; 46: 203-212.
- 25) 村上任尚, 服部佳功, 岩松正明, 渡邊 誠. 咀嚼運動経路の変動に関する研究. 顎機能誌 2006; 12: 144-145.
- 26) Hattori Y, Shimizu Y, Satoh C, Watanabe M. Masticatory motion is controlled in humans by a limited set of muscle synergies. *Tohoku J Exp Med* 2010; 220: 217-222.
- 27) 渡部厚史. 側方滑走運動による上下顎大白歯間の接触間隙の変化. 補綴誌 1995; 39: 517-529.
- 28) Fiorenza L, Benazzi S, Kullmer O. Para-masticatory wear facets and their functional significance in hunter-gatherer maxillary molars. *J Archaeol Sci* 2011; 38: 2182-2189.

著者連絡先: 服部 佳功

〒980-8575 宮城県仙台市青葉区星陵町 4-1

Tel: 022-717-8396

Fax: 022-717-8396

E-mail: hattori@dent.tohoku.ac.jp